



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESGASTE ACELERADO PARA HOMOLOGACIÓN DE MAQUINARIA AGRÍCOLA EN MOTOCULTORES PARA SUELOS TÍPICOS DE LA REGIÓN CENTRO DEL ECUADOR: CASO DE ESTUDIO ASPAS DEL MOTOCULTOR YTO DF151”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN  
SISTEMAS AUTOMOTRICES

ING. VICTOR DAVID BRAVO MOROCHO  
bravobmw123@hotmail.com

ING. EDISON MARCELO CASTILLO CARDENAS  
marcelinoteach@gmail.com

DIRECTOR: ALFREDO GUILLERMO VALAREZO GARCES, Ph.D.  
avalarezo@usfq.edu.ec

COORDIRECTORA: NELLY MARIA ROSAS LAVERDE, Mgs.  
nelly.rosas@epn.edu.ec.

Quito, febrero de 2017

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por VÍCTOR DAVID BRAVO MOROCHO y EDISON MARCELO CASTILLO CÁRDENAS bajo nuestra supervisión.

---

**Alfredo Guillermo Valarezo Gases, Ph.D.**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

**Ing. Nelly María Rosas Laverde. Ms.C.**

**COORDIRECTORA DE PROYECTO**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Víctor David Bravo Morocho y Édison Marcelo Castillo Cárdenas, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Víctor David Bravo Morocho**

---

**Edison Marcelo Castillo  
Cárdenas**

## DEDICATORIA

A toda mi familia especialmente a mi madre, padre, hermano y esposa, que estuvieron ahí siempre detrás de nosotros empujándonos a ser cada día mejores.

**Víctor D. Bravo M.**

Dedico este trabajo a mis queridos padres, y a mi hermana Lorena, a mi compañera de vida Fernanda, que constituyeron un apoyo fundamental en esta etapa de vida.

**Edison M. Castillo C.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, y a mi familia que me apoyaron moral y económicamente siempre e incondicionalmente durante mi trayectoria en la Escuela Politécnica Nacional, así como también en la fase de pregrado.

BRAVO DAVID

Agradezco al cosmos creador, a mi alma matter la EPN, a nuestros tutores Dr. Alfredo Valarezo y MsC. Nelly Rosas por el apoyo brindado en este desafío intelectual, y a aquellos amigos que nos facilitaron el camino para culminar este proyecto: Segundo S, Pablo S, Pedro D, Bolívar G, Antonio B y a mi compañero David.

CASTILLO MARCELO

# ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
PRESENTACIÓN.....	xiii
CAPÍTULO 1.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
CAPÍTULO 2.....	8
2. CASO DE ESTUDIO: FALLA POR FRACTURA DE LAS ASPAS DEL MOTOCULOR MODELO YTO DF 15L.....	8
2.1 Introducción.....	8
2.2 Materiales y Métodos.....	10
2.2.1 Ensayo de tintas penetrantes.....	13
2.2.2 Ensayo de Ultrasonido.....	13
2.2.3 Modelación y Simulación.....	13
2.2.3.1 Cálculo de la fuerza de tracción para una cuchilla del elemento de labranza.....	16
2.3 Resultados.....	20
2.3.1 Resultados del ensayo de metalografía.....	20
2.3.1.1 Cuchillas chinas.....	20
2.3.1.2 Cuchilla ecuatoriana (artesanal).....	21
2.3.1.3 Cuchilla italiana.....	21
2.3.1.4 Cuchilla colombiana.....	22
2.3.2 Resultados ensayos de dureza.....	22
2.3.3 Resultados de ensayos de espectrometría.....	22
2.3.4 Resultados ensayo de impacto.....	24
2.3.5 Resultados de ensayo de desgaste acelerado.....	24
2.3.6 Resultados de ensayos de tintas penetrantes y ultrasonido.....	24

2.3.7 Resultados de la modelación y simulación .....	24
2.4 Discusión de Resultados .....	25
2.4.1 Principios y relaciones .....	25
2.4.2 Generalizaciones .....	27
2.4.3 Datos dispersos .....	28
2.4.4 Concordancias con otras publicaciones .....	29
2.4.5 Aplicaciones teóricas y prácticas de los resultados .....	30
2.5 Conclusiones previas .....	31
2.6 Solución del caso específico de estudio .....	32
CAPÍTULO 3.....	34
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESGASTE ACELERADO. ....	34
3.1 Introducción.....	34
3.1.1 Aplicación de la norma ASTM G-65.....	34
3.2 Diseño del Equipo de Abrasión .....	35
3.2.1 Cálculo de la fuerza normal (FN).....	35
3.2.2 Cálculo de la fuerza de rozamiento (FR) .....	36
3.2.3 Simulación de cargas sobre el equipo .....	37
3.2.4 Selección del chavetero .....	39
3.2.5 Componentes del equipo .....	40
3.3 Construcción del Equipo.....	42
3.3.2 Acoplamiento del motor-reductor .....	43
3.3.3 Acabado superficial.....	44
3.4 Utilización del Equipo.....	45
3.4.1 Comprobación del caudal de arena .....	46
3.4.2 Manual de operación .....	47
3.4.3 Limpieza .....	48
3.4.4 Manual de mantenimiento.....	48
3.4.5 Mantenimiento del sistema eléctrico. ....	48
3.4.6 Mantenimiento del sistema mecánico. ....	48
3.4.7 Plan de seguridad .....	49
3.4.8 Uso de equipo de protección personal. ....	49
3.5 Conclusiones previas.....	50
CAPÍTULO 4.....	51
4. NORMATIVAS Y HOMOLOGACIÓN .....	51
4.1 Normas Aplicadas a la Maquinaria Agrícola .....	51

4.1.1 Normas Internacionales .....	51
4.1.2 Normas Ecuatorianas .....	51
4.1.6 Homologación.....	52
4.1.6.1 <i>Ensayo de desgaste acelerado</i> .....	53
4.1.6.2 <i>Ensayo de Dureza</i> .....	54
4.1.6.3 <i>El ensayo de impacto</i> .....	54
4.1.6.4 <i>Ensayo de flexión</i> .....	54
4.1.6.5 Simulación.....	55
4.2 Procedimiento Sugerido por los Autores para la Licitación y Compra de Maquinaria Agrícola. ....	56
CAPÍTULO 5.....	57
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	57
5.1 Conclusiones.....	57
5.2 Recomendaciones.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS.....	61
ANEXO A:.....	62
PLANOS DE LA MAQUINA DE ABRASIÓN .....	62
ANEXO B:.....	63
NORMA ASTM G – 65.....	63
ANEXO C: .....	64
NORMA NTE INEN.....	64
ISO 5718 .....	64



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normativas en Ecuador y campo de aplicación relacionadas a herramientas de labranza.....	6
Tabla 2. Propiedades del Acero AISI 1030 .....	14
Tabla 3 Cargas producto del rompimiento del suelo .....	16
Tabla 4 Asignación de fuerzas para la simulación .....	20
Tabla 5. Composición química de las cuchillas analizadas .....	22
Tabla 6. Absorción de energía de las cuchillas estudiadas .....	24
Tabla 7. Volumen perdió promedio de las cuchillas analizadas .....	24
Tabla 8 Resultados de los ensayos realizados a las aspas .....	30
Tabla 9. Coeficientes de fricción .....	36
Tabla 10. Selección de chaveta y chavetera .....	40
Tabla 11. Componentes de la máquina de desgaste según ASTM G-65.....	41
Tabla 12. Manual de operación .....	47
Tabla 13. Normas aplicadas a maquinaria agrícola .....	52
Tabla 14. Ángulos de reacción .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Bosquejo del método experimental .....	15
Figura 2 Obtención de la fuerza de rotura del suelo.....	15
Figura 3 Triangulación de fuerzas .....	15
Figura 4 Modelado de cuchilla del rotavator.....	17
Figura 5. Determinación del tamaño de grano por comparación de imágenes ...	20
Figura 6. Micrografía de las cuchillas artesanales a 500X .....	21
Figura 7. Micrografía de las cuchillas italianas a 500X.....	21
Figura 8. Micrografía de las cuchillas colombianas a 500X.....	22
Figura 9. Comparación de falla real y simulada .....	25
Figura 10. Cuchillas de motocultor desgastadas.....	26
Figura 11. Cuchillas añadidas material A36 por soldadura .....	33
Figura 12. Soporte brazo palanca del equipo según norma ASTM G-65 .....	36
Figura 13. Bosquejado del equipo en CAD. ....	37
Figura 14. Aplicación de cargas .....	38
Figura 15. Resultado de deformación de la estructura del equipo .....	38
Figura 16. Factor de seguridad del equipo .....	39
Figura 17. Chavetero seleccionado.....	40
Figura 18. Componentes del equipo .....	41
Figura 19. Corte y ensamblaje del equipo .....	42
Figura 20. Brazo Palanca del equipo .....	43
Figura 21. Tolva .....	43
Figura 22. Disco de abrasión.....	43
Figura 23. Acoplamiento del brazo y disco de abrasión al equipo.....	44
Figura 24. Acoplamiento del moto-reductor al equipo .....	44
Figura 25. Culminación del equipo .....	44
Figura 26. Visualización de la cortina de abrasivo .....	46
Figura 27. Medición del caudal de abrasivo .....	46
Figura 28. Obtención de los parámetros del motor y reductor.....	47
Figura 29. Equipo de protección personal .....	49
Figura 30. Aplicación del cabezal sobre la cuchilla .....	55

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A:** PLANOS DE LA MAQUINA DE ABRASIÓN

**ANEXO B:** NORMA ASTM G – 65

**ANEXO C:** NORMA NTE INEN ISO 5718

## RESUMEN

El presente trabajo tiene tres objetivos: a) Resolver el problema de baja fiabilidad de las aspas del motocultor YTO DF 151 propiedad del MAGAP-Chimborazo, b) Fabricar una máquina de desgaste acelerado según especificaciones de la norma ASTM G-65 y c) Establecer requerimientos mínimos para homologar herramientas de mecanización agrícola, en aspectos como: dureza superficial, análisis de composición del material, absorción de energía por unidad de área al impacto, geometría óptima de la herramienta para soportar eficientemente cargas de trabajo en campo; dichas metas fueron alcanzadas al desarrollar esta investigación en los siguientes capítulos: Capítulo uno: generalidades, justificación y alcance. Capítulo dos: realización de una serie de ensayos (destructivos y no destructivos) a las aspas, como también la simulación en software CAD/CAE para determinar los factores de su baja fiabilidad y atacar ese problema, entre las soluciones previas están: tratamientos térmicos y agrandamiento de la sección transversal (solución final). Capítulo tres: se aborda el diseño, construcción, calibración y validación de una máquina de desgaste acelerado según Norma ASTM G-65, para determinar la tasa de desgaste de las aspas. Capítulo cuatro: trata de los requerimientos de propiedades mecánicas mínimas que deberían tener las aspas para construirse en Ecuador o importarse.

**PALABRAS CLAVE:** Aspas, Motocultor, Desgaste, Homologación, Normas.

## **ABSTRACT**

The present work has three objectives: a) to solve the problem of low reliability in YTO DF 151 motocultor blades owned by MAGAP-Chimborazo b) to build an accelerated wear machine according to specifications of standard ASTM G-65 c) to establish minimum requirements to approve tools of agricultural mechanization, in aspects such as: surface hardness, analysis of material composition, energy absorption rate per unit area to impact, optimum tool geometry to efficiently support field workloads; these targets were achieved by developing this research in the following chapters: Chapter one: generalities, justification and scope. Chapter two: conducting a series of test (destructive and no destructive) to the blades, as well as the simulation in CAD/CAE software to determine the factors of their low reliability and to attack this problem, among the previous solutions are: thermal treatments and enlargement of the cross section (final solution). Chapter three: the design, construction, calibration and validation of an accelerated wear machine according to ASTM G-65, it is used to determine the wear rate of the blades. Chapter four: it deals with the minimum mechanical properties requirements that the blades must have to be built or imported.

**KEY WORDS:** blade, motocultor, wear, homologation, mechanization, norms.

## PRESENTACIÓN

En Ecuador no existe un procedimiento establecido que norme las especificaciones de conformidad para la importación y la fabricación nacional de herramientas de labranza agrícola. El instituto encargado de la materia, INEN solamente expide normas en otras categorías relacionadas (seguridad, simbología, ergonomía, etc.), pero no específicas en el tema de los requisitos fundamentales para validar la calidad del equipo, por ejemplo: propiedades mecánicas de los materiales, composición química, dureza y volumen perdido.

La carencia de dichos documentos normativos ha hecho que instituciones públicas y privadas como también personas naturales adquieran equipos agrícolas atraídos por la accesibilidad de los precios, pero sin sopesar la calidad, stock de repuestos y servicios para el equipo adquirido.

La falta de calidad ha hecho que dichos equipos queden inutilizados desde su primer día de uso como es la rotura de las aspas del tren de labranza, tal es el caso de estudio de los motocultores de origen chino modelo YTO DF 15L que adquirió el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador MAGAP; sumado a ello la nula presencia de la firma en el país para dotar a la flota de motocultores de servicios de repuestos, mantenimiento y asesoría técnica de producción.

El presente proyecto está encaminado al diseño y construcción de una máquina de desgaste acelerado para homologación de maquinaria agrícola específicamente motocultores. Se desarrolla un caso de estudio en el motocultor modelo YTO DF 15L (descrito anteriormente) para dar solución a su problema de fallas, y se concluye con un procedimiento genérico de homologación, que podría ser adoptado por el INEN.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

El presente trabajo de homologación de herramientas de labranza en motocultores es el resultado del esfuerzo por tratar de mejorar las condiciones laborales de los agricultores dedicadas a esta noble labor, para dotar a esta parte de la sociedad de herramientas de mecanizado agrícola con condiciones aceptables de calidad y seguridad.

En la república del Ecuador no se cuenta con un documento absoluto que normalice los requerimientos previos para la adquisición de herramientas de labranza agrícola para motocultores (aspas, discos, rastras, hojas de corte, etc.) lo que conlleva a tener una variedad de productos en el mercado dedicado a esta labor, muchos elementos de labranza adquiridos sin restricción dan como resultado paros indeseados en las tareas agrícolas, lo que genera pérdidas económicas, inseguridad del agricultor al momento de operar determinada máquina, accidentes labores, estrés generado por la máquina insegura y finalmente problemas de producción.

En tal virtud se hace necesario contar con un proyecto de homologación para dicha división de la maquinaria agrícola, resolviendo el caso específico de estudio de la baja fiabilidad de las cuchillas de labranza usadas en el motocultor YTO DF 15I de origen chino, propiedad del Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca, los mismos que han sido entregados a los distintos centros de mecanizado alrededor del Ecuador y puestos a disposición de los agricultores.

Las cuchillas de labranza, también denominadas por algunos autores como “aspas” tienen la problemática de tener un índice de fiabilidad bajo, por consiguiente en el campo una vez iniciadas las labores de labranza un 30 a 40% de éstas sufre fracturas en la base de su cuerpo lo que incide en la desviación involuntaria del motocultor de la dirección dada por el agricultor y la corrección continua del mismo en el trabajo, aquella problemática genera estrés en la persona guía del elemento ya que debe embragar el aparato y alzarlo para darle la dirección correcta por lo

menos cada 5 metros de avance pudiendo ocasionar por la repetición del esfuerzo enfermedades profesionales como la LER (lesión por esfuerzo repetitivo), además de tener que realizar mayor tiempo de trabajo ya que el área de terreno por donde no pasan las cuchillas de labranza rotas queda “entera” o sin labrar.

Ante lo expuesto se propone resolver dichos problemas recurriendo a ensayos de campo para determinar las posibles fallas o errores en la guía del equipo de labranza, pero se ha determinado que en muchas fracturas no hace falta el choque con un elemento de gran dureza (piedra o metal) para que se produzcan.

Se analizó la posibilidad de que las cuchillas al momento de ser sujetas al eje del rotavator (eje de alojamiento de las cuchillas) no contaban con el torque correspondiente para su sujeción, hipótesis que fue catalogada como errónea debido a que se las ajustó usando torquímetro, pero de igual manera el problema continuó.

Se probó una hipótesis contraria, esta vez aflojando los pernos de sujeción para que exista mayor juego, pero el índice de fiabilidad bajó aún más, hasta cerca el 50%, es decir que de las 18 cuchillas que cuenta el rotavator por lo menos 8 o 9 resultaban rotas, hay que saber que 9 cuchillas tienen orientación izquierda y el mismo número orientación derecha, a las mismas que se han de denominar en la posteridad del trabajo “izquierdas” o “derechas”, respectivamente.

Ante dicha problemática se ha aplicado técnicas de ingeniería inversa tradicional para resolver los problemas antes descritos.

*El caso de estudio* inicia con el análisis de la falla de la cuchilla, la misma que se presenta generalmente en la base de sujeción al eje, en un corte que no presenta síntomas de haber sufrido fatiga (no presenta marcas de playa), ni tampoco es una fractura dúctil (elongación pronunciada del material en la zona de fractura) lo que conlleva a priori a pensar que no se trata del material de la herramienta.

Se realiza a continuación un análisis metalográfico de una muestra de la cuchilla para determinar el tipo de material, el mismo que da como resultado un acero AISI 1030; para complementar el resultado descrito, se realizó una espectrometría del material, dando como resultado presencia de Cromo (0,062%) y Manganeso



(0,95%), otro análisis realizado fue la dureza del material el mismo que presenta un valor de 48 HRC de los ensayos realizados se deducía que el material empleado es el mínimo requerido para maquinaria agrícola, ya que tradicionalmente la dureza de un elemento de labranza debe oscilar entre 38-45 HRC, y para condiciones extremas de dureza de suelo (arcillo-limoso y franco arcilloso) se debería tener una dureza media de 55 HRC.

Se trabajó luego en la hipótesis de que durante el proceso o procesos de manufactura de la cuchilla se generara microfisuras en el cuerpo de la misma, ya que no se conocía específicamente el método o métodos previos para fabricarla; se procedió a analizar posibles microfisuras por medio del ensayo no destructivo de tintas penetrantes, arrojando como resultado luego de la revelación ninguna fisura visible u otro problema superficial aparente.

Otra técnica usada para encontrar posibles errores de fabricación fue la de ultrasonido, se analizaron algunas probetas sin encontrar posibles rechupes o discontinuidad interna, con lo que se descartó oficialmente posibles errores en los procesos de manufactura.

Se analizó la bibliografía relacionada con el tema concerniente a normativas en maquinaria agrícola. Dicho documento se sintetiza en la norma INEN ISO 5718 (Maquinaria de cosecha, cuchillas para segadoras rotativas agrícolas. Requisitos) que si bien no es específicamente la temática tratada se acerca en cuanto a lineamientos y ensayos para la presente investigación; los análisis que pide la norma son los de flexión e impacto (Charpy).

Hay que tomar en cuenta que dichos test se ha de realizar en cuchillas para segadoras rotativas cuyas magnitudes de resistencia a la fractura son 2 y 3 veces las de la cuchilla en estudio, obteniendo un factor de absorción de energía por milímetro cuadrado de  $0.235 \text{ J/mm}^2$  como promedio para las cuchillas del motocultor en cuestión; considerando que las dimensiones no se ajustan a la norma pero son comparables con las muestras de cuchillas con geometrías similares como por ejemplo las cuchillas de procedencia Colombia ( $0.613 \text{ J/mm}^2$ ) e Italia ( $0.417 \text{ J/mm}^2$ ), entre otras, lo que lleva a la conclusión tal como la norma lo indica: “se ha de realizar este ensayo si aplica”.

Se propone entonces para el tema de homologación de cuchillas para motocultores realizar los respectivos análisis de impacto y flexión por muestras comparativas y ajustarse a la realidad de las cuchillas de los motocultores.

Una vez agotadas los ensayos no destructivos y destructivos, se llega a la conclusión que la falla puede estar en la geometría de la cuchilla, en su sección transversal insuficiente, en su coeficiente de seguridad, en algún concentrador de esfuerzos, etc.

A continuación se digitaliza la geometría de las cuchillas por medio de un programa CAD, cuidando de que las dimensiones sean tan exactas como en la realidad, una vez obtenidas las cuchillas tanto izquierdas como derechas se aplica las cargas correspondientes previamente analizando los distintos tipos de suelos típicos donde ha de trabajar el motocultor, e imprimiendo la carga más extrema en función de cálculos basados en la teoría de la labranza agrícola y teoría de energía consumida en la labranza, de donde se desglosan algunas ecuaciones indicadas en el capítulo correspondiente.

De los análisis en el software correspondiente se concluye que la zona de ruptura de la cuchilla es una zona crítica debido a la concentración de esfuerzos en el agujero inferior de sujeción, lo que conlleva a debilitar la ya débil sección transversal de la cuchilla.

El primer método de solución pensado fue dotar de mayor dureza a la superficie de las cuchillas, para lo cual se realizaron tratamientos superficiales como cementado y nitrurado, pero los ensayos de campo dieron como negativos dichos métodos debido a que las cuchillas se volvieron en extremo frágiles a tal punto que un 60% sufrieron fractura en menos de una hora de trabajo.

El método de solución llevado a cabo fue: el reforzamiento de la zona crítica indicada por el software por medio de soldar una varilla corriente de acero A-36, la misma que fue cubierta por un cordón de soldadura, luego de lo cual se lo probó en campo en un lapso de 8 horas continuas de trabajo en condiciones extremas, dando excelentes resultados: 0 cuchillas rotas.

Otro método de posible solución fue la construcción por medio de forja artesanal cuchillas cuyo material base fueron resortes de ballesta (sistema de suspensión) reciclados, el resultado fue 1 cuchilla rota en 5 horas, pero la tasa de desgaste para este material fue excesiva.

*Diseño y calibración de la máquina* como parte de la propuesta de homologación y siguiendo el plan propuesto del trabajo se buscó una norma para la construcción de una máquina de desgaste acelerado, así se cuenta con la norma internacional ASTM G-65 cuyas partes principales son las siguientes:

- Introducción
- Documentos de referencia
- Terminología
- Resumen del método
- Uso y alcance
- Aparato y materiales usados
- Preparación de probetas
- Parámetros de ensayo
- Procedimiento
- Cálculos y reportes de resultados
- Sensibilidad y precisión de instrumentos

La construcción y calibración se siguen en concordancia con la norma internacional, el trazo de la geometría y la aplicación de cargas se realizó con la ayuda de programas CAD/CAE.

Obtenidos los planos de la etapa anterior se procede a construir la réplica de la máquina, para lo cual se usa materiales y tecnología del medio, incluso en el moto-reductor no se usa una segunda caja de reducción debido a que en stock existió una muestra con la reducción exacta indicada por la norma, lo mismo para los elementos eléctricos y electrónicos de transmisión de datos; la arena y el caucho de la rueda de ensayo fueron adquiridos localmente.

Las probetas analizadas fueron extraídas de los cuerpos de las cuchillas, se siguió el procedimiento definido para el efecto tanto en tiempo como en aplicación de la carga.

Se midió la masa de las probetas antes y después de los ensayos para aplicando la ecuación de desgaste se determinase cual es la tasa de desgaste para dicho material, las probetas fueron extraídas de distintas cuchillas existentes en el mercado local para ver la variación de una marca a otra y tener una idea de las distintas tasas en función de la marca, además con la idea de tener un valor referencial medio para el procedimiento posterior de homologación.

En el capítulo final de homologación se presenta la propuesta final en concordancia con el tema de la investigación propuesto, se toma todo el trabajo como referencia y además se toma como base bibliográfica a las normas ecuatorianas (INEN) relacionadas con la temática, las mismas que son mostradas en la Tabla 1 a continuación.

*Tabla 1. Normativas en Ecuador y campo de aplicación relacionadas a herramientas de labranza*

<b>NORMA</b>	<b>CAMPO DE APLICACIÓN ESPECÍFICO</b>
INEN 5674	Ensayos de desgaste en las tomas de fuerza
INEN 4254	Seguridad en Maquinaria Agrícola
INEN 5718	Cuchillas para segadoras requisitos
ISO 26322	Tractores Agrícolas
INEN 4254-5	Seguridad: ruidos, protecciones, contactos
INEN 4254-7	Seguridad: Cosechadora de cereales
INEN 4254-10	Seguridad: Rastrillos y henificadoras
INEN 4254-12	Seguridad: Seguridad en segadoras rotativas
INEN 11806	Seguridad y ensayos en desbrozadoras

*Fuente: INEN*

Pero al no existir normativa específica concerniente a herramientas de motocultores se propone seguir una serie de ensayos para conseguir de esta manera condiciones mínimas de calidad y seguridad a los elementos de labranza descritos, dichos ensayos son.

- Desgaste acelerado
- Dureza
- Impacto
- Flexión
- Simulación de cargas en programas de análisis de esfuerzos por elementos finitos
- Caracterización del material base (por ejemplo, metalografía y/o espectrometría)

## **CAPÍTULO 2**

### **2. CASO DE ESTUDIO: FALLA POR FRACTURA DE LAS ASPAS DEL MOTOCULOR MODELO YTO DF 15L**

#### **2.1 Introducción**

La vida útil de un lote considerable de herramientas de labranza agrícola (2700 aspas) de los motocultores de fabricación china modelo YTO DF 15l (cada máquina viene provista de 18 aspas) presentan un bajo índice de fiabilidad al momento de realizar su trabajo inicial; se tiene de promedio que en cada sesión de trabajo que dura 8 horas, 6.2 de cada 10 se rompen, existen casos que al iniciar la jornada de trabajo en escasos minutos se han fracturado y sin razón aparente.

También se analiza por comparación la vida útil de dos grupos de aspas también usadas en rotavator (italianas y colombianas), pero de otra marca comercial, los mismos que presentan una vida útil de dos años en promedio, es decir se las cambia cuando ya las dimensiones de las aspas son insuficientes para labrar el suelo debido al desgaste pero que se presenta constante y uniforme en este herramental.

Se comercializan también en el medio aspas nacionales realizadas en forja las mismas que en el presente trabajo serán denominadas “ecuatorianas” o “artesanales”, estas aspas son construidas en material reciclado proveniente de resortes de ballestas automotrices, su problema es el costo y su corta vida útil, 4 de cada diez se rompe en las primeras sesiones de trabajo.

En la literatura de normas ecuatorianas se ha analizado la existencia de un documento que determine lineamientos básicos en cuanto a parámetros de calidad para comercializar y/o producir aspas para motocultor sin encontrar tratado alguno específico, el más cercano es la Norma INEN 5718 que es aplicada a aspas de segadoras agrícolas.

Se ha considerado la impericia de los obreros para labrar la tierra con la citada máquina, siendo este factor nulo debido a que no requiere de maniobras especiales

sino más bien de un guiado sencillo en línea recta y en los finales de parcela embragar y girar en la dirección contraria para avanzar.

Luego de algunos testimonios y visitas in situ se ha llegado a determinar la relación directa entre el índice de fiabilidad y la condición del suelo de labranza, se corroboraba que en suelo duro (franco arcilloso) en la jornada de trabajo se había roto el 70%, en suelo de mediana dureza (franco arenoso), un 60%, y en suelo de textura suave (arenoso) aproximadamente un 55%, lo que lleva a concluir que a mayor dureza del suelo mayor número de aspas rotas.

Las propuestas de solución a esta problemática han de ser viables desde el punto de vista económico y tecnológico, pero para llevar a ejecución la respuesta tecnológica final se ha de conocer integralmente qué factores inciden en la ruptura del aspa, y de conocer estos factores se ha de ponderarlos para saber con exactitud cuál de ellos es más importante que otros y así solucionar el problema de manera eficiente.

Los factores que inciden en la ruptura de las aspas se han indagado a través de ensayos estandarizados de ingeniería mecánica tanto destructivos y no destructivos.

*A priori* se ha pensado que la calidad del material del aspa, su dureza, su composición química y sus propiedades mecánicas inherentes son un factor preponderante en este estudio, por lo cual se llevan a cabo los ensayos de microscopía, dureza, espectrometría, tasa de desgaste, impacto, etc.

Otro factor que probablemente incida en la problemática es o son los errores de fabricación en el proceso de manufactura del aspa (discontinuidad, porosidad, rechupes, etc.), para lo cual se realizan ensayos de tintas penetrantes, y ultrasonido.

Un tercer factor propuesto es el diseño de la geometría del aspa, ya que comparando el aspa en estudio versus otras existentes en el mercado y usadas en la misma labor (procedencia colombiana, italiana y ecuatoriana), las segundas tienen un área en sección transversal en la relación 2,5:1.

Para descartar o aceptar la hipótesis anterior se ha de modelar con la ayuda de programas CAD el aspa y luego someterla a ensayos virtuales sometidas a vectores de carga tanto en magnitud, dirección, sentido y punto de aplicación lo más cercano a la realidad posible.

Con los resultados de los ensayos se indaga y pondera cuál de los factores es el principal y/o principales para en función de ello proponer una solución tecnológica viable.

## **2.2 Materiales y Métodos**

Ensayo de Metalografía: realizado bajo la norma INEN NTE 1481 (Aceros. Determinación del tamaño de grano por comparación de imágenes), su objetivo es conocer la microestructura del material, su composición y tamaño de grano, homogeneidad de grano; para ello se debe comparar la imagen resultado del análisis de la probeta con el patrón de la norma y comparar estas imágenes para establecer semejanzas.

En función de lo anterior se ha de aproximar a un rango de dureza, el mismo que deberá ser comprobado por el siguiente ensayo propuesto (Ensayo de Dureza).

La muestra es extraída de una zona cercana a la región de fractura, teniendo en cuenta que la parte a ser pulida y preparada para ser observada en el microscopio debe ser perpendicular a las caras externas de la cuchilla, esto debido a que es probable que en el proceso de manufactura se haya realizado dos condicionantes importantes:

- a) Calentamiento por forja
- b) Tratamiento superficial del aspa

Dichos condicionantes pueden cambiar drásticamente la forma y distribución de los granos en el material, pero tan solo en su superficie, lo que daría una lectura e interpretación errónea en cuanto al análisis del material.

El ensayo se realiza para algunas muestras, las mismas que son sometidas a un proceso de corte en frío, y luego según la norma descrita pulidas en distintos tipos de papel-lijas desde la numeración 400, hasta la 1200, y luego pulida en paño con baño de alúmina para finalmente ser atacada por Nital al 2%.



Con la finalidad de obtener datos comparativos de otras aspas (italianas, colombianas, ecuatorianas) se han elegido muestras representativas de cada una de ellas.

El procedimiento seguido ha sido el mismo para las cuatro muestras.

Ensayo de Dureza: una vez determinado el tipo de material y su estructura cristalina (perlítico, ferrítico, martensítico, etc.), se procede a determinar el tipo de dureza que el material tiene, es importante recalcar que el ensayo anterior es sumamente importante debido a que ya se puede clasificar a grosso modo con que rango de dureza trabajar (Vickers, Rockwell B, Rockwell C, etc) y de esta manera preservar la integridad y funcionalidad de los indentadores usados en cada escala de dureza.

Las durezas de las muestras se obtendrán en un durómetro estándar y siguiendo la norma INEN NTE 1053, empleando una herramienta de penetración tipo cono y una carga de 150 Kg.

Ensayo de Espectrometría: sirve para determinar la composición química de un material y el porcentaje individual de cada elemento químico presente en dicho material, ésta información es importante ya que indica la presencia o no de un elemento específico el mismo que puede dotar (bajo cierto porcentaje) de determinadas propiedades que se pueden inferir, por ejemplo, la presencia de cromo en el herramental de maquinaria agrícola dota al material de propiedades como:

- Alta resistencia al desgaste, tensión, abrasión y oxidación
- Incrementa la tenacidad y el límite elástico
- Aumenta la resistencia al impacto

El ensayo se lo inicia preparando una cara del material de aproximadamente unos tres centímetros cuadrados por medio de papel abrasivo desde la hoja 300 hasta la 1000; se continúa el proceso calibrando la máquina (BRUKER modelo Q2 ION) para un patrón general, hay que indicar que existen tres patrones genéricos para distintos materiales a ser analizados: aluminio, bronce y aceros. La boquilla del espectrómetro ha de atacar la superficie preparada del material por un tiempo

aproximado de 5 min, y luego se obtiene el reporte final donde se aprecia la presencia de cada elemento químico y su porcentaje.

Ensayo de impacto: realizado en concordancia con la norma NTE INEN 5718 y ASTM D6110 (Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics), cuyo objetivo es conocer el valor de absorción de energía de un material en función del área de su sección transversal, valor trascendental que mide cuánto resiste una herramienta ante un eventual impacto antes de fracturarse.

El ensayo inicia con la obtención de las probetas, en el presente caso no se pudo aplicar la norma en sus especificaciones detalladas ya que las dimensiones de las aspas eran insuficientes para cumplirlas, luego se coloca las probetas en la máquina para el ensayo de impacto Charpy y se tabula los resultados.

Ensayo de desgaste acelerado: realizado bajo la norma ASTM G-65, es una prueba cuyo objetivo es medir cuanto material (volumen en mm<sup>3</sup>) se pierde al exponer una probeta a un sistema de abrasión que consta de arena de denominación Ottawa cayendo a caudal constante (250 g/min) entre la probeta y una rueda metálica cubierta de caucho vulcanizado en condiciones específicas en determinado tiempo.

Los autores han construido una máquina para realizar este ensayo, diseñada, fabricada y calibrada bajo las especificaciones de la norma citada anteriormente, cuyos detalles se explican en un capítulo posterior.

Se inicia el ensayo dimensionando las probetas en concordancia con la norma, cuyas medidas son: 3 x 1 x 0,5 pulgadas (largo, ancho y espesor respectivamente); se ha de conocer previamente qué tipo de material es (alta, media o baja resistencia a la abrasión) para clasificarlo en un determinado procedimiento de la norma, el acero de maquinaria agrícola lo clasifica en el procedimiento B, las especificaciones para dicho procedimiento son:

- La fuerza ejercida contra la probeta es de 130N
- Revoluciones de la rueda 200 rpm
- El tiempo de exposición 10 minutos

Se ha indicar que antes y después del ensayo se ha de medir la masa de la probeta en una balanza digital de una sensibilidad de mínimo una centésima de gramo, esto es importante ya que los resultados de desgaste vienen expresados en la ecuación 1, a continuación, mostrada:

$$V_p = \frac{(P_i - P_f)}{d} * 1000 \quad (Ec. 1)$$

Donde:

$V_p$  = volumen perdido en mm<sup>3</sup>

$P_i$  = peso inicial de la probeta en gramos (antes del ensayo de desgaste abrasivo)

$P_f$  = peso final de la probeta en gramos (después del ensayo de desgaste abrasivo)

$d$  = densidad del material.

### **2.2.1 Ensayo de tintas penetrantes**

Se lo realiza bajo la norma NTE INEN-ISO 3452-2 (Ensayos no destructivos. Ensayos por líquidos penetrantes. Ensayo de productos penetrantes), su objetivo es determinar si existen defectos de fabricación como grietas superficiales, si la porosidad y picaduras superficiales son apreciable, etc; el ensayo inicia con la limpieza del aspa con un disolvente, luego se aplica una tinta impregnante, se deja secar para luego aplicar una tinta reveladora la misma que indicará visiblemente los defectos de existirlos.

### **2.2.2 Ensayo de Ultrasonido**

Es realizada bajo especificaciones de la norma ASTM E94-93, tiene por objetivo determinar defectos internos de fabricación en el aspa como: discontinuidad, rechupes y porosidad los cuales son imposibles de observar a simple vista, dichos defectos pueden constituirse en concentradores de esfuerzos en el aspa, que de existir podrían afectar en el bajo índice de fiabilidad tratado.

### **2.2.3 Modelación y Simulación**

El objetivo del presente acápite es trabajar virtualmente con el aspa bajo condiciones tan reales como se pueda, para conocer bajo qué condiciones llega a fallar, el procedimiento inicia con la generación de una geometría virtual con las

dimensiones y detalles del aspa original, una vez digitalizada la herramienta de trabajo se la importa a un software para modelarla a través del Método de Elementos Finitos (MEF), es de vital importancia conocer algunos parámetros para lo simulación como:

- Resistencia específica del suelo en su condición más severa, en este caso suelo franco arcilloso con dos años de descanso y es de: 3768,50 kPa. (Cañavate, 2014)
- Fuerza media de arrastre de la máquina automotriz en su barra de tiro, cuyo valor es: 2758 N (dato del fabricante del motocultor)
- Material del aspa, que en este caso es un acero AISI 1030 y sus propiedades específicas, como se muestra en la Tabla 2, a continuación, mostrada:

*Tabla 2. Propiedades del Acero AISI 1030*

<b>Propiedades físicas</b>	<b>Valor</b>
Densidad	7.85 g/cc
<b>Propiedades mecánicas</b>	
Dureza, Brinell	149
Resistencia última a la tracción	525 MPa
Resistencia a la fluencia	345 MPa
Porcentaje de elongación	32 %
Módulo de elasticidad	206 GPa
Razón de poisson	0.29

*Fuente: Autores*

Los valores de las cargas a las que están sujetas las cuchillas se determinan como sigue:

Se emplea un método experimental diseñado por los autores el cual se basa en ubicar la cuchilla a una máxima penetración al suelo mediante un eje que pivota sobre dos elementos de sujeción. Luego se adapta un cable metálico conjuntamente con un dinamómetro conectados en serie, para finalmente tirar del cable y romper el suelo, obteniendo la resistencia del suelo al rompimiento por cuchilla, como se muestra en la Figura 1, 2 y 3 a continuación.

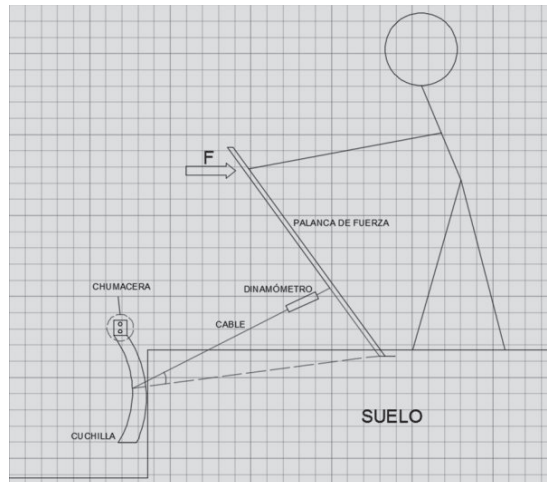


Figura 1 Bosquejo del método experimental

Fuente: Autores



Figura 2 Obtención de la fuerza de rotura del suelo

Fuente: Autores

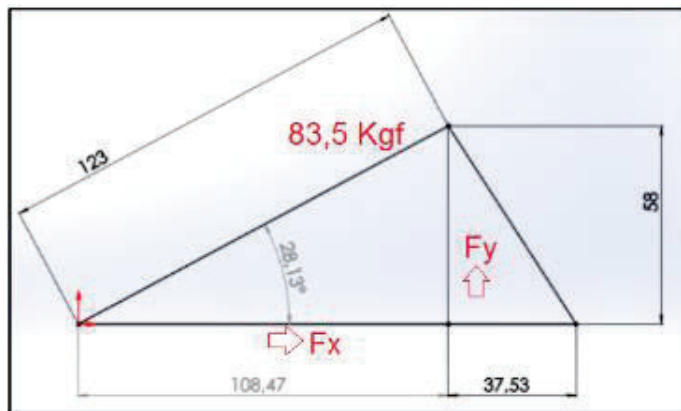


Figura 3 Triangulación de fuerzas

Fuente: Autores

A continuación, se presenta la Tabla 3 de las fuerzas resultantes de romper el suelo con la cuchilla a baja velocidad.

Tabla 3 Cargas producto del rompimiento del suelo

Número de ensayos	Fuerza
Primer ensayo Franco	83,5 Kgf
Segundo ensayo Franco arenoso	84 Kgf
<i>Nota: Estos datos fueron corroborados con un penetrómetro</i>	

Fuente: Autores

Por lo tanto, la fuerza paralela a la cuchilla será:

$$F_x = 83,5Kgf * \cos(28.13)$$

$$F_x = 73.64Kgf = 722.38N$$

La fuerza de tracción es de 722,38 N y esta se obtuvo en un tiempo de 0,5 segundos y la distancia recorrida por la cuchilla fue de 19cm. A continuación, se calcula la velocidad con la que se realizó el ensayo.

$$v = \frac{0.19m}{0.5s}$$

$$v = \frac{0.38m}{s} = \frac{1.4Km}{h}$$

Para obtener la fuerza ejercida sobre la cuchilla se realiza los siguientes análisis

### 2.2.3.1 Cálculo de la fuerza de tracción para una cuchilla del elemento de labranza.

La fuerza de tracción de una cuchilla se puede obtener como indica la ecuación 2, donde:

$$F = u * S \quad (Ec. 2)$$

Donde,

F = Fuerza de tracción

μ= Resistencia específica del suelo

S = área de la cuchilla.

Velocidades netas del motocultor: La velocidad utilizada para el análisis será la de primera marcha del motocultor obtenida del manual de motocultor, se trabajará con esta velocidad porque es la recomendable para que el motocultor no sufra contratiempos al momento de labrar el terreno.

Velocidad 1ra marcha= 1.6 km/h

Cálculo del área: Para el análisis se debe tomar en cuenta el área de la cuchilla como indica la Figura 4, que se encuentra en contacto con el suelo siendo:



Figura 4 Modelado de cuchilla del rotavator

Fuente: Autores

Seguidamente se puede aplicar la siguiente ecuación para obtener el área de contacto

$$S = L * A \quad (Ec. 3)$$

Donde,

$S_1$  = Área de contacto longitudinal de la cuchilla con el suelo.

$S_2$  = Área de contacto transversal de la cuchilla con el suelo.

L = Longitud de la cuchilla o profundidad de trabajo.

$A_1$  = Ancho de la cuchilla longitudinal

$A_2$  = Ancho de la cuchilla transversal

Por lo tanto, la resistencia específica del suelo es,

$$S_1 = L * A_1$$

$$S_1 = 19cm * 4cm$$

$$S_1 = 76cm^2$$

$$S_2 = L * A_2$$

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

$$S_2 = 5.7cm^2$$

Por lo tanto:

$$u = \frac{F}{S} = \frac{722.38N}{157.7cm^2}$$

$$u = 4.58N/cm^2$$

Suelos en Chimborazo: Los suelos con mayor relevancia para el cultivo en la ciudad de Riobamba según el MAGAP, son el suelo tipo franco y el tipo franco arenoso (Cunalata C, Inga C, 2012), en el cual se basará este análisis de fuerzas, para lo cual se tiene lo siguiente:

Análisis para suelo franco: Para encontrar la fuerza de tracción utilizada por la cuchilla se tomó en cuenta la siguiente fórmula. (Cañavate, 2014)

$$u = u_0 + \lambda * v^2 \quad (Ec. 4)$$

Donde:

$u_0$  = Resistencia estática del terreno.

$\lambda$  = Parámetro dependiente del tipo de suelo

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

Resistencia específica del suelo: Para esto se tomó como referencia la resistencia general del suelo franco siendo:  $\mu = 3 + 0.020v^2$  (Cañavate, 2014), y particularizando para este proyecto se tiene:



$$u = u_0 + 0.020v^2$$

$$4.58 = u_0 + 0.020 * 1.4^2$$

$$u_0 = 4.58 - 0.0392$$

$$u_0 = 4.5N/cm^2$$

Con la resistencia específica del terreno estática se procede al cálculo de la fuerza de tracción con la velocidad que normalmente utiliza el motocultor en primera marcha siendo de 1.4Km/h, en el momento de trabajo del terreno para lo cual se tiene.

$$u = 4.5 + 0.0512$$

$$F = (4.5N/cm^2 + 0.0512) * 157.7cm^2$$

$$F = 717.7N$$

Análisis para suelo Franco Arenoso se tiene lo siguiente:

$$u = u_0 + 0.013v^2$$

$$4.58 = u_0 + 0.013 * 1.4^2$$

$$u_0 = 4.58 - 0.02548$$

$$u_0 = 4.6N/cm^2$$

La fuerza de tracción en suelo franco arenosos es entonces:

$$u = 4.6N/cm^2 + 0.03328$$

$$F = \left( \frac{4.6N}{cm^2} + 0.03328 \right) * 157.7cm^2$$

$$F = 730.7N$$

En la Tabla 4, se muestran los valores de la fuerza de tracción obtenidas después del ensayo para asignar al software de simulación y poder estudiar las cuchillas con más detalle.

Tabla 4 Asignación de fuerzas para la simulación

Resultados del ensayo.	
Tipo de suelo	Fuerza de tracción obtenida
Franco	717,7 N
Franco Arenoso	730,7 N

Fuente: Autores

Estos resultados de fuerzas son válidos para cualquier tipo de cuchilla que se vaya a emplear en el motocultor mientras se mantenga la misma geometría.

Antes de realizar la simulación de esfuerzos de trabajo de las cuchillas se debe obtener las principales propiedades mecánicas del material de las que está fabricada para luego ingresar en el software; estos valores se obtuvieron en (MATWEB, 1996-2017), ya que la geometría de la cuchilla no permite hacer ensayos estandarizados de tensión y fractura, donde se seleccionó un acero AISI 1030 normalizado que está acorde a la espectrometría realizada.

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Resultados del ensayo de metalografía

#### 2.3.1.1 Cuchillas chinas

La microestructura del material del aspa original de motocultor es de tipo ferrítico-perlítico. Se observa una distribución no-homogénea de carbono que se evidencia por zonas de granos acumulados. El tamaño de grano es G8 y el aumento del lente es de 100X, como se puede apreciar en la Figura 5, a continuación, mostrada.

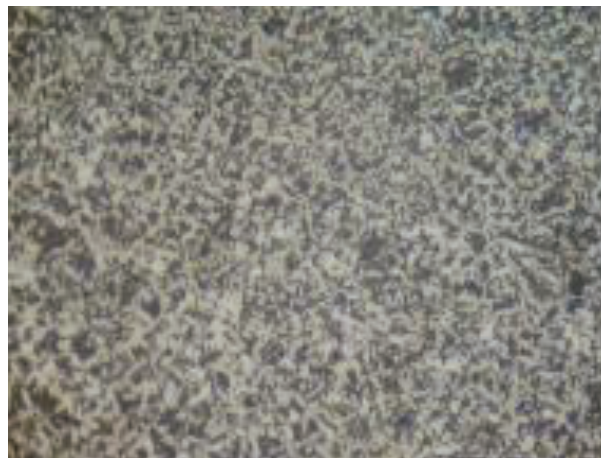
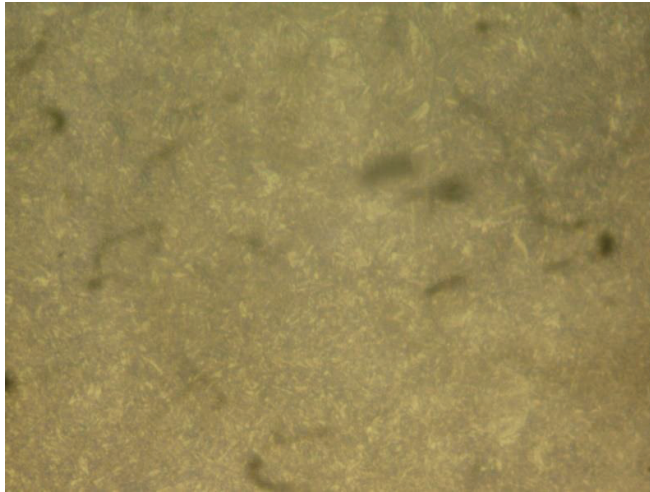


Figura 5. Determinación del tamaño de grano por comparación de imágenes

*Fuente: Autores*

### 2.3.1.2 Cuchilla ecuatoriana (artesanal)

La visualización a 500X refleja martensita como indica la Figura 6, mostrada en seguida.

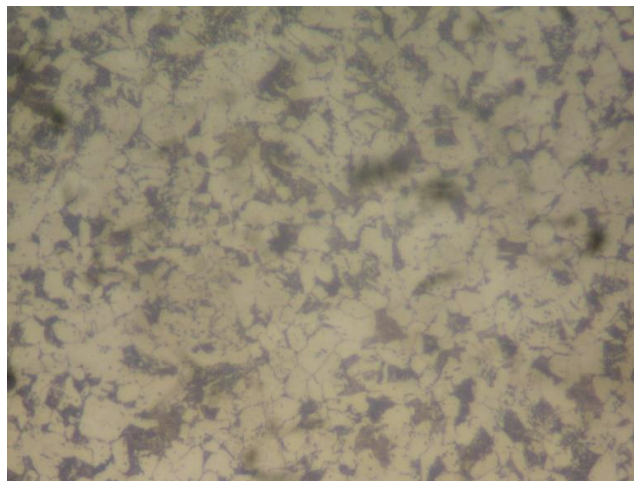


*Figura 6. Micrografía de las cuchillas artesanales a 500X*

*Fuente: Autores*

### 2.3.1.3 Cuchilla italiana

La micrografía a 500X refleja ferrita-perlita con un tamaño de grano G10 como indica la Figura 7, se observa además que la distribución de grano es homogénea.



*Figura 7. Micrografía de las cuchillas italianas a 500X*

*Fuente: Autores*

#### 2.3.1.4 Cuchilla colombiana

Se puede visualizar a 500X martensita revenida, a continuación, se muestra la Figura 8, mostrada a continuación.

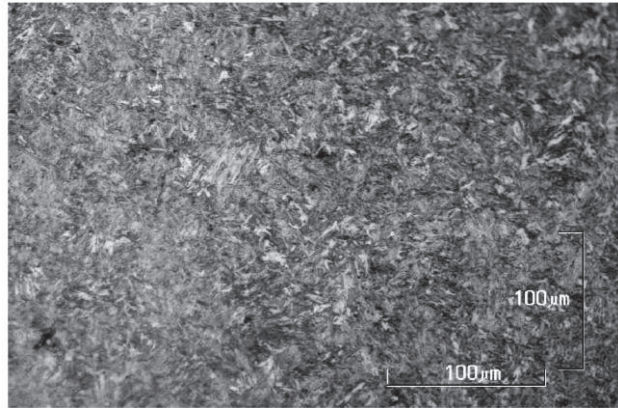


Figura 8. Micrografía de las cuchillas colombianas a 500X

Fuente: (PEREZ, GONZALES, TORO, 2009)

Los resultados muestran que los cuatro materiales son distintos entre sí, para sacar más conclusiones se han de realizar otros ensayos a fin de determinar que propiedades posee cada uno.

#### 2.3.2 Resultados ensayos de dureza

Para los cuatros grupos de aspas se han realizado el respectivo ensayo de dureza, dando como resultado una media para cada una:

- Cuchillas chinas:  $47,9 \pm 1,57$  HRC,
- Cuchillas colombianas:  $47 \pm 1,57$  HRC,
- Cuchillas italianas:  $45,2 \pm 1,57$  HRC,
- Cuchillas artesanales:  $35 \pm 1,57$  HR

#### 2.3.3 Resultados de ensayos de espectrometría

Los cuatro fabricantes han desarrollado sus productos con distinta composición química, se lo puede evidenciar en la siguiente Tabla 5 de resumen, a continuación, mostrada:

Tabla 5. Composición química de las cuchillas analizadas

	Aspa China	Aspa Colombiana	Aspa Italiana	Aspa Ecuatoriana

Carbono (%)	0,29	0,23	0,20	0,49
Cromo (%)	0,06	0,35	0,44	0,01
Manganeso (%)	0,96	1,18	1,37	0,448
Cobalto (%)	0,0047	0,0048	0,01	0,01
Molibdeno (%)	0,041	0,062	0,102	0,023
Níquel (%)	0,044	0,109	0,197	0,045
Vanadio (%)	0,062	0,011	0,012	0,005

*Fuente: Autores*

Es importante dar a conocer que los elementos fundamentales para herramental agrícola son el carbono, cromo y el manganeso, siendo el primero de ellos quien dota de dureza al acero, lo hace resistente al desgaste, y lo hace más templable, mientras que las propiedades atribuidas a los otros dos elementos son las siguientes:

Cromo. - aumenta la resistencia a la tensión, aumenta la dureza, aumenta la resistencia al desgaste, aumenta el límite elástico, incrementa la resistencia a la oxidación, incrementa la resistencia a la abrasión, incrementa la tenacidad, incrementa la resistencia al impacto, reduce la ductilidad, eleva la temperatura crítica, imparte propiedades de templado al aceite.

Manganeso. – aumenta la resistencia a la tensión, aumenta la resistencia al desgaste, aumenta la templabilidad, aumenta la ductilidad, incrementa la resistencia a la abrasión, baja la temperatura crítica, imparte una estructura de grano fina, reduce la deformación, actúa como desoxidante, actúa como desulfurizante, imparte propiedades de templado al aceite y al aire, facilita el forjado y laminado.

Por consiguiente, los elementos que se deben analizar son básicamente los tres: carbón, cromo y manganeso; en función de su porcentaje se puede concluir el mínimo para homologar herramental agrícola.

Se presenta la Tabla 7, de resumen con los tres elementos (carbón, cromo y manganeso) para analizar su porcentaje de presencia en cada herramienta:

### 2.3.4 Resultados ensayo de impacto

Los valores para este ensayo se resumen en la Tabla 6 a continuación mostrada:

Tabla 6. Absorción de energía de las cuchillas estudiadas

Aspa	Valor K (J/mm <sup>2</sup> )
China	0,24
Colombiana	0,61
Italiana	0,42
Ecuatoriana	0,24

Fuente: Autores

### 2.3.5 Resultados de ensayo de desgaste acelerado

Los valores de desgaste en mm<sup>3</sup> para cada una de las aspas se resume en la Tabla 7 a continuación mostrada:

Tabla 7. Volumen perdió promedio de las cuchillas analizadas

Aspa	Valor V <sub>p</sub> (mm <sup>3</sup> )
China	108,64
Colombiana	71,47
Italiana	96,87
Ecuatoriana	123,25

Fuente: Autores

### 2.3.6 Resultados de ensayos de tintas penetrantes y ultrasonido

Para ambos ensayos cuya finalidad era convergente en conocer defectos de fabricación tanto internos como externos se tiene una conclusión unánime: no existen defectos de consideración en el proceso de manufactura.

### 2.3.7 Resultados de la modelación y simulación

Al analizar las cargas y los esfuerzos se llega a determinar que efectivamente la zona de fractura del aspa coincide con la simulación en el software de elementos finitos, tal como se puede observar en la Figura 9, donde además se muestra un aspa rota con una captura de pantalla del análisis:

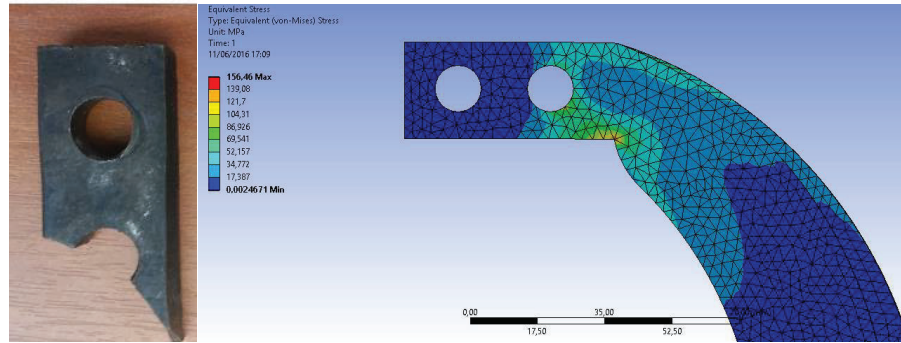


Figura 9. Comparación de falla real y simulada

Fuente: Autores

De la simulación se puede decir que hay dos razones principales para que el aspa llegue a fracturarse:

- a) Los agujeros de sujeción actúan como concentradores de esfuerzos
- b) La sección transversal del aspa es muy reducida

## 2.4 Discusión de Resultados

### 2.4.1 Principios y relaciones

Para encontrar los factores que inciden en el bajo índice de fiabilidad de las aspas del motocultor YTO DF 15L se han realizado algunos ensayos cada uno de ellos bajo su normativa específica dando los resultados de cada uno de ellos en el apartado anterior.

Los ensayos de dureza indican que existe una tendencia de los fabricantes a superar ligeramente al rango internacionalmente aceptado de dureza para herramental de maquinaria agrícola que enuncia Bhakat (Cañavate, 2014) “los requerimientos básicos de un implemento agrícola para suelo normal son 38-45 HRC y alta resistencia a la abrasión”, como se puede observar las aspas chinas presentan una dureza media de 47,9 HRC; las aspas colombianas son fabricadas con 47 HRC, las aspas italianas con 45,2 HRC siendo estas tres grupos quienes se encuentran cercanas más no así las aspas ecuatorianas artesanales que presentan 35HRC.

El ensayo de espectrometría es analizado a partir de la previa selección de tres elementos químicos fundamentales en el herramental agrícola como son: carbono, cromo y manganeso.

Carbono. - de los cuatro grupos experimentales, las aspas chinas, colombianas e italianas presentan una cantidad cercana de carbono 0,29%; 0,23% y 0,2% respectivamente; estando el grupo de aspas ecuatorianas lejos de este grupo al presentar 0,49% en su composición total.

Cromo. - en este ítem se evidencia que las cuchillas chinas presentan una pobre presencia de este metal en su composición (0,06%) lo mismo para las aspas ecuatorianas que presentan un 0,01%, de las cifras anteriores se puede deducir que, en concordancia con la teoría expuesta, las propiedades que dota el cromo a las herramientas agrícolas deben ser nulas en este grupo de aspas: en efecto 6,2 aspas chinas de cada 10 se rompen en las primeras de trabajo, determinando a priori una relación directa entre el porcentaje de cromo en el herramental y la duración de su vida útil. Las aspas italianas tienen un incremento considerable de este metal llegando a su concentración más alta de 0,44%, siendo las aspas colombianas las segundas en proporción con un 0,35%, es necesario indicar que para estos dos grupos de aspas no se ha presentado ningún problema de fracturas, sino que su desgaste es uniforme hasta el fin de la vida útil de la herramienta, tal como se puede observar en la Figura 10, a continuación, mostrada:



*Figura 10. Cuchillas de motocultor desgastadas*

*Fuente: Autores*

Con el análisis de los dos grupos anteriores se relaciona una vez más la presencia de cromo en un porcentaje importante  $\approx 0,4\%$  (media entre 0,35 y 0,44) incremental la vida útil del aspa.



Manganeso: los porcentajes varían y van desde 0,45% para las aspas ecuatorianas; 0,96% para las muestras chinas; 1,18% presentan las aspas colombianas y finalmente 1,37% las herramientas italianas, se puede observar que a mayor presencia de manganeso se tiene una mayor vida útil de las aspas siendo el umbral mínimo de porcentaje de 1,18% que para cuestiones de redondeo numérico se lo puede generalizar en  $\approx 1,2\%$ .

En los ensayos de impacto realizados a las probetas se evidencian dos valores medios iguales en el valor de  $k$  ( $J/mm^2$ ) para las aspas ecuatorianas y chinas, es decir que en promedio las dos muestras absorben la misma cantidad de energía por unidad de área antes de llegar a romperse cuyo valor es  $0,24 J/mm^2$ ; el aspa italiana presenta un valor de  $0,42 J/mm^2$ , mientras que el aspa colombiana presenta un índice de  $0,61 J/mm^2$ .

De las cifras anteriores se puede decir que el ensayo de impacto ayuda a corroborar que la presencia de Cromo y Manganeso en las aspas dota a éstas de propiedades fundamentales para el herramental agrícola, como es incrementar: la resistencia a la tensión, dureza, resistencia al desgaste, el límite elástico, y lo más importante en este ensayo como su nombre mismo lo indica la presencia de cromo específicamente aumenta la resistencia al impacto (tenacidad).

Los ensayos de desgaste acelerado muestran diferentes tasas de volumen de material perdido en el ensayo, para el grupo chino se tienen un valor medio de  $108,64 mm^3$ ; para las muestras colombianas un sensible valor menor de  $71,47 mm^3$ ; un valor de  $96,87 mm^3$  para las muestras italianas y finalmente una alta tasa media de  $123,25 mm^3$  para las aspas artesanales ecuatorianas. De la información anterior se puede verificar que a mayor presencia específica de cromo y manganeso también es mayor la resistencia al desgaste del herramental.

#### **2.4.2 Generalizaciones**

De las co-relaciones narradas previamente se puede decir que a manera de generalización se puede aseverar que:

- Los fabricantes de aspas para motocultor presentan sus productos con una dureza superficial de su herramienta en el rango internacional estándar (38-45HRC), sin embargo, este valor no es determinante para considerarlo apto

para labrar el suelo ya que es probable que solamente su superficie externa esté endurecida mientras que otras propiedades como la tenacidad, resistencia al desgaste e impacto, límites a la tensión y elástico, sean relativamente pobres y además dichas propiedades sean determinantes en la vida útil de la herramienta.

- El acero de grado agrícola preferentemente ha de tener un 0,2% en su composición lo cual no cumple el aspa en estudio.
- Las aspas que posean en su composición química un valor mínimo aproximado a 0,4% de Cromo y 1,2% de Manganeso serán las que presenten una mayor vida útil como consecuencia de fortalecer las propiedades inherentes a estos metales como son: aumentar la resistencia a la tensión y al desgaste, incrementa el límite elástico, mejora la tenacidad y específicamente incrementa la resistencia al impacto en el caso del cromo y ayuda en la ductilidad y a estructurar el material en grano más fino exclusivamente el manganeso, por consiguiente es insustituible la presencia de estos elementos químicos (y su porcentaje) en la composición de aspas para motocultores.
- Es fundamental simular con la ayuda de programas CAD/CAE las herramientas agrícolas que presentan una específica problemática y asignar con valores lo más exactos posibles al vector de cargas y aspectos específicos del material para llegar a determinar cuál o cuáles son las causas que generan y/o co-participan en el problema.

### **2.4.3 Datos dispersos**

Los datos que distan mucho de las medias específicas de otros grupos en este trabajo de investigación son los valores relacionados con las aspas ecuatorianas artesanales, existen dos explicaciones coherentes para este fenómeno:

1. Las aspas chinas, colombianas, e italianas fueron diseñadas en cuanto a su material para cumplir la función específica de labrar el suelo, muestra de ello es su tendencia a presentar un valor de dureza entre 45,2 y 47,9 HRC mientras que las aspas artesanales ecuatorianas tienen una dureza lejana de 35 HRC que sin embargo está en el umbral estándar de dureza, la razón puede encontrarse en que el material de que fueron fabricadas las aspas

artesanales fue acero reciclado de resortes de ballesta automotriz que obviamente tiene una composición totalmente distinta de los otros tres grupos, aquello se evidencia también en los resultados de espectrometría y desgaste.

2. Otra razón para que se encuentren datos lejanos en las aspas artesanales es que como se indicó el material de fabricación fue reciclado, esto lleva a la conclusión de que las bajas propiedades mecánicas de este material se ven afectados por la fatiga del material el mismo que probablemente acabó su vida útil para el trabajo que fue diseñado y por consiguiente al tratarse de un material “fatigado” presenta micro fisuras en su composición lo que lo hace más vulnerable frente al exigente trabajo de campo en donde si resisten de mejor manera los otros grupos en donde el material fue virgen antes de entrar a labrar el terreno.

#### **2.4.4 Concordancias con otras publicaciones**

En un contexto macro, se puede encontrar dos publicaciones relacionadas directamente con la presente investigación y a las cuales se las cita en algunas ocasiones:

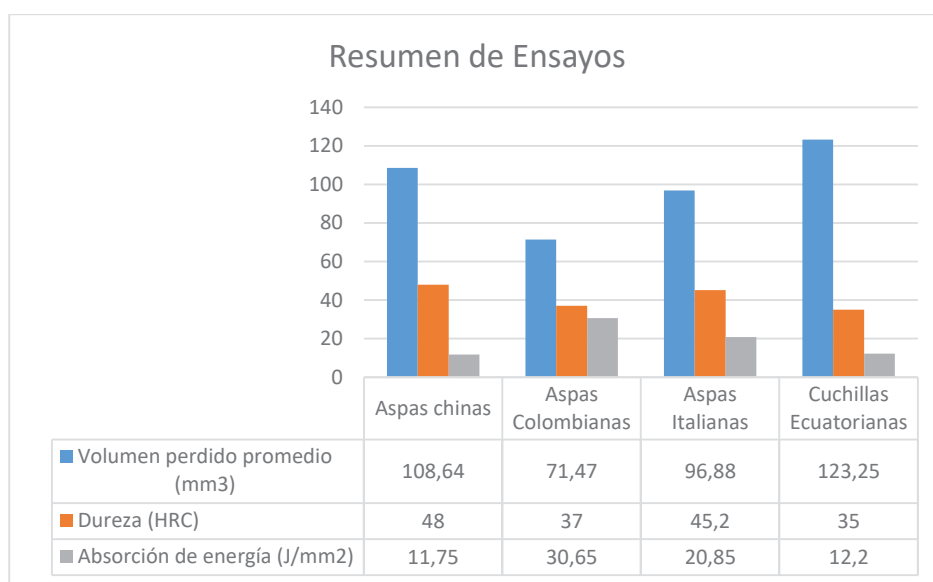
“Caracterización de desgaste y propiedades metalúrgicas para el desarrollo de acero de calidad agrícola adecuado en condiciones específicas del suelo” (A. Bhakat, A. Mishra), su trabajo delimita y concuerda con la presente investigación en encontrar un rango mínimo de dureza para el herramental agrícola el mismo que oscila entre 38-45 HRC para la investigación extranjera y siendo un valor medio de dureza de las aspas presentes en el Ecuador de 43,8 HRC; en la misma publicación se recomienda que además del rango de dureza mínimo para grado agrícola, éste material ha de presentar “alta resistencia a la abrasión”, en este capítulo se ha generalizado que para dotar de esta propiedad específica al material se ha de tener como pre-requisito la presencia de cromo en un 0,4% y de manganeso en un 1,2% en la composición total del material.

El presente trabajo es inédito en el país en cuanto a estudio de factores que inciden en la fiabilidad de aspas o literatura relacionada para motocultores tanto en un espectro general como específico para el modelo YTO DF 15l, la única documentación relacionada en pocos aspectos es la Norma NTE INEN ISO 5718. [

Maquinaria de cosecha. Cuchillas para segadoras rotativas agrícolas. Requisitos (ISO 5718: 2013, IDT)] la misma que presenta requisitos mínimos entre ellos realizar ensayos de dureza e impacto a las cuchillas para segadora, dichos aspectos son los convergentes con el presente trabajo.

A continuación, se presenta la Tabla 8 donde se puede observar los resultados de Volumen Perdido Promedio (VPM), Dureza y Absorción de energía de las diferentes muestras de aspás que se comercializan en Ecuador.

Tabla 8 Resultados de los ensayos realizados a las aspás



Fuente: Autores

#### 2.4.5 Aplicaciones teóricas y prácticas de los resultados

En cuanto a aplicaciones de los resultados se podría afirmar que para productores de herramientas para labranza en motocultores, se ha de definir una dureza superficial mínima en las aspás entre 38-45 HRC, y en su composición química de preferencia ha de ser un acero con 0,2% de carbono; 0,4% de cromo y un 1,2% de manganeso eso dotará e incrementará sensiblemente en el herramental de las siguientes propiedades mecánicas ideales para el trabajo en campo como son: resistencia a la tensión, dureza, resistencia al desgaste, ductilidad, límite elástico, resistencia a la oxidación, abrasión e impacto, tenacidad, y forma una estructura de grano más fina.

Otra aplicación importante sería establecer requisitos y ensayos para aplicar a herramental que requiera homologación en un determinado mercado, los mismos que se pueden resumir:

- Ensayo de metalografía
- Ensayo de dureza
- Ensayo de espectrometría
- Ensayo de impacto
- Ensayo de desgaste acelerado
- Ensayo de tintas penetrantes
- Simulación CAD/CAE de las aspas

## **2.5 Conclusiones previas**

- Se llega a determinar que las causas del bajo índice de fiabilidad de las aspas originales (chinas) del motocultor YTO DF 15I son dos: primero la insuficiente sección transversal del aspa en la región cercana a los agujeros de sujeción, los mismos que actuaron como concentradores de esfuerzos y en segunda instancia el ensayo de espectrometría indica que hay una pobre presencia de cromo y manganeso en las aspas: 0,06 y 0,96% respectivamente, muy lejos del valor referencial recomendado 0,4 y 1,2% para cada uno.
- Se concluye que el ensayo de dureza de un aspa para motocultor no es determinante ya que solo mide la dureza superficial y no se conoce a ciencia cierta el condicionamiento de las otras propiedades mecánicas del herramental.
- Es fundamental realizar un ensayo de espectrometría al material para conocer la composición química y los valores porcentuales de tres elementos imprescindibles en materia de herramental agrícola C: 0,2%; Cr: 0,4% y Mn: 1,2%, dichos elementos y con esos valores han de dotar de excelentes propiedades para la labranza agrícola fundamentados en aumentar la dureza, reducir el desgaste y abrasión y aumentar la resistencia al impacto.
- Es importante al simular con los programas CAD/CAE digitalizar la herramienta con las dimensiones correctas y sus detalles, así como también colocar el vector carga tanto en módulo, dirección, sentido y punto de

aplicación lo más cercano con el fenómeno en la realidad ello generará resultados óptimos que indican cual o cuales fueron las causas de la problemática.

## **2.6 Solución del caso específico de estudio**

El MAGAP, con su regional en Riobamba, ha de atender las necesidades de los agricultores en cuanto a mecanización agrícola, en tal virtud se ha mencionado la problemática de este ministerio en cuanto al bajo índice de fiabilidad de las aspas del motocultor YTO DF 15l el mismo que tiene la misión de labrar superficialmente el suelo y de esta manera dinamizar el trabajo en horticultura, sin embargo, uno de los problemas acuciantes es la rotura de las aspas lo cual se ha llegado a solucionar en función al estudio, ensayos y análisis detallados anteriormente los cuales señalaban a la pobre sección transversal del aspa china como uno de los factores preponderantes en el problema, se ha trabajado en ello dotando al aspa de una mayor sección trasversal a través del método de añadidura de material el mismo que consiste en soldar en la zona de fractura una varilla de acero A36 y recubrirlo con cordón de soldadura de arco tradicional con electrodo 6011 como se puede ver en la Figura 11, los resultados han sido excelentes dando un total de roturas de 0, pero hay que considerar que las aspas se van desgastando rápidamente (brillo metálico excesivo al trabajar) lo que lleva a prevenir que en un corto tiempo de vida útil se llegará al límite de desgaste y consecuentemente se llegará a romper irremediablemente, lo anterior relaciona directamente la presencia de cromo y manganeso en pequeñas o nulas proporciones lo que conlleva a que las aspas sean vulnerables en mayor grado ante el desgaste, abrasión e impacto típico del trabajo agrícola.



*Figura 11. Cuchillas añadidas material A36 por soldadura*

*Fuente: Autores*

Se aplicaron también una serie de tratamientos superficiales a las aspas con el objetivo de incrementar su dureza superficial, tales tratamientos fueron: Nitruración, Cementación, Templado y Revenido, de esta aparente solución se pudo comprobar que todas las aspas fallaron sea cual fuese su tratamiento térmico.

## CAPÍTULO 3

### **3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESGASTE ACELERADO.**

#### **3.1 Introducción**

Se adopta como referencia para la investigación aplicada al campo de las cuchillas de labranza del motocultor YTO DF 15I, la norma ASTM G-65 “Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus” (ASTM, 2016), la misma que presenta algunos ensayos de desgaste acelerado para distintos materiales en función de su composición en un aparato denominado “máquina de desgaste acelerado”.

La tasa de desgaste será la referencia para determinar que material se desgastará más que otro, sin que intervengan otras variables, este valor será crítico para en función de ello recomendarlo o no, en el proceso de homologación.

Se procederá a diseñar el equipo en base a las especificaciones de la norma descrita, luego a la construcción del equipo y finalmente validarlo por medio de pruebas de desgaste de cuchillas del motocultor de venta en el mercado local.

Así mismo se hará un análisis comparativo de desgaste acelerado en diferentes cuchillas existentes en el mercado nacional que realizan el mismo trabajo de labranza y que son de diferente procedencia.

#### **3.1.1 Aplicación de la norma ASTM G-65**

Estos ensayos cubren los procedimientos de laboratorio para determinar la resistencia de los materiales metálicos al desgaste por abrasión, mediante la prueba de arena seca/caucho.

El objetivo de este método es producir datos que reproduzcan un sistema tribológico bajo parámetros previos conocidos, así el ensayo de desgaste acelerado por el método de “arena seca/caucho” se basa en la fricción de una rueda metálica en cuya periferia está dispuesta un caucho, girando el elemento anterior contra la probeta metálica, el sistema se completa cuando entre la probeta y el caucho de la



rueda existe la caída bajo un caudal determinado y también calibrado de arena o abrasivo.

Los resultados de las pruebas de abrasión se indican como pérdida de volumen en milímetros cúbicos para el procedimiento especificado. Se ha de suponer que los materiales de mayor resistencia a la abrasión tendrán una menor pérdida de volumen.

Para lograr paridad entre los resultados de distintos laboratorios se necesita que los reportes de desgaste sean exclusivos en milímetros cúbicos.

### **3.2 Diseño del Equipo de Abrasión**

El diseño del equipo es sugerido por la norma ASTM G-65, en cuanto a la arquitectura total sería difícil cambiar uno u otro componente ya que cada uno cumple una función específica en la máquina de desgaste, así se tiene cada componente de la máquina bosquejado en la norma en tal virtud se siguen las recomendaciones de las dimensiones propuestas en la norma para mecanizarlas de las medidas establecidas.

Las únicas medidas que están fuera del alcance de la norma son la masa del motor-reductor, la misma que puede ser encontrada por el pesaje directo del motor en una balanza, el valor del mismo multiplicado por la aceleración de gravedad da una fuerza de 147N.

La fuerza normal en la estructura, la fuerza de rozamiento de la rueda contra la probeta y el peso del disco son otros valores importantes en el cálculo de esfuerzos que afectarán la estructura de la máquina, cuyos valores se pueden encontrar:

#### **3.2.1 Cálculo de la fuerza normal (FN)**

Esta fuerza es la resultante de aplicar la carga P de 130N en el soporte de brazo de palanca del equipo como se puede ver a continuación en la Figura 12:

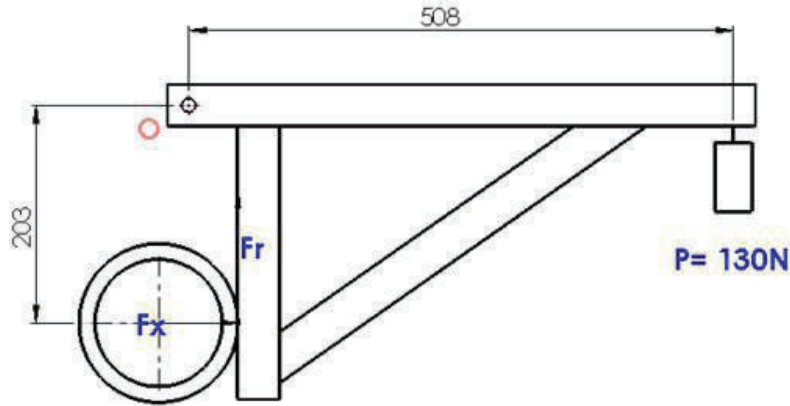


Figura 12. Soporte brazo palanca del equipo según norma ASTM G-65

Fuente: Autores

Por lo tanto:

$$\sum M_0 = 0 \quad (Ec. 5)$$

$$P(0,508m) - F_x(0.203m) = 0$$

$$F_x = \frac{130N * 0.503m}{0.203m} = 325N$$

### 3.2.2 Cálculo de la fuerza de rozamiento (FR)

Esta fuerza se opone al movimiento del disco giratorio y está dada por:

$$F_R = \mu * N \quad (Ec. 6)$$

Donde,  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre la goma y el material de la probeta el cual es cercano al valor de 0,3 y N es la fuerza normal obtenida en el inciso anterior.

El valor del coeficiente de fricción entre caucho y acero se toma de la Tabla 9 a continuación, indicada:

Tabla 9. Coeficientes de fricción

Material de la banda de rodadura	Material base	Coeficiente de rozamiento
Acero forjado	Acero	0.019
Hierro fundido	Acero	0.021
Caucho duro	Acero	0.303
Poliuretano	Acero	0.03-0.057*
Nylon	Acero	0.027

Fenólicos	Acero	0.026
El poliuretano tiene un rango de valores de coeficientes dependiendo del material poli específico seleccionado		

*Fuente: (HAMILTON, 2014)*

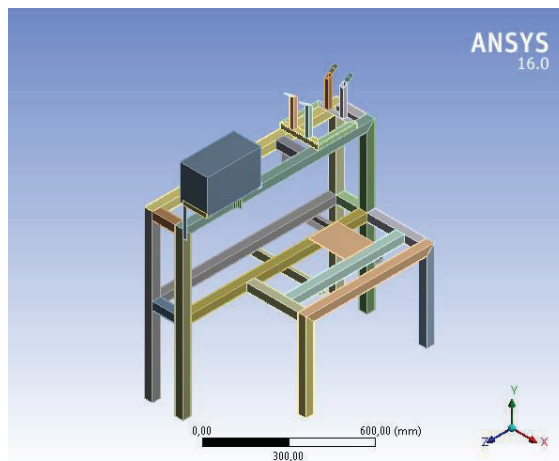
Por lo tanto:

$$F_R = 0.3 * (325 N)$$

$$F_R = 97,5 N$$

### 3.2.3 Simulación de cargas sobre el equipo

Se diseñó la geometría de la estructura en un programa CAD como se puede ver en el Figura 13, para poder insertar posteriormente las cargas y simular los esfuerzos de trabajo, como se muestra a continuación. Cabe mencionar que el perfil seleccionado es cuadrado de 2 pulgadas y de 2 milímetros de espesor.



*Figura 13. Bosquejado del equipo en CAD.*

*Fuente: Autores*

Luego se ingresa las cargas obtenidas, al pesar la tolva llena del material abrasivo hasta el tope y del peso del moto-reductor, siendo de 490N y 100N respectivamente, para posteriormente visualizar los resultados como se muestra en la Figura 14. El tipo de empotramientos es fijo con 0 grados de libertad, y están ubicados en cada elemento de fijación al piso (patas).

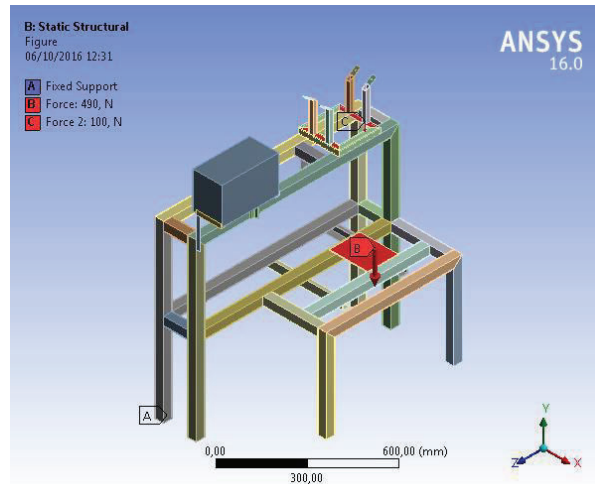


Figura 14. Aplicación de cargas

Fuente: Autores

La deformación máxima del material bordea 0,097mm en la zona donde se sujeta el motor con respecto a su longitud, siendo inferior al límite máximo del material base ASTM A36 como se muestra en la Figura 15 a continuación.

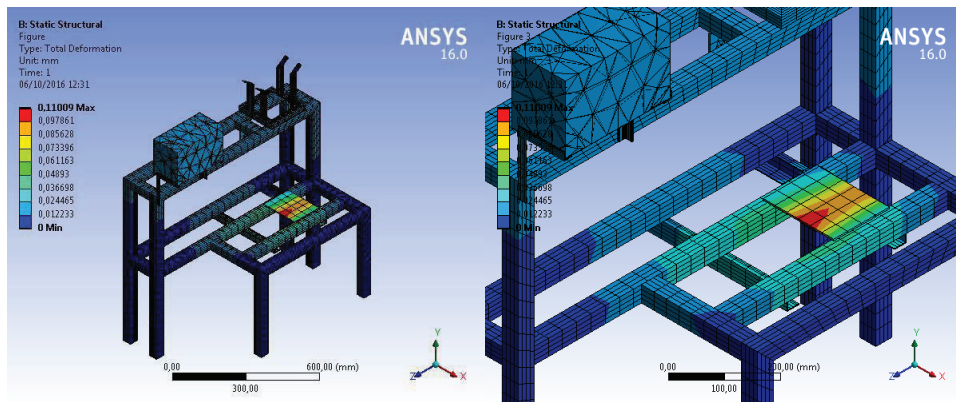


Figura 15. Resultado de deformación de la estructura del equipo

Fuente: Autores

El factor de seguridad está en 12 por tal razón soportará sin mayores contratiempos los excesos de carga y/o eventualidades externas como se observa en la Figura 16 a continuación mostrada.

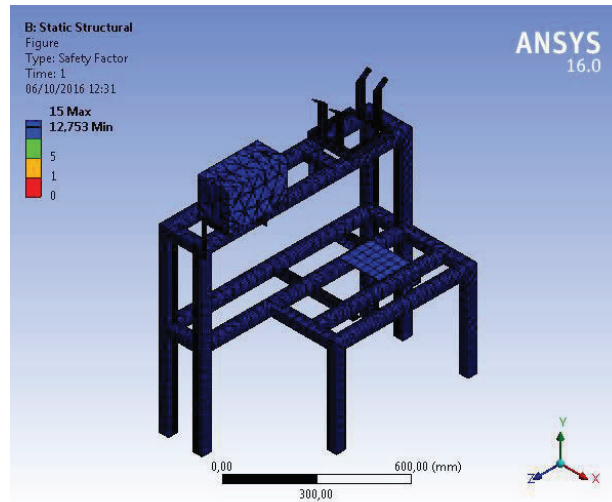


Figura 16. Factor de seguridad del equipo

Fuente: Autores

### 3.2.4 Selección del chavetero

El esfuerzo de corte en la chaveta viene dado por la siguiente ecuación:

$$\tau_c = \frac{P}{b * l} \leq \frac{0,577 * S_y}{n} \quad (Ec. 7)$$

Donde:

$n = 1$  (factor de seguridad en la chaveta)

$S_y = 210 \text{ MPa}$  (para un acero 1020)

La fuerza de corte en la chaveta es:

$$P = \frac{T}{r} \quad (Ec. 8)$$

Donde:

$T = F_R * r_{dis} = 97,5N * 0,1145m = 11,16 \text{ Nm}$  (Torque ejercido en el eje)

$r = 0.024m$  (radio del eje)

Para el ancho de la chaveta (b) se tiene que:

$$b \geq \frac{d}{4} \quad (Ec. 9)$$

$$\frac{0.024}{4} = 0.006$$

Reemplazando:

$$l \geq 1.5 \text{ mm}$$

El esfuerzo de aplastamiento en la chaveta es, por tanto:

$$\sigma_{apl} = \left( \frac{P}{\frac{h}{2} * l} \right) \leq \frac{S_y}{n} \quad (Ec. 10)$$

$$h = 9.2mm$$

Quedando la chaveta como sigue en la Figura 17

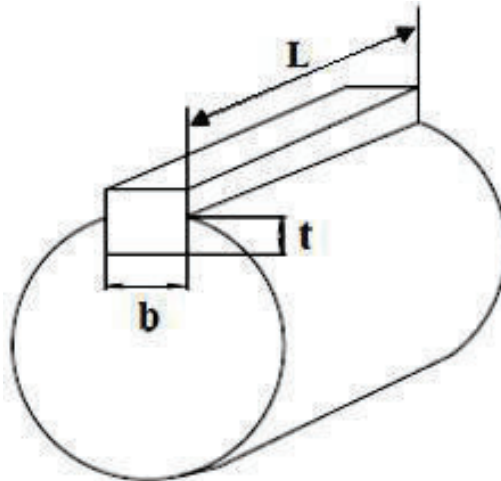


Figura 17. Chavetero seleccionado

Fuente: (Shigley, 2008)

La chaveta por lo tanto tienes la siguiente geometría como indica la Tabla 10 a continuación mostrada

Tabla 10. Selección de chaveta y chavetera

Descripción:	Ø del eje (mm)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	Chaflán (mm)
Chaveta del disco de abrasión	24	12.7	6	6	0.2

Fuente: Autores

### 3.2.5 Componentes del equipo

Entre los principales elementos constituyentes están los mostrados en la Figura 18 a continuación.

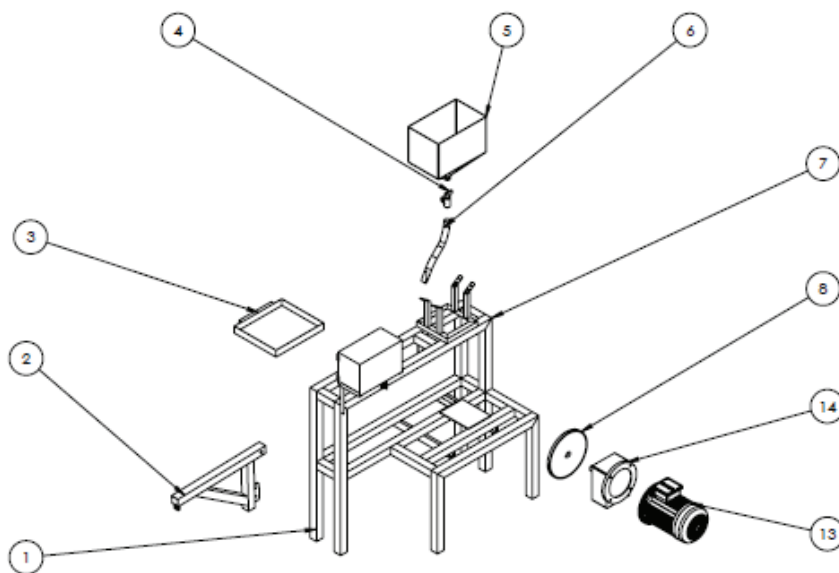


Figura 18. Componentes del equipo

Fuente: Autores

Los componentes del equipo vienen nombrados en la Tabla 11 a continuación mostrada:

Tabla 11. Componentes de la máquina de desgaste según ASTM G-65

N	Elemento
1	Bastidor
2	Brazo soporte de probeta
3	Bandeja para abrasivo
4	Válvula
5	Tolva
6	Conducto de alimentación de abrasivo
7	Soportes de tolva
8	Disco giratorio metálico
13	Motor
14	Reductor

Fuente: Autores

### 3.3 Construcción del Equipo

La etapa de construcción se la llevó a cabo con tecnología del medio local, algunas partes fueron construidas y otras adquiridas bajo designación comercial. Los planos del equipo se encuentran detallados en el anexo B.

Se había preseleccionado un perfil de acero estructural ASTM A36 cuadrado de dimensiones 40x40x2mm y de acuerdo con las cargas obtenidas en el inciso anterior de las simulaciones, se determina que el material soporta los esfuerzos.

El disco de abrasión, es un acero estructural ASTM A36 de 9 pulgadas de diámetro con recubrimiento de goma de 60 shore A de dureza como indica la norma.

Adicionalmente a esto se debe emplear latón de 1mm de espesor para construir la bandeja recolectora de arena y la tolva.

#### 3.3.1 Corte y ensamblaje

Los planos del equipo se encuentran en el Anexo B.

Se inició construyendo la estructura principal del equipo como se indica en la Figura 19 a continuación mostrada.



*Figura 19. Corte y ensamblaje del equipo*

*Fuente: Autores*

Luego se construyó el brazo palanca como se observa en la Figura 20 a continuación mostrada.





*Figura 20. Brazo Palanca del equipo*

*Fuente: Autores*

En la Figura 21, se muestra la tolva construida



*Figura 21. Tolva*

*Fuente: Autores*

El disco de abrasión se puede observar en la Figura 22 a continuación mostrada.

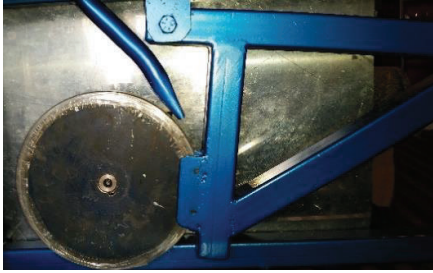


*Figura 22. Disco de abrasión*

*Fuente: Autores*

### **3.3.2 Acoplamiento del motor-reductor**

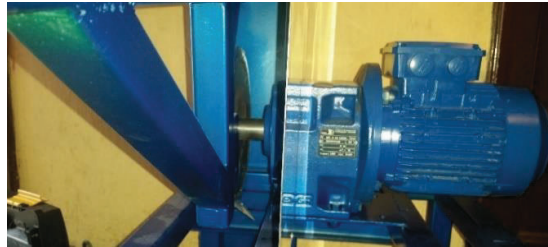
El eje del disco de abrasión debe coincidir en la mitad de la probeta como indica la Figura 23 a continuación mostrada.



*Figura 23. Acoplamiento del brazo y disco de abrasión al equipo*

*Fuente: Autores*

Por lo tanto, se debe hacer las correcciones necesarias en la altura del motor-reductor hasta conseguir la que la porta probetas y el disco de abrasión queden concéntricos como indica la Figura 24 a continuación mostrada.



*Figura 24. Acoplamiento del moto-reductor al equipo*

*Fuente: Autores*

### **3.3.3 Acabado superficial**

Para terminar la construcción del equipo se debe instalar en la base de la tolva la llave de paso, la cañería y la boquilla de suministro del abrasivo. Adicionalmente a eso cubrir con una capa de pintura para prevenir la corrosión, quedando como se ven en la Figura 25 a continuación mostrada.



*Figura 25. Culminación del equipo*

*Fuente: Autores*

### 3.4 Utilización del Equipo

El presente capítulo se desarrolló apegado a los requerimientos exigidos por la Norma ASTM G-65, en cuanto concierne a la construcción y puesta a punto de la máquina de desgaste abrasivo.

Es necesario e imprescindible calibrar la máquina (variables importantes) antes de su utilización, todos los rangos de uso para realizar la puesta a punto se encuentran detalladas en la norma, la misma que se encuentra como anexo C al final del presente trabajo, las variables son las siguientes:

- Diámetro de la rueda para desgaste
- Dureza del caucho de rueda
- Tamaño de grano del abrasivo
- Humedad del abrasivo
- Flujo del abrasivo
- Velocidad angular del motor
- Fuerza tangencial a la probeta metálica

Con la máquina de desgaste abrasivo se puede determinar la tasa de desgaste de un material en función de su pérdida de masa, conociendo su densidad.

La Norma ofrece una variedad de procedimientos (A, B, C, D, E) en función del tipo de material que se necesite ensayar, en este caso se ensayaron aceros de grado agrícola, el cual representa un procedimiento B.

Antes de encender el equipo se debe tomar en cuenta los equipos de protección personal como son guantes, gafas, mandil y casco para prevenir lesiones al operador.

- Verificar que el interruptor este en OFF
- Verificar que él toma corriente sea de 220V
- Conectar el equipo
- Colocar el interruptor en ON
- Comprobar que el disco gire libremente sin contacto con la porta probetas o el brazo de carga
- Ya que la relación de transmisión del motor al disco es de 18:1 y como el motor gira a 3450 rpm el disco girara a 192 rpm, por tanto, no requiere comprobación de las rpm del disco

### 3.4.1 Comprobación del caudal de arena

Una vez instalado la tolva la cañería y la boquilla se deben realizar ajustes en la boquilla hasta obtener una cortina continua y uniforme para poder cumplir con la norma y obtener pruebas más precisas.

- Se inició comprobando la cortina de abrasivo como indica la Figura 26, debiendo ser esta uniforme



Figura 26. Visualización de la cortina de abrasivo

Fuente: Autores

- Luego se comprobó el caudal de abrasivo como indica la norma siendo de entre 300 a 400 g/min. Siendo el caudal para este equipo de  $310 \pm 5$  g/min como se muestra en la Figura 27 a continuación.



Figura 27. Medición del caudal de abrasivo

Fuente: Autores

El sistema de transmisión se lo realiza mediante un reductor con un  $i = 18$  que reduce las rpm del motor a 191.78 rpm, como indica la Figura 28 a continuación:

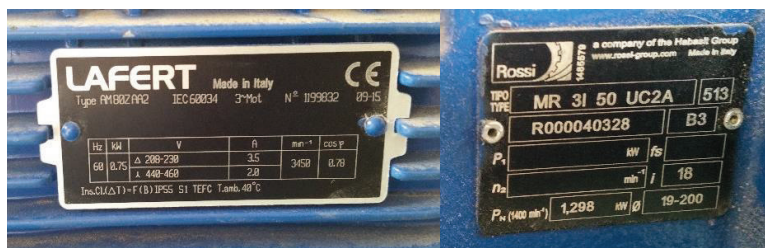


Figura 28. Obtención de los parámetros del motor y reductor

Fuente: Autores

Las revoluciones por minuto que el disco de abrasión es entonces:

$$\frac{3450 \text{ rpm}}{18} = 191,78 \text{ rpm}$$

### 3.4.2 Manual de operación

Es indispensable que antes de operar el equipo se realice la lectura meticulosa del manual de operación y mantenimiento. Si realizamos una adecuada instalación (mecánica y eléctrica), se lleva a cabo el plan de mantenimiento y operación correcta del manual, el equipo no presentara problemas de ningún tipo. El plan de mantenimiento va relacionado directamente con la buena operación del mismo, el usuario debe tener conocimientos de las precauciones de seguridad antes de utilizarlo como se indica en la Tabla 12 a continuación mostrada.

Tabla 12. Manual de operación

Paso	Actividad
1	Colocar el equipo para ensayos de abrasión en una superficie horizontal, con espacio para realizar la actividad del ensayo y libre de humedad.
2	Asegurarse que el botón ON-OFF este en la posición de apagado (OFF).
3	Enchufar la alimentación eléctrica, verificando que tenga una entrada de 220 V.
4	Colocar la probeta en la porta probetas y ajustar.
5	Encender el equipo pulsando el botón ON. (VERDE)
6	Anadir los pesos adecuados sea para el brazo (palanca) o para el contrapeso dependiendo del tipo de material, según la Tabla 5.

7	Llenar la tolva con el material abrasivo previamente calibrado, debiendo estar seco.
8	Abrir la válvula de control y distribución de flujo de la tolva y dejar caer el material. No iniciar la rotación del disco hasta que se establezca la cortina uniforme, la tasa de flujo debe ser medido con anterioridad al ensayo.
9	Encender el equipo y esperar 5 segundos para estabilizar de la máquina.
10	Medir el tiempo con el cronometro dependiendo del material, según Tabla 5.
11	Después de ejecutar el ensayo retirar la probeta y volver a pesar.
12	Al final de la operación del equipo, desconectar la fuente de alimentación eléctrica, cerrar la válvula de la tolva de alimentación de abrasivo

*Fuente: Autores*

### **3.4.3 Limpieza**

Es de suma importancia para conservar el equipo en condiciones aptas de uso. Se recomienda realizar una limpieza del equipo luego de cada serie de ensayos, utilizando franela y guapes secos. Además, se debe realizar la recolección de todo tipo de desecho generado por la máquina y/o materiales empleados.

### **3.4.4 Manual de mantenimiento**

Para obtener una larga duración del equipo y de cada accesorio en conjunto es necesario el uso de mantenimiento preventivo o correctivo cuando sea necesario, contemplando las situaciones más críticas que podrían averiar el sistema eléctrico, así como cada una de las partes mecánicas, lo cual entorpecería el ensayo.

### **3.4.5 Mantenimiento del sistema eléctrico.**

Realizar inspección visual del sistema eléctrico (botonera, cableado), esto se lleva a cabo cuando el equipo esta encendido de manera que se pueda apreciar el correcto funcionamiento de los componentes eléctricos.

### **3.4.6 Mantenimiento del sistema mecánico.**

Observar el correcto estado de la transmisión de manera visual y auditiva, y revisar el estado de cada uno de sus componentes, y engrasar cuando sea necesario, el ruido excesivo es un indicativo que hay que poner atención en este apartado. Además, revisar frecuentemente el nivel de aceite en la trasmisión del motor-reductor para evitar su avería.

4.9.2.1 *Mantenimiento de sección para ensayo de aceros.* La huella de desgaste debe tener forma rectangular y profundidad uniforme en toda la sección de la huella, caso contrario se debe calibrar el equipo como indica el apartado 5.1.2. Además, se debe cambiar el caucho del disco vulcanizado cuando el diámetro sea  $\leq 215,9$  mm (8,5 in).

### **3.4.7 Plan de seguridad**

Antes de conectar el equipo a la fuente de energía, se debe verificar que sea el voltaje necesario y que el equipo este en modo OFF.

El equipo debe ser desconectado antes de realizar cualquier tipo de mantenimiento. El técnico de laboratorio debe estar presente al momento de realizar cualquier tipo de práctica.

Por seguridad ante el arranque del equipo deben estar presente dos personas: uno para encender el equipo y controlar el tiempo de ensayo, y otro para verificar la apertura y cierre de la válvula de paso e inspeccionar el correcto funcionamiento del sistema.

### **3.4.8 Uso de equipo de protección personal.**

En lo posible se debe controlar el uso adecuado uso del EPP (equipo de protección personal) dentro de la zona de ensayo.

Con el fin de asegurar el resguardo de las personas durante el ensayo expuestas a golpes o a la contaminación producida por el polvo, es obligatorio el uso de EPP como indica la Figura 29.



*Figura 29. Equipo de protección personal*

*Fuente: Autores*

### **3.5 Conclusiones previas**

El diámetro del disco de abrasión está acorde a las exigencias de la Norma ASTM G-65 siendo este de 9 pulgadas.

La dureza del recubrimiento de caucho del disco de abrasión es Shore A-60, estando dentro del rango permisible por la norma citada.

La arena abrasiva fue secada a 100°C por una hora en un horno y tamizada según ensayo AFS50, con una abertura de malla de 0.297 mm.

El flujo de abrasivo de este equipo es de 310 g/min estando dentro del rango aceptable por la norma.

La velocidad angular del disco de abrasión es de 191.78 rpm, cuyo valor cumple con la norma.



## CAPÍTULO 4.

### 4. NORMATIVAS Y HOMOLOGACIÓN

#### 4.1 Normas Aplicadas a la Maquinaria Agrícola

##### 4.1.1 Normas Internacionales

Para producir máquinas agrícolas más seguras y eficientes los fabricantes aplican normas internacionales que cubren desde el diseño conceptual hasta el trabajo autónomo pudiendo mencionar las siguientes normas internacionales las cuales cubren un amplio espectro del tema en cuestión:

- ISO 5718:2013 (*Harvesting equipment. blades for agricultural rotary mowers. requirements*)
- ISO 4254-1:2008 (*Agricultural machinery. safety. part 1: general requirements*)
- ISO 11850:2011 (*Agricultural machinery. safety. part 5: power-driven soil-working machines*)
- ISO 4254-10:2009 (*Agricultural machinery. safety. part 10: rotary tedders and rakes*)
- ISO 5674:2004 (*Tractors and machinery for agriculture and forestry. guards for power take-off (pto) drive-shafts. strength and wear tests and acceptance criteria*)

Siendo estas normas las más relevantes para este estudio las cuales pueden ser empleadas en el país para adquirir maquinaria agrícola de calidad.

##### 4.1.2 Normas Ecuatorianas

Bajo los preceptos de las normas internacionales se han de encontrar normas que regularicen las actividades descritas en el país.

Luego de realizar un exhaustivo análisis en busca de procesos de homologación o al menos normativas para maquinaria agrícola en el país, tanto en el ministerio del ramo (MAGAP) o con el Instituto de Normalización no se encontró documento específico y/o explícito alguno con la temática, el INEN cuenta con algunas normativas derivadas íntegramente de las normas ISO, como se detalla a continuación que involucra algunas facetas de la gestión de maquinaria agrícola, como indica la Tabla 13 a continuación mostrada.

Tabla 13. Normas aplicadas a maquinaria agrícola

NORMA	CAMPO DE APLICACIÓN ESPECÍFICO
INEN 5674	Ensayos de desgaste en las tomas de fuerza
INEN 4254	Seguridad en Maquinaria Agrícola
INEN 5718	Cuchillas para segadoras requisitos
ISO 26322	Tractores Agrícolas
INEN 4254-5	Seruridad: ruidos, protecciones, contactos
INEN 4254-7	Seguridad: Cosechadora de cereales
INEN 4254-10	Seguridad: Rastrillos y henificadoras
INEN 4254-12	Seguridad: Seguridad en segadoras rotativas
INEN 11806	Seguridad y ensayos en desbrozadoras
ISO 14982	Compatibilidad electromagnética para transmisión de datos

Fuente: INEN

Son las normas INEN más cercanas al tema de investigación, pero no son las específicas en cuanto a materiales y/o ensayos requeridos para motocultores.

En el Ecuador y específicamente en la región centro del país, se llega a la conclusión de que no existe un proceso de homologación para el trabajo con maquinaria agrícola en ninguna de sus subclasificaciones, sean estas: maquinaria agrícola liviana (motocultores), maquinaria agrícola clásica (tractores) o maquinaria agrícola especializada (cosechadoras de cereales, etc).

#### 4.1.6 Homologación

La homologación es la comparación de elementos de la misma clase, bajo procesos de origen distintos; al hablarse de homologación de maquinaria agrícola en la subclasificación de motocultores se ha de tratar rigurosamente de la examinación de algunos aspectos que involucran esa temática denominada homologación.

Los subtemas de homologación en maquinaria agrícola para el presente trabajo son los siguientes:

Protocolo de ensayos y requerimientos mínimos

Calificación de los equipos nuevos según normas

Protocolo de ensayos y requerimientos mínimos

La Norma INEN 5718 hace referencia a los ensayos en las cuchillas de corte de las segadoras, no se podría decir que es un trabajo igual al de labrar la tierra, pero tiene similitudes; los ensayos requeridos son los siguientes:

Ensayo de Impacto

Ensayo de flexión

La presente investigación conlleva a proponer que los filtros para la aceptación de elementos de labranza para motocultor deben pasar por los siguientes ensayos:

- Ensayo de desgaste acelerado
- Ensayo de dureza
- Ensayo de impacto
- Ensayo de flexión
- Simulación

#### *4.1.6.1 Ensayo de desgaste acelerado*

La tasa de desgaste de un material es una cifra muy importante para seleccionar tal o cual material de acuerdo al tipo de trabajo como también al suelo.

Así si se tiene un material con una tasa de desgaste sumamente grande, como consecuencia se tendrá una disminución considerable de la sección transversal del mismo y por consecuencia por reducción de material tenderá a ser más débil.

Por contraste si se tiene una tasa de desgaste bajo, es probable que en su composición sea muy duro y el Carbono sea alto, dando como resultado poca absorción de energía en el trabajo, lo que conlleva a mayor índice de fragilidad.

En el caso de las cuchillas de motocultor, el caso específico de estudio del presente trabajo, se tiene que las cuchillas de origen chino presentaban una tasa de desgaste de  $108,64 \text{ mm}^3$ , mientras que las cuchillas fabricadas con material alternativo es  $123,25 \text{ mm}^3$  pero realizadas con proceso de manufactura de forja presentaban una configuración mucho más robusta en apariencia y tan solo a juzgar de su apariencia las segundas durarían más lo que no sucedió; en este ejemplo entró en juego el índice de desgaste lo que las ponía en clara desventaja a las cuchillas nacionales pese a ser de sección transversal considerablemente mayor.

Se propone entonces que la tasa de desgaste para las cuchillas de corte de motocultores sea de media 80 mm<sup>3</sup>.

La máquina para realizar dicho ensayo es la indicada en el capítulo anterior.

Para referirse al ensayo de desgaste acelerado se lo ha de realizar el ensayo B, en concordancia a la norma internacional ASTM G-65.

#### *4.1.6.2 Ensayo de Dureza*

Según la norma nacional (INEN 5718), la dureza mínima para las cuchillas de segadoras ha de ser de 38 HRC (Dureza en la escala Rockwell).

En concordancia con los últimos estudios sobre abrasión, el artículo “Características de desgaste y propiedades mecánicas para el desarrollo de acero de uso agrícola bajo condiciones específicas de suelo” (PEREZ, GONZALES, TORO, 2009), indica que la dureza mínima del implemento ha de estar comprendida en el rango de 38-45 HRC para suelos de dureza considerados normales; para suelos áridos y de dureza alta los aperos han de tener una dureza entre 50-60 HRC.

#### *4.1.6.3 El ensayo de impacto*

La norma es clara en sus incisos al indicar que el ensayo es aplicable a las cuchillas fabricadas de material no homogéneo y/o propiedades metalúrgicas no homogéneas y/o que están solamente en parte tratadas térmicamente, sin embargo, se han realizado ensayos de esta índole, debiendo tener las cuchillas un factor mínimo de absorción de energía de 0.4 J/mm<sup>2</sup>.

#### *4.1.6.4 Ensayo de flexión*

Según se toma en referencia a la norma INEN 5718: el elemento de corte o labranza deberá ser doblada dentro de la “zona de flexión” con un radio crítico interior de 16 mm, como se indica en la Figura 4.6, el ángulo  $\alpha$  se puede ver en la Tabla 14, la velocidad del mandril debe ser de 20 mm/s del identador, el ancho del mandril y los cojinetes deberá ser al menos igual o mayor que la anchura de la cuchilla para ser aprobado.

Tabla 14. Ángulos de reacción

S (mm)	$\alpha$ (grados)
< 3.5	75
$\geq 3.5$ a < 4.5	45
$\geq 4.5$	30

Fuente: INEN

Aquellos elementos de corte que no sean planas deberán ser aprobadas en la posición más desfavorable. El centro de la zona de flexión deberá estar en la mitad de la longitud total de la cuchilla  $l$  entre los rodillos se calculará mediante la ecuación del final del párrafo y además deberá ser constante durante el ensayo de flexión, se considerará que los rodamientos tendrán un radio exterior  $r_b = 10$  mm y deberá ser montado de manera giratorio; una velocidad de recuperación elástica no se toma en consideración bajo ninguna circunstancia, como indica la Figura 30.

$$l = (32 + 3s) \pm \frac{s}{2} \quad (Ec. 11)$$

Importante: después de la prueba de flexión, la cuchilla no deberá presentar grietas visibles.

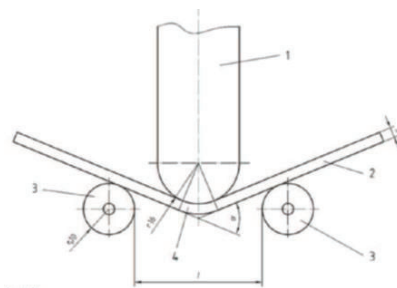


Figura 30. Aplicación del cabezal sobre la cuchilla

Fuente: INEN

Dónde: 1, 2 ,3 ,4: representan el mandril, cuchilla, rodamiento y zona de flexión respectivamente.

Nota 1: los cilindros se los puede considerar para el efecto como rodamientos.

Nota 2: el esquema de la cuchilla plana que se muestra es solo un ejemplo de las cuchillas cubiertas por esta norma nacional.

#### 4.1.6.5 Simulación

Se recomienda diseñar la geometría por medio de un software CAD, cuidando trasladar tanto las dimensiones exactas de la cuchilla con sus detalles, estas

consideraciones pueden ser decisivas al momento de simular por medio del método de los Elementos Finitos (MEF), al aplicar la carga se debe conocer su valor más aproximado posible y aplicarlo en la dirección correcta ya que de lo contrario puede dar valores totalmente erróneos.

#### **4.2 Procedimiento Sugerido por los Autores para la Licitación y Compra de Maquinaria Agrícola.**

La homologación de la maquinaria agrícola conlleva algunas etapas, unas que son aplicables y otras que no, todo depende de la clase de maquinaria agrícola, la envergadura, el trabajo específico y su potencia.

El procedimiento para la adquisición de maquinaria que proponen los autores del presente trabajo es:

- Realizar un ensayo de dureza de los elementos de corte, tales como: cuchillas de corte para rotavator, cuchillas de aspas, cuchillas de segadoras, etc.
- La dureza mínima que ha de presentar es de 40 HRC.
- Se ha de practicar un ensayo metalográfico al elemento de trabajo agrícola (cuchillas) para determinar el tipo de material y su posterior clasificación para el siguiente ensayo de abrasión pudiendo ser del carácter: A, B, C, D o E.
- Realizar un ensayo de desgaste acelerado según la NORMA ASTM G-65 a una porción de la cuchilla que abarque las dimensiones recomendadas por la norma y verificar que la tasa de desgaste esté en los valores: 80 mm<sup>3</sup>
- Realizar un ensayo de flexión si aplica la norma y verificar que en la zona flexionada no presente grietas visibles.
- Practicar un ensayo de impacto si aplica la norma y como requerimiento mínimo en su índice K (Energía sobre área) se ha de tener mínimo 0,5 J/mm<sup>2</sup>.

Para maquinaria nueva en cuanto a tractores, motocultores etc, se ha de verificar que cumpla con las siguientes normas:

ISO 25119: máquinas agrícolas, diseño seguro en tractores y maquinaria 2009

ISO 26322 [2010] e ISO 4254 [2008]: seguridad en maquinaria agrícola y tractores.

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Se realizó una revisión bibliográfica y técnica exhaustiva del motocultor YTO DF 15L, su aplicación y sus elementos de labranza haciendo énfasis a las cuchillas que estos utilizan para horticultura en la zona centro de Ecuador, evidenciando que en la fabricación de las aspas no se cumple ninguna norma nacional e internacional de materiales y manufactura.
- Se analizó las cuchillas del motocultor en estudio determinando propiedades inherentes al material como: caracterización metalográfica (ferrítico-perlítico), tamaño de grano G8, resultados generales de espectrometría (acero AISI 1030), dureza de 47,5 HRC y tasa de desgaste de  $126\text{mm}^3$ , con un factor de absorción de energía de  $0.235\text{ J/mm}^2$ ; considerándose que la tasa de desgaste acelerado no reúne los requisitos mínimos para estar dentro de la categoría de material agrícola.
- Se determinó la solución para la ruptura de las aspas, a través de añadidura de material por soldadura en la parte más crítica del material (geometría) indicada por el software ya que por otros tipos de tratamientos superficiales y térmicos no resulta factible.
- El equipo construido según la Norma ASTM G-65, tiene las siguientes características: el flujo de abrasivo es 310 g/min, la velocidad de rotación del disco abrasivo es 192 revoluciones por minuto, y la dureza del recubrimiento de caucho del disco de abrasión es Shore A60, cumpliendo todos los parámetros de construcción de la norma.
- Se realizaron ensayos de desgaste acelerado a diferentes muestras de cuchillas cuyo promedio es: para las cuchillas de procedencia china ( $108.64\text{ mm}^3$ ), italiana ( $71.47\text{ mm}^3$ ), colombiana ( $96.89\text{ mm}^3$ ) y de fabricación nacional (artesanal o material alternativo  $123.25\text{ mm}^3$ ), pudiendo observarse que la tasa de desgaste de las aspas chinas es excesivamente grande para un material de aplicaciones agrícolas.

- Se revisó normas internacionales aplicadas a la fabricación y seguridad en la maquinaria agrícola algunas de las cuales no se aplican en el Ecuador (ISO 25119, ISO 26322)
- Los ensayos y los valores mínimos para homologar aspas de motocultores en Ecuador son: metalografía (pudiendo tener una estructura cristalina: ferrítico-perlítico o martensita revenida), de desgaste acelerado (con un valor  $\leq 100 \text{ mm}^3$ ), dureza (entre 38 y 45 HRC), flexión (ángulo menor a  $45^\circ$ ) e impacto ( $\geq 0.5 \text{ J/mm}^2$ ).

## 5.2 Recomendaciones

- En la fabricación como en la homologación de aspas para motocultor se recomienda que la sección transversal de la misma ha de ser mínimo de  $5 \text{ cm}^2$ .
- La composición química elemental de las aspas para motocultor debe ser: 0.2%C, 0.4%Cr, y 1%Mn.
- Es fundamental realizar el ensayo de espectrometría para conocer a priori si el material es o no de grado agrícola.
- Se recomienda tomar como referencia el presente documento para licitar y/o homologar aspas para motocultor en el Ecuador
- Se ha de tener cuidado de que la arena de abrasión se encuentre seca y tamizada como indica la norma ASTM G-65.
- Durante la fabricación de la boquilla de salida del abrasivo se ha de tener cuidado de que la película de arena sea uniforme y continua con un caudal aproximado de  $300 \text{ g/min}$ .
- Utilizar una balanza calibrada y de alta sensibilidad para pesar las muestras ayudando a tener resultados más precisos.
- Se recomienda dejar un intervalo de tiempo de 10 minutos entre ensayos debido a que la goma del disco de abrasión tiende a dilatarse por efecto de la fricción entre la muestra y el abrasivo.



## BIBLIOGRAFÍA

- Aceros de Llodio, S. (1978). *Aceros De Llodio, Tratamientos termicos de herramientas de acero*. Bilbao: Urmo.
- Askeland. (1988). *Ciencia e Ingenieria de los materiales*. Mexico: International Thomson.
- ASTM. (2016). *Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus*. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/G65.htm>
- Callister. (2002). *Introducción a la ciencia e ingenieria de materiales*. Reverte.
- Cañavate, O. (2014). *Las maquinas agricolas y su aplicación*. Madrid: Uniprensa.
- Cunalata C, Inga C. (2012). *Cuantificación de carbono total almacenado en suelos de paramos en las comunidades Shobol-Chimborazo, San Juan Chimborazo*. Chimborazo.
- Gamboa Hamilton, Q. N. (2009). *Elaboración de Procedimientos y Métodos para el control de la Producción de los Aceros Producidos en NOVACERO S.A.* Riobamba.
- Hamilton. (2014). *Rolling Resistance and Industrial Wheels*. Obtenido de <http://www.hamiltoncaster.com/Portals/0/blog/White%20Paper%20Rolling%20Resistance.pdf>
- MATWEB. (1996-2017). *AISI 1030 Steel, normalized 925°C (1700°F)*. Obtenido de <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ceffb186ef374248ae4e13948d17fca0&ckck=1>
- Perez, Gonzales, Toro. (2009). Desgaste Abrasivo De Cuchillas De Arado Rotativo En Un Suelo Franco Arenoso. *SciELO*, 10.
- Perez, W. (2009). Desgaste abrasivo de cuchillas de arado rotativo en un suelo franco arenoso. 1(1).

Roberto, A. P. (2011). *dspace.espace.edu.ec*. Recuperado el 2016, de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/1401/1/15T00488.pdf>

Shigley. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Mexico: Mc Graw Hill.

Toto\_2. (29 de Junio de 2012). Obtenido de <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte%20Ultrasonido%202012.pdf>

UTP. (s.f.). <http://www.utp.edu.co/>. Recuperado el 01 de 2016, de <http://www.utp.edu.co/~publio17/aceroalC.htm>

<http://www.inspt.utn.edu.ar>. (s.f.).  
<http://www.inspt.utn.edu.ar/academica/carreras/67/TPracticos/Tecnologia/Trabajos.Practicos/ENSAYOS.LABORATORIO/1EnsayosMetalografia/2TeoriaMetalografia.pdf>. Recuperado el 06 de 10 de 2015, de [www.inspt.utn.edu.ar](http://www.inspt.utn.edu.ar)

# ANEXOS

# **ANEXO A:**

## **PLANOS DE LA MAQUINA DE ABRASIÓN**

# **ANEXO B:**

**NORMA ASTM G – 65**

**ANEXO C:**  
**NORMA NTE INEN**  
**ISO 5718**