



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“CONSTRUCCIÓN Y SELECCIÓN DE MATERIAL DE ASPAS PARA MOTOCULTOR YTO DF 15L MEDIANTE PROCESO DE FORJA PARA REDUCIR LA TASA DE DESGASTE RESPECTO A LAS ASPAS DE ACERO TRADICIONAL PARA USO AGRÍCOLA”

**ANALUIZA HIDALGO BYRON DARÍO
BENAVIDES CORTEZ CARLOS BLADIMIR**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2017**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2016-06-05

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**ANALUIZA HIDALGO BYRON DARÍO
BENAVIDES CORTEZ CARLOS BLADIMIR**

Titulado:

**“CONSTRUCCIÓN Y SELECCIÓN DE MATERIAL DE ASPAS PARA
MOTOCULTOR YTO DE 15L MEDIANTE PROCESO DE FORJA PARA
REDUCIR LA TASA DE DESGASTE RESPECTO A LAS ASPAS DE ACERO
TRADICIONAL PARA USO AGRÍCOLA”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas.
DIRECTOR

Ing. Edison Patricio Abarca Pérez.
ASESOR

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: BENAVIDES CORTEZ CARLOS BLADIMIR

TRABAJO DE TITULACIÓN: “CONSTRUCCIÓN Y SELECCIÓN DE MATERIAL DE ASPAS PARA MOTOCULTOR YTO DF 15L MEDIANTE PROCESO DE FORJA PARA REDUCIR LA TASA DE DESGASTE RESPECTO A LAS ASPAS DE ACERO TRADICIONAL PARA USO AGRÍCOLA”

Fecha de Examinación: 2017-01-19

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|
| Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA | | | |
| Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas DIRECTOR | | | |
| Ing. Edison Patricio Abarca Pérez ASESOR | | | |

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ANALUIZA HIDALGO BYRON DARÍO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “CONSTRUCCIÓN Y SELECCIÓN DE MATERIAL DE ASPAS PARA MOTOCULTOR YTO DF 15L MEDIANTE PROCESO DE FORJA PARA REDUCIR LA TASA DE DESGASTE RESPECTO A LAS ASPAS DE ACERO TRADICIONAL PARA USO AGRÍCOLA”

Fecha de Examinación: 2017-01-19

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|
| Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA | | | |
| Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas DIRECTOR | | | |
| Ing. Edison Patricio Abarca Pérez ASESOR | | | |

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE 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.

Benavides Cortez Carlos Bladimir

Analuiza Hidalgo Byron Darío

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Carlos Bladimir Benavides Cortez y Byron Darío Analuiza Hidalgo, 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.

Benavides Cortez Carlos Bladimir

Analuiza Hidalgo Byron Darío

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre Narcisa Cortez y a mi padre Jesús Benavides que me brindaron su confianza e incondicional apoyo durante toda mi preparación profesional ya que su gran esfuerzo hoy se refleja en este proyecto y en la culminación de mi carrera.

A mi hermana, parte esencial de este logro y familia que estuvieron siempre a mi lado dándome fuerzas en momentos difíciles y compartiendo buenos momentos y finalmente a la memoria de mi abuelita la señora Margarita Sallo cuyas bendiciones me cuidaron en presencia y que aún en ausencia me sigue brindando.

Carlos Bladimir Benavides Cortez

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis padres quienes me han apoyado incondicionalmente, animándome día tras día a seguir adelante para culminar esta etapa de mi vida y como recompensa al sacrificio realizado por ellos, he logrado cumplir con uno de mis objetivos de ser Ingeniero Automotriz.

A mi hija Emily Guadalupe quien fue mi inspiración para no desmayar en el transcurso de la carrera.

Byron Darío Analuiza Hidalgo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme ser parte de tan prestigiosa institución, a la carrera de Ingeniería Automotriz y a sus maestros que me brindaron sus conocimientos y experiencia.

A mis amigos por sus palabras de aliento que hicieron más sencillas las dificultades.

A los ingenieros Marcelo Castillo y Patricio Abarca por su importante colaboración, y en general a todas las personas que hicieron posible este proyecto.

Carlos Bladimir Benavides Cortez

Le doy gracias a mis Padres Marco y Sara, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. A mis hermanos, hija y sobrinas por ser parte importante de mi vida y haberme apoyado en los buenos y malos momentos.

Un especial agradecimiento a mi novia Alexandra quien fue la persona que estuvo a lo largo de mi carrera y siempre me motivaba en los momentos más difíciles.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por medio de sus docentes me brindó la oportunidad de crecer como persona y así obtener una profesión.

Byron Darío Analuiza Hidalgo

CONTENIDO

Pág.

| | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | |
| 1.1 | Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 | Justificación..... | 1 |
| 1.2.1 | Justificación técnica..... | 1 |
| 1.2.2 | Justificación económica..... | 2 |
| 1.3 | Objetivos..... | 2 |
| 1.3.1 | Objetivo general | 2 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos | 3 |
| 2. | MARCO TEÓRICO | |
| 2.1 | Motocultor DF-15L | 4 |
| 2.1.1 | Datos generales del motocultor YTO DF-15L | 5 |
| 2.1.2 | Especificaciones especiales | 6 |
| 2.2 | Rotovator..... | 7 |
| 2.2.1 | Ajuste de la profundidad de labranza del rotovator..... | 7 |
| 2.2.2 | Ajuste de la tensión de la cadena..... | 8 |
| 2.3 | Aspas o cuchillas | 8 |
| 2.3.1 | Montaje de las cuchillas | 9 |
| 2.3.1.1 | Montaje opuesto de las cuchillas izquierdas o derechas..... | 9 |
| 2.3.1.2 | Todas las puntas de las cuchillas izquierdas o derechas apuntan al centro | 9 |
| 2.3.1.3 | Todas las cuchillas izquierdas o derechas apuntan hacia fuera | 9 |
| 2.4 | Labranza superficial | 9 |
| 2.4.1 | El lecho de siembra..... | 10 |
| 2.5 | Aperos no accionados..... | 11 |
| 2.5.1 | Cultivadores..... | 11 |
| 2.5.2 | Vibrocultores | 12 |
| 2.5.3 | Rastras de púas | 13 |
| 2.5.4 | Gradas de disco..... | 14 |
| 2.5.5 | Gradas rodantes | 15 |
| 2.5.6 | Rodillos..... | 15 |
| 2.6 | Aperos accionados..... | 16 |
| 2.6.1 | Rotocultores de eje horizontal (Fresadoras) | 16 |
| 2.6.2 | Acciones sobre el suelo de las fresadoras..... | 18 |
| 2.6.3 | Aplicaciones | 19 |
| 2.6.4 | Regulaciones..... | 19 |
| 2.6.4.1 | Profundidad de trabajo..... | 19 |
| 2.6.4.2 | Velocidad del eje | 19 |
| 2.6.4.3 | Grado de pulverización del suelo | 19 |
| 2.6.5 | Características técnicas | 20 |
| 2.7 | Aspas de motocultor | 20 |
| 2.7.1 | Rotura y desgaste abrasivo | 21 |
| 2.7.2 | Materiales | 22 |
| 2.8 | Proceso de manufactura de elementos de labranza agrícola | 23 |
| 2.8.1 | Forja..... | 23 |

| | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.8.2 | Fundición | 24 |
| 2.8.3 | Laminación en caliente y en frío. | 24 |
| 2.9 | El suelo. | 26 |
| 2.9.1 | Formación del suelo..... | 26 |
| 2.9.2 | Principales tipos de suelos | 26 |
| 2.9.3 | Mapa de texturas de suelo del cantón Riobamba | 27 |
| 2.10 | Energía consumida al labrar | 28 |
| 2.11 | Cálculo de rendimiento..... | 29 |
| 2.11.1 | Rendimiento teórico (St) | 29 |
| 2.11.2 | Capacidad de trabajo efectiva (Se) | 29 |
| 2.11.3 | Tiempo efectivo (te) | 30 |
| 2.11.4 | Calculo del área de contacto del aspa..... | 30 |
| 2.12 | Cálculos de resistencia del suelo | 31 |
| 3. | ESTUDIO DE LOS FACTORES DE LA BAJA FIABILIDAD DE LAS CUCHILLAS DE LABRANZA | |
| 3.1 | Resultados obtenidos en pruebas de laboratorio | 34 |
| 3.1.1 | Ensayo metalográfico | 34 |
| 3.1.2 | Espectrometría | 35 |
| 3.1.3 | Prueba de osciloscopio | 35 |
| 3.1.4 | Material de la cuchilla de rotovator | 35 |
| 3.1.5 | Ensayo de dureza | 35 |
| 3.2 | Resultados obtenidos en pruebas de campo | 36 |
| 3.2.1 | Viabilidad de las cuchillas | 36 |
| 4. | SELECCIÓN DE MATERIAL Y ANÁLISIS CAD CAE DEL ASPA | |
| 4.1 | Selección del material..... | 37 |
| 4.2 | Diseño de la geometría | 39 |
| 4.3 | Análisis del aspa mediante elementos finitos | 39 |
| 4.3.1 | Creación del material en la librería ANSYS | 40 |
| 4.3.2 | Mallado | 41 |
| 4.3.3 | Restricciones físicas del problema | 42 |
| 4.3.4 | Fuerzas aplicadas sobre la cuchilla..... | 43 |
| 4.4 | Análisis de estudios relevantes en la cuchilla..... | 43 |
| 4.4.1 | Análisis de deformación | 44 |
| 4.4.2 | Esfuerzo de Von Mises | 45 |
| 4.4.3 | Análisis de fatiga | 45 |
| 4.5 | Análisis de resultados | 46 |
| 4.5.1 | Deformación de la cuchilla..... | 46 |
| 4.5.2 | Tensión de Von Mises | 47 |
| 4.5.3 | Estudio de fatiga. | 47 |
| 5. | CONSTRUCCIÓN DE ASPAS Y PRUEBAS DE CAMPO | |
| 5.1 | Construcción de las cuchillas | 49 |
| 5.1.1 | Materiales | 49 |
| 5.1.2 | Construcción..... | 49 |
| 5.1.3 | Cuchillas construidas para la prueba. | 52 |
| 5.1.3.1 | Designación y marcado | 52 |
| 5.1.3.2 | Pesaje de cuchillas | 52 |
| 5.2 | Pruebas de campo | 54 |

| | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2.1 | Implementos y materiales a utilizar para las pruebas de campo..... | 54 |
| 5.3 | Factores de estudio | 54 |
| 5.3.1 | Tipos de cuchillas | 54 |
| 5.3.2 | Profundidad de trabajo..... | 55 |
| 5.3.3 | Consumo de combustible del motocultor. | 55 |
| 5.3.4 | Tipo de suelo | 55 |
| 5.4 | Unidad experimental | 55 |
| 5.5 | Análisis estadístico | 55 |
| 5.5.1 | División del terreno. | 55 |
| 5.6 | Características de las pruebas | 56 |
| 5.6.1 | Ubicación..... | 56 |
| 5.6.2 | Características climáticas de la zona. | 56 |
| 5.7 | Manejo del experimento de campo..... | 56 |
| 5.7.1 | Preparación del terreno | 56 |
| 5.7.2 | Lapsos de trabajo | 56 |
| 5.7.3 | Recabado de datos. | 56 |
| 5.7.4 | Orden de colocación de las cuchillas..... | 57 |
| 5.8 | Procedimientos | 57 |
| 5.8.1 | Revisión de motocultor YTO | 57 |
| 5.8.2 | Montaje de las cuchillas | 57 |
| 5.8.3 | Encendido y traslado del motocultor | 58 |
| 5.8.4 | Inicio y realización de la labranza | 59 |
| 5.8.5 | Finalización de las pruebas..... | 61 |
| 5.9 | Análisis y resultados..... | 62 |
| 5.9.1 | Tiempo de trabajo de las cuchillas | 62 |
| 5.9.2 | Estado de las cuchillas | 63 |
| 5.9.3 | Desgaste de las cuchillas | 63 |
| 5.9.3.1 | Cuchillas tradicionales..... | 63 |
| 5.9.3.2 | Cuchillas de acero AISI 1040..... | 63 |
| 5.9.3.3 | Cuchillas de acero AISI A517 | 63 |
| 5.9.3.4 | Promedios de pérdida de material | 63 |
| 5.9.3.5 | Porcentaje de desgaste | 63 |
| 5.9.4 | Rendimiento del motocultor a diferentes profundidades..... | 66 |
| 5.9.5 | Análisis de costos. | 66 |
| 6. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| 6.1 | Conclusiones..... | 68 |
| 6.2 | Recomendaciones | 69 |

BIBLIOGRAFÍA

LISTA DE FIGURAS

Pág.

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Motocultor YTO DF-15L | 4 |
| Figura 2. Rotovator | 7 |
| Figura 3. Sistema de ajuste de profundidad de labranza..... | 8 |
| Figura 4. Diagrama esquemático de montaje de cuchillas curvas | 9 |
| Figura 5. Distribución de los agregados del suelo | 10 |
| Figura 6. Tipos de rejas en un cultivador..... | 11 |
| Figura 7. Vibrocultivador con rodillos tipo jaula | 12 |
| Figura 8. Rejas de vibro cultivador..... | 13 |
| Figura 9. Rastra de púas..... | 13 |
| Figura 10. Tipos de púas..... | 14 |
| Figura 11. Grada de discos | 14 |
| Figura. 12. Grada Rodante | 15 |
| Figura 13. Rodillo agrícola | 15 |
| Figura 14. Fresadora con cuchillas curvadas | 16 |
| Figura 15. Posición de la fresadora respecto al tractor | 17 |
| Figura 16. Posición límite del eje cardán entre el tractor y la fresadora..... | 17 |
| Figura 17. Disposición helicoidal de las cuchillas en una fresadora. | 18 |
| Figura 18. Efecto de la posición de la tapa y relación de las velocidades de giro y avance en una fresadora. | 20 |
| Figura 19. Aspas para rotovator..... | 21 |
| Figura 20. Desgaste abrasivo severo..... | 22 |
| Figura 21. Forja mediante martillo | 23 |
| Figura 22. Fundición del metal | 24 |
| Figura 23. Laminación en caliente..... | 25 |
| Figura 24. Rodillos de laminación en frío | 25 |
| Figura 25. tipos de suelo | 26 |
| Figura 26. Texturas de suelos | 27 |
| Figura 27. Áreas del aspa..... | 30 |
| Figura 28. Ensayo metalográfico | 34 |
| Figura 29. Espectrometría..... | 35 |
| Figura 30. Ensayo de dureza..... | 38 |
| Figura 31. Geometría en SOLIDWORKS | 39 |
| Figura 32. Importar la geometría | 40 |
| Figura 33. Datos ingresados del material en la librería de ANSYS. | 40 |
| Figura 34. Grafica de esfuerzos alternantes vs ciclos de trabajo | 41 |
| Figura 35. Parámetros del mallado | 42 |
| Figura 36. Calidad de malla..... | 42 |
| Figura 37. Soportes fijos..... | 43 |
| Figura 38. Aplicación de fuerza..... | 43 |
| Figura 39. Detalles del estudio de deformación en ANSYS..... | 44 |
| Figura 40. Detalles del estudio de esfuerzos en ANSYS..... | 45 |
| Figura 41. Detalles del estudio de fatiga en ANSYS..... | 45 |
| Figura 42. Grafica de fluctuación de la carga Zero-Based en ANSYS | 46 |
| Figura 43. Resultado del estudio de deformación en ANSYS..... | 46 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 44. Resultado del estudio de la tensión de von Mises en ANSYS | 47 |
| Figura 45. Resultado del estudio de fatiga en ANSYS | 47 |
| Figura 46. Factor de seguridad ANSYS | 48 |
| Figura 47. Calentamiento del material | 49 |
| Figura 48. Forja del material..... | 50 |
| Figura 49. Resultado de la primera etapa de forja | 50 |
| Figura 50. Proceso de corte..... | 51 |
| Figura 51. Perforaciones de la cuchilla..... | 51 |
| Figura 52. Segunda etapa de forja | 51 |
| Figura 53. Acabado de la cuchilla | 52 |
| Figura 54. Cuchilla A1 marcada | 53 |
| Figura 55. Información de la balanza técnica utilizada | 53 |
| Figura 56. Pesaje de la cuchilla II..... | 54 |
| Figura 57. Terreno de prueba..... | 55 |
| Figura 58. Montaje de la cuchilla C5..... | 57 |
| Figura 59. Finalización del montaje de cuchillas | 58 |
| Figura 60. Ubicación del motocultor en la posición de inicio | 58 |
| Figura 61. Prueba a profundidad media..... | 59 |
| Figura 62. Cambio de profundidad de labranza..... | 60 |
| Figura 63. Partes de una cuchilla rota | 60 |
| Figura 64. Prueba a máxima profundidad..... | 61 |
| Figura 65. Desmontaje de las cuchillas probadas | 61 |
| Figura 66. Desgaste de las cuchillas tradicionales..... | 63 |
| Figura 67. Desgaste de las cuchillas de acero AISI 1040..... | 64 |
| Figura 68. Desgaste de las cuchillas de acero AISI A517 | 65 |
| Figura 69. Promedio de pérdida de material de una cuchilla en los 3 materiales..... | 65 |
| Figura 70. Porcentaje de desgaste de una cuchilla en los tres materiales..... | 66 |
| Figura 71. Costo de construcción de una cuchilla en los tres materiales..... | 67 |

LISTA DE TABLAS

Pág.

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Partes del motocultor..... | 4 |
| Tabla 2. Características técnicas del motocultor YTO DF-15FL..... | 5 |
| Tabla 3. Características del motocultor YTO DF-15L..... | 6 |
| Tabla 4. Características técnicas de los cultivadores..... | 12 |
| Tabla 5. Características técnicas de las fresadoras..... | 20 |
| Tabla 6. Propiedades del acero al carbono 1030..... | 36 |
| Tabla 7. Viabilidad de las cuchillas..... | 36 |
| Tabla 8. Comparación de las propiedades para selección del material..... | 37 |
| Tabla 9. Características del acero AISI A517..... | 38 |
| Tabla 10. Ensayo de dureza AISI A517..... | 38 |
| Tabla 11. Esfuerzos alternantes y número de ciclos de trabajo..... | 41 |
| Tabla 12. Número de cuchillas construidas..... | 52 |
| Tabla 13. Designación de las cuchillas..... | 52 |
| Tabla 14. Tiempo de trabajo y estado de las cuchillas..... | 62 |

LISTA DE ABREVIACIONES

| | |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASTM | American Society of the International Association for Testing and Materials (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) |
| CAD | Computer Aided design (Diseño asistido por computadora) |
| CAE | Computer Aided Engineering (Ingeniería asistida por computadora) |
| MEF | Método de Elementos Finitos |
| AISI | American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero) |
| ISO | International Organization for Standardization (Organización internacional de normalización) |
| SAE | Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices) |
| HB | Hardness Brinell (Dureza de Brinell) |
| HRC | Hardness Rockwell C (Dureza de Rockwell C) |
| ASABE | American Society of Agriculture and Biological Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas y Biológicos) |

SIMBOLOGÍA

| | |
|----------------------|-----------------------------------------|
| St | Rendimiento teórico |
| v | Velocidad de trabajo |
| a | Anchura de trabajo |
| Se | Capacidad efectiva de trabajo |
| F | Fuerza para tirar el arado |
| u | Resistencia específica del terreno |
| te | Tiempo efectivo |
| le | Longitud de corte |
| C | Cohesión |
| u_o | Resistencia estática del terreno |
| λ | Parámetro que depende del tipo de suelo |
| η_e | Rendimiento efectivo de campo |
| u | Resistencia específica del suelo |
| N | Potencia requerida |

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo seleccionar el material y construir aspas de rotovalor del motocultor YTO DF-15L para reducir la tasa de desgaste que actualmente presentan las aspas de acero tradicional que son empleadas en labores agrícolas, basándose en las necesidades de los agricultores de mejorar y tecnificar sus procesos, ya que muchos de estos motocultores se encuentran sin realizar labores de campo porque no cuentan con aspas de labranza confiables. Con base en las características del AISI 1030, material de las que son construidas las aspas tradicionales, que en un ensayo de dureza obtuvo como resultado 25 HRC, se demostró que no cuentan con las propiedades adecuadas de dureza requerida. Para que un implemento de labranza resulte confiable, es necesario que el material cuente con alta dureza (38-45 HRC) y alta resistencia a la abrasión. Al realizar el análisis de los materiales que se encuentran disponibles en el ámbito nacional se obtuvo como resultado que el acero AISI A517 se ajusta a las características requeridas para dicho elemento. Los resultados positivos en los estudios de deformación, concentración de esfuerzo y fatiga analizados mediante CAD CAE validaron el diseño de la geometría para su posterior construcción mediante proceso de forja artesanal. Las pruebas de campo realizadas en la provincia de Chimborazo demostraron un gran desempeño y alta confiabilidad del aspa en terrenos propios de la zona y el posterior análisis estadístico de las probetas dieron como resultado un desgaste menor del aspa construida con el material seleccionado en comparación con las utilizadas tradicionalmente. Se comprobó que la utilización del acero AISI A517 es una solución viable al problema de desgaste, se recomienda aplicar las nuevas aspas para reactivar el funcionamiento regular de los motocultores.

PALABRAS CLAVE: <MOTOCULTOR YTO DF-15L(MAQUINA AGRICOLA)>,<ROTOVATOR(APERO DE LABRANZA)>,<ASPA(IMPLEMENTO DE LABRANZA)>,<CAD(DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA)>,<CAE (INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA)>,<FORJA(CONFORMADO POR DEFORMACIÓN)>,<AISI(DSIGNACIÓN DE MATERIALES)>,<MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS>.

ABSTRACT

The current graduation work aims to choose the material and to build rotovator blades of the YTO DF-15L rototiller, in order to reduce the rate of wear that the traditional Steel blades used in farm work show currently, all this based upon the needs of the farmers for improving and modernize their processes, many of these rototiller are now being used since they do not have reliable farming blades. Based on the features of the AISI 1030, the material which the traditional blades are manufactured from, which in hardness test had a result of 25 HRC, it was demonstrated that they do not have the appropriate properties of hardness required. For a farming item to result reliable, it is necessary the material have high hardness (38-45 HRC) and high resistance to rust. When making the analysis of the material available locally, it was found that the steel AISI A517 is suitable to the required features. The positive results in the deformation, effort concentration and weariness studies, analyzed with CAD CAE validated the design of the geometry for its further manufacture by means of the artisanal forging. The field trials performed in the province of Chimborazo evidence a great performance and high reliability of the blades in endemic soils from the zone and the latter statistical analysis of the test tubes showed a lower weariness of the blade made of the material chosen compared to the ones traditionally used. It was proved that the use of Steel AISI A517 is a doable solution for the weariness problem, it is recommended to apply the new blades to boost the regular functioning of the rototillers.

KEY WORDS: <ROTOTILLER YTO DF-15L(FARMING MACHINE)>,<ROTOVATOR(FARMING TOOL)>,<BLADE(FARMING ITEM)>,<CAD(COMPUTER ASSISTED DESIGN)>,<FORGING(MADE UP BY DEFORMATION)>,<AISI(MATERIAL ASSIGNATION)>,<MACHINES AND TOOLS>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Ecuador se ha caracterizado por ser un país eminentemente agrícola, los cuales favorecen en el cultivo de alimentos y otras materias primas que son el primer paso para la elaboración de productos, las cuales son consumidas y utilizadas diariamente por los ecuatorianos. Estos factores han permitido el desarrollo de la agricultura, la cual forma parte importante del crecimiento económico de nuestro país. Al igual que otras actividades es necesario implementar procesos de mejoramiento de calidad de las máquinas y herramientas que se utilizan para realizar dicha actividad que favorezcan al rendimiento y la eficiencia de los diferentes procesos que se realizan en los cultivos como por ejemplo el arado o la siembra.

De los diferentes tipos de maquinaria utilizada en la agricultura uno de los más utilizados en nuestro país es el motocultor el cual es una herramienta automotriz que facilita y acelera diferentes actividades agrícolas y permite realizarlas de una manera más tecnológica. En busca de esta mejora tecnológica y a sabiendas de las ventajas obtenidas, el gobierno ecuatoriano ha dispuesto motocultores en diferentes sectores, siendo uno de ellos la provincia de Chimborazo.

Los motocultores utilizan gran variedad de implementos de trabajo y uno de los más importantes son las aspas o cuchillas de labranza del suelo alojadas en un rotovator, que lastimosamente han presentado dificultades de desgaste de las aspas a la hora de cumplir con su cometido reduciendo en gran parte la efectividad del motocultor.

1.2 Justificación

1.2.1 *Justificación técnica.* Los motocultores son periódicamente utilizados por los agricultores ecuatorianos para realizar diferentes trabajos especialmente en horticultura y jardinería en medianas extensiones de terrenos.

Las aspas de acero tradicional que se han venido utilizando ya desde hace algunos años presentan problemas de baja resistencia mecánica y desgaste a corto plazo. El material utilizado actualmente no posee las mejores características para los trabajos de este tipo, puesto que requiere resistir grandes esfuerzos.

Según investigaciones previas se conoce que existen materiales que son más propicios para los trabajos de agricultura que tendrán mayor resistencia mecánica y al desgaste.

Por lo ya expuesto resulta pertinente realizar una investigación para solucionar el problema de resistencia mecánica y desgaste acelerado de las aspas utilizadas en los motocultores.

1.2.2 *Justificación económica.* Actualmente en la provincia de Chimborazo existen 150 motocultores de la marca YTO proporcionados por el MAGAP, de los cuales se usan alrededor del 20%. Cada motocultor posee 18 cuchillas o aspas que se usan para labores de horticultura.

Las aspas utilizadas en los motocultores son de aceros tradicionales, las cuales presentan una baja resistencia mecánica y al desgaste, lo que se traduce en recambios continuos de los mismos, por lo tanto, resulta en pérdida de tiempo y una mayor inversión para los agricultores.

Este análisis contribuirá al mejoramiento de la calidad de las aspas, que son uno de los implementos de labranza más utilizados y beneficiaría a un incremento de la producción agrícola.

1.3 **Objetivos**

1.3.1 *Objetivo general.* Construir y seleccionar el material de aspas para motocultor YTO DF 15L mediante proceso de forja para reducir la tasa de desgaste respecto a las aspas de acero tradicional para uso agrícola.

1.3.2 *Objetivos específicos.*

- Realizar revisión bibliográfica acerca de los motocultores en libros y manuales, hacer cálculos de la energía consumida en la labranza.
- Estudiar los factores de baja fiabilidad de las cuchillas de labranza.
- Seleccionar el material y realizar el CAD y CAE para asegurar una mejora.
- Construir las aspas del motocultor mediante forja para realizar ensayos y pruebas.
- Verificar el rendimiento de las nuevas aspas mediante pruebas de campo para comprobar el desempeño de las mismas.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Motocultor DF-15L

El motocultor DF-15L ha sido diseñado con un concepto de ser una máquina simple, compacta, ligera y versátil, es adecuado para el uso de suelos suaves y de dureza media, para la horticultura, jardinería aun en terrenos con colinas de pendientes moderadas. Puede ser usado para el barbecho o rotocultivo, así como para cosechar, hacer canales, transportación con aperos y accesorios adecuados. En adición, el motocultor puede ser extensivamente utilizado como una fuente estacionaria de potencia para drenar a pequeña escala, irrigar, impulsar molienda de granos y forrajes. (YTO)

Figura 1. Motocultor YTO DF-15L



Fuente: <http://dftractor.es/2b-DF-15L-walking-tractor-1.html>

Tabla 1. Partes del motocultor.

| No | Elemento | No | Elemento |
|----|---------------------------|----|---------------------------|
| 1 | Motor | 10 | Palanca de clutch y freno |
| 2 | Faro frontal | 11 | Switch de faro frontal |
| 3 | Bandas V | 12 | Manivela del acelerador |
| 4 | Generador de corriente | 13 | Manivelas de dirección |
| 5 | Clutch | 14 | Bastidor de acoplamiento |
| 6 | Caja de transmisión | 15 | Mandos finales |
| 7 | Caja de salida principal | 16 | Rueda de la transmisión |
| 8 | Bastidor de los manubrios | 17 | Chasis |
| 9 | Palanca de velocidades | | |

Fuente: Manual YTO

2.1.1 *Datos generales del motocultor YTO DF-15L.* La siguiente tabla muestra las principales especificaciones de diseño y otros dispositivos o sistemas con los que cuenta el motocultor.

Tabla 2. Características técnicas del motocultor YTO DF-15FL

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Modelo | DF-15L |
| Tipo | Eje sencillo de propósito dual para tracción y transmisión. |
| Dimensiones generales. (L x A x Alt mm) | 2680 x 960 x 1250 |
| Ancho de trocha (mm) | Ajuste entre 800, 740, 640y 580 |
| Despeje mínimo (mm) | 182 del piso a la parte baja de la transmisión final. |
| Radio mínimo de giro (m) | 0.9 sin rototiller |
| Peso (kg) | 509/499 |
| Sistema de transmisión: | |
| a. Banda del motor al clutch. | Bandas tipo “V” |
| b. Tipo de clutch. | Disco de doble fricción y contacto contante. |
| c. Caja de transmisión. | Montaje con cadena de rodillos de tensión formato corto 08B-2x64. |
| d. Caja de cambios. | Espuelas y engranes deslizantes en constante engranaje, transmisión tipo (3+1) x2 |
| e. Dirección. | Levas lateras en combinación con freno. |
| f. Transmisión final. | Reducción de dos pasos por engranes espuela. |
| g. Tipo de frenado. | Anillo de expansión interno, tipo húmedo. |
| h. Rototiller. | Montaje con cadena de rodillos de presión formato corto 12A-2 x 50 |
| Ruedas: | |
| a. Llanta de tracción: Presión de inflado (PSI): | 6.00-12,4 capas. 20-28 PSI |
| b. Rueda trasera: Rueda de trabajo en campo: Rueda trasera de caucho. | Hecha en acero diámetro de 340 mm 1.00-8 |
| Dispositivo de remolque: | |
| a. Apertura del marco adaptador (mm): | 95 |
| b. Distancia del piso al marco (mm): | 389 |
| c. Diámetro del perno de conexión: | 20 |
| Conexión de lo manubrios a la cubierta. | Fijación con tornillo y tuerca |
| Dispositivos eléctricos: | |
| a. Generador tipo: Voltaje (V)/potencia nominal (W): Velocidad nominal (rpm): No. Fases | Magneto permanente. AC, integrado al ventilador del radiador. 12/60 5,800 |

Fuente: Manual YTO

Tabla 2. (Continúa) Características técnicas del motocultor YTO DF-15L

| | |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| b. Carga. | Dos luces de 12V, 20W c/u 1 fase, 3 circuitos. |
| Capacidades de llenado de líquidos de motor: | |
| a. Tanque de agua. | 17 – 20 lts. De agua limpia |
| b. Tanque de combustible. | 9 – 11 lts. De diésel |
| c. Aceite del motor. | 3 – 3.5 lts. Aceite SAE 40/30 (invierno) |
| Rototiller: | |
| c. Transmisión parcial | 6.5 lts. Aceite p/transmisión SAE 90 |
| d. Transmisión secundaria | 0.8 lts. Aceite p/transmisión SAE 90 |

Fuente: Manual YTO

2.1.2 *Especificaciones especiales.* La tabla 3 nos muestra otras especificaciones complementarias del motocultor YTO DF-15L.

Tabla 3. Características especiales del motocultor YTO DF-15L

| | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Modelo. | DF-15L |
| Fuerza de tracción. | 221 kg-f |
| Velocidad del rototiller | 211/345 baja / alta |
| Motor (Diésel) | |
| a. Modelo. | S1100A2N |
| b. Peso. | 160 |
| c. Tipo. | Monocilindro bore (100) x stroke (115) mm. Desplazamiento total 0.9031, cuatro tiempos, enfriamiento con agua, desplazamiento horizontal y cámara de combustión de tipo remolino. |
| d. Potencia de salida (kW/HP). | 12/16 |
| e. Torque máximo (N.m). | 257 |
| f. Consumo de combustible. Consumo de aceite. | 1.6 – 2 lts/hr. (Promedio). 0.014 lts/hr. (Promedio). |
| g. Bomba de inyección del combustible. | 1 tipo monoblock. |
| h. Gobernador. | Balín de acero tipo resorte retráctil a plena velocidad. |
| i. Inyector de combustible. | Espera de placa con orificios simples. |
| j. Bomba de aceite. | Tipo rotor de entrada y salida. |
| k. Filtro de combustible. | Elemento de papel plegado. |
| l. Filtro de aceite. | Tipo centrifugo. |
| m. Filtro de aire. | Tipo húmedo en aceite tres etapas. |
| n. Método de enfriamiento. | Radiador de condensación con ventilador. |
| o. Método de lubricación. | Combinado salpicado y por presión. |
| p. Polea de salida del motor / diámetro interno (plg) | 5..5/5 |

Fuente: Manual YTO

2.2 Rotovator

El rotovator es acoplado a la transmisión principal de motocultor por medio de espárragos. Para asegurar el correcto ensamble de engranes, cuenta con dos clavijas guiadas en la superficie de la ventana de la transmisión. En caso de que se le dificulte acoplar los engranes, gire la flecha del rototiller o gire un poco la polea del embrague con la posición “acoplada”, esto hará que las pistas de los engranes coincidan facilitando el montaje. Montar las barras de soporte de cada lado fijando el rotovator con el marco de cada manubrio. Para desmontar el rotovator se debe seguir la misma secuencia, pero en sentido inverso al montaje. Al desmontar el rotovator, asegúrese de colocar la cubierta en la ventana de la transmisión, así mismo tape la ventana de la transmisión del rotovator para evitar el ingreso de polvo u otros objetos en su interior los cuales puedan afectar el equipo. (YTO)

Figura 2. Rotovator



Fuente: <http://tallereslose.com/fresas-para-motoazada>

2.2.1 *Ajuste de la profundidad de labranza del rotovator.* Un pequeño ajuste de la profundidad de labranza puede ser afectado dando vueltas a la manivela de ajuste de la rueda guía. (YTO)

Si la profundidad deseada no se logra con este ajuste, entonces afloje la manivela de bloqueo y ajuste la camisa a la posición deseada para incrementar o disminuir la profundidad de labranza. (YTO)

Figura 3. Sistema de ajuste de profundidad de labranza



Fuente: <http://www.agroads.com.ar/detalle.asp?clasi=383302>

Encontramos cuatro elementos principales en este sistema, los cuales son:

- Manivela de ajuste de rueda trasera.
- Manivela de bloqueo.
- Camisa de la rueda guía.
- Rueda guía

2.2.2 *Ajuste de la tensión de la cadena*

- a. Desmonte la cubierta lateral de la caja de transmisión del rototiller.
- b. Gire la barra de tensión a un ángulo tal que el resorte plano se acerque a la cadena. Si la cadena continua muy floja, después de hacer el ajuste arriba antes mencionado, entonces giré ambas barras de soporte superior e inferior a un cierto ángulo simultáneamente. (YTO)

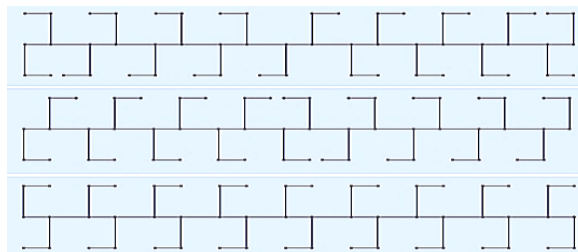
2.3 **Aspas o cuchillas**

Son útiles para la labranza y rastreo de tierras en terrenos secos y semihúmedos, así mismo sirven para hacer labor de cultivo en terrenos con hierba o pasto ayudando a controlar la maleza o integrándola a la tierra como material orgánico. Sirve también para integrar abonos o fertilizantes orgánicos al terreno. Este tipo de cuchillas tienen un excelente desempeño rompiendo el suelo y ayudando a mejorarlo y se pueden encontrar cuchillas con disposición izquierda y derecha. El uso de las cuchillas demanda de alta

potencia por lo que se recomienda acelerar el motor adecuadamente antes de ponerlas en contacto al suelo. (YTO)

2.3.1 *Montaje de las cuchillas.* Debido a la forma curvada especial de las cuchillas, el acabado y nivel del terreno labrado dependerá grandemente de la dirección de montaje de la curvatura y retorcido de las cuchillas el cual debe coincidir con la dirección de la rotación de la flecha del rototiller. La punta de las cuchillas se debe montar en la dirección adecuada, de acuerdo con el trabajo de cultivo que se quiere lograr. (YTO)

Figura 4. Diagrama esquemático de montaje de cuchillas curvas



Fuente: Manual YTO

2.3.1.1 *Montaje opuesto de las cuchillas izquierdas o derechas.* La superficie cultivada queda al mismo nivel a lo ancho de trabajo del implemento. (YTO)

2.3.1.2 *Todas las puntas de las cuchillas izquierdas o derechas apuntan al centro.* La superficie cultivada presenta un pequeño montículo en el centro a lo largo de la línea de trabajo. (YTO)

2.3.1.3 *Todas las cuchillas izquierdas o derechas apuntan hacia fuera.* El terreno cultivado presentara un pequeño canal en el centro a lo largo de la superficie de trabajo. Sin embargo, para separar la superficie cultivada de la no cultivada se puede poner las cuchillas de los extremos apuntando hacia dentro. (YTO)

2.4 Labranza superficial

La labor superficial alcanza como máximo los 15 cm de profundidad. Las acciones sobre el suelo de los aperos utilizados en la labor superficial se resumen en:

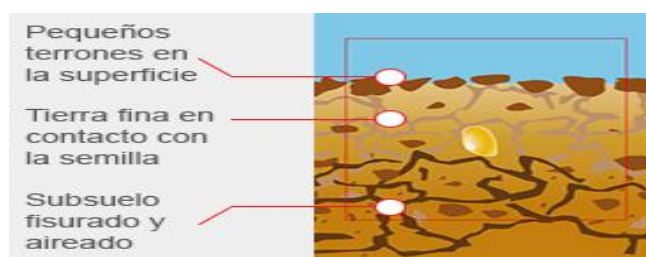
- Desmenuzamiento de los agregados para crear un medio favorable a la germinación de las semillas.
- Esponjamiento para estimular la aireación e infiltración del agua.
- Nivelación para facilitar el trabajo de la sembradora.
- Eliminación de la competencia de las malas hierbas.
- Incorporación al terreno del fertilizante.

2.4.1 *El lecho de siembra.* La siembra es uno de los procesos con más importancia que se realizan previo a la recolección. Cada determinada especie o variedad es diferente, por lo tanto, el laboreo se planifica buscando una fecha, tipo de suelo y lugar geográfico que resulte más favorable para dicha especie. La calidad de preparación del lecho de siembra influye directamente en la calidad en el crecimiento de las plantas. (Cañavate, 2012 pág. 61)

Las características del lecho de siembra se concretan en la formación de las siguientes capas:

- Una zona de asentamiento de la semilla, que se encuentra situada a una profundidad que depende de un tipo de semilla, cuyas partículas gruesas tienen de 6-8 cm, mientras que las más pequeñas 2-3 cm.
- Rodeando la semilla debe haber una capa formada por agregados no superiores a 5mm de diámetro, éstos transfieren la humedad del suelo a la semilla para que pueda germinar y permiten el desarrollo del coleóptilo de la planta.
- Sobre la anterior debe haber una capa superficial formada por agregados de tamaño no superior a los 5 cm que proteja el suelo contra el encostramiento y la erosión y a la vez permita que las plantas puedan emerger.

Figura 5. Distribución de los agregados del suelo



Fuente: <http://www.kuhn.es/internet/webes.nsf/0/7E4EF792E476234DC1257B8E00326A07>

Lo anteriormente mencionado puede lograrse mediante la acción conjunta de los diferentes equipos de labranza superficial. (Cañavate, 2012 pág. 62)

2.5 Aperos no accionados

2.5.1 Cultivadores. Existen de formas muy variadas y están contruidos por una serie de brazos en cuyo extremo llevan unas rejas que pueden ser de formas muy diversas y que van distribuidas sobre un bastidor construido fundamentalmente por dos o tres barras transversales o paños. (Cañavate, 2012 pág. 62)

La mayor diferencia entre los distintos cultivadores se encuentra en la forma de sus rejas. Los tipos más usados son: (Cañavate, 2012 pág. 62)

Figura 6. Tipos de rejas en un cultivador



Fuente: <http://juanchojardineria.foroespana.com/t66-todo-tipo-de-rejas-para-cultivadores>

- Regeneradoras de prados. Su geometría es estrecha y cortante, son empleadas para sanear las praderas aireando el suelo.
- Escarificadoras. Suelen trabajar a una profundidad de 12 a 15 cm, su diseño es robusto y que se utilizan para disgregar el suelo en labores de bina, siendo las más empleadas en los cultivadores.
- Cavadoras. Son escarificadoras más anchas que las anteriores, son utilizadas en suelos húmedos arcillosos y con abundancia de residuos.
- Retorcidas. Escarificadoras de superficie ligeramente alabeadas que se emplean en labores de enterrado de residuos.
- Extirpadoras. Son anchas y emplean para cortar las raíces de las malas hierbas.
- Aporcadoras. Son utilizadas formar pequeños caballones. (Cañavate, 2012 pág. 63)

Los cultivadores ligeros se diferencian de los pesados ya que éstos se utilizan en labores secundarias, mientras que con los pesados también se pueden realizar labores primarias y son de mayor tamaño. En la tabla 4 se dan algunas de las características técnicas de estos aperos. (Cañavate, 2012 pág. 63)

Tabla 4. Características técnicas de los cultivadores

| Tipo | Ligero | Pesado |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|
| Despeje entre el bastidor y el suelo (cm) | 45-60 (cm) | 60-75 (cm) |
| Peso por metro lineal (kg) | 100-220 (kg) | 200-300 (kg) |
| Separación entre brazos (cm) | 15-20 (cm) | 20-25 (cm) |
| Número de líneas de brazos | 2-3 | 3-4 |
| Anchura del trabajo (m) | 2,5-6 (m) | 2,5-5 (m) |
| Velocidad de trabajo (Km/h) | 5-10 (Km/h) | |
| Potencia necesaria del tractor (kW/m) | 13-17 (kW/m) | 15-22 (kW/m) |

Fuente: (Cañavate, 2012)

No está por demás decir que se requieren suelos en tempero para lograr una disgregación eficaz del suelo. Puede ocurrir que, con un suelo duro se formen grandes terrones. Cuando no es posible la penetración en el terreno, y para conseguir una buena disgregación, se requieren realizar varias pasadas. (Cañavate, 2012 pág. 63)

2.5.2 Vibrocultores. Son utilizados en la preparación del suelo y trabajan a una profundidad máxima de 12-15 cm. Están contruidos por un conjunto de brazos flexibles en forma de S de menor tamaño que los de un cultivador, que pueden vibrar tanto en sentido longitudinal como transversal. (Cañavate, 2012 pág. 64)

Figura 7. Vibrocultivador con rodillos tipo jaula



Fuente: <http://www.elpatomaquinarias.com.ar/productos/vibrocultivador-torre-desplazable>

Referente a las rejas existen tres tipos, las cuales podemos apreciar en la figura 8.

Figura 8. Rejas de vibrocultivador



Fuente: <http://www.grasellisa.com.ar/page/productos/idcat/28/title/Partes-Vibrocultivador>

- a) Escarificadora. Se utiliza especialmente en la preparación del lecho de siembra, tiene una anchura de 3 a 4 cm, es la más utilizada puesto que es útil en muchas más situaciones.
- b) Ancha. Tienen una anchura variada de entre 6 y 8 cm, se utilizan para labores en suelos con una consistencia dura o secado de suelos húmedos.
- c) Doble. Consiste en dos rejas estrechas separadas entre sí unos 15 cm, indicada para la realización de un lecho de siembra muy fino. (Cañavate, 2012 pág. 65)

2.5.3 Rastras de púas. Están constituidos por un bastidor provisto de múltiples púas que se ubican perpendiculares al terreno y van montadas en módulos. Su función está en desmenuzar la capa superficial del suelo a una profundidad no superior a los 6-8 cm. (Cañavate, 2012 pág. 65)

Figura 9. Rastra de púas

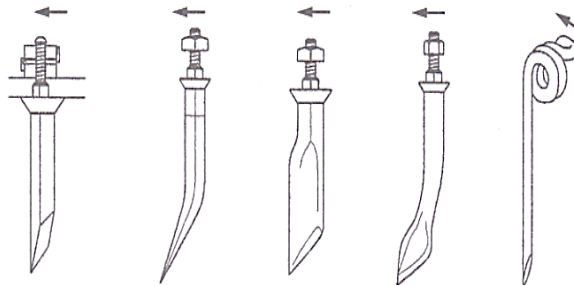


Fuente: <http://www.deltacinco.es/linea-verde/catalogo/vertiar-cesped-artificial/rastra-descompactadora/rastra-descompactadora-verti-rake-2>

Son utilizadas principalmente en la preparación del lecho de siembra, para recubrir la semilla luego de sembrar, en el reacondicionamiento de prados, distribución uniforme de residuos de cosechas en sistemas de laboreo de conservación y para la destrucción de costras. Se pueden realizar trabajos de laboreo a una velocidad máxima de hasta 12km/h. (Cañavate, 2012 pág. 65)

En la figura 10 se muestran algunos tipos de púas utilizadas en las rastras, en la cual se puede observar que poseen diferentes tipos de anclaje y ángulo de trabajo, así como su geometría depende del tipo de empleo, como por ejemplo para romper terrones, para airear o para suelos pesados. (Cañavate, 2012 pág. 67)

Figura 10. Tipos de púas



Fuente: (Cañavate, 2012)

2.5.4 *Gradas de disco.* Están constituidas por discos de casquetes esféricos, iguales que los de los arados del mismo nombre, o cónicos. Pueden ir montados sobre dos o cuatro ejes horizontales y se disponen paralelos entre sí, van girando libremente sobre el eje cuando se desplazan por el suelo. (Cañavate, 2012 pág. 67)

Figura 11. Grada de discos



Fuente: <http://torpedomaquinaria.es/gradas-de-disco/grada-de-discos-arrastrada-articulada-ar-a-25-lc-t>

2.5.5 *Gradas rodantes.* Estas gradas están constituidas por herramientas rotativas con varias puntas afiladas, las cuales están dispuestas en varios ejes horizontales y que ruedan sobre el terreno mientras son arrastradas. Se utilizan principalmente para deshacer los terrones, realizándose muchas veces ambas operaciones al mismo tiempo. (Cañavate, 2012 pág. 70)

Figura. 12. Grada Rodante



Fuente: <http://www.agrimarber.com/productos>

2.5.6 *Rodillos.* Son aperos con elementos cilíndricos que ruedan libremente sobre un eje transversal a la dirección de marcha, su misión principal es acabar con los terrones, trabaja sobre la superficie para dejarla más uniforme para la siembra y para apelmazar la parte superior del terreno, cuyo objetivo es el de regular la humedad del mismo. También contribuyen al desarrollo de las plantas más jóvenes, porque reducen el volumen de los huecos que existen en el terreno, lo ayuda a que las raíces de estas plantas tengan mayor contacto con las partículas en la tierra. (Cañavate, 2012 pág. 71)

Figura 13. Rodillo agrícola



Fuente: http://www.urbonagricola.com/index.php?seccion=trabajo_del_suelo&tit=Trabajo%20del%20suelo

2.6 Aperos accionados

Los aperos accionados por la toma de fuerza del tractor constituyen el segundo gran grupo de equipos encargados de preparar el lecho de siembra. Sus características son:

- Se logra un mayor desmenuzamiento y esponjamiento de la superficie que los aperos no accionados dado que éstos actúan sobre el suelo con una mayor agresividad.
- Producen un mayor grado de fragmentación y entremezclado de los residuos orgánicos, así como de malas hierbas.
- Permiten la realización de caballones para la siembra, plantación y trasplante de cultivos hortícolas.
- A pesar de poseer dimensiones menores que los aperos no accionados, logran la misma disgregación del suelo.
- Pueden combinarse con otros equipos tales como sembradoras y rodillos, para formar un tren suspendido ocupando un espacio relativamente reducido. De este modo se reduce la cantidad de pasadas sobre el suelo en la preparación del lecho de siembra. (Cañavate, 2012 pág. 74)

Podemos diferenciar dos tipos de equipos según su forma de accionamiento; los rotocultores de eje horizontal y los de eje vertical. (Cañavate, 2012 pág. 74)

2.6.1 Rotocultores de eje horizontal (Fresadoras). Fueron los primeros equipos en el mercado y que mayor difusión tienen, de todas las variantes existentes la fresadora es la más conocida. (Cañavate, 2012 pág. 76)

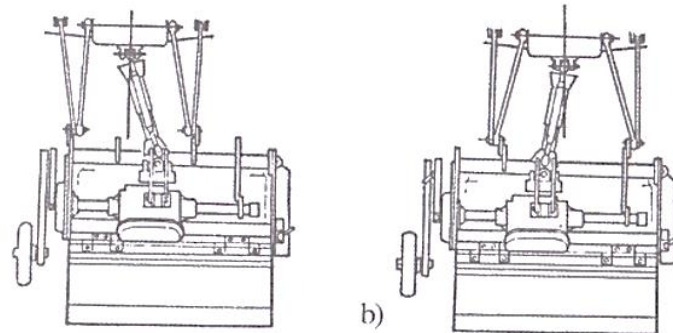
Figura 14. Fresadora con cuchillas curvadas



Fuente: <http://www.grupopena.es/imagenes/joper-jf-2r-agrogarte.jpg>

También se han desarrollado otros equipos que, trabajando bajo el mismo principio de rotura del suelo por impacto, se diferencian principalmente por las formas geométricas de las herramientas encargadas de la fragmentación. Dado que tales herramientas giran en el mismo sentido que las ruedas del tractor, éste en vez de necesitar tirar de la máquina, es en muchos casos empujado por ella. (Cañavate, 2012 pág. 74)

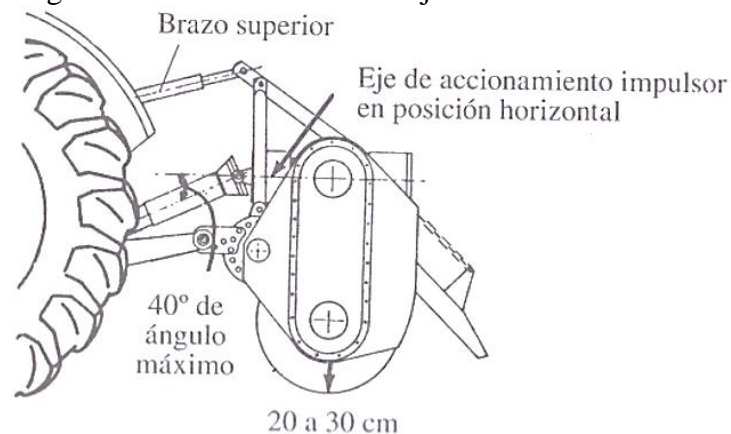
Figura 15. Posición de la fresadora respecto al tractor



Fuente: (Cañavate, 2012)

Las herramientas de trabajo de las fresadoras son cuchillas montadas sobre un rotor. El accionamiento de la fresadora se realiza a través de un eje tipo cardán solidario a la toma de fuerza del tractor, y una caja de cambios, encargada de transmitir el movimiento a un eje paralelo al del rotor. (Cañavate, 2012 pág. 75)

Figura 16. Posición límite del eje cardán entre el tractor y la fresadora



Fuente: (Cañavate, 2012)

El eje de trabajo dispone de unos platos distribuidos uniformemente en el eje, de 200 a 250 mm, sobre los que se montan las aspas o cuchillas a derecha e izquierda de cada uno de ellos.

El número de aspas a ambos lados del disco es de 3, 4 o 6 montándose alternadamente y distribuyéndose regularmente a lo largo de la circunferencia del disco. Se disponen en hélice, con el objetivo de que los movimientos ejercidos sobre el eje por las cuchillas al chocar contra el suelo estén distribuidos de la forma más uniforme posible. Su forma debe ser recta o acodada con más o menos anchura según trabaje, respectivamente, en terrenos más duros o más blandos. (Cañavate, 2012 pág. 76)

Figura 17. Disposición helicoidal de las cuchillas en una fresadora



Fuente: <http://www.centroagrigarden.it/com/product/motozappa-vik-inghb-445-r/>

En la parte trasera de la máquina dispone de una pantalla deflectora sobre la que chocan los terrones lanzados por las azadas, lo que contribuye a aumentar el grado de pulverización del suelo. (Cañavate, 2012 pág. 77)

2.6.2 *Acciones sobre el suelo de las fresadoras.* Las acciones que se pueden realizar sobre el suelo son las siguientes:

- Fragmentación por corte o impacto de las azadas contra el suelo. Se realiza de forma transversal al alcance, donde ataca el filo de la herramienta. El grado de disgregación viene condicionado por la cantidad de veces que las aspas contactan con el suelo por metro de longitud lograda por la máquina.
- Proyección. Al girar el rotor, generalmente en el mismo sentido que las ruedas del tractor, los fragmentos del suelo son lanzados hacia atrás, donde pueden chocar contra una placa deflectora de modo que el impacto produce a su vez una segunda fragmentación, además de una localización sobre la superficie del terreno.

- Nivelación. Como consecuencia del fraccionamiento y proyección del suelo, el microrrelieve es tanto más homogéneo y regular, dependiendo de cuál sea el grado de pulverización. No obstante, la incorporación de otras herramientas como rastras, así como la posición más baja de la chapa deflectora posterior contribuyen a lograr este objetivo. (Cañavate, 2012 pág. 76)

2.6.3 *Aplicaciones.* Las fresadoras en una sola pasada airean el terreno, lo deshacen en partículas de diversos tamaños y lo mezclan de una forma intensa. Por su acción se consigue una descomposición más rápida del material orgánico, con el consiguiente riesgo de que se mineralice el suelo rápidamente. (Cañavate, 2012)

Se emplean fundamentalmente en las fincas hortícolas, como complemento de la labor de alzar con arado de vertedera o sustituyéndolo totalmente. Se utilizan, así mismo para enterrar praderas y destruir hierbas, ya que la mezcla de las materias vegetales con el terreno resulta así más efectiva. En terrenos con malas hierbas con rizomas no se aconseja su utilización, ya que facilitan su proliferación. También suele usarse en plantaciones frutales. (Cañavate, 2012 pág. 76)

2.6.4 *Regulaciones*

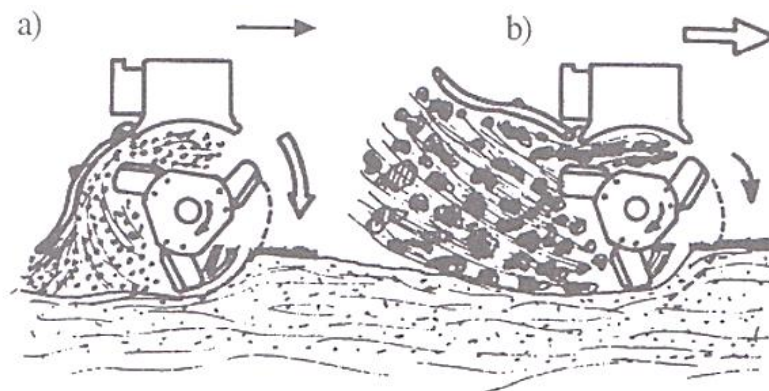
2.6.4.1 *Profundidad de trabajo.* Suele ser normalmente de 12 a 15 cm y se puede lograr una profundidad de hasta 25 cm con fresadoras pesadas. (Cañavate, 2012 pág. 77)

2.6.4.2 *Velocidad del eje.* Se logra modificando la relación de transmisión entre la toma de fuerza y el rotor de la máquina, en el caso del motocultor la transmisión es controlada con una palanca selectora de marcha. (Cañavate, 2012 pág. 77)

2.6.4.3 *Grado de pulverización del suelo.* Las tres variables que mayor influencia tienen en la disgregación del suelo son: la velocidad tangencial del rotor, la de avance de la máquina y el número de azadas por metro lineal del rotor. Para conseguir una pulverización fina es necesario que el rotor gire lo más rápido posible, el tractor avance lentamente y la tapa trasera de la fresadora se encuentre bajada, mientras que,

si interesa una labor más grosera, la velocidad del rotor ha de ser lenta, el tractor irá más de prisa y la tapa trasera debe ir levantada. (Cañavate, 2012 pág. 77)

Figura 18. Efecto de la posición de la tapa y relación de las velocidades de giro y avance en una fresadora.



Fuente: (Cañavate, 2012)

2.6.5 Características Técnicas. Las características técnicas más relevantes de las fresadoras pueden verse en la tabla 5.

Tabla 5. Características técnicas de las fresadoras

| | |
|-----------------------------------------|---------|
| Anchura de trabajo (m) | 1-3 |
| Peso (kg/m) | 140-200 |
| Numero de azadas por disco | 3-6 |
| Numero de azadas por metro (m^{-1}) | 20-24 |
| Velocidad del rotor (r/min) | 150-300 |
| Potencia en la tdf (kW/m) | 12-20 |
| Potencia del motor del tractor (kW/m) | 25-35 |
| Velocidad de trabajo (km/h) | 2-6 |

Fuente: (Cañavate, 2012; Desgaste abrasivo de cuchillas de arado rotativo en suelo franco arenoso, 2009)

2.7 Aspás de motocultor

Los arados rotativos (rotovator, grada rotativa y motoazada), son herramientas rotacionales que roturan, cortan y mezclan el perfil del suelo constan de un rotor provisto de cuchillas accionado por la toma de potencia del tractor. (Resistencia al desgaste de cuchillas de arados rotativos en operación en suelos tropicales, 2007)

Figura 19. Aspas para rotovator



Fuente: <http://www.laefpirenaica.com/repuestos-agricolas>

Las cuchillas del arado rotativo rotan junto con el eje, cortando el suelo verticalmente, removiéndolo, aireándolo y fragmentándolo en partículas de variados tamaños, y al mismo tiempo mezclándolas entre sí y con cualquier otro material presente en el suelo. Uno de los efectos negativos del paso de un rotador sobre el suelo, consiste en una rápida descomposición del material orgánico y del humus existente, hecho que mineraliza el suelo, dejándolo con poca cantidad de materia orgánica. (Alvarado Chaves, 2004)

Cuando el rotovator gira, sus cuchillas, además de ir realizando su trabajo, van generando una fuerza que ayuda al tractor a desplazarse, es decir, que es una fuerza de empuje hacia delante, lo cual se considera una ventaja si es que se está utilizando en terrenos fangosos, donde se tiene poca tracción, esa fuerza ayuda a empujarlo. (Alvarado Chaves, 2004)

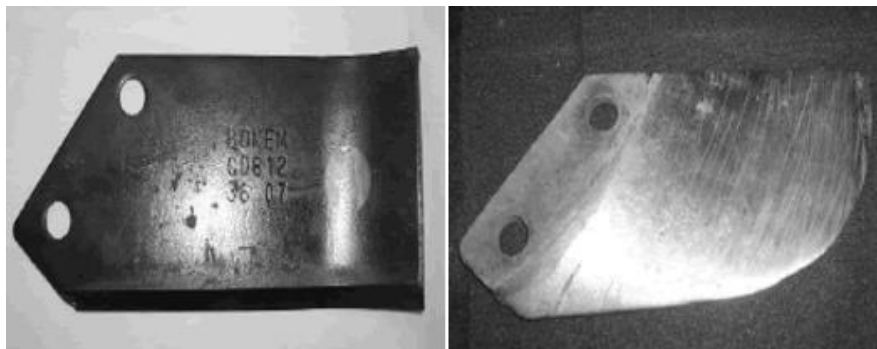
2.7.1 *Rotura y desgaste abrasivo.* Uno de los serios problemas en el uso de los arados rotativos es la rotura de las cuchillas cuando son utilizadas en terrenos de consistencia dura o cuando golpean contra una roca. Para evitar este problema se emplean varios sistemas que atenúan el impacto de las cuchillas y las protegen de las sobrecargas (por ejemplo, embragues). (Resistencia al desgaste de cuchillas de arados rotativos en operación en suelos tropicales, 2007)

El manejo de esta clase de implementos de labranza precisa el conocimiento técnico de los mismos; el uso y operación de los arados rotativos es muy complejo, por lo tanto, al definir su uso hay que realizar un minucioso estudio antes de trabajar en un suelo en

particular. (Resistencia al desgaste de cuchillas de arados rotativos en operación en suelos tropicales, 2007)

El desgaste abrasivo es una de las principales causas de falla y pérdida de desempeño de los arados rotativos, puesto que las cuchillas están en contacto permanente con partículas duras o abrasivas y al mismo tiempo son sometidas a niveles altos de esfuerzos, lo que ocasiona deformación plástica y desprendimiento de material. (Resistencia al desgaste de cuchillas de arados rotativos en operación en suelos tropicales, 2007)

Figura 20. *Desgaste abrasivo severo*



Fuente: (Resistencia al desgaste de cuchillas de arados rotativos en operación en suelos tropicales, 2007)

2.7.2 *Materiales.* El ciclo de vida de los implementos utilizados en la agricultura depende plenamente de las características de desgaste y abrasión del material debido a la interacción que hay entre su superficie y el suelo. Los requerimientos básicos de los implementos para la agricultura para un suelo normal son de alta dureza (38-45 HRC) y alta resistencia al desgaste por abrasión. (Characterization of wear and metallurgical properties for development of agricultural grade steel suitable in specific soil conditions, 2007)

Los aceros, que son la materia prima fundamental de las herramientas agrícolas, presentan diferente resistencia al desgaste en función de su microestructura y composición química. A manera de ejemplo, la martensita al compararla con la ferrita – perlita y ferrita – carburos presenta generalmente mayor resistencia a la abrasión, siempre y cuando las condiciones de operación no incluyan altos componentes de impacto. (Resistencia al desgaste de cuchillas de arados rotativos en operación en suelos tropicales, 2007).

2.8 Proceso de manufactura de elementos de labranza agrícola

2.8.1 Forja. La forja es un método primario de conformado de metales en formas útiles. En el proceso de forja, el metal es golpeado o comprimido hasta la forma deseada. Muchas operaciones de forja se llevan a cabo con el metal caliente, aunque en algunas ocasiones el metal puede forjarse en frío. Hay dos tipos principales de forja: con martillo y con prensa. En la forja con martillo, el martillo de la prensa golpea repetidamente contra la superficie del metal. En la forja con prensa, el metal está sujeto a una fuerza compresiva que cambia lentamente. (Smith, y otros, 2014 pág. 158)

Los procesos de forja también pueden clasificarse como forja en matriz abierta y forja en matriz cerrada. También se conocen como forja a dado abierto o dado cerrado. En la industria se llaman comúnmente forja abierta y forja cerrada. La forja en matriz abierta se lleva a cabo entre dos matrices planas o de forma simple, como cavidades semicirculares o en forma de v y que es particularmente útil para producir grandes piezas de acero para turbinas de vapor y generadores.

En la forja con matriz cerrada, el metal se coloca entre las dos partes de la matriz, una con la forma de la parte superior de la pieza que se desea obtener y la otra con la parte inferior, y puede llevarse a cabo utilizando una sola matriz o un conjunto de matrices. A modo de ejemplo, las bielas utilizadas en motores de automóvil se fabrican utilizando un conjunto de matrices cerradas. (Smith, y otros, 2014 pág. 158)

Figura 21. Forja mediante martillo



Fuente: <http://www.giannilavorazioneferro.it/sitemap.html>

En general el proceso de forja se utiliza para producir formas irregulares que requieren trabajo adicional para mejorar la estructura del metal al reducir la porosidad y refinar la estructura interna. Por ejemplo, una llave que ha sido forjada será más resistente y tendrá menos posibilidades de romperse que aquella que únicamente se funde y vacía en moldes. Algunas veces se utiliza la forja para romper la estructura de colada presente en metales muy aleados (ejemplo, algunos aceros de herramientas) de modo que el metal final sea más homogéneo y más resistente a fracturas durante el trabajo subsiguiente. (Smith, y otros, 2014 pág. 158)

2.8.2 *Fundición.* En su mayoría los metales se procesan primero fundiendo el metal en un horno que actúa como depósito del metal fundido. A este metal fundido pueden añadirse los elementos de aleación necesarios para producir las distintas aleaciones. El metal fundido puede ser introducido en un molde con la forma del producto final, y normalmente sólo se requiere un pequeño mecanizado o alguna operación de acabado para producir el producto final. Los productos hechos de este modo se denominan productos de fundición y las aleaciones usadas para producirlos, aleaciones para fundición. (Smith, y otros, 2014 pág. 153)

Figura 22. Fundición del metal



Fuente: <https://www.emaze.com/@AIZOLCCQ/fabricacion-de-piezas-mecanicas>

2.8.3 *Laminación en caliente y en frío.* La laminación en caliente y la laminación en frío son métodos que se usan comúnmente en la fabricación de metales y aleaciones. Mediante estos métodos se pueden producir chapas y placas de gran longitud y con secciones transversales uniformes. (Smith, y otros, 2014 pág. 155)

Figura 23. Laminación en caliente



Fuente: <http://www.uanl.mx/noticias/investigacion/laminado-en-caliente.html>

La laminación en caliente de lingotes o planchón primero se realiza en caliente, porque cuando el metal está caliente es posible una reducción del espesor a cada pasada por el laminador. Antes de la laminación los planchones se precalientan a altas temperaturas. La laminación continúa hasta obtener una lámina lo suficientemente delgada para enrollarla en forma de bobina. En operaciones a gran escala la laminación en caliente se lleva a cabo en un conjunto de laminadores de cuatro rodillos utilizados individualmente o en serie. (Smith, y otros, 2014 pág. 155)

Figura 24. Rodillos de laminación en frío



Fuente: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Cold-rolled-steel-coil-chapa-de-acero-laminado-en-fr%C3%ADo-CRC-CRS-300004566309.html>

Después de la laminación en caliente, a las bobinas de metal se les aplica un tratamiento térmico denominado recocido para reblandecer el metal y eliminar cualquier trabajo en frío introducido durante el proceso de laminación en caliente. La laminación en frío, que normalmente se lleva a cabo a temperatura ambiente, también se lleva a cabo en laminadores de cuatro rodillos utilizados solo en serie. (Smith, y otros, 2014 pág. 156)

2.9 El suelo.

2.9.1 *Formación del suelo.* Los procesos biológicos combinados con los procesos físicos y químicos en cada lugar y región climática forman el suelo. Una vez formados, los suelos cambian y se desarrollan debido a éstos y otros procesos biológicos, físicos y químicos. Con variaciones en la pendiente, climas y tipos de cubierta vegetal, muchos suelos diferentes pueden formarse en yuxtaposición cerca de cualquier otro, aunque el material parental puede ser bastante similar. (Gliessman, 2002 pág. 101)

2.9.2 *Principales tipos de suelos.* Entre los principales tipos de suelo tenemos:

Arenoso: donde la arena representa más del 70 por ciento de la fracción sólida del suelo. En este grupo se reconoce las texturas arenosas y arenosas-francosa. (Casanova Olivo, 2005 pág. 80)

Arcillosos: suelos de este grupo poseen mínimo 35 por ciento de arcilla y en la mayoría de los casos más de 40 por ciento. Las texturas arcilloso-arenosos, arcilloso-limoso y arcilloso, son típicas de este grupo de suelos. (Casanova Olivo, 2005 pág. 80)

Francos: un suelo franco ideal podría ser definido como una mezcla de arena, limo y arcilla; pero las propiedades que estas fracciones ofrecen al suelo son aproximadamente iguales. En este grupo hay 6 clases texturales, y la mayoría de los suelos de importancia agrícola normalmente pertenece a este grupo de textural. (Casanova Olivo, 2005 pág. 80)

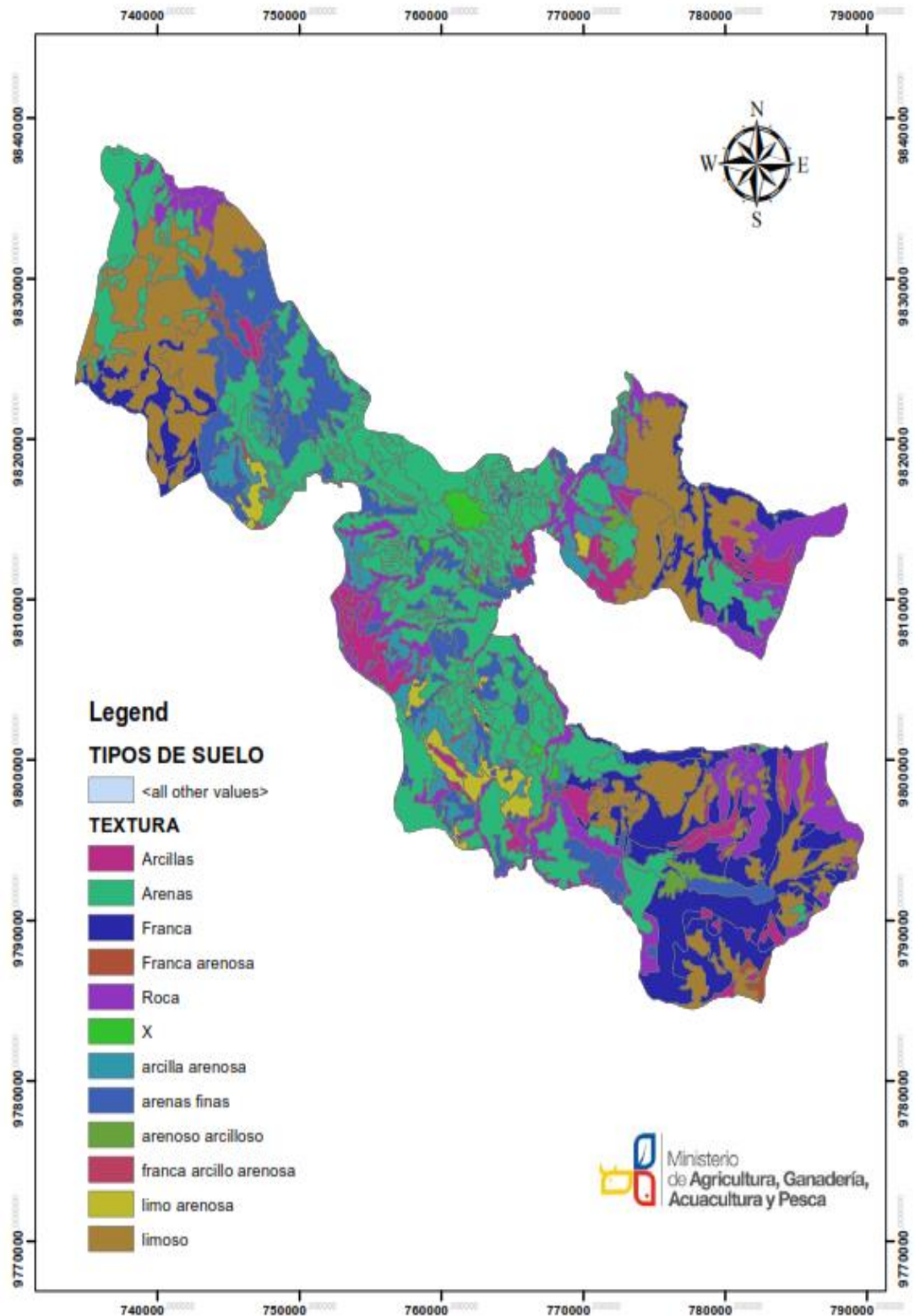
Figura 25. Tipos de suelo



Fuente: <http://www.laefpirenaica.com/repuestos-agricolas>

2.9.3 Mapa de texturas de suelo del cantón Riobamba

Figura 26. Texturas de suelo



Fuente: MAGAP

2.10 Energía consumida al labrar.

La energía consumida al labrar depende fundamentalmente de la resistencia específica del terreno μ que es igual a la fuerza necesaria para tirar del arado F dividida por la sección de la labor S .

$$F = \mu \cdot s \quad (1)$$

En un arado de vertedera la sección de trabajo es:

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

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

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

| | | |
|------------------|-----------------------------|-----|
| Arcillo-limonoso | $\mu = 7 + 0,049 \cdot v^2$ | (3) |
|------------------|-----------------------------|-----|

| | | |
|------------------|-----------------------------|-----|
| Franco-arcilloso | $\mu = 6 + 0,049 \cdot v^2$ | (4) |
|------------------|-----------------------------|-----|

| | | |
|-------------------------|-------------------------------|-----|
| Franco-arcillo-limonoso | $\mu = 4,8 + 0,024 \cdot v^2$ | (5) |
|-------------------------|-------------------------------|-----|

| | | |
|--------|-----------------------------|-----|
| Franco | $\mu = 3 + 0,020 \cdot v^2$ | (6) |
|--------|-----------------------------|-----|

| | | |
|--------------|-----------------------------|-----|
| Limo-arenoso | $\mu = 3 + 0,032 \cdot v^2$ | (7) |
|--------------|-----------------------------|-----|

| | | |
|----------------|-------------------------------|-----|
| Franco-arenoso | $\mu = 2,8 + 0,013 \cdot v^2$ | (8) |
|----------------|-------------------------------|-----|

| | | |
|---------|-----------------------------|-----|
| Arenoso | $\mu = 2 + 0,013 \cdot v^2$ | (9) |
|---------|-----------------------------|-----|

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

Esta fórmula ($\mu = \mu_0 + \lambda \cdot v^2$) se debe al físico ruso Gorjatschki, en la que μ_0 es la resistencia específica del terreno estática y λ es un parámetro dependiendo ambos del tipo de suelo y para μ en N/cm^2 , la velocidad v viene expresada en km/h . (Cañavate, 2012 pág. 53)

2.11 Cálculo de rendimiento.

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

Datos del motocultor:

$$a = 0.64m$$

$$v = 1.6 \text{ km/h}$$

$$\eta_e = 0.80$$

$$St = \frac{a \cdot v}{10} \quad (10)$$

$$St = \frac{0.64m \cdot 1.6 \text{ km/h}}{10}$$

$$St = 0.1024 \text{ ha/h}$$

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

$$\eta_e = \frac{Se}{St} \quad (11)$$

Consecuentemente:

$$Se = \frac{a * v}{10} * \eta e$$

La inversa de esta variable es el tiempo efectivo de operación.

$$Se = ?$$

$$\eta e = \frac{Se}{St} \tag{12}$$

$$Se = \eta e * St$$

$$Se = 0.80 * 0.1024 \frac{ha}{h}$$

$$Se = 0.081 \frac{ha}{h}$$

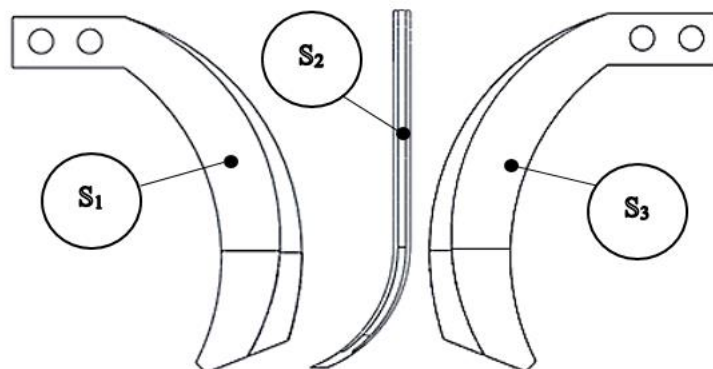
2.11.3 Tiempo efectivo (te)

$$te = \frac{1}{se} \tag{13}$$

$$te = 12.34 \frac{h}{ha}$$

2.11.4 Calculo del área de contacto del aspa

Figura 27. Áreas del aspa.



Fuente: Autores

$$S = L * A \tag{14}$$

$$S_1 = L * A_1$$

$$S_1 = S_3 = 19cm * 4cm$$

$$S_1 = 76 cm^2$$

$$S_2 = L * A_2$$

$$S_2 = 19\text{cm} * 0,3 \text{ cm}$$

$$S_2 = 5,7 \text{ cm}^2$$

$$S_t = 76 \text{ cm}^2 + 76 \text{ cm}^2 + 5,7 \text{ cm}^2 = 157,7 \text{ cm}^2$$

2.12 Cálculos de resistencia del suelo

Se requiere determinar la resistencia específica de los tres principales tipos de suelos existentes en la provincia de Chimborazo y para las tres primeras velocidades del motocultor YTO DF 15L.

Datos:

$$v = 1.6 \text{ km/h} \text{ (Primera velocidad del motocultor)}$$

$$F = 221 \text{ kgf}$$

a) Resistencia específica para un suelo arenoso.

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

$$\mu = \frac{2168,01}{18 * 157,7} = 0,76(N/cm^2)$$

Para un suelo arenoso:

$$\mu = \mu_0 + \lambda * v^2 = 0,76(N/cm^2)$$

$$\mu_0 = 0,76(N/cm^2) - 0,013 * (1,6)^2 = 0,73(N/cm^2)$$

$$\mu = 0,73(N/cm^2) + 0,013 * v^2$$

Fuerza de tracción para una $v = 1.6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

$$F = u * S$$

$$F = (0,73(N/cm^2) + 0,013 * v^2) * S$$

$$F = (0,73(N/cm^2) + 0,013 * (1,6)^2) * (18 * 157,7)cm^2$$

$$F = 2166,64 \text{ N}$$

Potencia requerida:

$$N = F * v$$

$$N = 2166,64 \text{ N} * \frac{1,6}{3,6} = 962,95 \text{ w}$$

b) Suelo franco.

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

$$\mu = \frac{2168,01}{18*157,7} = 0,76(\text{N}/\text{cm}^2)$$

Para un suelo franco:

$$\mu = \mu_0 + \lambda * v^2 = 0,76(\text{N}/\text{cm}^2)$$

$$\mu_0 = 0,76(\text{N}/\text{cm}^2) - 0,020 * (1,6)^2 = 0,71(\text{N}/\text{cm}^2)$$

$$\mu = 0,71(\text{N}/\text{cm}^2) + 0,013 * v^2$$

Fuerza de tracción para una $v = 1,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

$$F = u * S$$

$$F = (0,71(\text{N}/\text{cm}^2) + 0,020 * v^2) * S$$

$$F = (0,71(\text{N}/\text{cm}^2) + 0,020 * (1,6)^2) * (18 * 19 * 0,6)$$

$$F = 2160,74 \text{ N}$$

Potencia requerida:

$$N = F * v$$

$$N = 156,62 \text{ N} * \frac{1,6}{3,6} = 960,32 \text{ w}$$

c) Suelo franco arenoso.

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

$$\mu = \frac{2168,01}{18 \cdot 157,7} = 0,76(N/cm^2)$$

Para un suelo franco arenoso:

$$\mu = \mu_0 + \lambda * v^2 = 0,76(N/cm^2)$$

$$\mu_0 = 0,76(N/cm^2) - 0,013 * (1,6)^2 = 0,73(N/cm^2)$$

$$\mu = 0,73(N/cm^2) + 0,013 * v^2$$

Fuerza de tracción para una $v = 1,6 \frac{km}{h}$.

$$F = u * S$$

$$F = (0,73(N/cm^2) + 0,013 * v^2) * S$$

$$F = (0,73(N/cm^2) + 0,013 * (1,6)^2) * (18 * 157,7)cm^2$$

$$F = 2166,64 N$$

Potencia requerida:

$$N = F * v$$

$$N = 2166,64 N * \frac{1,6}{3,6} = 962,95 w$$

Longitud de corte:

$$l_c = \frac{60 \cdot v}{m \cdot z} \tag{15}$$

Donde v es la velocidad de avance, m es la velocidad de giro del rotovator en r/min y z el número de cuchillas en cada lado del disco. (Cañavate, 2012 pág. 78)

$$l_c = \frac{60(1,6)}{211(3)(3,6)}$$

$$l_c = 0,042 m$$

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO DE LOS FACTORES DE LA BAJA FIABILIDAD DE LAS CUCHILLAS DE LABRANZA

Este estudio tendrá como base los ensayos y resultados obtenidos en el trabajo de titulación previo “ESTUDIO DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA BAJA FIABILIDAD DEL ELEMENTO DE LABRANZA DE UN MOTOCULTOR YTO DF 15L”, realizado por los estudiantes Aulla Caiza Alex Darío y Morejón Uchubanda Henry Geomat, en el cual se analizaron las propiedades mecánicas y constructivas de las cuchillas de acero tradicional utilizadas en el rotovator del motocultor YTO DF 15L.

3.1 Resultados obtenidos en pruebas de laboratorio

3.1.1 Ensayo metalográfico. En la figura 28 se pueden diferenciar varias características de la probeta del material de la cuchilla de rotovator. Se observa 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.

A simple vista no se observan grietas entre los granos del material, por lo que se llega a la conclusión de que el material cuenta con una microestructura estable. No se ha realizado ningún tratamiento térmico en el material base de las cuchillas del rotovator.

Figura 28. Ensayo metalográfico




Imagen a 100x

Fuente: (Aulla Caiza, y otros, 2016)

3.1.2 *Espectrometría.* Luego de realizar un análisis de los porcentajes mostrados en la figura 29, se concluye que para la fabricación de esta cuchilla se utilizó un acero al carbono AISI 1030.

Figura 29. 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: (Aulla Caiza, y otros, 2016)

Se observa que el material de las cuchillas de rotovator es de acero al carbono de resistencia media, este material se lo puede encontrar en el mercado en forma de palanquillas, perfiles, barras, rollos laminados o productos estirados.

3.1.3 *Prueba de osciloscopio.* Este método basado en la medición del sonido en el medio que constituye la pieza a analizar, estos ensayos por ultrasonido permitieron espesores reales en servicio, así como películas protectoras o pinturas, así como la localización de defectos internos. Al comprobar si existían picos significativos que indiquen alguna porosidad o fisura no se pudieron encontrar, por lo tanto, se llegó a la conclusión de que éstos defectos no existen en la probeta.

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

3.1.5 *Ensayo de dureza.* La prueba de dureza dio como resultado 28 HRC en las primeras cuchillas.

Tabla 6. Propiedades del acero al carbono 1030

| Acero al carbono 1030 | |
|---------------------------------|---------|
| Resistencia de Fluencia | 260 MPa |
| Resistencia última a la tensión | 525 MPa |
| Resistencia a la tensión | 440 MPa |
| Módulo de Elasticidad | 206 GPa |

Fuente: (Aulla Caiza, y otros, 2016)

3.2 Resultados obtenidos en pruebas de campo

3.2.1 Viabilidad de las cuchillas. El resultado de las pruebas realizadas entre cuatro tipos diferentes de cuchillas en grupos de tres por cada tipo se muestra en la tabla 7 de la cual se puede analizar la viabilidad que tiene cada una luego de realizada la prueba de campo.

Tabla 7. Viabilidad de las cuchillas

| Denominación | Descripción | Recomendable | | Estado del grupo de cuchillas |
|--------------|--------------------------------------|--------------|----|--------------------------------------------------------------------------|
| | | SI | No | |
| A | Sin rayas Templada + Añadir material | | X | 1 fracturada 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 Nitruada | | X | 2 fracturadas 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: (Aulla Caiza, y otros, 2016)

CAPITULO IV

4. SELECCIÓN DE MATERIAL Y ANÁLISIS CAD CAE DEL ASPA

4.1 Selección del material

El ciclo de vida de los implementos de agricultura depende de las características de desgaste y abrasión del material debido a problemas que se asocian a la interacción de la superficie y el suelo. Para un suelo normal se requiere una alta dureza, de 38 HRC a 45 HRC y alta resistencia a la abrasión. (Characterization of wear and metallurgical properties for development of agricultural grade steel suitable in specific soil conditions, 2007)

Los aceros con contenido de boro y cromo, individualmente o en combinación optimizan la química del material de manera que se vuelve más resistente a la abrasión y por lo tanto más apropiado para los trabajos de agricultura. (Characterization of wear and metallurgical properties for development of agricultural grade steel suitable in specific soil conditions, 2007)

Tabla 8. Comparación de las propiedades para selección del material

| Características del material recomendadas por el artículo | AISI A517 | Material tradicional AISI 1030 |
|-----------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 0,43 % cromo | 1 % | No aplica |
| 38 – 45 HRC | 39 - 47 HRC | 130 – 155 HB |

Fuente: Autores

La selección del material se realizó con base en los datos característicos extraídos del artículo científico “Characterization of wear and metallurgical properties for development of agricultural grade steel suitable in specific soil conditions”, analizando los materiales que se encuentran actualmente en el mercado nacional se obtuvo resultado el acero de designación AISI A517, conocido comercialmente como T-CHRONIT o FORA.

En cuanto a las características del acero AISI A517 se observa principalmente una dureza de entre 360 y 440 HB, datos obtenidos del catálogo del fabricante.

Tabla 9. Características del acero AISI A517

| | Mínimo | Máximo | Unidad |
|---------------------------|--------|--------|-------------------|
| Dureza | 360 | 440 | HB |
| Densidad | 7850 | 7850 | kg/m ³ |
| Elongación | 18 | 18 | % |
| Resistencia al impacto | 0.25 | 0.3 | J/cm |
| Resistencia a la tracción | 790 | 790 | MPa |
| Límite de elasticidad | 690 | 690 | MPa |
| Módulo de Young | 205000 | 205000 | MPa |

Fuente: Catalogo de aceros Fora

Para asegurar el cumplimiento de la característica de dureza se realizó el respectivo ensayo de laboratorio.

Figura 30. Ensayo de dureza



Fuente: Autores

Como resultado de las tres medidas de dureza tomadas tenemos como resultado un promedio de 43 HRC equivalentes a 400 HB, la cual se encuentra dentro del rango de dureza especificado por el fabricante para este acero.

Tabla 10. Ensayo de dureza AISI A517

| Medidas | Dureza de Rockwell | Dureza de Brinell |
|----------|--------------------|-------------------|
| 1 | 41 HRC | 379 HB |
| 2 | 45 HRC | 423 HB |
| 3 | 43 HRC | 400 HB |
| Promedio | 43 HRC | 400 HB |

Fuente: Autores

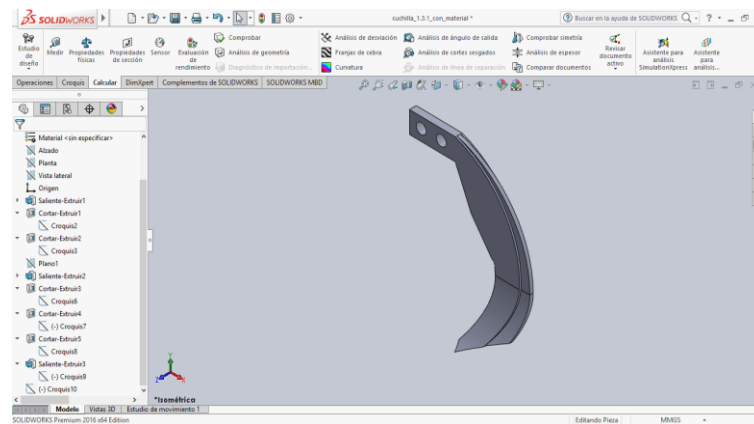
Finalmente, con la prueba de laboratorio se asegura que el material si cumple con las características buscadas para la fabricación de las cuchillas.

4.2 Diseño de la geometría

El diseño de la geometría que será analizada tendrá como base el del fabricante, debido a que se acopla perfectamente al rotovator que utiliza el motocultor, pero realizando las respectivas modificaciones basados en el análisis de fiabilidad realizado en el capítulo anterior, de esta manera se logra una mejora en el diseño, además de cubrir el problema de desgaste acelerado, para así lograr un aumento considerable en la fiabilidad de la cuchilla.

Se realizaron diferentes mediciones del aspa original para obtener un diseño lo más real posible, además de considerar el análisis de fiabilidad para mejorar el diseño tradicional. La figura 31 muestra el diseño final obtenido.

Figura 31. Geometría en SOLIDWORKS



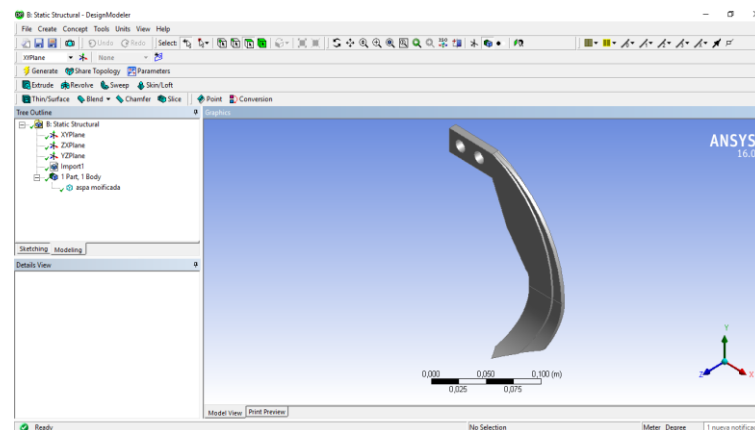
Fuente: Autores

4.3 Análisis del aspa mediante elementos finitos

Para el análisis del aspa se utilizará el programa ANSYS 16, el cual al ingresar las propiedades del material a utilizar permite realizar estudios de deformación y fatiga cuyo resultado final será interpretado para verificar si el diseño y el material utilizados cumplirán con los parámetros de mejora necesario para continuar con la posterior construcción del aspa.

El diseño en el programa SOLIDWORKS se importa desde ANSYS 16, solo se debe tomar en cuenta el formato de procedencia, el cual es “step”, lo cual permite al programa reconocer todos los detalles del modelo.

Figura 32. Importar la geometría



Fuente: Autores

4.3.1 Creación del material en la librería ANSYS. El material seleccionado para el análisis será el acero AISI A517, el cual no se encuentra en la librería. Los datos a ingresar se encuentran en la tabla 10 y son indispensables para el estudio.

En la figura 33 se observan los datos ingresados en ANSYS para crear el nuevo material con el cual trabajará para realizar el análisis del aspa.

Figura 33. Datos ingresados del material en la librería de ANSYS.

| Outline of Schematic A2: Engineering Data | | | | |
|-------------------------------------------|----------------------------------|----------------|--------------------|-----|
| Properties of Outline Row 3: A517 | | | | |
| | A | B | C | D E |
| 1 | Property | Value | Unit | |
| 2 | Density | 7850 | kg m ⁻³ | |
| 3 | Isotropic Elasticity | | | |
| 4 | Derive from | Young's Mod... | | |
| 5 | Young's Modulus | 2,05E+11 | Pa | |
| 6 | Poisson's Ratio | 0,29 | | |
| 7 | Bulk Modulus | 1,627E+11 | Pa | |
| 8 | Shear Modulus | 7,9457E+10 | Pa | |
| 9 | Field Variables | | | |
| 10 | Temperature | Yes | | |
| 11 | Shear Angle | No | | |
| 12 | Degradation Factor | No | | |
| 13 | Alternating Stress-Mean Stress | Tabular | | |
| 14 | Interpolation | Log-Log | | |
| 15 | Scale | 1 | | |
| 16 | Offset | 0 | MPa | |
| 17 | Strain-Life Parameters | | | |
| 18 | Display Curve Type | Strain-Life | | |
| 19 | Strength Coefficient | 820 | MPa | |
| 20 | Strength Exponent | -0,095 | | |
| 21 | Ductility Coefficient | 0,83 | | |
| 22 | Ductility Exponent | -0,65 | | |
| 23 | Cyclic Strength Coefficient | 1720 | MPa | |
| 24 | Cyclic Strain Hardening Exponent | 0,146 | | |
| 25 | Tensile Yield Strength | 1320 | MPa | |
| 26 | Compressive Yield Strength | 310 | MPa | |
| 27 | Tensile Ultimate Strength | 1430 | MPa | |

Fuente: Autores

Para el cálculo de fatiga del aspa son necesarios los datos de esfuerzos alternantes por ciclo de trabajo, los cuales se encuentran descritos en la tabla 11.

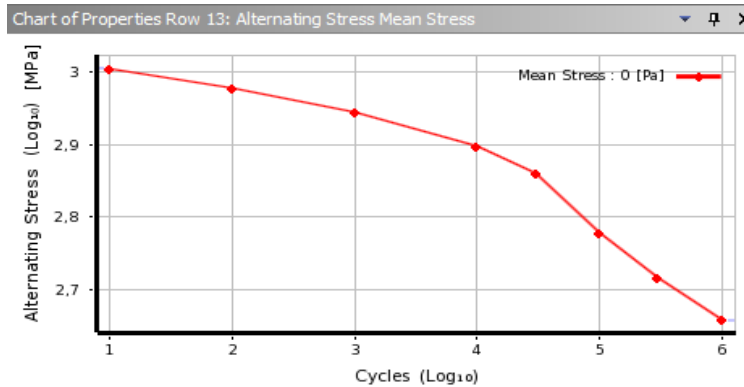
Tabla 11. Esfuerzos alternantes y número de ciclos de trabajo

| Ciclos de trabajo | Esfuerzos alternantes |
|-------------------|-----------------------|
| 10 | 1010 |
| 100 | 950 |
| 1000 | 880 |
| 10000 | 790 |
| 30000 | 725 |
| 100000 | 600 |
| 300000 | 520 |
| 1000000 | 455 |

Fuente: Guía de láminas antidesgaste Fora

Al ingresar los datos anteriores en ANSYS 16 se tiene como resulta una gráfica que es indispensable para que el programa pueda mostrar un resultado del estudio de fatiga del aspa.

Figura 34. Grafica de esfuerzos alternantes vs ciclos de trabajo



Fuente: Autores

4.3.2 Mallado. Se ha seleccionado un mallado de 0,2 mm que dará resultados aceptables tanto en velocidad de cálculo de las matrices internas que resuelve el programa y la calidad del resultado.

En la figura 35 se pueden observar todas propiedades del mallado ingresadas en el programa ANSYS 16.

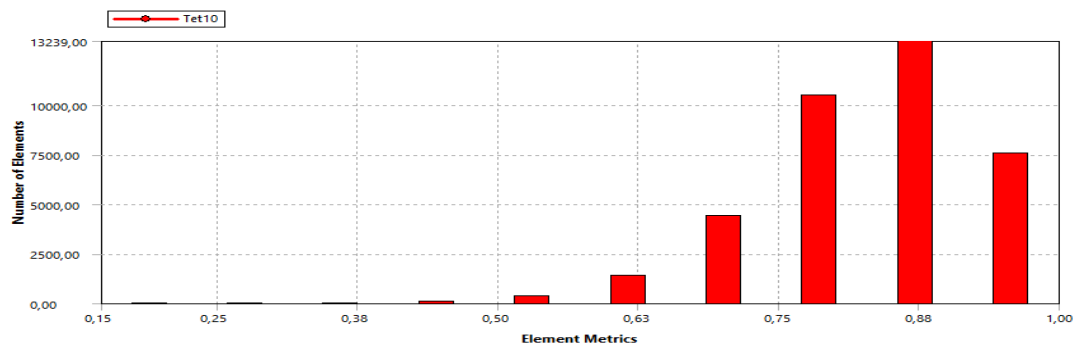
Figura 35. Parámetros del mallado

| Details of "Mesh" | |
|----------------------------------------------------|----------------------|
| Initial Size Seed | Active Assembly |
| Smoothing | Medium |
| Transition | Fast |
| Span Angle Center | Coarse |
| <input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle | Default (70,3950 °) |
| <input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap | Default (3) |
| Proximity Size Function Sources | Faces and Edges |
| <input type="checkbox"/> Min Size | 2,0 mm |
| <input type="checkbox"/> Proximity Min Size | 2,0 mm |
| <input type="checkbox"/> Max Face Size | 5,0 mm |
| <input type="checkbox"/> Max Size | Default (22,9910 mm) |
| <input type="checkbox"/> Growth Rate | 1,50 |
| Minimum Edge Length | 3,5473e-002 mm |
| <input type="checkbox"/> Inflation | |
| <input type="checkbox"/> Patch Conforming Options | |
| <input type="checkbox"/> Patch Independent Options | |
| <input type="checkbox"/> Advanced | |
| <input type="checkbox"/> Defeaturing | |
| <input type="checkbox"/> Statistics | |
| <input type="checkbox"/> Nodes | 59407 |
| <input type="checkbox"/> Elements | 37512 |
| Mesh Metric | Element Quality |
| <input type="checkbox"/> Min | 0,14697 |
| <input type="checkbox"/> Max | 0,99999 |
| <input type="checkbox"/> Average | 0,83221 |
| <input type="checkbox"/> Standard Deviation | 9,4148e-002 |

Fuente: Autores

La figura 36 indica que la calidad de malla, resultado de colocar la configuración anterior, la cual se muestra dentro de los rangos aceptables para el análisis.

Figura 36. Calidad de malla

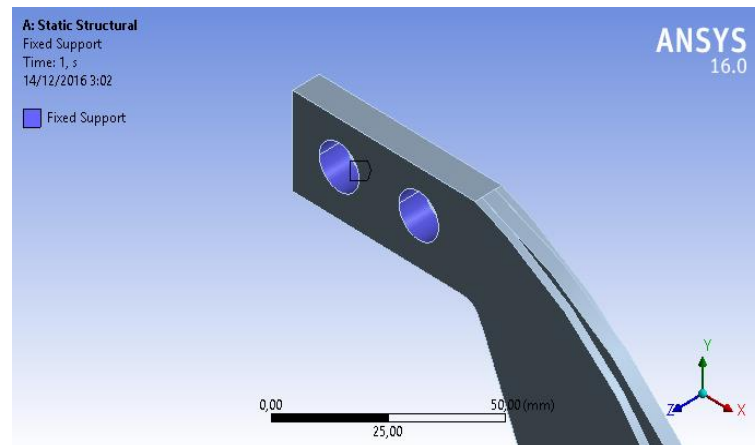


Fuente: Autores

4.3.3 Restricciones físicas del problema. La cuchilla o aspa se encuentra sujeta al rotovator de forma fija mediante dos pernos, esto quiere decir que el aspa y el rotovator girarán como un solo cuerpo, pero será solo el aspa la entrará en contacto directo con el suelo.

Esta unión por medio de pernos entre el rotovator y la cuchilla se debe simular en el programa colocando un soporte fijo en los orificios de la cuchilla.

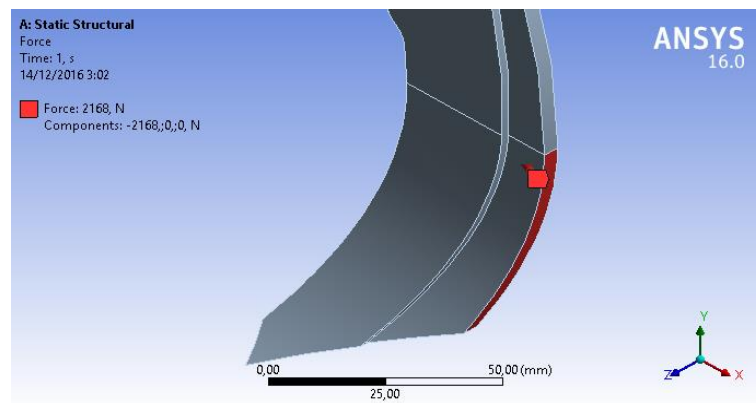
Figura 37. Soportes fijos



Fuente: Autores

4.3.4 *Fuerzas aplicadas sobre la cuchilla.* El giro angular de la cuchilla producirá un primer contacto contra el suelo, este contacto produce una fuerza contraria al sentido de giro de la cuchilla. Se colocó una fuerza principal en el contorno de la cuchilla, que es el punto más sobresaliente de la forma curva de la cuchilla y por lo tanto el punto primario de contacto con el suelo.

Figura 38. Aplicación de fuerza



Fuente: Autores

4.4 Análisis de estudios relevantes en la cuchilla

La cuchilla es una herramienta que trabaja en contacto con el suelo de forma cíclica, la manera en que realiza este contacto producirá en la misma un tipo de deformación que dependiendo del tipo de suelo y la fuerza proporcionada por el motocultor deberá ser soportada por la cuchilla, por lo tanto, se deberá analizar si ésta deformación será lo suficientemente grande como para llegar a fracturar la cuchilla.

Se sabe también que la geometría del elemento influye notablemente en el efecto que la deformación causará en la cuchilla, ya que, dependiendo de ésta, se producirán las diferentes concentraciones de esfuerzos que son las partes más susceptibles a la fractura por deformación. Así mismo el contacto de la cuchilla con el suelo producirá un esfuerzo alternante que podría ocasionar que el material se debilite con el paso del tiempo.

En conjunto, el material y el diseño del elemento que se va a analizar se traducen en la fiabilidad del mismo, lo cual proporciona seguridad de que el elemento cumplirá con el o los propósitos para el que está construido.

Para comprobar todos estos factores descritos anteriormente será necesario realizar los análisis que se describen a continuación mediante métodos de elementos finitos utilizando el programa ANSYS 16.

4.4.1 *Análisis de deformación.* El cual proporcionará información de la magnitud de la deformación producida por las fuerzas y soportes fijos que actúan en la cuchilla.

Dentro del programa se debe tener en cuenta principalmente la previa selección del material que utilizaremos, en este caso el acero AISI A 517 que no existía en la biblioteca del programa pero que anteriormente fue agregado al mismo.

Figura 39. Detalles del estudio de deformación en ANSYS

| Details of "Total Deformation" ⌵ | |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------|
| [-] Scope | |
| Scoping Method | Geometry Selection |
| Geometry | All Bodies |
| [-] Definition | |
| Type | Total Deformation |
| By | Time |
| <input type="checkbox"/> Display Time | Last |
| Calculate Time History | Yes |
| Identifier | |
| Suppressed | No |
| [-] Results | |
| <input type="checkbox"/> Minimum | 0, mm |
| <input type="checkbox"/> Maximum | 1,2303 mm |
| [+] Information | |

Fuente: Autores

4.4.2 *Esfuerzo de Von Mises.* Muestra la tensión máxima que soportará la cuchilla antes de que el material empiece a ceder debido a la fuerza aplicada.

Figura 40. Detalles del estudio de esfuerzos en ANSYS

| Details of "Equivalent Stress" ⌵ | |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Scope | |
| Scoping Method | Geometry Selection |
| Geometry | All Bodies |
| Definition | |
| Type | Equivalent (von-Mi... |
| By | Time |
| <input type="checkbox"/> Display Time | Last |
| Calculate Time History | Yes |
| Identifier | |
| Suppressed | No |
| Integration Point Results | |
| Display Option | Averaged |
| Average Across Bodies | No |
| Results | |
| <input type="checkbox"/> Minimum | 4,166e-005 MPa |
| <input type="checkbox"/> Maximum | 659,95 MPa |
| Information | |

Fuente: Autores

4.4.3 *Análisis de fatiga.* Analiza la posibilidad de un fallo debido a las cargas repetitivas sobre la cuchilla. Se preseleccionó el método de Goodman como referencia para realizar el posterior análisis de los resultados.

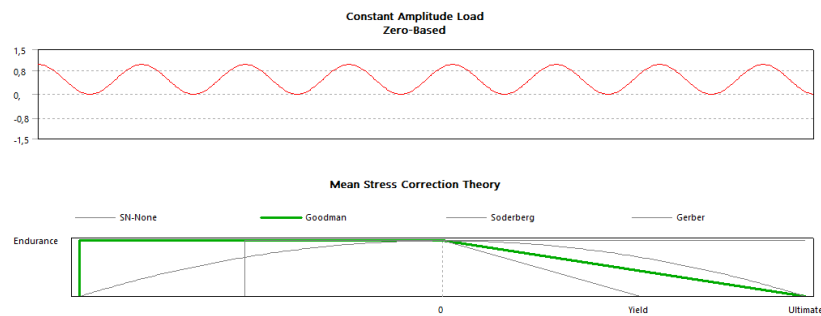
Figura 41. Detalles del estudio de fatiga en ANSYS

| Details of "Life" ⌵ | |
|--------------------------------------------------------|--------------------|
| Scope | |
| Scoping Method | Geometry Selection |
| Geometry | All Bodies |
| Definition | |
| Type | Life |
| Identifier | |
| Suppressed | No |
| Integration Point Results | |
| Average Across Bodies | No |
| Results | |
| <input type="checkbox"/> Minimum | 6,3548e+005 cycles |

Fuente: Autores

Para este tipo de fatiga se utilizó Zero-based debido a que la carga a la que está sometida la cuchilla es una carga fluctuante ya que varía la carga desde un máximo hasta un mínimo que es cero como se indica en la figura 42.

Figura 42. Grafica de fluctuación de la carga Zero-Based en ANSYS



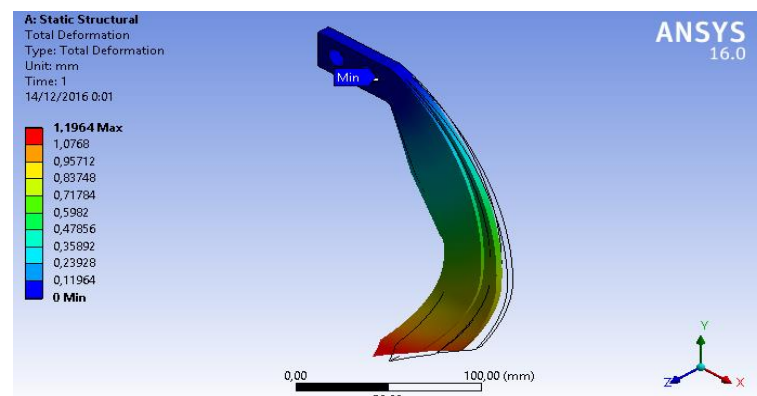
Fuente: Autores

4.5 Análisis de resultados

Los resultados del análisis por medio de métodos de elementos finitos realizado por el programa ANSYS 16 se muestran mediante una escala gráfica acompañada de un valor numérico. Entonces se tiene que las partes de color azul representan por ejemplo una menor deformación o cantidad de esfuerzo en el elemento, mientras que el color rojo indica las zonas de mayor deformación o esfuerzo máximo.

4.5.1 Deformación de la cuchilla. A partir del soporte fijo colocado en los orificios y la fuerza sobre el contorno de la cuchilla se producirá una deformación. El resultado del estudio de deformación total de la cuchilla mostrada en la figura 43 dio como resultado 1,1964 mm la cual se encuentra ubicado en la parte de color rojo, también en la parte descrita como “Min” se tiene que la deformación es 0 mm, este resultado es la deformación esperada debido a que la deformación máxima ésta se encuentra localizada en el extremo más alejado del empotramiento.

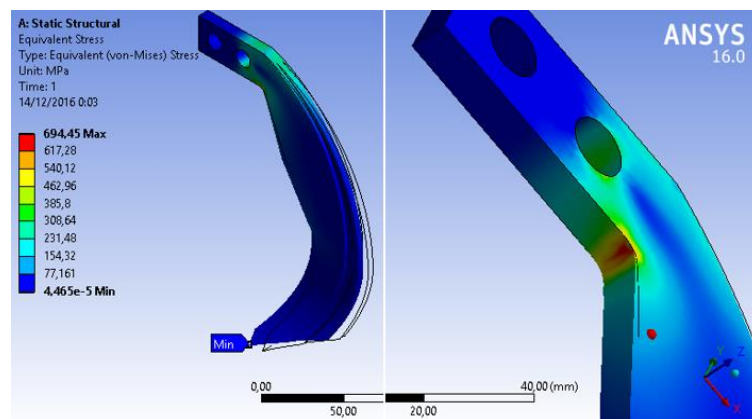
Figura 43. Resultado del estudio de deformación en ANSYS



Fuente: Autores

4.5.2 Tensión de Von Mises. La cuchilla unida al rotovator se toma como un elemento estático referente al rotovator, por lo tanto, es necesario conocer si se podría producir un fallo elástico. Como resultado del estudio se tiene una energía de distorsión elástica máxima de 694,45 MPa localizada en la zona de color rojo y una mínima de $4,465 \times 10^{-5}$ MPa. Analizando la ubicación del esfuerzo máximo se observa que se encuentra localizado en una arista que une dos caras de la cuchilla y que no existe ningún tipo de redondeo, estos factores provocan que se concentren los esfuerzos por lo tanto esto podría provocar un fallo elástico o la ruptura de la cuchilla.

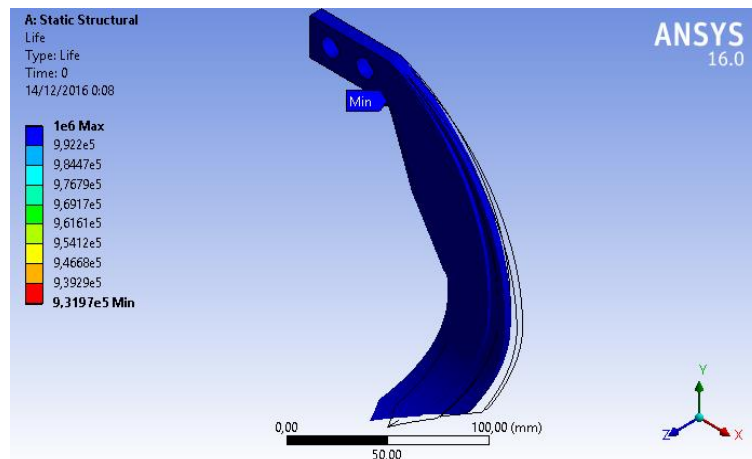
Figura 44. Resultado del estudio de la tensión de Von Mises en ANSYS



Fuente: Autores

4.5.3 Estudio de fatiga. La fuerza producida por el contacto de la cuchilla con el suelo no es constante, por lo tanto, esta fuerza producirá una deformación y al dejar de aplicar esta fuerza la cuchilla regresará a su estado inicial.

Figura 45. Resultado del estudio de fatiga en ANSYS

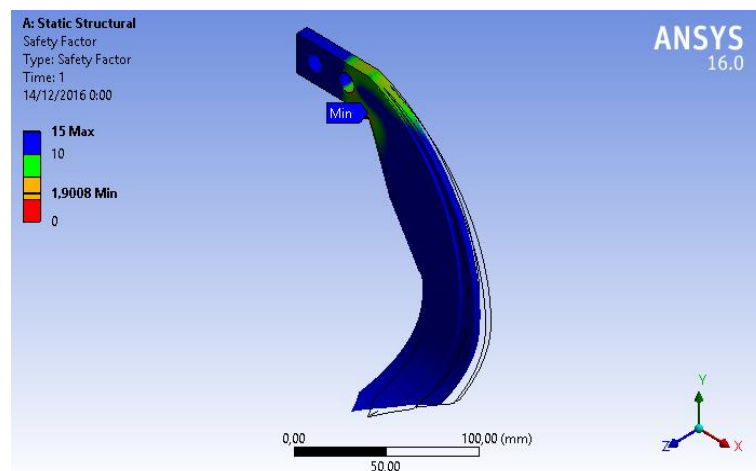


Fuente: Autores

Este ciclo que se repite constantemente puede provocar un fallo por causa de la fatiga como por ejemplo grietas y consecuentemente la fractura del elemento de labranza. En este caso según el estudio de fatiga se obtuvo como resultado un mínimo de $9,3197 \times 10^5$ ciclos de trabajo, lo cual garantiza una prolongada vida útil de la cuchilla antes de que pueda sufrir algún daño debido a la fatiga del material.

También se obtuvo como resultado el factor de seguridad mínimo de 1,9008, el cual brinda una seguridad para realizar trabajos de labranza con cuchillas de este material.

Figura 46. Factor de seguridad ANSYS



Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. CONSTRUCCIÓN DE ASPAS Y PRUEBAS DE CAMPO

5.1 Construcción de las cuchillas

El proceso de construcción seleccionado fue el de forja sin ningún tratamiento superficial, el cual se realizó de manera artesanal, en conocimiento de que la forja permite dar forma al material sin perder las propiedades del mismo y según la investigación previa realizada sería más resistente que el material fundido y puesto en un molde.

5.1.1 *Materiales.* Para este análisis se realizó la construcción de 12 cuchillas, 6 de material AISI A517 y 6 de acero AISI 1040.

Se procedió a adquirir el material AISI A517 que se encuentra en el mercado en forma de plancha con un espesor de 1cm, el cual luego se procede a cortar en platinas de 0,05 m x 1m. El AISI 1040 se pudo adquirir en forma de platina de 2" x 3/8".

5.1.2 *Construcción.* El procedimiento de construcción se realizó de manera artesanal y está dividido en varias etapas hasta llegar al resultado final que es la obtención de la cuchilla lista para su montaje.

Una vez se tiene los elementos individuales que serán las cuchillas se procede a un calentamiento del material, el cual no será mayor a 300°C, como lo especifica el catalogo del fabricante.

Figura 47. Calentamiento del material



Fuente: Autores

Debido a que no se alcanzan altas temperaturas para la forja, el material no sufrirá ningún cambio en su estructura, ya que la austenización de un material se alcanza la temperatura aproximada de entre 912°C y 1394. (Serope, y otros, 2002)

Una vez calentado el material se le da forma en este caso una curvatura que será la parte donde irán ubicados los orificios de sujeción.

Figura 48. Forja del material



Fuente: Autores

No se utilizó ningún tipo enfriamiento acelerado del material, ya que no era necesario para este proceso. El resultado obtenido se muestra en la figura 49.

Figura 49. Resultado de la primera etapa de forja



Fuente: Autores

Como segunda parte del proceso se realizan los cortes necesarios para formar la geometría de la cuchilla, este paso se realizó mediante la utilización de la herramienta rotativa amoladora, que es el proceso más conveniente para estos aceros de extremada dureza. (Esteban, y otros, 2011)

Figura 50. Proceso de corte



Fuente: Autores

Lo siguiente fue realizar las dos perforaciones correspondientes de 12 mm de diámetro utilizando un taladro de pedestal con la broca adecuada al diámetro requerido.

Figura 51. Perforaciones de la cuchilla



Fuente: Autores

Se realiza un segundo calentamiento del material para lograr la curvatura inferior que caracteriza a la cuchilla a derecha o izquierda.

Figura 52. Segunda etapa de forja



Fuente: Autores

El proceso de acabado final consistió en la forma definitiva para el anclaje de la cuchilla en el rotovator y el filo de la misma el cual es importante al momento de trabajar la tierra.

Figura 53. Acabado de la cuchilla



Fuente: Autores

5.1.3 Cuchillas construidas para la prueba. Con propósito de la prueba se decidió construir cuchillas de diferente material. Se distinguen tres tipos de cuchillas utilizadas representadas en la tabla 12.

Tabla 12. Número de cuchillas construidas

| Tipo de Cuchilla | Material | Cantidad |
|-------------------|-----------|----------|
| Forjada 1 | AISI 1040 | 6 |
| Forjada 2 | AISI A517 | 6 |
| Procedencia China | AISI 1030 | 6 |

Fuente. Autores

5.1.3.1 Designación y marcado. El procedimiento de marcado nos ayuda a distinguir los diferentes materiales que existen entre los grupos de cuchillas, además de poder reconocer individualmente cada una. Se realizó una designación de las cuchillas está representada por la letra A para las cuchillas AISI 1040, la letra C para AISI A517 y Números romanos para las cuchillas tradicionales. La tabla muestra la designación completa utilizada en la prueba.

Tabla 13. Designación de las cuchillas

| Tipo de Cuchilla | Designación |
|--------------------|-------------------------|
| Forjada AISI 1040 | A1, A2, A3, A4, A5, A6. |
| Forjada AISI A 517 | C1, C2, C3, C4, C5, C6. |
| Procedencia China | I, II, III, IV, V, VI. |

Fuente: Autores

Para que no exista algún inconveniente de que se borre una marca, las cuchillas fueron marcadas en sus dos laterales y en la parte superior e inferior.


Figura 54. Cuchilla A1 marcada



Fuente: Autores

5.1.3.2 Pesaje de cuchillas. El procedimiento de pesaje individual se realizó en una balanza técnica de la marca RADWAG modelo PS4500R2 en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

Figura 55. Información de la balanza técnica utilizada



CE M16 2 RoHS REACH

Request for quotation

| | |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Max capacity [Max] | 4500 g |
| Minimum load | 500 mg |
| Readability [d] | 10 mg |
| Tare range | -4500 g |
| Repeatability | 10 mg |
| Linearity | +20 mg |
| Stabilization time | 1.5 s |
| Pan Size | 195×195 mm |
| Sensitivity drift | 2 ppm/°C in temperature +10 - +40 °C |
| Working temperature | +10 - +40 °C |
| Power supply | 12 ÷ 16 V DC / 250 mA (350 mA for scales with Wireless Module) |
| Adjustment/Calibration | internal (automatic) |
| Display | LCD (backlit) |
| Interface | 2×RS 232, USB-A, USB-B, Wireless Module (option) |
| Net weight/gross weight | 4.8/6.3 kg |
| Packaging size | 470×380×336 mm |

Fuente: <http://radwagusa.com/en/ps-4500r2-precision-balance,w1,GNP,101-102-112#>

Controlar el peso de las cuchillas nos ayuda a comprobar el desgaste de la cuchilla debido al fricción con el suelo por lo tanto una vez realizado el marcaje de cada una de las cuchillas se procede a medir su respectivo peso.

Figura 56. Pesaje de la cuchilla II



Fuente: Autores

5.2 Pruebas de campo

5.2.1 *Implementos y materiales a utilizar para las pruebas de campo.*

- Terreno
- Motocultor YTO DF-15L
- Cronómetro
- Guantes
- Cuchillas
- Combustible diésel
- Llave mixta de 16mm
- Cámara fotográfica

5.3 Factores de estudio

5.3.1 *Tipos de cuchillas*

- Cuchillas de material con designación AISI A517 forjadas.
- Cuchillas de material con designación AISI 1040 forjadas.
- Cuchillas de material con designación AISI 1030 (cuchillas tradicionales de procedencia china).

5.3.2 *Profundidad de trabajo*

- Profundidad media de 0,10 m.
- Profundidad total de 0,19 m.

5.3.3 *Consumo de combustible del motocultor.* Se realizará en función del consumo del motocultor durante 8 horas o un día de trabajo.

5.3.4 *Tipo de suelo*

- Franco arenoso
- Franco

5.4 **Unidad experimental**

Está constituida por un terreno de 20 m. x 30 m. el cual equivale a un área de 600 m².

Figura 57. Terreno de prueba



Fuente: Mapas de google

5.5 **Análisis estadístico**

5.5.1 *División del terreno.* Se trabajará todo el terreno antes mencionado tomando como referencia el ancho del rotovator en cada pasada del motocultor y los límites del terreno.

5.6 Características de las pruebas

5.6.1 *Ubicación*

Provincia: Chimborazo

Cantón: Chambo

Sitio: Cerca del terminal terrestre

Altitud: 2400 m.

Latitud: 1° 44' 37.6" S

Longitud: 78° 35' 39.1" O

5.6.2 *Características climáticas de la zona*

Temperatura promedio anual: 14 °C.

Humedad: 50%

Viento: 11km/h

5.7 Manejo del experimento de campo

5.7.1 *Preparación del terreno.* Se comprueba que el terreno en el cual se realizará la práctica se encuentre libre de rocas, alambres, cuerdas o cualquier tipo de elemento que pueda ocasionar daños en el rotovalor, desestabilizar el motocultor y por consiguiente disminuir la eficacia del experimento de campo.

5.7.2 *Lapsos de trabajo.* La prueba se realizará en lapsos de 2 horas de trabajo hasta completar las horas establecidas anteriormente ya que en estos intermedios se realizarán procedimientos de revisión de niveles líquidos y combustible del motocultor y de la integridad de las cuchillas.

5.7.3 *Recabado de datos.* Los datos se irán recabando de forma escrita al momento de la prueba priorizando cualquier acontecimiento que afecte directamente al experimento.

5.7.4 *Orden de colocación de las cuchillas.* Se colocarán de forma alternante, es decir diferenciando el tipo de material y orientación derecha o izquierda de la cuchilla.

5.8 Procedimientos

5.8.1 *Revisión de motocultor YTO.* Por motivos de seguridad y para asegurar el correcto funcionamiento del motocultor se realizaron revisiones previas del rotovator y la máquina.

- Revisión de inflado de neumáticos
- Revisión del nivel de combustible
- Revisión del nivel de agua
- Revisión del nivel de aceite de motor
- Revisión de la tensión de las bandas
- Revisión del Rotovator

5.8.2 *Montaje de las cuchillas.* Una vez realizada la revisión del rotovator se procede a montar las cuchillas en el orden previamente seleccionado, en este caso se realizó tomando en cuenta el material y el sentido de manera intercalada.

Figura 58. Montaje de la cuchilla C5



Fuente: Autores

- Poner en posición neutral al motocultor y al rotovator con las respectivas palancas.
- Levantar el pie de apoyo delantero e inclinarlo hacia adelante.
- Retirar los dos pernos que sujetan la cuchilla al rotovator con una llave de 16 mm.

- Retirar la cuchilla.
- Colocar la nueva cuchilla.
- Colocar los pernos, una arandela de presión en cada uno, las respectivas tuercas y ajustar.
- Repetir el procedimiento con cada una de las 18 cuchillas.

Se revisó que estén colocados todos los pernos y que todas las cuchillas estén bien fijadas al rotovator, puesto que de no ser así puede soltarse o romperse fácilmente.

Figura 59. Finalización del montaje de cuchillas



Fuente: Autores

5.8.3 *Encendido y traslado del motocultor.* El encendido se realiza mediante manivela.

Figura 60. Ubicación del motocultor en la posición de inicio



Fuente: Autores

El lugar seleccionado para la realización de la prueba se encontraba aproximadamente a unos 40 metros de la ubicación inicial del motocultor, por lo tanto, el traslado se realizó

por los propios medios del motocultor y se lo ubicó en una de las esquinas de la parcela seleccionada para la prueba.

5.8.4 *Inicio y realización de la labranza.* Con precaución se pone en marcha el rotovator del motocultor y se sigue la logística previamente realizada. La primera parte de la prueba consistió en realizar el trabajo de labranza a profundidad media, por lo que el asiento estaba ubicado en su posición y mediante una manivela se reguló la profundidad.

Figura 61. Prueba a profundidad media



Fuente: Autores

Durante el proceso se tuvo que detener por un momento, puesto que se pudo apreciar que una cuchilla del rotovator golpeó una piedra enterrada, por lo que se realizó una revisión. La cuchilla golpeada fue la C3, la cual presentó una abolladura no muy profunda pero la integridad general de la cuchilla estaba bien, entonces se procedió a continuar con la prueba.

En una revisión posterior también se encontró una cuchilla floja, a la cual se le colocó dos arandelas de presión lo cual solucionó el inconveniente durante toda la prueba. En cada intervalo de descanso de dos horas se realizaron limpiezas del rotovator por vegetación o algunas veces cuerdas que quedaban enredadas en el rotovator, también revisiones del nivel de combustible y agua para la refrigeración.

Esta parte de la prueba se pudo realizar con el asiento puesto y conduciendo el motocultor igualmente desde el mismo, debido a que la profundidad no es tan significativa como para

provocar algún descontrol en la máquina, luego, en la siguiente etapa esto no será posible debido a que no se podrá alcanzar la profundidad deseada y principalmente al riesgo que existe al manejarlo de esta manera.

Para cambiar de profundidad de labranza se tuvo que retirar el asiento y la rueda guía, lo cual se realiza aflojando un tornillo mediante una palanca unida a la misma y con movimientos de giro alternantes se la retira.

Figura 62. Cambio de profundidad de labranza



Fuente: Autores

La cuchilla A1 sufrió una fractura por lo que se tuvo que detener la marcha del motocultor y reemplazar la cuchilla para que no afecte las tareas de labranza, no se pudo determinar si fue golpeada por algún objeto duro puesto que no se encontró tan cerca del lugar.

Figura 63. Partes de una cuchilla rota



Fuente: Autores

Se continuó realizando las pruebas con más precaución, debido a que el motocultor se vuelve un poco más inestable, pero se gana mayor profundidad de trabajo y de esta manera también se puede realizar una prueba de trabajo de labranza más precisa.

Figura 64. Prueba a máxima profundidad



Fuente: Autores

5.8.5 *Finalización de las pruebas.* Al terminar las pruebas se volvió a colocar el asiento y la rueda guía para de ahí proceder ubicar al motocultor en su lugar de estacionamiento seguido de una inspección final y desmontaje de las cuchillas para realizar el análisis de las cuchillas.

Figura 65. Desmontaje de las cuchillas probadas






Fuente: Autores

El pesaje final se realizó así mismo mediante una balanza técnica en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

5.9 Análisis y resultados

5.9.1 *Tiempo de trabajo de las cuchillas.* La tabla 14 nos muestra el tiempo de trabajo final de las cuchillas de lo cual podemos decir que todas a excepción de la A1 no cumplieron con las horas totales establecidas anteriormente y tuvo que ser reemplazada por motivo de una fractura, esto ocurrió a profundidad media.

Tabla 14. Tiempo de trabajo y estado de las cuchillas

| CUCHILLA | IMAGEN | TIEMPO | OBSERVACIÓN |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|
| A1 |  | 1 hora y media | Rotura |
| A2 | | 8 horas | Desgaste |
| A3 | | 8 horas | Desgaste |
| A4 | | 8 horas | Desgaste |
| A5 | | 8 horas | Desgaste |
| A6 | | 8 horas | Desgaste |
| C1 |  | 8 horas | Desgaste |
| C2 | | 8 horas | Desgaste |
| C3 | | 8 horas | Desgaste / doblez |
| C4 | | 8 horas | Desgaste |
| C5 | | 8 horas | Desgaste |
| C6 | | 8 horas | Desgaste |
| I |  | 8 horas | Desgaste |
| II | | 8 horas | Desgaste |
| III | | 8 horas | Desgaste |
| IV | | 8 horas | Desgaste |
| V | | 8 horas | Desgaste |
| VI | | 8 horas | Desgaste |

Fuente: Autores

En la tabla anterior se encuentran dos figuras por grupo de cuchillas, que representan las más relevantes.

5.9.2 *Estado de las cuchillas.* Una vez finalizada la prueba se aprecia claramente un desgaste por fricción en todas las cuchillas. En la tabla 14 se muestra el estado final algunas cuchillas, así como el tiempo de trabajo que realizaron y una observación de las mismas.

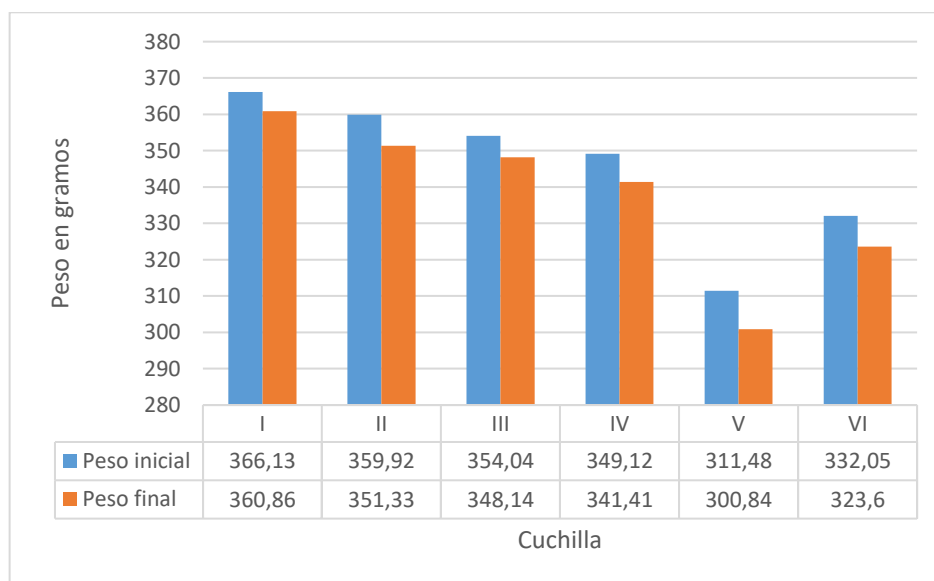
5.9.3 *Desgaste de las cuchillas.* El suelo de la región mayormente de composición franco-arenosa tiene un efecto negativo de desgaste excesivo sobre las cuchillas, lo cual sucede debido a que las mismas están construidas para labrar otros tipos de suelos que no son propios de esta región.

Al momento de analizar las cualidades de resistencia de un material se tomó en cuenta principalmente la dureza y la aplicación del mismo.

5.9.3.1 *Cuchillas tradicionales.* La figura 66 contiene los datos de la pérdida del material durante 8 horas o un día de trabajo.

En este caso se nota que el principal resultado es que han perdido el filo, puesto que este se muestra redondeado, esto es debido principalmente al grosor de la cuchilla siendo ésta el área que recibe la mayor parte del impacto del suelo en cada ciclo de giro del rotovator.

Figura 66. Desgaste de las cuchillas tradicionales

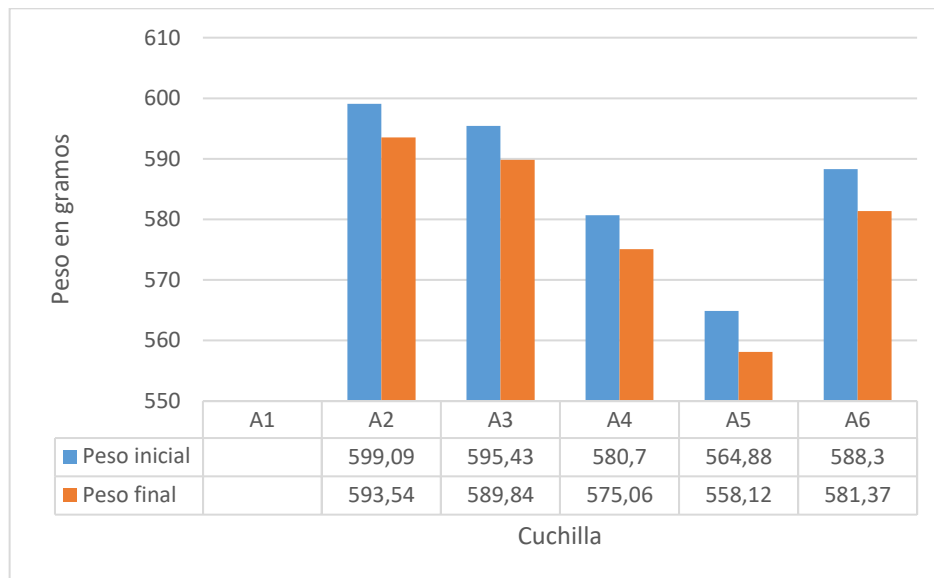


Fuente: Autores

También se observa que en algunas cuchillas la parte interna de la curva ha tenido más fricción o rozamiento y en otras lo contrario, esto nos dice que el desgaste no ha sido simétrico, si no que predomina en una de las dos áreas.

5.9.3.2 Cuchillas de acero AISI 1040. Al igual que las anteriores, estas cuchillas presentan un filo desgastado y redondeado, aunque se nota un mayor rozamiento en las paredes laterales de las cuchillas a través de todo el largo de la cuchilla. Como gran parte de la cuchilla se nota pulida por rozamiento se puede deducir que ha realizado un mayor esfuerzo al momento de la labranza.

Figura 67. Desgaste de las cuchillas de acero AISI 1040

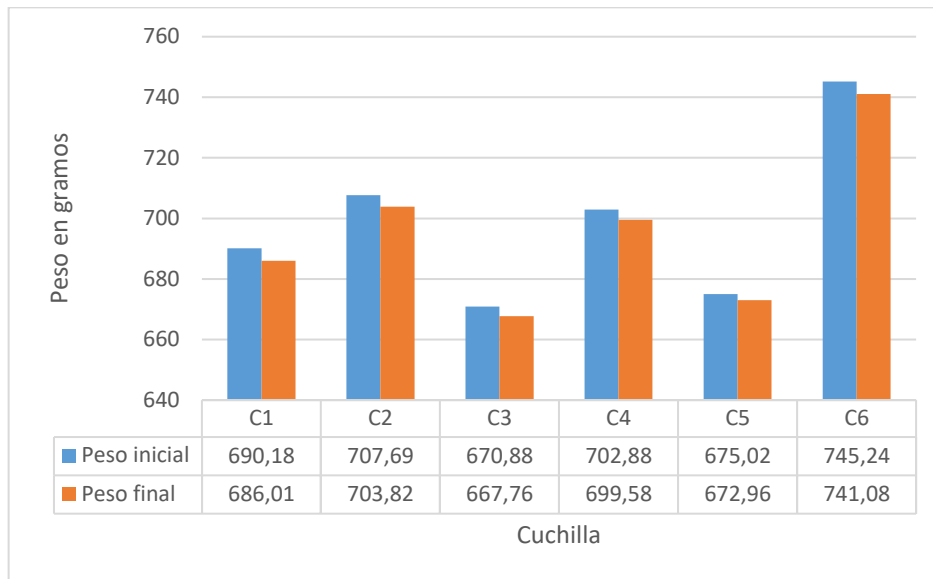


Fuente: Autores

5.9.3.3 Cuchillas de acero AISI A517. Éstas cuchillas muestran un filo pulido por el rozamiento, aunque con menor pérdida del mismo. La principal zona de desgaste se encuentra en la punta, pero también presenta desgaste hasta la parte superior.

Una de las cuchillas presenta una abolladura, la cual se pudo comprobar que fue el resultado de un golpe con una roca, la figura 68 muestra el resultado en gramos del desgaste de las cuchillas.

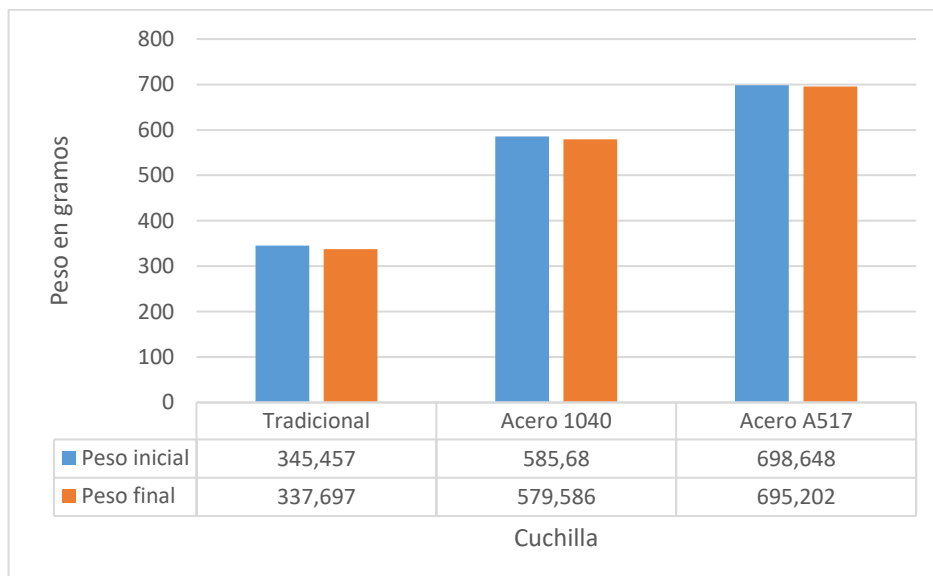
Figura 68. Desgaste de las cuchillas de acero AISI A517



Fuente: Autores

5.9.3.4 Promedios de pérdida de material. En la gráfica que se muestra en la figura 69 se puede apreciar en promedio cuánto será la pérdida de material de una cuchilla durante un día de trabajo en los diferentes materiales probados. Esto ayuda a comparar de manera individual un desgaste estimado.

Figura 69. Promedio de pérdida de material de una cuchilla en los 3 materiales

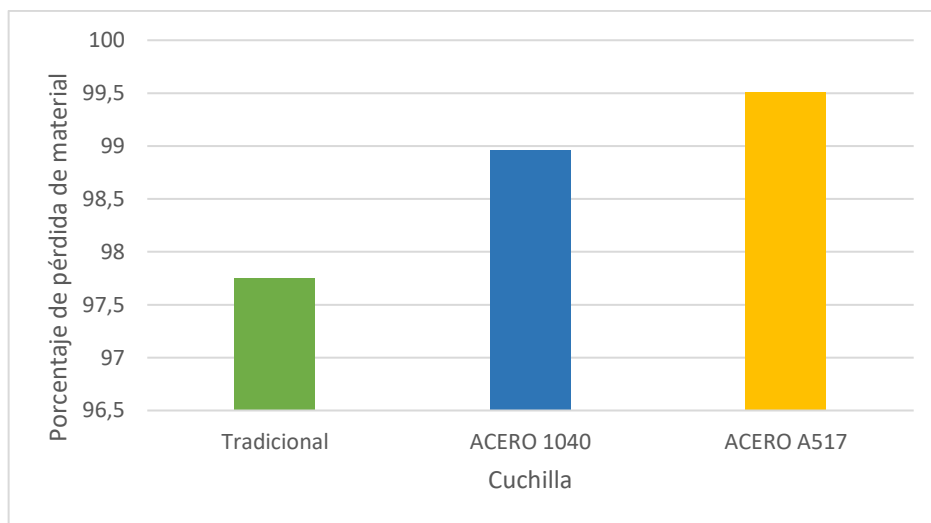


Fuente: Autores

Se aprecia claramente que las cuchillas de acero tradicional son las más afectadas por la fricción del suelo, seguidas por las construidas en acero AISI 1040, y finalmente las cuchillas en acero AISI A517.

5.9.3.5 *Porcentaje de desgaste.* La figura 70 se divide en los tres tipos de cuchillas la cual nos muestra a manera de porcentaje la pérdida de material dentro de cada grupo principal de cuchillas.

Figura 70. Porcentaje de desgaste de una cuchilla en los tres materiales



Fuente: Autores

5.9.4 *Rendimiento del motocultor a diferentes profundidades.* La penetración de las cuchillas es muy importante al momento de trabajar el terreno para el posterior sembrado, en el caso de las cuchillas del motocultor YTO DF-15L lo ideal sería trabajar a penetración máxima, pero esto solo se puede realizar en suelos ya trabajados con anterioridad debido a cuestiones de seguridad del operario. Una manera de poder sobrellevar este inconveniente sería realizar el proceso de labranza a dos niveles, estos serían: un nivel medio de 0.10 m y a un nivel máximo de 0.19 m el cual se consigue retirando la rueda guía y el asiento del conductor. Así mismo, al tiempo que se consigue más profundidad se obtiene mayor esfuerzo por parte del motocultor y por lo tanto mayor consumo de combustible.

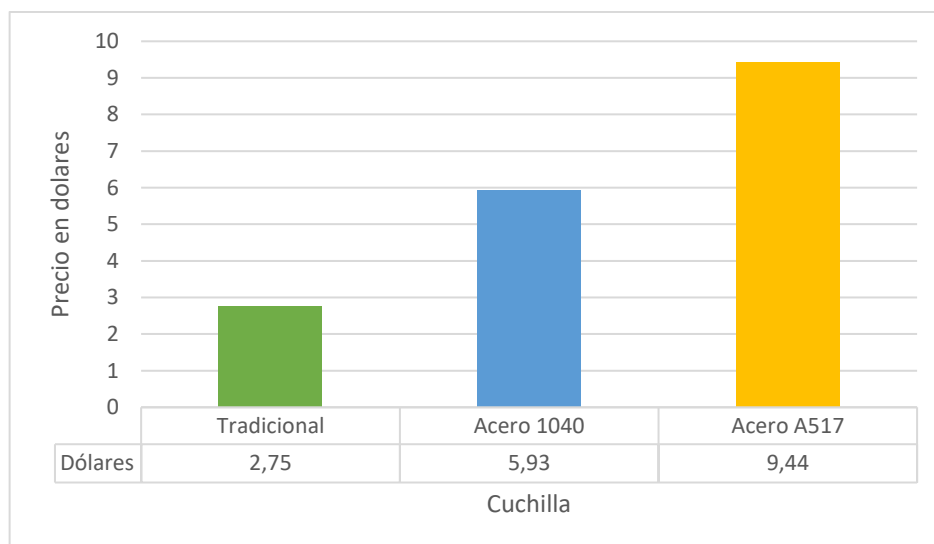
5.9.5 *Análisis de costos.* Las cuchillas de acero tradicional se pueden encontrar en el mercado, sin embargo, son productos que se venden en pocos cantones de nuestro país, de los cuales Riobamba no es uno de ellos, según nuestra investigación

se venden principalmente en las ciudades de Milagro y Babahoyo, lo cual dificulta la adquisición de las mismas.

En cuanto a las cuchillas forjadas el costo principal resulta ser el de forjado, puesto que siendo una construcción artesanal su proceso resulta ser un poco tedioso y lento, lo cual hace que su precio aumente, no siendo así si la construcción fuese más industrializada, con lo que se conseguiría mayor cantidad en menor tiempo abaratando los costos.

También se debe tomar en cuenta que la cantidad mínima que se construyeron para este estudio también influye en el precio, puesto que éste disminuye según varía la cantidad de cuchillas que se necesiten construir.

Figura 71. Costo de construcción de una cuchilla en los tres materiales



Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se realizó un estudio acerca del funcionamiento, manejo, utilización y partes principales del motocultor YTO DF-15L, centrándonos principalmente en el rotovator y la forma en que realiza el trabajo de labranza por medio de las cuchillas que es actualmente la única herramienta que se puede instalar en el motocultor y que además por ser un elemento de procedencia extranjera no está adecuadamente diseñado para los requerimientos de los agricultores de nuestra región.
- Se determinó el desgaste acelerado de las cuchillas de aceros tradicionales que vienen siendo utilizadas. Como consecuencia de la poca fiabilidad de las cuchillas tradicionales se pudo concluir que los agricultores no utilizan el motocultor con regularidad puesto que el efecto del desgaste en las cuchillas se traduce en pérdidas económicas por unas cuchillas poco fiables al momento de realizar sus actividades.
- Se determinó que el contenido de cromo en los materiales permite lograr mayor dureza y resistencia a la abrasión, por tanto, se seleccionó el material AISI A517 para la construcción de las nuevas cuchillas. Se trazó la geometría de la cuchilla con la ayuda del programa de computadora SOLIDWORKS tomando las medidas de una cuchilla tradicional. Mediante el análisis de los resultados obtenidos de la aplicación de MEF en la geometría de la cuchilla los cuales se obtuvieron al ingresar los datos del material propuesto en el programa ANSYS se determinó que el factor de seguridad de 0,9941 y número de ciclos mínimo de $9,3197 \times 10^5$ fueron satisfactorios por tanto se aplicó esta alternativa y se procedió a la construcción.
- Se construyó la cantidad de 12 cuchillas con dos tipos de materiales y se adquirieron cuchillas tradicionales, el proceso de seleccionado para la construcción fue el de forja ya que este proceso no afecta a las propiedades del material es más resistente que el proceso por fundición y colado. La construcción se realizó artesanalmente llega a ser demoroso y un poco costoso, aunque para los propósitos de esta prueba no tuvo mayor efecto negativo.

- Se verifico mediante pruebas de campo que las cuchillas del material AISI A517 de aleación de acero con cromo son una solución viable a la problemática del desgaste acelerado que sufren las de acero tradicional que se encuentran en el mercado al mismo tiempo se concluyó que estas cuchillas son más resistentes a roturas por fatiga o impacto con algún objeto rígido que se pueda encontrar sobre o debajo del suelo. Finalmente, éstas cuchillas no tuvieron ningún efecto que deba considerarse sobre el consumo y rendimiento del motocultor, por lo tanto, hemos llegado a la conclusión de que las cuchillas de acero AISI A517 no se desgastaran considerablemente en los trabajos de labranza sobre el tipo de suelo más común en la región, por esto y por lo anteriormente mencionado son una opción más confiable que las de acero tradicional.

6.2 Recomendaciones

- Antes de arrancar el motor del motocultor verificar que la palanca de marcha este en posición neutral.
- Tomar precauciones al dar manivela para encender el motocultor, de preferencia utilizar guantes.
- Alejar manos y pies del rotovalor antes de poner en marcha el mismo.
- Si se opera el motocultor sobre el asiento tener cuidado de que los pies no entren en contacto con el rotovalor al girar la rueda guía.
- Se recomienda utilizar el motocultor en primera marcha puesto que utilizar el rotovalor con una marcha superior se vuelve menos controlable.
- Si se desea trabajar a máxima profundidad se recomienda hacer descender el rotovalor progresivamente y un poco lento para que no existan tirones.
- Por precaución se recomienda realizar un descanso de 30 a 45 minutos cada dos horas porque existe la posibilidad de que se vuelva muy inestable.
- No presionar el embrague de la rueda izquierda y derecha al mismo tiempo puesto que el rotovalor al girar más rápido que las ruedas motrices producirán tirones fuertes.
- Si se necesita realizar alguna comprobación poner el motocultor en la posición “brake” y no en “neutral” esto frenara las ruedas y evitara que se desplace si existiera algún desnivel del terreno.
- No soltar en ningún momento la dirección del motocultor mientras se trabaja, el motocultor podría alzarse y causar algún accidente.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, Armando E. *Maquinaria y mecanización agrícola*. San José-Costa Rica: EUNED, 2004, pp. 332-334.

AULLA CAIZA, Alex Darío & MOREJÓN UCHUBANDA, Henry Geomat. *Estudio de los factores de la baja fiabilidad del elemento de labranza de un motocultor YTO DF 15L* (Tesis).(Ingeniería) Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 23-62.

BHAKAT, A; et al. *Characterization of wear and metallurgical properties for development of agricultural grade steel suitable in specific soil conditions* [en línea], 2007 (India) 263, pp. 228-233. [Consulta: 9 de marzo 2016]. ISSN 0043-1648. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164807002803>

CAÑAVATE, Jaime. *Las máquinas agrícolas y su aplicación*. 7^{ma} ed. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2012, pp. 27-69.

CASANOVA, Eduardo F. *Introducción a la ciencia del suelo*. 2^{da} ed. Caracas-Venezuela: CDCH, 2005, pp. 80-81.

DOMINGUEZ, Esteban & FERRER, Julián. *Mecanizado básico*. Madrid-España: EDITEX, 2010, pp.170.

GLIESSMAN, Stephen R. *Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba-Costa Rica: LITOCAT, 2002, pp. 101-102.

GONZALES, Hugo; et al. *Resistencia al desgaste de cuchillas de arados rotativos en operación en suelos tropicales*. [en línea], 2007 (Colombia) 36, pp. 479-484. [Consulta 20 de julio de 2016] ISSN 0122-1701. Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5005>

KALPAKJIAN Serope & SCHMID Steven. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 4^{ta} ed. Naucalpan de Juárez-México: Pearson, 2002, pp. 110-111.

PÉREZ, Wilmer; et al. *Desgaste abrasivo de cuchillas de arado rotativo en suelo franco arenoso*. [en línea], 2010 (Colombia) 162, pp. 105-114. [Consulta: 20 de Julio 2016] ISSN 0012-7353. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/15840>

SMITH, William & HASHEMI, Havad. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. 5^{ta} ed. México D. F.: The McGraw-Hill, 2014, pp 153-158.

YTO Group Corporation. *Manual de operación y servicio de motocultor YTO DF-15L*.