

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)

TEMA: “DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS QUE PROVOCAN LAS FALLAS
EN LOS SOPORTES DE RODAMIENTOS DE ARADOS PARA AUMENTAR LA
VIDA ÚTIL DE LOS RODAMIENTOS”.

Trabajo de Investigación, Previo a la obtención del Grado Académico de
Magister en Diseño Mecánico

Autor: Ing. Julio Antonio Carrasco Santillán


Director: Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.


Ambato – Ecuador
2017


A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

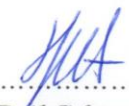
El tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por el Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes Mg., e integrado por los señores: Ing. Gonzalo Eduardo Villacis López Mg., Ing. César Hernán Arroba Arroba Mg., Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda Mg.; designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS QUE PROVOCAN LAS FALLAS EN LOS SOPORTES DE RODAMIENTOS DE ARADOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS RODAMIENTOS” elaborado y presentado por el señor: Ing. Julio Antonio Carrasco Santillan para optar por el Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.




.....
Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes Mg.
Presidente del Tribunal

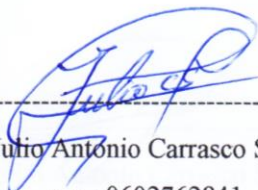

.....
Ing. Gonzalo Eduardo López Villacis Mg.
Miembro de Tribunal


.....
Ing. Mg. César Hernán Arroba Arroba Mg.
Miembro de Tribunal


.....
Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda Mg.
Miembro de Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de Investigación presentado con el tema “Determinación de las causas que provocan las fallas en los soportes de rodamientos de arados para aumentar la vida útil de los rodamientos”, le corresponde exclusivamente al Ing. Julio Antonio Carrasco Santillán, Autor, bajo la Dirección del Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg, Director del trabajo de investigación; y el patrimonio Intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Julio Antonio Carrasco Santillán

c. c.: 0602762841

Autor



Ing. Segundo Manuel Espín Lagos

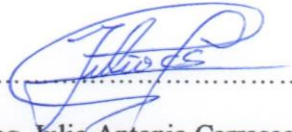
c.c.:0501500771

DIRECTOR

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el trabajo de investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Julio Antonio Carrasco Santillán

CI: 0602762841

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento profundo a las autoridades y docentes de la Universidad Técnica de Ambato y de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por el apoyo recibido para el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

El esfuerzo realizado en este trabajo dedico de manera muy especial a mi esposa Luisa Fernanda y a mi hija Jhuliana.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Portada.....	i
A la unidad académica de titulación de la Facultad de Civil y Mecánica.....	ii
Autoría del trabajo de titulación.....	iii
Derechos de autor.....	iv
Agradecimiento.....	v
Dedicatoria.....	vi
Índice general de contenidos.....	vii
Resumen.....	xvi
Abstract.....	xvii
1 Capítulo I.....	1
1. El problema de investigación.....	1
1.1 Tema:	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Contextualización	1
1.4 Problema de investigación	2
1.5 Contextualización del problema	2
1.6 Prognosis.....	3
1.7 Formulación del problema	3
1.8 Preguntas directrices	3
1.9 Delimitación del problema de investigación.	4
1.9.1 Delimitación de contenido	4
1.9.2 Delimitación espacial.....	4
1.9.3 Delimitación temporal	4
1.9.4 Justificación	4
1.10 Objetivos de la investigación.....	5

1.10.1	Objetivo general:.....	5
1.10.2	Objetivos específicos:	5
1.11	Hipótesis	5
1.12	Variables	5
1.12.1	Variable independiente	5
1.12.2	Variable dependiente	5
CAPÍTULO II.....		6
2	Marco teórico.....	6
2.1	Antecedentes investigativos.....	6
2.1.1	Antecedentes	6
2.2	Fundamentación filosófica.....	7
2.3	Fundamento teórico.	7
2.3.1	Implementos de labranza	7
2.3.2	Diferentes tipos de implementos agrícolas	8
2.3.3	Calibración de los arados	9
2.3.4	Concavidad de los discos	10
2.3.5	Ángulo de trabajo del disco	10
2.3.6	Descripción de funciones y tecnología de trabajo	11
2.3.7	Fiabilidad de la maquinaria agrícola.....	13
2.3.8	Soportes de rodamientos de los arados de discos	13
2.3.9	Principales fallas en los soportes de rodamientos.....	15
2.3.10	fallas de rodamientos	15

2.3.10.1	Fatiga superficial	16
2.3.10.2	Desgaste abrasivo	16
2.3.10.3	Corrosión	17
2.3.10.4	Identación	17
2.3.10.5	Ludimiento	17
2.3.11	Valores orientativos de la vida útil de un rodamiento	18
2.3.12	Métodos para determinarlas causas de las fallas en los soportes de rodamientos.....	19
2.3.13	Criterios de análisis modal de fallos y efectos (AMFE).....	19
2.3.14	Análisis tribológico.....	20
2.3.15	Desgaste	20
2.3.15.1	Desgaste por abrasión.....	21
2.3.16	Aceros Hadfield	21
2.4	Hipótesis.	23
2.5	Variables	23
2.5.1	Variable independiente	23
2.5.2	Variable dependiente	23
Capítulo III	24
3	Metodología	24
3.1	Enfoque.....	24
3.2	Modalidad y tipo de investigación.....	24
3.2.1	Modalidad básica de la investigación	24
3.2.1.1	Experimental.....	24

3.2.1.2	De campo.....	25
3.2.1.3	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.3	Población y muestra.....	26
3.3.1	Población o universo.....	26
3.3.2	Muestra	26
3.4	Operacionalización de variables	27
3.4.1	Variable independiente: causas de fallas	27
3.4.2	Variable dependiente: vida útil	28
3.5	Técnicas de recolección de la información.....	28
3.6	Observación	28
3.7	Procesamiento y análisis	29
3.7.1	Plan de procesamiento	29
3.7.2	Plan de análisis e interpretación de resultados.....	29
Capítulo IV.	30
4	Análisis e interpretación de resultados	30
4.1	Análisis de los resultados.....	30
4.1.1	Resultados de los discos utilizados en la comunidad de Batzacón.....	30
4.2	Ubicación de los diferentes arados de discos y gradas de la comunidad de Batzacón de la provincia de Chimborazo	31
4.3	Aplicación del método análisis de la causa raíz modificado	31
4.3.1	Definición del problema	31
4.4	Efectuar análisis del problema.....	33
4.5	Recolección de datos de fallo	33

4.6	Aplicación del método de árbol de fallos, análisis de resultados y posibles soluciones	37
4.7	Verificación de hipótesis	48
4.7.1	Estado de carga sobre el rodamiento	51
4.7.2	Cálculo de la vida útil teórica del rodamiento	51
Capítulo V		53
5	Conclusiones y recomendaciones	53
5.1	Conclusiones	53
5.2	Recomendaciones	54
Capítulo VI		55
6	Propuesta.....	55
6.1	Datos informativos.....	55
6.2	Antecedentes de la propuesta.....	56
6.3	Justificación	57
6.4	Objetivos.....	58
6.4.1	General.....	58
6.4.2	Específicos	58
6.5	Análisis de factividad	58
6.6	Fndamentación.....	59
6.7	Análisis de fuerzas involucradas en el elemento	59
6.8	Pre proceso.....	59
6.8.1	Dominio geométrico del problema	60
6.8.2	Propiedades del material en los diferentes elementos	60
6.8.3	Definición de conexiones entre los elementos.....	61
6.8.4	Mallado del sistema	62
6.9	Condiciones de borde y estado de carga del sistema	62

6.10 Resultados del análisis estático de la chumacera desgastada, material AISI 1020.	63
7 Fundición de los elementos.....	65
7.1 Fundición en horno de inducción.....	65
7.2 Fundición en horno de cubilote	69
8 Mecanizado.....	72
9 Ensayos de tracción	74
10 Ensayos de microscopía electrónica	78
11 Costos y procesos.....	83
12 Bibliografía	86
13 Anexos	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Disco de arado y chumaceras en estudio	2
Figura 2. 1 grada de discos de arrastre.....	8
Figura 2. 2 algunos ejemplos de gradas de discos. A) rastra de discos con cuatro tándems, en posición de transporte y trabajo. B) normas de enganche al tractor. ...	8
Figura 2. 3. Regulación del ángulo de los discos.....	9
Figura 2. 4. Esfuerzos mostrados sobre la superficie del disco	10
Figura 2. 5. Mayor concavidad de los discos de arado, menor penetración.	10
Figura 2. 6. Menor concavidad de los discos de arado, mayor penetración.	10
Figura 2. 7. Ángulo de trabajo del disco.....	11
Figura 2. 8. Diagrama de fuerzas en las gradas. Fuerzas radiales.	11
Figura 2. 9. Diagrama de fuerzas en las gradas. Fuerzas axiales.....	12
Figura 2. 10: soportes de rodamientos auto alienables con anclaje axial de dos pernos.	13
Figura 2. 11: chumaceras de rodamientos cónicos (a) sección longitudinal.	14
Figura 2. 12 (a) soporte y chumacera armada. (b) grupo e despiece.	14
Figura 2. 13. Incremento de fatiga superficial [15].	16
Figura 2. 14. Desgaste abrasivo debido a la presencia de partículas duras.	21

LISTA DE TABLAS

Tabla 2. 1 Diámetros de discos de arado	9
Tabla 2. 2 Valores orientativos de la vida especificada para los diferentes tipos de máquinas.	18
Tabla 2. 3. Clasificación de la gravedad del modo fallo según la repercusión en el cliente/usuario.	20

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
UNIDAD DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)

TEMA:

“DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS QUE PROVOCAN LAS FALLAS EN LOS SOPORTES DE RODAMIENTOS DE ARADOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS RODAMIENTOS”.

AUTOR: *Ing. Julio Antonio Carrasco Santillán*

DIRECTOR: *Ing. Segundo Manuel Espín Lagos.*

FECHA: *Noviembre/24/2017*

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio orientado a predecir la vida útil de los rodamientos presentes en los soportes de arado conocidos también como chumaceras, para lo cual se han realizado los análisis de los problemas presentes dentro del sistema que es objeto de estudio, también se han elaborado pruebas de laboratorio y de campo. Uno de los principales problemas en la industria es el desgaste de los elementos mecánicos por abrasión y fricción, en nuestro caso las chumaceras resultaron ser los elementos críticos desde este punto de vista, por lo que fueron fabricadas de un material colado con mayor cantidad de Manganeso, con esto tratamos de incrementar la resistencia al desgaste producido por abrasión del terreno contra sus caras y evitar la fluencia del acero de bajo carbono que genera deformación en los alojamientos de los rodamientos. Para caracterizar el nuevo material se realizaron ensayos de dureza, tracción, metalográficos y de microscopía electrónica bajo normas ASTM. En primer lugar se realizó la ingeniería inversa mediante el diseño del elemento para someterlo al análisis por elementos finitos y determinar las cargas que actúan sobre el mismo, posterior a esto se realizan las pruebas espectrométricas de los elementos originales y determinar su composición química, luego se realizan fundiciones de los nuevos elementos y de las probetas con la nueva composición química y se elaboran las pruebas anteriormente mencionadas para caracterizar el material. Montando los elementos en los diferentes aperos procedemos a someterlos a trabajo y determinar mediante el horómetro del tractor cual es la nueva vida útil del elemento, llegando al resultado de un incremento promedio de un 25% en las mismas condiciones de trabajo, con un costo no mayor al 5%. Al apoyar a la matriz productiva, al agro y al productor, evitando gastos ocasionados por el reemplazo de estos elementos y paradas innecesarias del equipo.

Palabras clave: Rodamientos, abrasión, desgaste, tribología, fundición, aleantes, resistencia mecánica, vida útil, dureza, ensayos.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS FACULTY
POSTGRADUATE UNIT
MASTER IN MECHANICAL DESIGN (II COHORT)

TOPIC:

“DETERMINATION OF THE CAUSES WHICH PROVOQUES THE FAILURES IN THE BEARING SUPPORTS OF PLOWS TO INCREASE THE SERVICE LIFE OF THE BEARINGS”

AUTHOR: *Ing. Julio Antonio Carrasco Santillán*

DIRECTOR: *Ing. Segundo Manuel Espín Lagos.*

DATE: *November/24th/2017*

ABSTRACT

In the present assignment a study is accomplished to predict the useful life of the bearings presented in the plow supports known as rowlock too, for which the analyzes of the problems presented in the system under study have been performed. Laboratory and field tests have been developed. One of the main problems in the industry is the attrition of the mechanical elements by abrasion and friction, in our case the bearings proved to be the critical elements from this point of view. So they were made from a material cast with more count of Manganese, to try to increase the wear resistance caused by abrasion of the ground against their faces and avoid the creep of the low carbon steel that causes deformation in the bearing housings. To characterize the new material, hardness, tensile, metallographic and electron microscopy tests were performed according to ASTM standards. First, reverse engineering was done by designing the element to be subjected to finite element analysis and determining the loads acting on it. Subsequent the spectrometric tests of the original elements were carried out and their chemical composition was determined. Next merge the new elements merge and the obtain of the test pieces are carried out with the new chemical composition and the above-mentioned tests are elaborated to characterize the material. Assembling the elements in the different implements are proceeded to submit them to work and determine by the orometer of the tractor such as the new useful life of the element. The result of an average increase of 25% in the same working conditions, with a cost no greater than 5%. By supporting the productive matrix, the agro and the producer, avoiding expenses caused by the replacement of these elements and unnecessary stops of the equipment.

Key words: Bearing, abrasive, wear, tribology, foundry, alloying, mechanical strength, useful life, hardness, test.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es significativo en la industria ya que los problemas en los elementos y pérdidas económicas se dan por causas tribológicas de fricción, abrasión y desgaste, generando paros de maquinaria, razón por la cual el estudio se enfoca en encontrar un material que resista más estas condiciones difíciles de trabajo y aportar a cuidar la economía, evitar tiempos de mantenimientos y reparaciones innecesarias. Por lo tanto el presente proyecto de investigación se ha estructurado de la siguiente manera.

Capítulo I. Se realiza el análisis del problema a nivel macro, meso y micro donde se desprenden las preguntas directrices, la justificación y los objetivos bajo los cuales se desarrollan la investigación.

Capítulo II. Se genera el marco teórico en donde se halla la fundamentación teórica filosófica en la que se basa la investigación.

Capítulo III. Se trata la modalidad metodológica con la que se va a realizar la investigación, técnicas y procesamiento de la investigación.

Capítulo IV. En este capítulo se realiza el análisis y procesamiento de resultados generados de los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Capítulo V. Se muestran las conclusiones y recomendaciones halladas en esta investigación.

Capítulo VI. Aquí se propone una alternativa para dar solución al problema inicial, en este caso una fundición al manganeso para aumentar la vida útil de los elementos mecánicos.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA:

“DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS QUE PROVOCAN LAS FALLAS EN LOS SOPORTES DE RODAMIENTOS DE ARADOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS RODAMIENTOS”.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3 CONTEXTUALIZACIÓN

En el diseño de elementos mecánicos se consideran varios factores como son sus propiedades mecánicas, pero también se deben considerar sus propiedades tribológicas ya que gracias a estas se puede determinar su resistencia contra la fricción y abrasión.

Factores prioritarios dentro del diseño mecánico son el ahorro de recursos materiales y energéticos, razón por la cual se deben considerar en las condiciones de trabajo el desgaste y la corrosión como determinantes para la conservación de la vida útil de los elementos y sistemas mecánicos. Controlando dichos factores será posible generar ahorros significativos en el plano económico y ambiental.

Según Batista en el año 2010 mencionó que el análisis tribológico será de mucha importancia en el análisis de desgaste para desarrollar soportes o también llamados chumaceras para rodamientos dentro de los aperos agrícolas.

Dentro de la labranza de tierras agrícolas las gradas o arados son considerados de gran importancia para el desterronamiento o mullición del suelo. Las condiciones de trabajo son consideradas muy agresivas en contra de los elementos mecánicos por el contacto de arrastre contra el suelo, estas condiciones se dificultan al momento de realizar trabajos en terrenos arenosos de origen silíceo, ya que se forman unos verdaderos abrasivos en contra del metal.

En la figura 1.1 podemos apreciar un disco de los sistemas que van a ser objeto de estudio.



Figura 1.1. Disco de Arado y chumaceras en estudio

Fuente: El Autor

Los elementos que presentan el mayor desgaste dentro de estos sistemas son los rodamientos y chumaceras lo que provoca que los estudios se centren en estos elementos.

Al originarse el mal funcionamiento de los elementos de trabajo por motivos de desgaste se originan vibraciones que tienden a la resonancia, generándose desajustes, roturas de ejes y bastidores de los arados.

El desgaste más acuciante está en los elementos como son: los discos de arado, los separadores, las chumaceras y los rodamientos. [1].

1.4 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.5 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

La consideración de las propiedades físico-químicas de los elementos como las tribológicas, de resistencia mecánica y de resistencia al desgaste, deben ser tomadas muy en cuenta al momento del diseño ya que de ellas dependerá totalmente el comportamiento y la vida útil de los mismos.

Uno de los campos de aplicación de la tribología es el estudio del desgaste; en este caso particular, el originado en los soportes con rodamientos de los equipos agrícolas que se explotan en áreas de la comunidad Batzacón, perteneciente al cantón Guano, de la provincia de Chimborazo. En nuestra provincia se utilizan implementos agrícolas para diferentes labores como: labranza, siembra y aporque de cultivos.

Los elementos sujetos a rodadura como es el caso de los rodamientos son los más críticos al momento de analizar el desgaste en la labranza de la tierra lo que hace que se centre toda la atención al analizar las causas que pueden efectuar la falla. [2].

Luego de realizar las consultas bibliográficas encontramos que en nuestro país no se han realizado muchas investigaciones sobre el tema, esto nos impulsa a realizar la investigación sobre el tema.

1.6 PROGNOSIS

Si no se efectúa esta investigación es muy difícil que se den soluciones al problema de la destrucción de las chumaceras de las rastras de arado en la comunidad de Batzacón del cantón Guano, provincia de Chimborazo, al desarrollar este estudio se puede corregir la corta vida útil de los elementos, evitar paradas innecesarias de los equipos que ocasionan grandes pérdidas económicas para el sector y se podrá desarrollar nuevos elementos para la labranza de tierra con mucha mayor resistencia a la abrasión por efecto del suelo.

1.7 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las causas que provocan las fallas en los soportes de rodamientos de los arados de discos que se explotan en la comunidad de Batzacón?

1.8 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Qué vida útil tendrán los soportes de rodamientos de discos de arado que se explotan en áreas de la comunidad Batzacón, de la provincia de Chimborazo?

¿Qué cambios se pueden realizar en las cajas de los rodamientos?

¿Influye el material de las cajas de rodamientos en la vida útil de las mismas?

1.9 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.9.1 DELIMITACIÓN DE CONTENIDO

El estudio a realizarse está enmarcado dentro del campo de la Ingeniería Mecánica, concretamente dentro de las líneas de investigación de la maestría de diseño mecánico a la que tributa el trabajo.

1.9.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL

La investigación se realizará en los campos de Batzacón, cantón Guano a 7 Km de la ciudad Riobamba, como también en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica de Chimborazo y en los talleres Tecnodiseños, ubicados en la ciudad de Riobamba.

1.9.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL

La investigación se realizará desde octubre de 2015 hasta julio de 2016.

1.9.4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad en nuestro medio la gente construye elementos mediante conformación de soldadura o compra los elementos que provienen del vecino país de Colombia.

Se ha visto la necesidad de realizar los estudios necesarios para determinar cómo crear elementos que presenten menos problemas de fiabilidad ya que actualmente la gente opta por recuperar las piezas mediante refuerzos de soldadura o crea las chumaceras con elementos unidos por el proceso SMAW (Shielded Metal Arc Welding) y estos presentan una vida útil muy reducida ya que son realizados de manera empírica, sin considerar normas, las deformaciones térmicas y las tolerancias necesarias en el proceso de mecanizado.

Se considera un estudio factible de realizarlo; ya que en el país y la región aún no se han realizado análisis ni proposiciones para este tipo de elementos y con el mismo se pretende reducir las paradas innecesarias de los equipos, los altos costos de mantenimiento,

aumentar la durabilidad y la confiabilidad de los equipos no solo en la zona de estudio sino en un futuro ser un aporte a la productividad en la región de la zona 3 del Ecuador.

1.10 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.10.1 OBJETIVO GENERAL:

Determinar las causas que provocan las fallas en los soportes de rodamientos de los arados de discos que se utilizan en las áreas de la comunidad de Batzacón, del cantón Guano, de la provincia de Chimborazo.

1.10.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Determinar mediante los sistemas de causas de falla, cual es la razón por la cual las chumaceras se desgastan aceleradamente y causan fallos en los rodamientos.

Analizar los cambios que se pueden realizar en las cajas de los rodamientos.

Determinar el material de las cajas de rodamientos y la vida útil de las mismas.

1.11 HIPÓTESIS

La causa de desgaste acelerado en las chumaceras corresponde a la selección del material.

1.12 VARIABLES

1.12.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Causas que provocan el desgaste acelerado y la falla de los soportes de rodamientos de arado.

1.12.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Vida útil del rodamiento.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1.1 ANTECEDENTES

Dentro de los antecedentes podemos mencionar que no existen investigaciones sobre el tema en la zona 3 en donde se aborde la problemática que generan este tipo de elementos.

Se va a utilizar el sistema de análisis de causa raíz (ACR) ya que consiste en la aproximación del error o falla de manera retrospectiva y es muy utilizado en investigaciones de accidentes graves en ámbitos industriales, aeronáuticos y nucleares. [3]

Luego de la década de los sesentas en el Ecuador se dieron cambios económicos profundos que generaron trabajos de investigación, no es sino hasta el comienzo del nuevo siglo en donde se generan temas de tesis de grado de tipo informático, programas computacionales como el desarrollado en la Politécnica Nacional bajo el tema: “Sistema extranet para el análisis causa-raíz para la industria productiva”, realizada en 2009 por el señor Edison Santiago Rojas Lema. que permite crear una base de datos del problema y su posterior análisis. (Rojas, 2009).

Se realizan otros trabajos tomando en cuenta el Sistema de Modos de Falla con sus siglas en inglés (FMEA) en donde se hace un análisis enfocado al mantenimiento mecánico específicamente, trabajos encontrados en la Escuela Politécnica de Chimborazo y en la Politécnica Nacional.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

El presente trabajo investigativo filosóficamente se ubica en un paradigma critico-propositivo ya que la investigación considera avances dentro del campo productivo, con un estudio de campo, práctico y además bibliográfico, de esta manera se busca aportar al desarrollo de la industria agropecuaria del Ecuador, presentando una alternativa económica, de mayor horas de vida y menor cantidad de paradas del equipo como una solución positiva al problema.

2.3 FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.3.1 IMPLEMENTOS DE LABRANZA

El estudio se centra en los accesorios de labranza agrícola de discos como son las rastras y arados ya que estos sistemas son los más utilizados en el sector de estudio de “Batzacón” dichos aperos vienen equipados con ejes soportados en chumaceras con rodamientos de bolas. [3].

Aunque todos los sistemas de disco funcionan bajo el mismo principio incluso los subsoladores, la diferencia consiste en la capacidad de cada uno en cuanto pueden voltear en “pan de tierra” o prisma de tierra, cuanto lo pueden mullir y cuanto lo pueden mezclar. Estos parámetros en nuestros accesorios de estudio dependen de que ángulo uno selecciona en el bastidor de soporte de los ejes que pueden ir desde 5 grados hasta 15 grados, utilizándose un ángulo bajo cuando el terreno esta muy duro o es de origen arcillosos hasta un ángulo alto en terrenos de origen arcilloso o cuando se requiere voltear bastante en terreno. [4].

La práctica de voltear en gran cantidad el denominado “pan de tierra” ya no se está utilizando ya que en investigaciones recientes esta práctica destruye la micro flora y fauna del terreno con lo que originan la esterilización de tierra. [1].

Dentro del análisis de fuerzas que están presentes se pueden encontrar tres componentes el longitudinal con igual valor a la vertedera, el axial que puede ser muy alto por el ángulo que genera mucho esfuerzo y para contrarrestar o equilibrar estas fuerza se equipan de

otro grupo de discos de iguales características en posición de espejo, por último tenemos el componente vertical que se opone a la acción de rechazo contra el suelo. [3].

2.3.2 DIFERENTES TIPOS DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

En la zona de estudio nos indican que los implementos de tracción animal se dejaron de utilizar a inicio de los años 2000 ya que son tierras que se encuentran cerca de la ciudad y tienden a la mecanización de las tierras.

En la imagen 2.1 podemos apreciar uno de los tipos de accesorios que son objeto de estudio



Figura 2. 1 Grada de discos de arrastre.

Fuente: [5]

Son arados conocidos como reversibles por la simetría de los discos como se muestra en la figura 2.2.a.

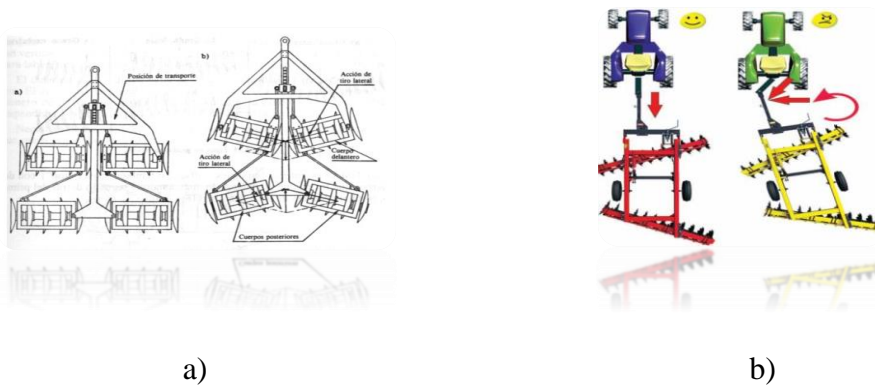


Figura 2. 2 Algunos ejemplos de gradas de discos. a) Rastra de discos con cuatro tandems, en posición de transporte y trabajo. b) Normas de enganche al tractor.

Fuente: [6] [3]

En la tabla 2.1 podemos encontrar los distintos diámetros de discos con las que vienen equipadas las rastras en función del espesor y la concavidad del plato.

Tabla 2. 1 Diámetros de Discos de Arado

DIÁMETRO	ESPESOR	CONCAVIDAD
510	4.5	56 – 66
560	4.5	68 – 81
610	5	81 – 88
660	6	104
710	6.5	113
810	8	120

Nota: La concavidad de los discos pueden considerarse del 0.8 al 1.2 veces el diámetro.

Fuente: [7].

2.3.3 CALIBRACIÓN DE LOS ARADOS

La calibración utilizada para la zona está en los 10 grados, específicamente en la segunda posición del pin de regulación del bastidor como se muestra en la figura 2.3, esto se debe a que el terreno es de fácil penetración y se requiere de un poco más de volteo. Estos ángulos son los que harán que se genere más o menos esfuerzo sobre los discos como se muestra en la figura 2.4 y per se en los rodamientos y chumaceras.

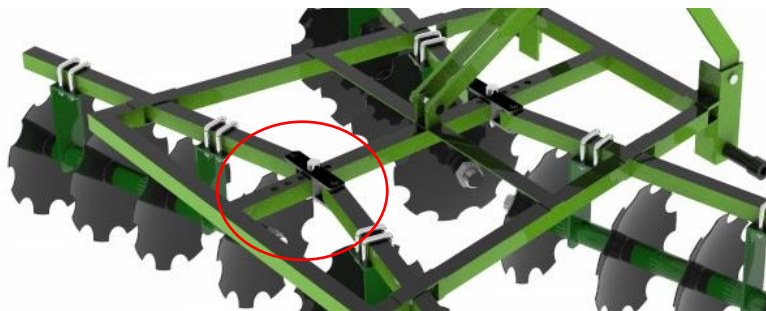


Figura 2. 3. Regulación del ángulo de los discos

Fuente El autor

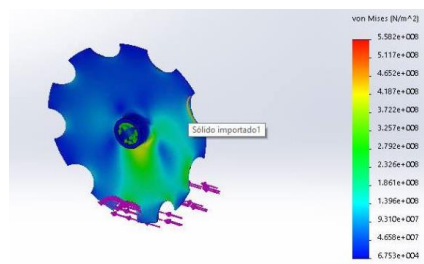


Figura 2. 4. Esfuerzos mostrados sobre la superficie del disco

Fuente El autor

2.3.4 CONCAVIDAD DE LOS DISCOS

La concavidad del disco es inversamente proporcional a la penetración en el suelo en nuestro caso de estudio son de baja concavidad para levantar y voltear menos el pan de tierra como se muestra en la figura 2.5. En la figura 2.6 podemos ver que a mayor concavidad del disco, penetra menos en el suelo [8].

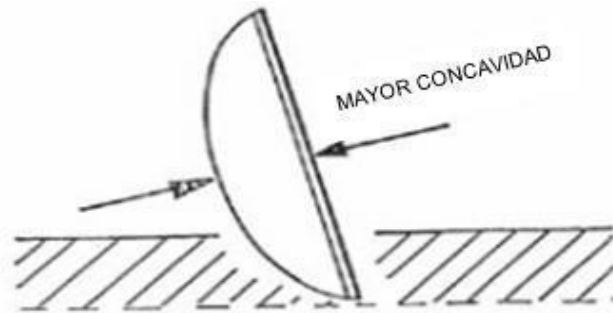


Figura 2. 5. Mayor concavidad de los discos de arado, menor penetración.

Fuente: [8].

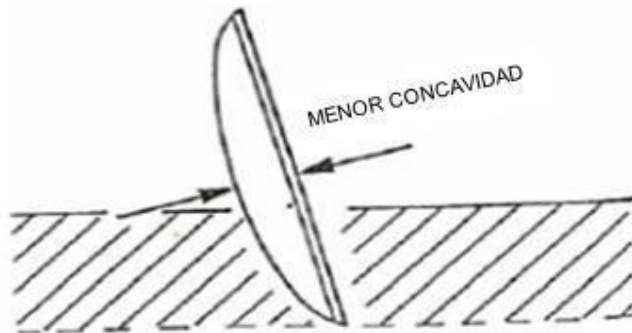


Figura 2. 6. Menor concavidad de los discos de arado, mayor penetración.

Fuente: [8]

2.3.5 ÁNGULO DE TRABAJO DEL DISCO

El ángulo horizontal o de ataque está entre los 45° a 47° respecto a la dirección de avance este sirve para la penetración y es directamente proporcional.

El ángulo vertical o de inclinación: puede variar entre 15° a 25° se aumenta el mismo para suelos arcillosos o pegajosos.

Estos parámetros podemos verlos esquematizados en la figura 2.7. (Recomendaciones de Instalación, Uso y Mantenimiento de Elementos Agrícolas, s.f.).

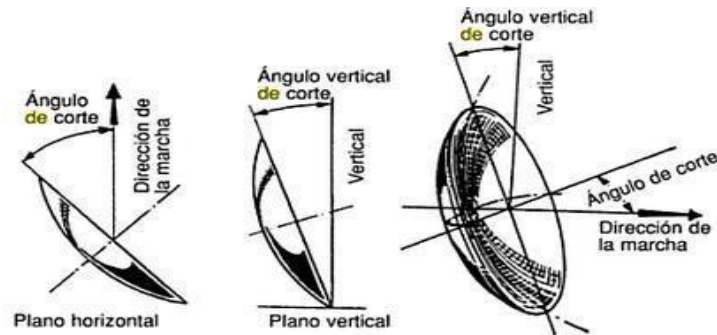


Figura 2. 7. Ángulo de trabajo del disco.

Fuente: [9]

2.3.6 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES Y TECNOLOGÍA DE TRABAJO

Funciones y fuerzas actuantes radiales y axiales en los soportes como podemos apreciar en la figura 2.8 y montaje de los soportes en la figura 2.9 están sujetas a las ecuaciones.

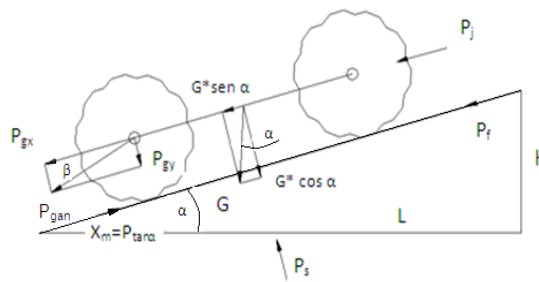


Figura 2. 8. Diagrama de fuerzas en las gradas. Fuerzas radiales.

Fuente: [4]

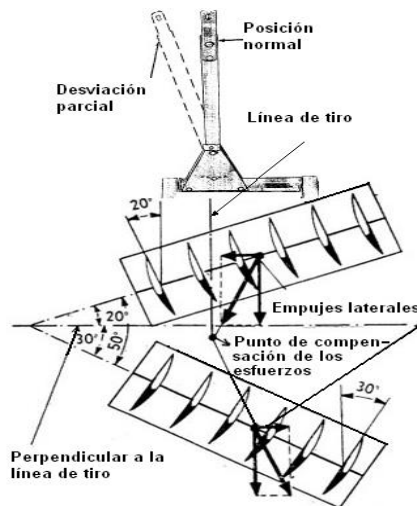


Figura 2. 9. Diagrama de fuerzas en las gradas. Fuerzas axiales.

Fuente: [4]

X_m es la fuerza Motriz o de impulsión, es igual a la fuerza tangencial de tracción $P_t \tan \alpha$ dando como resultado la ecuación 2.1

$$X_m = P_t \tan \alpha$$

Ecuación 2.1

P_f es la fuerza de resistencia al rodamiento de la grada.

P_{gx} es la fuerza gravitacional en x

P_{gy} es la fuerza gravitacional en y

$$P_{gx} = P_{gan} * \cos \beta$$

Ecuación 2.4

$$P_{gy} = P_{gan} * \sin \beta.$$

Ecuación 2.5

P_j es la fuerza de inercia de las masas en movimiento, en el caso que se analiza la fuerza de inercia P_j se opone al movimiento. [14]

G: El peso de la grada, está descompuesta en dos componentes

La paralela a la superficie del camino $G_x = G * \sin \alpha$ (2.3)

y la vertical $G_y = G * \cos \alpha$ (2.4).

En este caso concreto, esta fuerza se opone al movimiento.

Ps: Reacción normal de la superficie del suelo.

Como resultado tenemos las ecuaciones 2.5 y 2.6.

$$X_m - P_f - P_{gx} - G \sin \alpha - P_w - P_j = 0 \quad (2.5)$$

Despejando la fuerza de tracción se tiene.

$$X_m = P_f + P_{gx} + G \sin \alpha + P_w + P_j \quad (2.6)$$

La fuerza motriz es la que logra el equilibrio entre todas las componentes actuantes.

Los esfuerzos axiales están condicionados al tipo de suelo la humedad y la dureza del mismo, originándose un mayor esfuerzo en los grupos delanteros por ser los que inicialmente rompen el suelo. [4]

2.3.7 FIABILIDAD DE LA MAQUINARIA AGRÍCOLA

Para la fiabilidad se consideran parámetros de materiales, lubricación, mantenibilidad, así como también que tan importantes son estos elementos para ocasionar la para total o parcial de la máquina en nuestro caso los estudios arrojaron como elemento crítico las chumaceras. (Nachlas, 2002).

2.3.8 SOPORTES DE RODAMIENTOS DE LOS ARADOS DE DISCOS

Dentro de los diferentes tipos de soportes o chumaceras podemos considerar las de pared como se muestra en la figura 2.10.



Figura 2. 10: Soportes de rodamientos auto alienables con anclaje axial de dos pernos.

Fuente: [10].

En la figura 2.10 apreciamos los soportes de arados producidos por países como Brasil, ellos utilizan rodamientos de rodillos cónicos equipados con retenedores para mantener la lubricación.

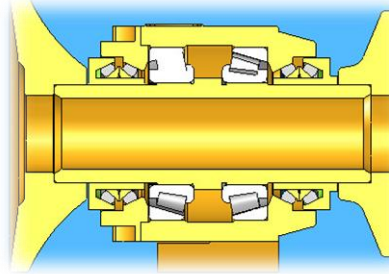


Figura 2. 11: Chumaceras de rodamientos cónicos (a) sección longitudinal.

Fuente: [11].

En nuestro caso el tipo de chumacera es el que podemos apreciar en la figura 2.9 y es utilizada para todos los tipos de discos de arado en este tipo de rastras



Figura 2. 12 (a) soporte y chumacera armada. (b) grupo e despiece.

Fuente: [12].

La vida útil de los rodamientos por experiencia bordea los ocho meses, un tiempo muy reducido ya que por catálogo sabemos que los rodamientos vienen con una vida útil mucho más larga.

Los materiales deben ser.

- 1- Económicos.
- 2- Los procesos de manufactura deben ser sencillos.

3- Deben tener una estructura estable que garantice la resistencia a la fricción y la abrasión.

4- Los desperdicios ocasionados no deben ser letales o de alto impacto ambiental. [13]

2.3.9 PRINCIPALES FALLAS EN LOS SOPORTES DE RODAMIENTOS

Las fallas más comunes en nuestro estudio son:

- Rodamientos deteriorados.
- Desajuste de los rodamientos en los asientos de estos.
- Desgaste de los elementos que conforman los soportes. [13]

2.3.10 FALLAS DE RODAMIENTOS

Para que un rodamiento funcione de un modo fiable, es indispensable que esté lubricado adecuadamente, con el objetivo de evitar el contacto metálico directo entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura, para evitar el desgaste y proteger las superficies del rodamiento contra la corrosión. Por tanto, la elección del lubricante y el método de lubricación adecuado, así como un correcto mantenimiento, son cuestiones de gran importancia

Al realizar el montaje de rodamientos de rodillos es esencial que sea efectuado en condiciones de rigurosa limpieza, para conseguir así un buen funcionamiento y evitar un fallo prematuro. En condiciones apropiadas de lubricación y carga, es decir, cuando se siguen procedimientos adecuados de mantenimiento y operación, la vida útil de los rodamientos está determinada por la fatiga superficial.

Durante el montaje de los rodamientos se deben evitar impactos o fuerzas excesivas, para eliminar así indentación entre los elementos o desgaste de ejes y alojamientos.

Los indicadores de falla se traducen en: vibración, ruido y calor, signos que, si se detectan a tiempo, podrán evitar daños mayores en los equipos o lesiones en operarios. [14]

Según el manual de análisis de fallas y daños en los rodamientos de la empresa SKF, los modos de fallas más comunes y que fueron encontrados en los elementos de análisis son:

2.3.10.1 FATIGA SUPERFICIAL

Podemos apreciar en la figura 2.9 que se desarrolla durante el funcionamiento un agrietamiento en las superficies con posterior pérdida de material, el cual puede ser poco profundo (micropicado) figura 2.9.a. y 2.9.b. o generar descascaramiento de áreas grandes y profundas (macropicado) figura 2.9c. y 2.9d. Por las siguientes causas:

- Carga de servicio superior a la esperada o fuerza de apriete (montaje) elevada.
- Montaje inadecuado que distorsione las pistas o genere desalineamientos.
- Gradientes de temperatura que generen esfuerzos térmicos elevados.
- Consecuencia de la indentación, corrosión, descarga eléctrica o ludimiento.
- Lubricante o lubricación inadecuada.

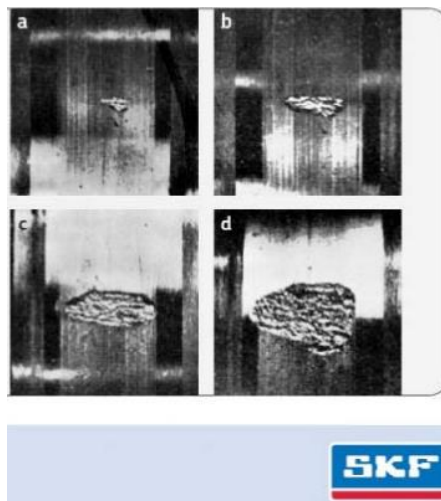


Figura 2. 13. Incremento de fatiga superficial [15].

2.3.10.2 DESGASTE ABRASIVO

Se pierde material en las pistas.

Causas:

- Contaminación del lubricante con partículas abrasivas provenientes del medio.
- Contaminación del lubricante con partículas metálicas provenientes de una zona desgastada.
- Problemas en sellos y/o filtrado del sistema de lubricación.
- Montaje y/o mantenimiento inapropiado que permite el acceso de partículas al lubricante. [14]

2.3.10.3 CORROSIÓN

Al generarse corrosión podemos encontrar las siguientes causas:

- Contaminación del lubricante con agua u otros fluidos
- Degradación del lubricante por tiempo o por sobre temperatura.
- Mala selección del lubricante por ausencia o deficiencia de aditivos antioxidantes y anti herrumbre.
- Problemas en sellos del sistema de lubricación.

2.3.10.4 IDENTACIÓN

La indentación es la deformación plástica del material originándose “huecos” en la superficie por elementos presentes en el lubricante o por sobrecargas sobre el rodamiento.

2.3.10.5 LUDIMIENTO

El ludimiento está presente cuando hay movimiento relativo entre los elementos y se presentan superficies de color oscuro por fricción.

Causas:

- Selección de ajuste muy holgado.

- Mecanizado irregular de eje o alojamiento, que no genera presión uniforme.
- Carga elevada o alto estado vibratorio de la máquina.
- Flexiones excesivas de eje o alojamientos en servicio.

2.3.11 VALORES ORIENTATIVOS DE LA VIDA ÚTIL DE UN RODAMIENTO

Tomando en cuenta la teoría sobre los valores promedio más utilizados en la industria según la aplicación, podemos citar la tabla 2.1 en donde se muestran estas consideraciones.

Tabla 2. 2 Valores orientativos de la vida especificada para los diferentes tipos de máquinas.

Tipo de maquinaria	Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos de tiempo: herramientas eléctricas portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento durante breves períodos de tiempo o intermitentemente: ascensores (elevadores), grúas para mercancías embaladas o eslingas de tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas a su capacidad máxima: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: máquinas herramienta, máquinas para trabajar la madera, máquinas para ingeniería industrial, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000

Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la multiplicadora, del cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzar cables, maquinaria de propulsión para buques transatlánticos	60 000 ... 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas y ventiladores para minas, rodamientos para el túnel del eje de buques transatlánticos	> 100 000

Fuente: [14]

2.3.12 MÉTODOS PARA DETERMINAR LAS CAUSAS DE LAS FALLAS EN LOS SOPORTES DE RODAMIENTOS.

En nuestro caso podemos citar los siguientes sistemas de análisis.

- Método Análisis Modal de Fallo y Efecto (AMFE).
- Análisis de Pareto.
- Método Análisis de Causa Raíz (ACR00)

2.3.13 CRITERIOS DE ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)

Dentro de los criterios de importancia a tomarse en cuenta en el proceso tenemos los siguientes mencionados en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3. Clasificación de la gravedad del modo fallo según la repercusión en el cliente/usuario.

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observaría un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Fuente: [16].

2.3.14 ANÁLISIS TRIBOLÓGICO

Tribología se deriva etimológicamente de la palabra griega tribos que significa frotamiento y logos que significa tratado, con lo que se interpreta como el tratado del rozamiento o la ciencia del rozamiento. Dentro de esta ciencia se estudia los movimientos y aceleraciones relativas que se originan entre los diferentes elementos de estudio. El análisis que hace esta ciencia es de mucha ayuda para desarrollar los diseños de los elementos, maquinarias, vehículos terrestres, aeronáuticos, submarinos y demás, ya que gracias a la tribología se pueden predecir: desgastes, temperaturas, fricción calor, selección de materiales, rendimiento y fiabilidad. [17]

2.3.15 DESGASTE

Se puede definir el desgaste como la pérdida de material por la interacción entre dos cuerpos mediante una fuerza. Los cuerpos pueden ser de distintos materiales, de origen férreo, no férreo, metales, no metales que están sometidos a movimientos y aceleraciones relativas entre sí y generan desgaste de tipo:

- Adherente.
- Abrasivo.
- Erosivo.

- Por Ludimiento.
- Por Fatiga.

2.3.15.1 DESGASTE POR ABRASIÓN

Luego del análisis de nuestro caso se puede decir que tenemos este tipo de desgaste en donde se da la remoción de material de la superficie en contacto por superficies duras en superficies de coincidencia, o con superficies duras que presentan un movimiento relativo en la superficie desgastada. Cuando es el caso de partículas duras, ellas pueden encontrarse entre las dos superficies que se deslizan entre sí como se muestra en la figura 2.9 o se podrían incrustar en cualquiera de las superficies. Es conveniente aclarar que este tipo de desgaste se puede presentar en estado seco o bajo la presencia de un fluido [16].

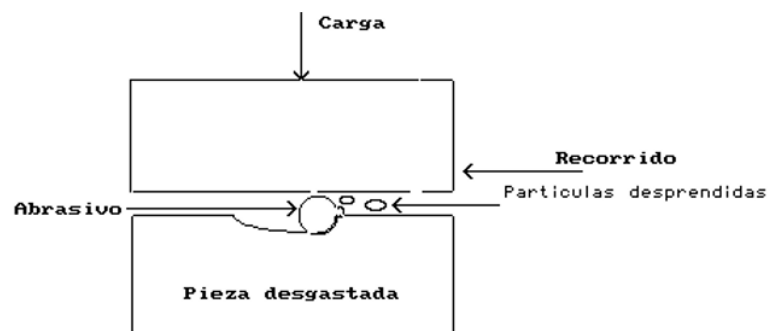


Figura 2. 14. Desgaste abrasivo debido a la presencia de partículas duras.

Fuente: [16]

2.3.16 ACEROS HADFIELD

Los aceros austeníticos al Manganeso, también llamados Aceros Hadfield por su creador Sir Robert Hadfield, se caracterizan por su alta tenacidad y ductilidad, además de poseer una alta capacidad de endurecimiento por trabajo y una buena resistencia al desgaste. Estos aceros son ampliamente utilizados con pequeñas modificaciones en su tratamiento térmico y composición química basada en componentes como Carbono, Manganeso, Cromo, Níquel y Molibdeno. Entre sus principales usos están la minería, canteras, industria de ferrocarril, movimientos de tierra, perforación etc. La siguiente tabla 2.2 presenta 10 calidades incluidas en la norma internacional ASTM [18].

IDENTIFICACION		COMPOSICION QUIMICA							HB Dureza Brinell
Norma	Grado	% C	% Mn	% Si	% Ni	% Cr	% Mo	% P	
	A	1,05 - 1,35	11 mín.	1,00 máx				0,07 máx.	180
	B1	0,90 - 1,05	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	
	B2	1,05 - 1,20	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	
	B3	1,12 - 1,28	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	
ASTMA 128	B4	1,20 - 1,35	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	200
	C	1,05 - 1,35	11,5 - 14,0	1,00 máx		1,5 - 2,5		0,07 máx	
	D	0,7 - 1,30	11,5 - 14,0	1,00 máx	3,0 - 4,0			0,07 máx	
	E1	0,7 - 1,30	11,5 - 14,0	1,00 máx			0,9 - 1,2	0,07 máx	185
	E2	1,05 - 1,45	11,5 - 14,0	1,00 máx			1,8 - 2,1	0,07 máx	
	F	1,05 - 1,35	6,0 - 8,0	1,00 máx			0,9 - 1,2	0,07 máx	180

TABLA 2.2 Clasificación de las calidades de aceros Hadfield [18]

Sus principales propiedades mecánicas son:

Fluencia entre 280/470 MPa.

Dureza Brinell del orden de 180 a 220 HB.

La elongación a rotura típica varía entre el 20 y el 40% para secciones transversales de piezas.

Su alta ductilidad permite lograr una tenacidad al impacto sobre los 136 J a temperatura ambiente y una tenacidad a la fractura del orden de 120 MPa/m², por lo que es muy adecuado para trabajar en condiciones de fuerte impacto.

La característica más importante de estos aceros es su capacidad de endurecimiento por trabajo, desde una dureza inicial de aprox. 200 HB hasta los 500/550 HB, de tal forma que en la mayoría de los casos las piezas deben sustituirse cuando mejor estructura presentan para resistir la abrasión y el desgaste. Cuanto mayores sean los impactos que se producen en el trabajo, mayor será la velocidad de transformación de Austenita a Martensita y por lo tanto, mayor será su endurecimiento.

Existen también los Aceros con una proporción superior al 14% Mn, que deben aplicarse en casos muy precisos. Nos referimos a las calidades 18 y 21% de Mn, que no siempre son por su mayor coste más rentables.

Estas calidades deben emplearse sólo cuando los Aceros al Mn normales al 14% se desgasten muy rápidamente en sus primeros días de trabajo, por estar trabajando con materiales finos que producen un menor endurecimiento.

2.4 HIPÓTESIS.

Suponemos que la causa de desgaste acelerado en las chumaceras corresponde a la selección del material.

2.5 VARIABLES

2.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Causas que provocan las fallas en los soportes de los rodamientos de los arados de discos determinadas mediante la aplicación del ACR y técnicas ingenieriles.

2.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Vida útil del rodamiento.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

En el presente trabajo investigativo se efectuó un análisis cualitativo y cuantitativo, en base a los datos obtenidos en los talleres inmiscuidos en la producción o reparación de gradas de discos y la aparición de fallas de estos elementos en la comunidad de Batzacón.

3.2 MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó con una modalidad de nivel de campo exploratorio y científica; esta modalidad tomó contacto en forma directa con la realidad, para obtener información de acuerdo al objetivo del proyecto.

La modalidad de la investigación documental bibliográfica tuvo como propósito detectar, ampliar y profundizar diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada, basándose en artículos científicos, libros, revistas especializadas e internet.

3.2.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1.1 EXPERIMENTAL.

La investigación experimental fue la más importante, ya que el hecho que la distribución de carga varíe sobre los elementos rodantes a medida que éstos giran sobre las pistas de rodadura, hace que los rodamientos se comporten por sí mismos como un generador de vibraciones, a pesar que los arados “giran a baja velocidad y las fuerzas dinámicas que generan vibraciones no son grandes en este implemento. Adicionalmente, los arados que giran a bajas velocidades, típicamente son de gran tamaño y peso, por lo tanto, la señal de vibración medida sobre los soportes es de baja amplitud, por esta causa. Sin embargo las vibraciones, generadas entre los arados con el terreno, traen consigo vibraciones por

frecuencias, las que aumentan según la velocidad de desplazamiento de los arados durante su trabajo y las condiciones en que se encuentre el campo. [19]

Además, los fuertes golpes de los tándems de discos en el campo, el atascamiento de estos, los giros no uniformes de los ejes, el aflojamiento de las uniones roscadas, así como un rápido deterioro de los elementos que componen los soportes; todo ello trae aparejado el desgaste de los soportes y en ocasiones grietas o partiduras, desencadenando la falla total del equipo.

3.2.1.2 DE CAMPO.

La investigación de campo fue indispensable debido a que precisamente los soportes se encontraban en las máquinas objetos de estudio y se realizó la prueba de campo en Batzacón para determinar los diferentes tipos de fallas ocurridos en la misma.

3.2.1.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.

3.2.1.3.1 EXPLORATORIA.

Observación científica: Mediante la observación se comprobaron las condiciones de elaboración de los soportes, las condiciones reales de trabajo, explotación y mantenimiento de Los arados, así como el análisis funcional de los soportes de rodamientos para lograr determinar las causas reales que están provocando las fallas de los rodamientos de los soportes.

Criterio de expertos: Permitió tener en cuenta opiniones, criterios, sugerencias de otros especialistas, diseñadores de otras empresas, personal de producción que trabaja directamente con Los arados que poseen estos soportes mediante entrevistas efectuadas en: empresas enclavadas en la región de Riobamba.

3.2.1.3.2 MÉTODOS TEÓRICOS.

Análisis y síntesis: Permitió estudiar los distintos factores que afectan los soportes de rodamientos, así como también analizar por separado cada elemento que interviene en el proceso de rodaje y sus interrelaciones para buscar las soluciones al problema existente con el desgaste de los rodamientos.

3.2.1.3.3 ASOCIACIÓN DE VARIABLES

En este proyecto fue de vital importancia el asociar las variables, ya que de esta manera se puede determinar si en realidad la implementación del análisis del comportamiento mecánico de la cajera motivo de estudio contribuyó a un mejoramiento del elemento.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.3.1 POBLACIÓN O UNIVERSO.

La población de la comunidad de Batzacón son 5 tractores.

3.3.2 MUESTRA

Se analizarán los 5 tractores por ser una población pequeña

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE: CAUSAS DE FALLAS

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Los soportes para rodamiento, deben ser sometidos a un periodo de explotación acorde a lo indicado por el fabricante, se deben cumplir los mantenimientos planificados, el personal técnico debe ser capacitado para el montaje del mismo, los operadores deben respetar las normas técnicas del fabricante, el material para fabricar los soportes debe cumplir con los requisitos.</p>	Material.	Elementos de aleación en caso de fundición gris.	Composición química de la fundición C = 0.1- 0.45 % Si = 1.0 – 3.8% Mn =0.4 – 1.0 % P = 0.05 – 1.0 % S = 0.05 – 0.25%	Espectrometría Espectrómetro Microscopio
		Tamaño de grano.	Medición de grano por intersección o plantillas patrón	Metalografía Microscopio metalográfico patrones
	Rugosidad, precisión	0.75m micrones H7j6	Medición de rugosidad Microscopio electrónico	
	Proceso de Manufactura de	Proceso de fundición de	Fundición por cubilote o en horno de inducción	Medir temperaturas y contaminantes Pirómetro óptico Espectrómetro
		Generación de porosidades debido al proceso mismo de fabricación	Medición visual por corte transversal	Medición del tamaño de las porosidades Microscopio estéreo Calibrador electrónico

3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE: VIDA ÚTIL

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El tipo de terreno de la zona es franco arenoso, los tractores adquiridos en la comunidad trabajan sólo en este tipo de suelos con lo que la carga se puede considerar constante y se debería determinar el deterioro del rodamiento en función de las horas de uso del equipo e implementos y del proceso de mecanizado	Degradación del rodamiento en función de las horas de funcionamiento.	Horómetro Degradación de las pistas externas e internas. Degradación de los elementos internos del rodamiento	100 Horas Medición de la rugosidad superficial Medición de la degradación superficial de la superficie de los elementos	Medición la cantidad de horas trabajadas Medición de rugosidad Microscopio electrónico Medición de rugosidad Microscopio electrónico

3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para el desarrollo del presente trabajo investigativo se realizaron estudios de tipo bibliográfico y experimental. Las técnicas de investigación fueron observación directa utilizando un cuaderno de notas con una metodología estructurada, recolección de información de libros e internet, posteriormente se realizaron las entrevistas con el apoyo de cuestionarios a las personas implicadas dentro del medio.

3.6 OBSERVACIÓN

Para lo cual se toma notas de todo lo que se considera necesario en un cuaderno, para describir los hechos de significación especial, que ayuda a registrar incidentes hasta tener una base informativa suficiente; se utilizó un cuaderno de notas para describir todo lo observado, además se anota fechas, cantidades y expresiones que se escuchan esto de acuerdo a las normas de la Universidad Técnica de Ambato.

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.7.1 PLAN DE PROCESAMIENTO

Para el procesamiento de la información se planificó lo siguiente:

- Recolectar la información necesaria partiendo del apoyo bibliográfico en cuanto a todo lo relacionado con los tipos de arados de discos empleados en el área objeto de estudio.
- Visualizar en condiciones de campo si la misma fue sometida a un régimen de explotación acorde con lo planteado por el fabricante, se verificó si los operadores y mecánicos, cumplen celosamente con las regulaciones técnicas, los mantenimientos.
- Verificaron la posible aparición de fallas en los soportes de los arados de discos.
- Se determinó una correcta selección del material y los diferentes tratamientos y elaboración, confeccionaremos un nuevo soporte para reemplazar el original, el mismo debe cumplir con los estándares internacionales, para alargar la vida útil del mismo, lo que traería beneficios económicos a los productores.
- Revisión bibliográfica acerca de los equipos y materiales para realizar los ensayos.
- Fabricación de las probetas. Determinación de los esfuerzos en la probeta.
- Modelación virtual. Análisis de los esfuerzos por el método de elementos finitos.

3.7.2 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el análisis e interpretación de resultados se planificó lo siguiente:

- Establecer las diferencias entre las variaciones del material respecto a la resistencia mecánica de los soportes por medio del Análisis de Elementos Finitos.
- Determinar cuál es el material más idóneo por medio del método de elementos finitos, considerando los diferentes tipos de análisis.
- Relacionar los resultados con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.
- Comprobación de hipótesis. Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV.

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1.1 RESULTADOS DE LOS DISCOS UTILIZADOS EN LA COMUNIDAD DE BATZACÓN.

En este capítulo se realizó un estudio para determinar y proponer soluciones a las causas que inciden en el estado de fallo de los soportes objeto de la investigación.

En la comunidad Batzacón de la provincia de Chimborazo, se utilizó chumaceras equipadas con rodamientos para los arados y gradas de discos que allí se explotan. En la tabla 4.1 se muestran algunos de los discos en las que se basa el presente trabajo.

Tabla 4. 1. Correspondencia de las principales arados y gradas con los soportes de rodamientos.

MODELO	PESO	DISCOS	SEPARADORES	RODAMIENTOS	LIMPIADERAS
R14	450 Kg	24"x 3/16	Vaciado de 9"	tipo JD	SI
R16	485 Kg	24"x 3/16	Vaciado de 9"	tipo JD	SI
R18	518 KG	24" X 3/16	Vaciado de 9"	tipo JD	SI
R20	712 Kg	24"x 3/16	Vaciado de 9"	tipo JD	SI
R22	780 Kg	24"x 3/16	Vaciado de 9"	tipo JD	SI
R24	850 Kg	24"x 3/16	Vaciado de 9"	tipo JD	SI

Fuente: [12].

Siendo el objeto de esta investigación, las fallas de los soportes de las gradas, en sentido general, se trabajó con los soportes más representativos, por encontrarse en mayor cantidad, en la comunidad Batzacón de la provincia de Chimborazo. Los códigos encontrados en los soporte de rodamientos son el R14 y el R16.

4.2 UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES ARADOS DE DISCOS Y GRADAS DE LA COMUNIDAD DE BATZACÓN DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Todos los arados y gradas de discos utilizan soportes de rodamientos para su trabajo y presentan los mismos modos de fallas. Por tal motivo se decidió realizar un estudio en la comunidad de Batzacón, del cantón Guano, de la provincia de Chimborazo.

4.3 APLICACIÓN DEL MÉTODO ANÁLISIS DE LA CAUSA RAÍZ MODIFICADO

4.3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las chumaceras están compuestas por el cuerpo metálico, el rodamiento con pista interna de forma cuadrada, los separadores y el eje de soporte de discos como se muestra en la figura 4.1 y en grupo armado como se muestra en la figura 4.2

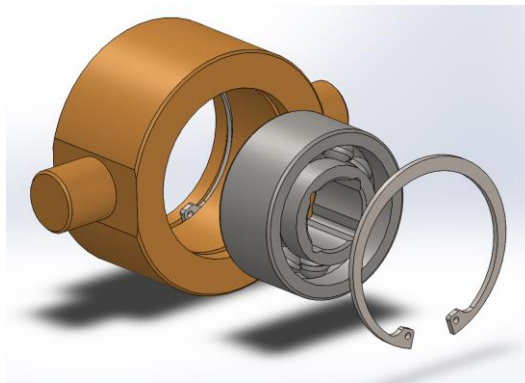


Figura 4. 1. Despiece de la chumacera en 3D.

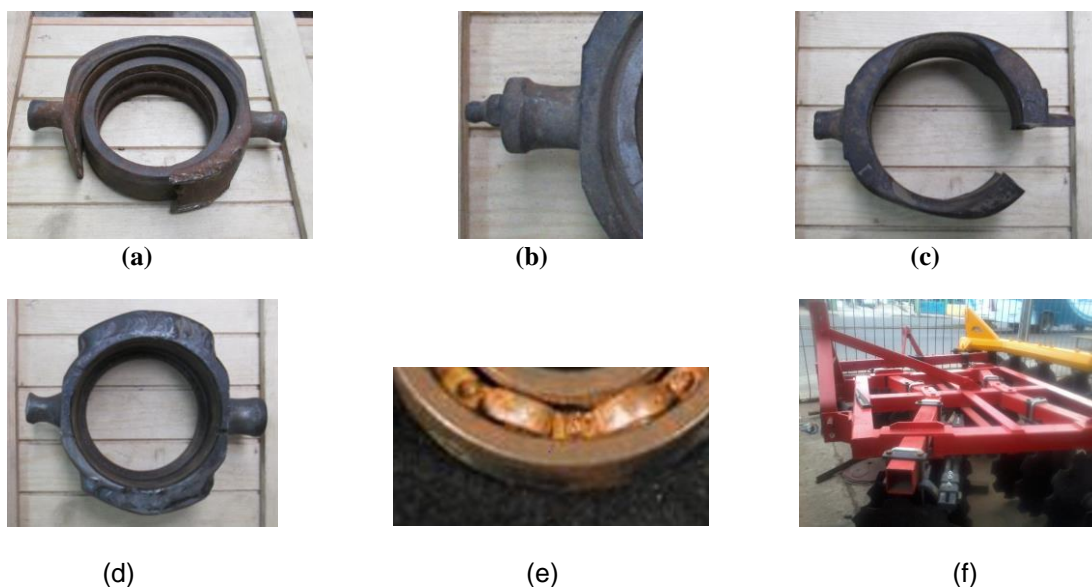
Fuente: El autor.



Figura 4. 2. Sistema de soporte de disco armado en el apero.

Fuente: El autor.

En la figura 4.3 podemos apreciar los diferentes problemas hallados en los soportes de los discos de arado, evidenciándose en mayor escala el desgaste presente en el cuerpo de la chumacera y los rodamientos destruidos por contaminación de materiales extraños dentro de los mismos.



a) chumacera desgastada por abrasión. b) Desgaste en el eje soporte de la chumacera. c) chumacera desgastada de la cual se obtuvo la muestra para espectrometría. (d) elemento recuperado mediante placas y soldadura. (e) rodamiento destruido por contaminación interna. (f) Bastidor repotenciado de la comunidad.

Figura 4. 3 Figura 4.3: Averías en los elementos de soporte.

Fuente: El autor.

Los arados han fallado a causa de las chumaceras de rodamientos destruidas, las mismas que han presentado rodamientos que han girado en el alojamiento de anclaje, se han destruido y desarmado en sus diferentes componentes por contaminación y sus ejes de soporte presentan un desgaste demasiado alto para mantenerse alineados.

Se pudo observar en los elementos analizados que aunque las rastras giran a velocidades relativamente bajas de 6 a 30 RPM según el fabricante, se evidencia la presencia de superficies sometidas a vibración y recalques de la superficie por fatiga superficial del material.

4.4 EFECTUAR ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Con la aplicación de este método, se hace necesario dar solución al problema perfectamente definido que presentan los soportes de rodamientos de los arados y gradas utilizados en la comunidad Batzacón de la provincia de Chimborazo.

Una vez en trabajo, encontramos que la mayor cantidad de paradas de los equipos se ocasionan por averías en las chumaceras de rodamientos. Ahora debemos buscar las razones y condiciones en las cuales se originaron los fallos.

4.5 RECOLECCIÓN DE DATOS DE FALLO

Como en la dirección zonal del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca de la zona 3, la estadística existente no es completamente confiable; para poder conocer cuándo, cómo y por qué ocurrió una determinada avería en un equipo de labranza, se hizo necesario basarse en las evidencias y muestras físicas que quedaron en los talleres de mantenimiento, así como también en las entrevistas, encuestas y observaciones realizadas a las personas dedicadas a esta actividad en los talleres que prestan servicios a la comunidad de Batzacón.

Se aplicó la técnica de la encuesta para recoger la información donde, por medio de preguntas escritas mostrado en el anexo 1, de estos estudios se obtuvieron respuestas que reflejan los conocimientos, opiniones, intereses, necesidades y actitudes del grupo de personas que de forma general trabaja con estos implementos. Utilizándose también observaciones a los puestos de trabajo con el formulario del anexo 2.

Se encuestaron, fundamentalmente, a los Técnicos del MAGAP, operarios de la maquinaria de Batzacón, ayudantes y mecánicos y de los talleres de la zona de Riobamba y Guano, en donde se llevaban los equipos a reparar, en la figura 4.6 podemos apreciar el conjunto universo de los tipos de personas encuestadas.

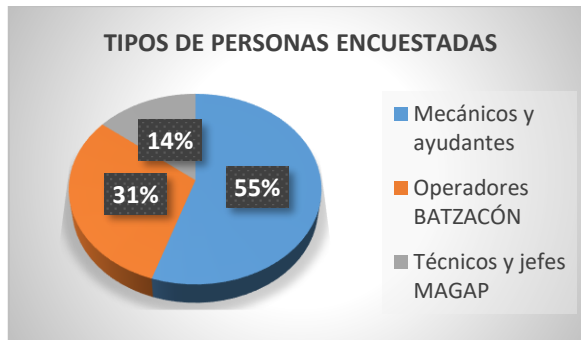


Figura 4. 4. Tipos de personas encuestadas

Fuente: El autor.



Figura 4. 5. Calificación de la calidad de las chumaceras

Fuente: El autor.

El desarrollo de las encuestas sobre los soportes de rodamientos arrojó que el 16% plantea que son muy malos, el 49% que son malos, el 21% que son regulares, el 12% buenos y solo el 2% plantea que son excelentes, esto se muestra en la figura 4.7.

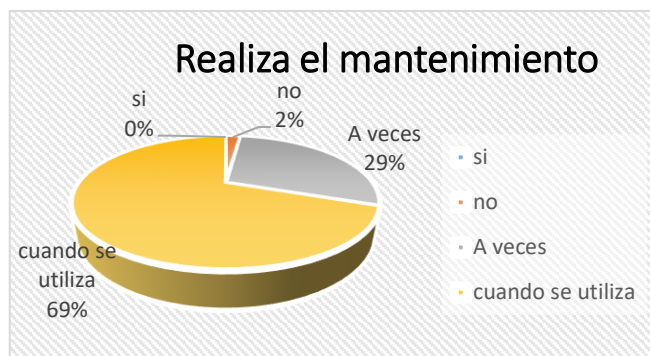


Figura 4. 6. encuesta de mantenimiento.

Fuente: El autor.

En la figura 4.8 podemos apreciar el resultado de la encuesta en la realización del mantenimiento en función del catálogo, el 2% indica que no realiza el mantenimiento

indicado por el fabricante, el 29% que se realiza a veces como está establecido y el 69% que lo ejecutan cuando se utiliza el equipo.

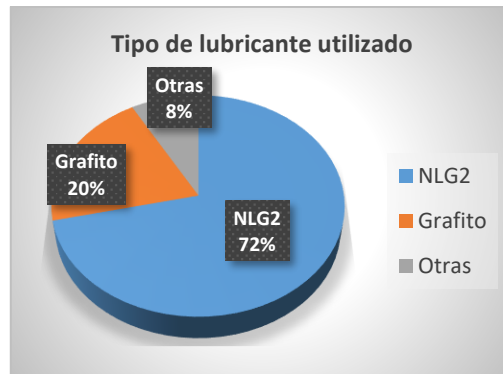


Figura 4. 7. Tipo de lubricante utilizado.

Fuente: El autor.

En la figura 4.9 podemos apreciar el tipo de lubricante utilizado en el mantenimiento, el 72% utiliza grasa de litio tipo NGL2, el 20% grasa con grafito y el 8% utiliza otros tipos de lubricantes.

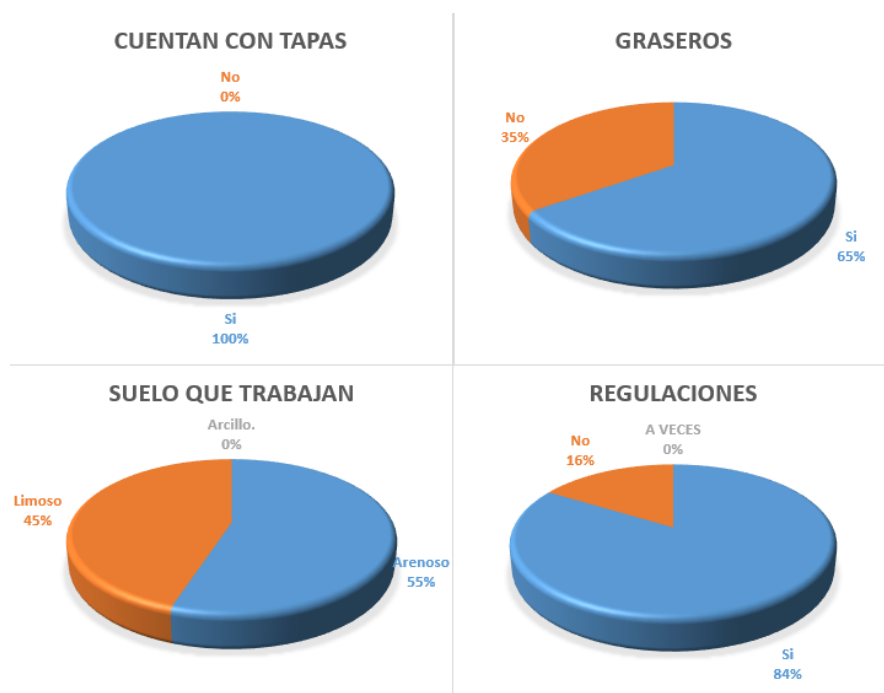


Figura 4. 8. Resultados de la segunda encuesta.

Fuente: El autor.

En la figura 4.10. tenemos un 100% de la gente que los utilizan con las tapas de los rodamientos ya que estas vienen incluidas de fábrica, el 65% plantea que los soportes tienen los graseros y el 35 que no. Los suelos donde se labora con estos implementos, según los encuestados, presentan un suelo limoso, 45%, arcilloso 0% y arenoso 55%. En cuanto a las regulaciones de los aperos el 84% plantea que se realizan, el 16% dice que no y el 0% a veces.



Figura 4. 9. Horas promedio de trabajo.

Fuente: El autor.

En la figura 4.11 se muestran las horas promedio de trabajo mensuales de los arados y gradas en la preparación de suelos están en el rango de 120 a 160 horas fundamentalmente, los otros rangos de horas prácticamente no se utilizan.

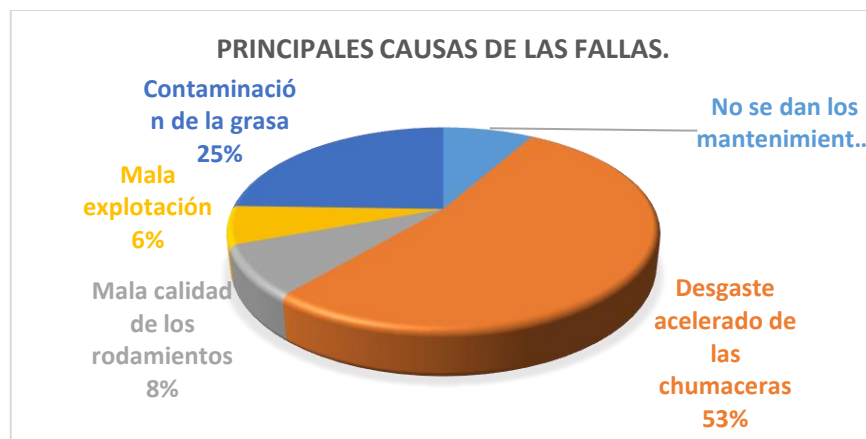


Figura 4. 10. Principales causas de las fallas.

Fuente: El autor.

Sobre las causas de las fallas existieron diversos criterios que pueden llevar a las Causas Raíces de las fallas, pudiéndose apreciar en la figura 4.12 que el 53% se queja de un desgaste demasiado acelerado de las chumaceras y el 25% se queja de contaminación de la grasa, pudiendo desprejarse las otras causa por su bajo porcentaje.



Figura 4. 11. estado técnico, contaminación del lubricante y explotación de las gradas.

En la figura 4.13 podemos apreciar que el estado de los aperos es bueno con un 74%, que prácticamente no hay contaminación seguida del lubricante con un 86% y que la explotación de las gradas se considera buenas con un 88%.

Todos los resultados de las encuestas realizadas se pueden ver de forma resumida en la tabla del anexo 3.

Los criterios de observación se aplicaron de acuerdo al anexo 2

4.6 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ÁRBOL DE FALLOS, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y POSIBLES SOLUCIONES

En la investigación, luego de aplicadas todas estas técnicas de identificación de las causas fundamentales que conducen al fallo o fallos recurrentes, se procedió a la utilización del árbol de fallos, del ACR. De acuerdo a la metodología propuesta, esto se representa en la figura 4.14.

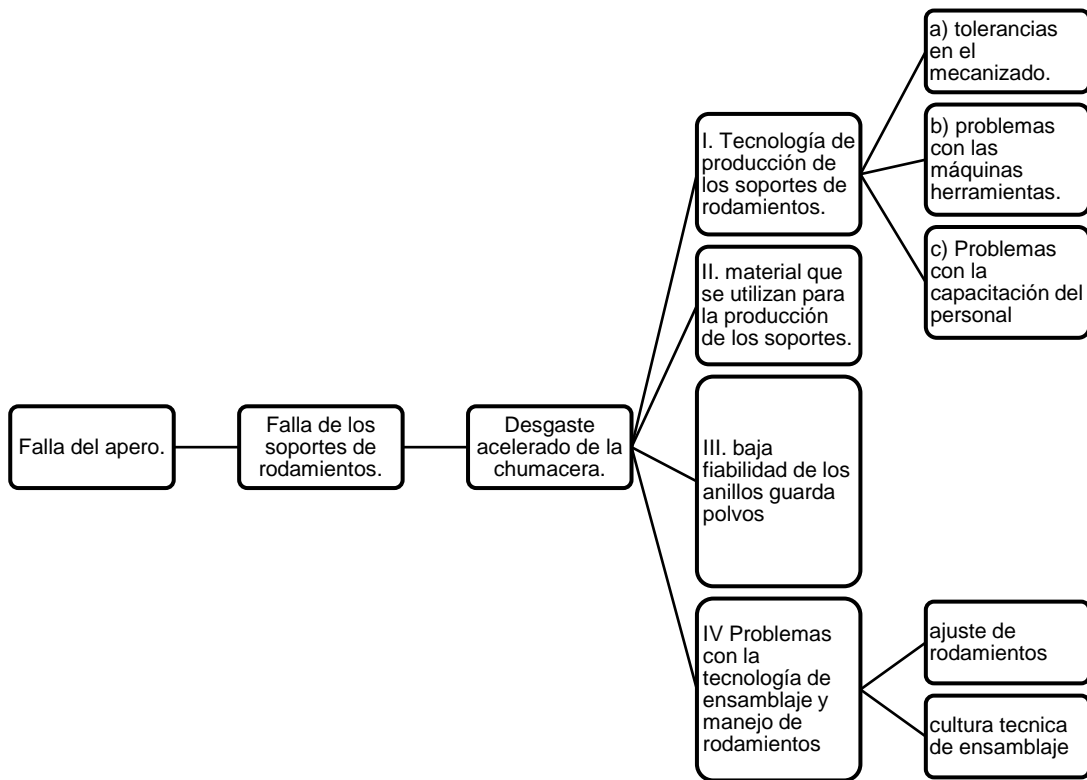


Figura 4. 12: Árbol de fallos del apero.

Fuente: El autor.

En esta primera parte del árbol de fallas se aprecia como entra en estado de falla la grada, originada por la única causa del problema, en este caso, las chumaceras de rodamientos, y a su vez, esta es provocada por un solo motivo, el desgaste prematuro. En ambos casos son de origen físico.

Con la aplicación de la nueva propuesta para el análisis de las causas raíces, se estudió las tres posibles causas que pueden estar incidiendo en las fallas de los rodamientos de los soportes, siempre con la utilización de toda la información recopilada a través de las entrevistas, encuestas, observaciones y revisiones de órdenes de trabajo.

Como se puede apreciar son campos donde se pueden encontrar las Causas Raíces de las fallas, es por tal motivo que se elaborará un árbol de fallos independiente para cada uno de ellos para su mejor comprensión.

I. Tecnología de producción del soporte: se analizan los procesos de fabricación, el ensamblaje y los recursos humanos como se muestra en la figura 4.12 anterior. Este árbol

de fallos para tecnología de producción de los soportes de rodamientos tiene tres causas que inciden en los fallos de estos.

1.- Problemas con la tecnología de fabricación. La producción de las chumaceras se realiza comúnmente en los talleres locales mediante la conformación de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido. En las visitas técnicas realizadas a los talleres de la localidad se pudieron evidenciar los siguientes problemas.

a) Problemas con las tolerancias en el mecanizado. En este aspecto podemos registrar dos problemas de la falta de buenos implementos de metrología, su correcto uso y la precisión del instrumental, ya que la mayoría tienen escalas sólo en décimas y se requieren en el orden de 0.01 mm como se muestra en la figura 4.21.



Figura 4. 13. Instrumentos de medida utilizados para un correcto mecanizado.

Fuente autor

b) Problemas con las máquinas herramientas. La mayoría de talleres poseen maquinaria de baja precisión, alrededor de 0.1 mm, y en el caso de respetar las tolerancias de eje único – agujero único, se requiere maquinas con diales en centésimas de milímetro o máquinas de CNC que algunos talleres ya lo manejan como se muestra en la figura 4.22.



Figura 4. 14. Torno de control numérico utilizado en la construcción de elementos.

Fuente: El autor. Cortesía Tecnodiseños.

c) Problemas con la capacitación del personal que realiza esta labor. Por lo general en nuestro medio la gente tiene una formación empírica o hasta cierto nivel educativo en el cual no conocen sobre la importancia de manejar correctamente las velocidades de corte, la selección de herramientas y sus materiales, ni la correcta selección de los tipos de insertos metálicos. Esta, no constituye causa en estos momentos, porque el personal de los talleres donde se producen los elementos tienen muchos años de experiencia y conoce plenamente el trabajo a desarrollar.

2.- Problemas en la selección del material. Las chumaceras se constituyen de elementos mecanizados de aceros de bajo carbono, esto se determinó luego de realizar los diferentes ensayos espectrométricos, de microscopía electrónica y de dureza como se puede apreciar en las figuras 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18.






 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECANICA MAESTRIA EN DISEÑO MECANICO (II COHORTE)					
ENSAYOS DE ESPECTROMETRIA EN CHUMACERAS TRABAJADAS					
Probeta Número	1	Espécimen	Chumacera trabajada		
Esayo realizado de acuerdo a las especificaciones del Equipo					
EQUIPO UTILIZADO BRUKER Q2 ION					
Lugar de ensayo	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FIM - ESPOCH)				
Fecha de ejecución	1/2/2016	Realizado por:	Ing. Segundo Shagñay		
		Revisado por:	Ing. Julio Carrasco		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE ESPECTROMETRIA					
MÉTODO	Fe110				
CANTIDAD DE LECTURAS	5				
Bruker Analysis Report					
<p>Sample: Analysis Time: 01.02.2016 10:47:21 Method: Fe110</p>					
	C[%]	Si[%]	Mn[%]	P[%]	S[%]
∅	0,190	0,176	0,337	<0,0010	<0,0045
	Cr[%]	Mo[%]	Ni[%]	Cu[%]	Al[%]
∅	0,0299	0,0331	0,1012	0,1623	0,011
	Co[%]	Nb[%]	Ti[%]	V[%]	W[%]
∅	0,0030	<0,0050	0,006	0,014	<0,020
	B[%]	Sn[%]	Fe[%]		
∅	<0,014	0,015			
TOMA DE LA MUESTRA CHUMACERA UTILIZADA		LECTURAS REALIZADAS EN PROBETA			
					

Figura 4. 15. Análisis espectrométrico de las chumaceras, análisis realizado en laboratorio de materiales de la FIM ESPOCH.

Fuente autor.

El análisis mostrado en la figura 4.15 pertenece a la espectrometría realizada en un equipo de marca BRUKER, mediante una comparativa con el catálogo de materiales de la empresa BOHLER podemos concluir que corresponde a un acero AISI 1018. [20]

Análisis de microscopía electrónica MEF.

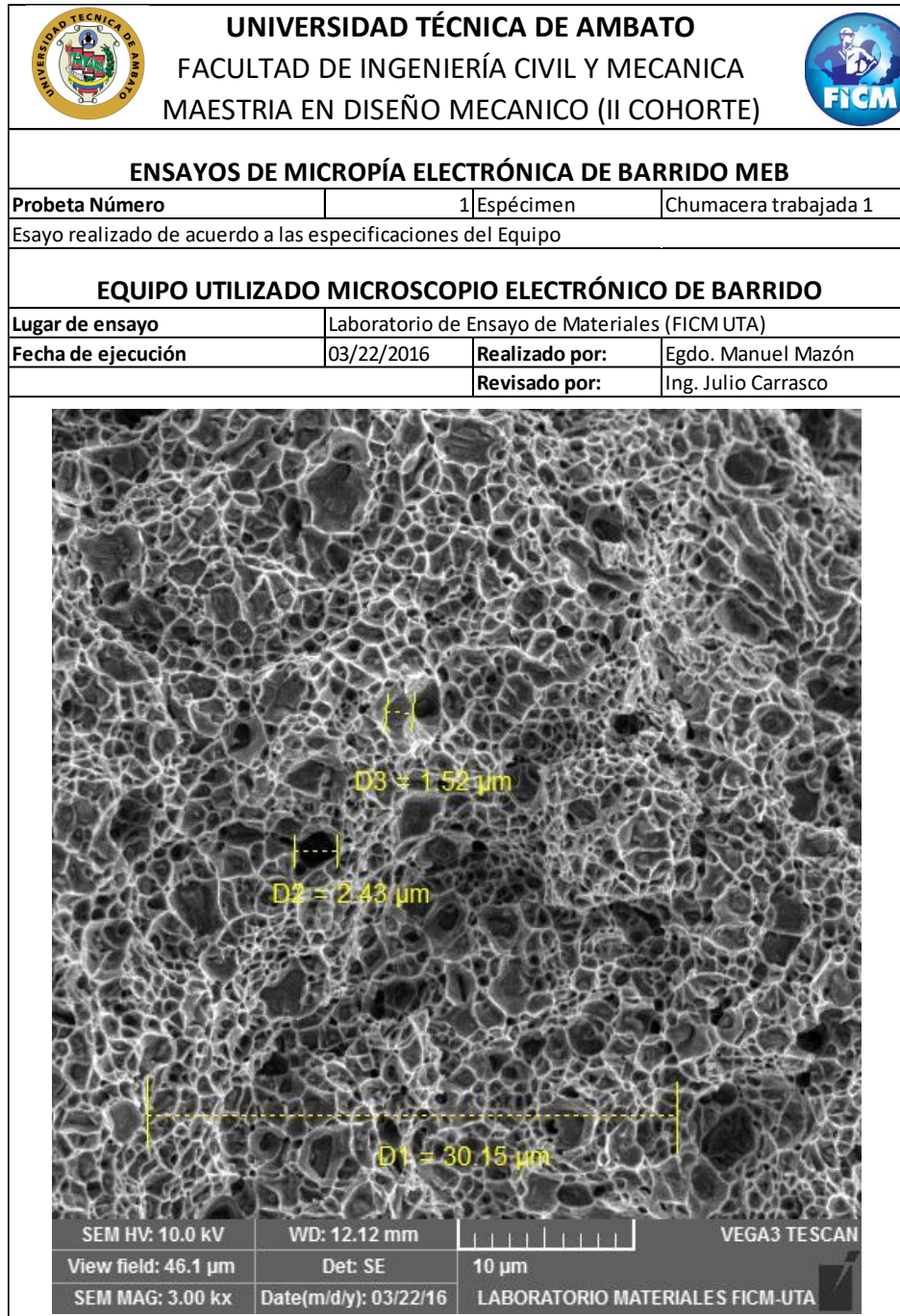


Figura 4. 16. Análisis de microscopía electrónica a 3000 aumentos de las chumaceras, realizado en laboratorio de materiales FICM-UTA.

Fuente: El autor.



ENSAYOS DE MICROPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO MEB

Probeta Número	1	Espécimen	Chumacera trabajada 1
----------------	---	-----------	-----------------------

Esayo realizado de acuerdo a las especificaciones del Equipo

EQUIPO UTILIZADO MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

Lugar de ensayo	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM UTA)		
Fecha de ejecución	03/22/2016	Realizado por:	Egdo. Manuel Mazón
		Revisado por:	Ing. Julio Carrasco

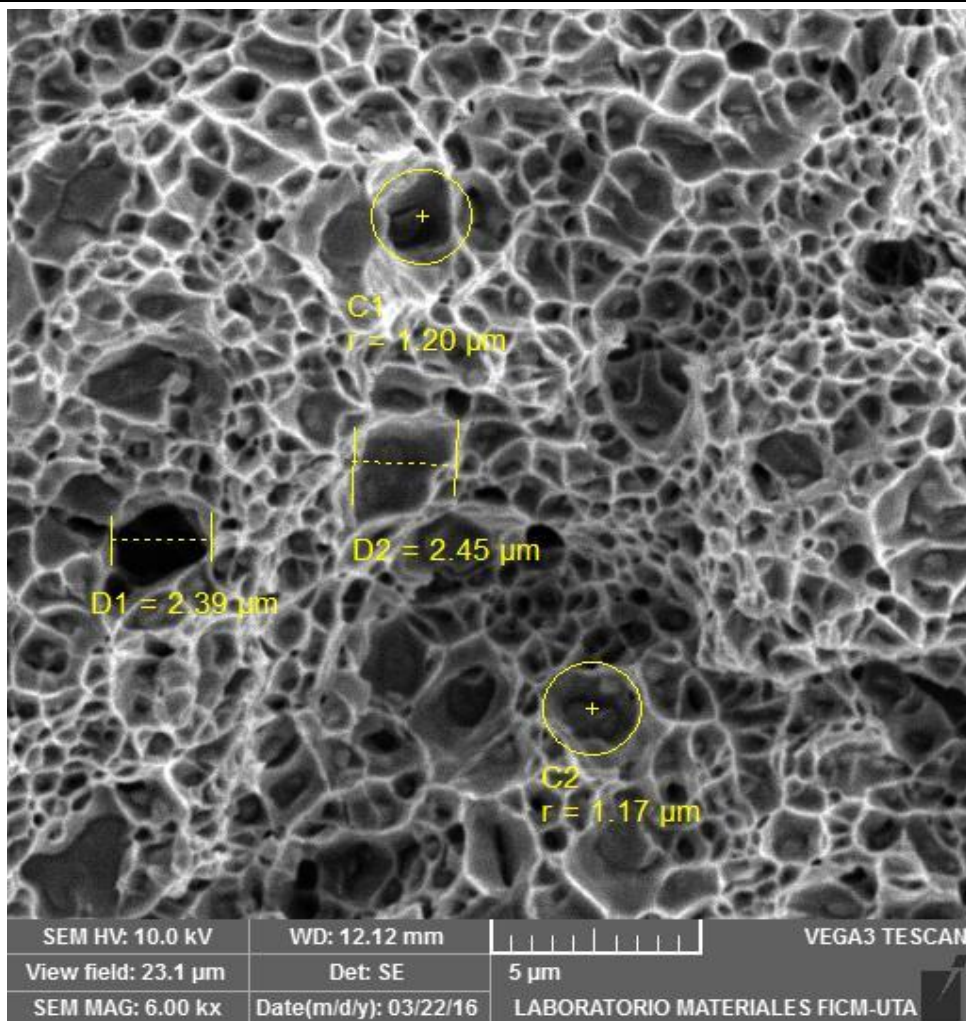


Figura 4. 17. Análisis de microscopía electrónica a 6000 aumentos de las chumaceras, realizado en laboratorio de materiales FICM-UTA.

Fuente: El autor.

En las figuras 4.16 y 4.17 podemos apreciar una fractura tipo dúctil, ya que se evidencian fracturas tipo “copa – cono” ratificando el análisis espectrométrico de un acero de bajo carbono.

Análisis de dureza. Para el análisis de dureza utilizamos el equipo mostrado en la figura 4.18 a y b.



a



b

Figura 4. 18. a y b. Durómetro para medir dureza Brinell.

Fuente autor.


 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECANICA MAESTRIA EN DISEÑO MECANICO (II COHORTE) 		
ENSAYOS DE DUREZA EN CHUMACERAS DE ACERO DE BAJO CARBONO		
Probeta Número	1	Espécimen Chumacera utilizada 1
Esayo realizado de acuerdo a las especificaciones del Equipo		
CONFIGURACIÓN SELECCIONADA PARA LA CHUMACERA		
Lugar de ensayo	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)	
Fecha de ejecución	20/4/2016	Realizado por: Egdo. Gabriel Mazón
		Revisado por: Ing. Julio Carrasco
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA		
MÉTODO	BRINELL	
TIPO DE PENETRADOR	IDENTADOR DE 5mm	
CARGA APLICADA	300 Kgf	
TIEMPO DE PRESIÓN	30 s	
RESULTADOS REGISTRADOS		
NÚMERO DE ENSAYO N ^o	DIÁMETRO DE IDENTACIÓN	DUREZA BRINEL
1	1,6	145,28
2	1,6	145,28
3	1,7	128,23
4	1,6	145,28
5	1,5	165,86
6	1,5	165,86
7	1,4	190,99
PROMEDIO DE DUREZA BRINELL		155,25

Figura 4. 19. Análisis de dureza de las chumaceras, probeta 1, realizado en laboratorio de materiales FICM-UTA.

Fuente: El autor.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECANICA MAESTRIA EN DISEÑO MECANICO (II COHORTE) 		
ENSAYOS DE DUREZA EN CHUMACERAS DE ACERO DE BAJO CARBONO		
Probeta Número	2	Espécimen Chumacera utilizada 2
Esayo realizado de acuerdo a las especificaciones del Equipo		
CONFIGURACIÓN SELECCIONADA PARA LA CHUMACERA		
Lugar de ensayo	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM)	
Fecha de ejecución	20/4/2016	Realizado por: Egdo. Gabriel Mazón
		Revisado por: Ing. Julio Carrasco
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA		
MÉTODO	BRINELL	
TIPO DE PENETRADOR	IDENTADOR DE 5mm	
CARGA APLICADA	300 Kgf	
TIEMPO DE PRESIÓN	30 s	
RESULTADOS REGISTRADOS		
NÚMERO DE ENSAYO N ^o	DIÁMETRO DE IDENTACIÓN	DUREZA BRINEL
1	1,5	165,86
2	1,6	145,28
3	1,5	165,86
4	1,6	145,28
5	1,5	165,86
6	1,5	165,86
7	1,6	145,28
PROMEDIO DE DUREZA BRINELL		157,04

Figura 4. 20 Análisis de dureza de las chumaceras, probeta 2, análisis realizado en laboratorio de materiales FICM-UTA.

Fuente: El autor.



Figura 4. 21 Análisis de dureza de las chumaceras, probeta 1 y 2, análisis realizado en laboratorio de materiales FICM-UTA.

Fuente: El autor.

En los ensayos de dureza realizados presentados en la figura 4.18 y 4.19 podemos apreciar una dureza de 155.25 y 157.25 HB que se encuentran dentro del rango de un acero de bajo carbono.

3) Guarda polvos. Un problema encontrado y que atenta contra la calidad del sellado del rodamiento es la ruptura de la arandela metálica que protege el interior del mismo problema mostrado en la figura 4.20 lo que provoca la contaminación con material del terreno que está siendo labrado, convirtiendo la mezcla de grasa y tierra en un perfecto abrasivo y llega a trabar todos los elementos internos como la jaula separadora, las esferas y por consecuencia las pistas.



Figura 4. 22. Pista de rodamiento llena de tierra al desarmar una chumacera.

Fuente: El autor.

4. Problemas con la tecnología de ensamblaje y manejo de rodamientos.

a) **Ajuste de los rodamientos.** La falta de formación hace que la gente no realice los procedimientos de acuerdo a la recomendación del fabricante con una especificación de precisión y acabado superficial adecuados H7j6 (ajuste indeterminado) generándose problemas de rodamientos sobre apretados o flojos, ocasionando la falla prematura de los mismos. Para corregir este problema se realizó el cálculo debido y necesario para nuestro caso como se muestra en la figura 4.23 y se entregó a los operarios.

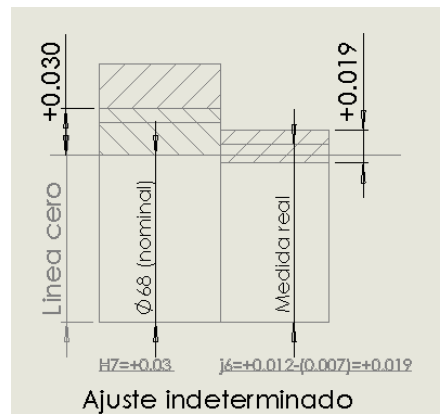


Figura 4. 23. Tolerancias necesarias para un correcto ajuste de los elementos.

Fuente: El autor.

b). Cultura técnica en el ensamblaje y manejo de los rodamientos. Los errores más comunes que se pudieron observar al momento del montaje en los distintos talleres fueron la falta de limpieza de los alojamientos del rodamiento antes del montaje, el impacto directo de martillos contra las pistas de rodamientos, el golpear la pista interior para montar la exterior provocando el recalque de las esferas contra las pistas como se muestra en la figura 4.24, al utilizar ejes como aumentos de longitud por lo general golpean las tapas del rodamiento, provocando la deformación y daños en la jaula de separación de las esferas. Para corregir este problema se realizaron charlas técnicas con los operarios.

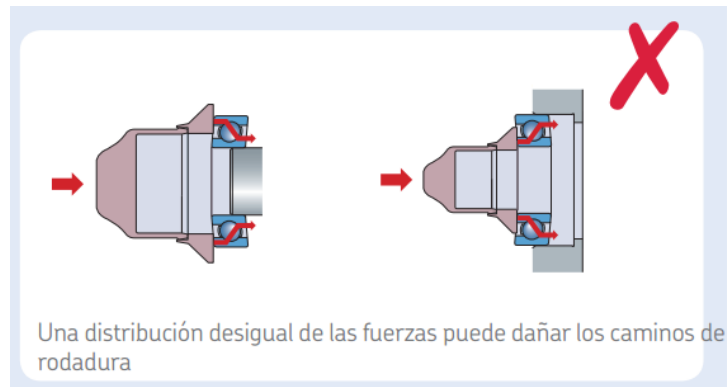


Figura 4. 24. Montaje incorrecto de rodamientos.

Fuente: [14].

4.7 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

- La causa de la falla de los rodamientos son las chumaceras.
- Luego de realizar el análisis metalográfico y de espectrometría se determinó que el material era un acero AISI 1018 por lo que mejorando las propiedades del mismo mediante elementos de aleación se logró aumentar la vida útil alrededor de un 256 %, como se muestran en las tablas 4.2 y 4.3 y en las figuras 4.25 y 4.26.
- Gracias a estos cambios en las chumaceras y el sistema de cálculo en línea “Bearing Calculator” de la empresa SKF en www.skf.com se pudo verificar que se llegó a aprovechar el 93.14% Vs el 36.2% de vida útil del rodamiento, puesto que se subió de 254 horas máximas de trabajo a 652 horas de las 700 horas disponibles del rodamiento que en esas condiciones nos da el programa como se muestra en la figura 4.28.

Tabla 4. 2. Valores de horas de vida de las chumaceras de acero de bajo carbono.

HORAS DE VIDA CHUMACERAS DE ACERO AISI 1018					
chumacera	tractor 1	tractor 2	tractor 3	tractor 4	tractor 5
1	254	247	253	250	251
2	254	247	253	250	251
3	130	250	250	255	246
4	130	251	250	255	246
5	245	250	256	248	257
6	245	253	256	248	257
7	247	225	230	200	221
8	247	225	230	200	221

Fuente: El Autor.

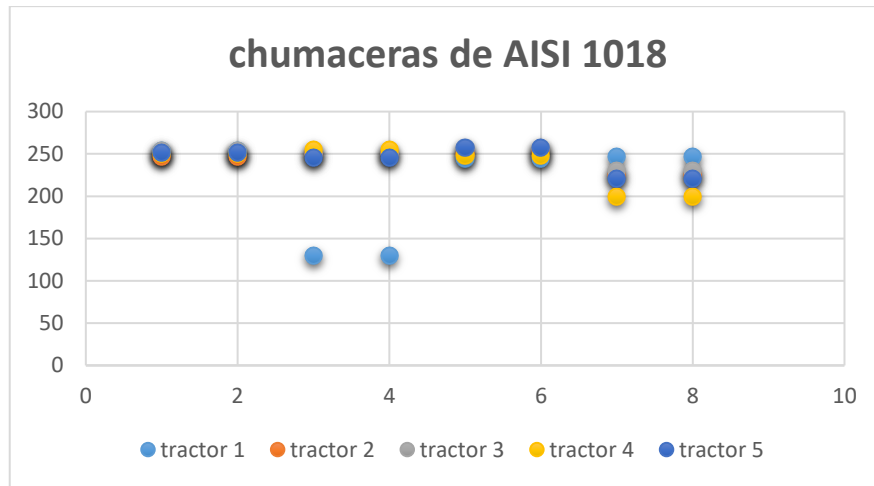


Figura 4. 25. Horas de vida de las chumaceras de acero de bajo carbono.

Fuente: El autor.

Tabla 4. 3. Horas de vida de las chumaceras de fundición al manganeso.

HORAS DE VIDA CHUMACERAS DE FUNDICIÓN CON ELEMENTOS DE ALEACIÓN					
chumacera	tractor 1	tractor 2	tractor 3	tractor 4	tractor 5
1	652	650	652	652	652
2	652	650	652	652	652
3	652	648	652	652	652
4	652	648	652	652	652
5	650	652	652	652	652
6	650	652	652	652	652
7	652	652	652	652	652
8	652	652	652	652	652

Fuente: El autor.

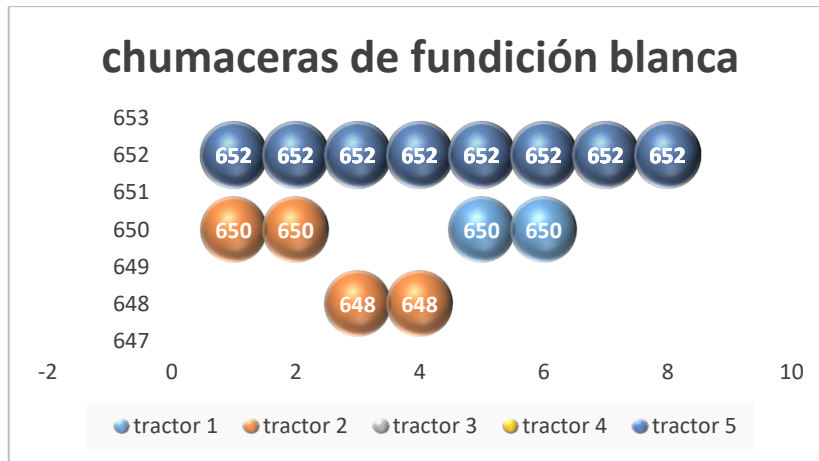


Figura 4. 26. Horas de vida de las chumaceras de Fundición con elementos aleantes.

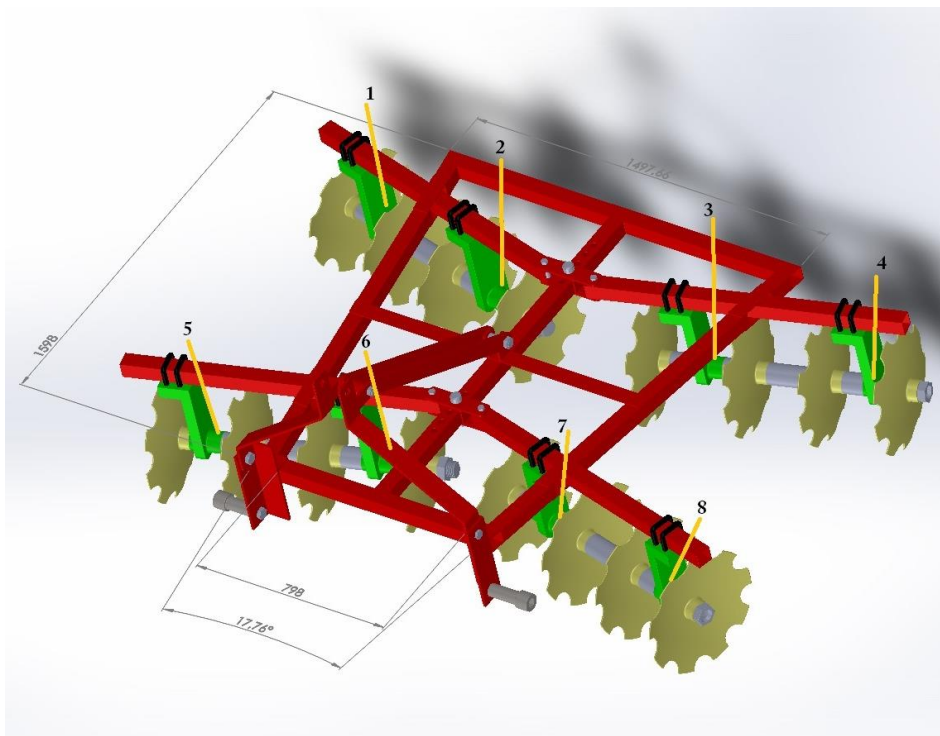


Figura 4. 27 Rastra esquemática donde se indica el número de chumacera.

Fuente: El autor.

4.7.1 ESTADO DE CARGA SOBRE EL RODAMIENTO

Dentro del análisis de estado de carga sobre el rodamiento de doble bola de contacto angular como se muestra en la figura 4.28

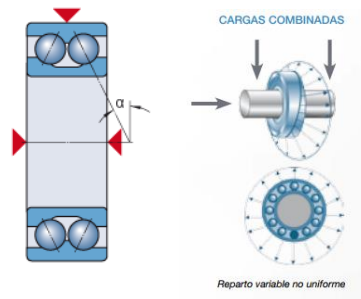


Figura 4. 28. Estado de carga sobre el tipo de rodamiento utilizado tipo 3307-A.

Las cargas halladas por elementos finitos en el sistema de los rodamientos son:

Carga Radial, Fr: 5000 lbf.

Carga Axial, Fa: 2200 lbf.

Calculamos la carga estática equivalente.

$$P_o = F_r + 0.52F_a = 5000 + (0.52 \cdot 2200) = 6144 \text{ Lbf} = 2792 \text{ Kgf}$$

Calculamos la carga dinámica equivalente.

$$F_a/F_r < 1.14 \text{ por lo tanto la ecuacion que rige es } P = F_r + 0.55 F_a = 5000 + (0.55 \cdot 2200) = 6210 \text{ lbf} = 2822 \text{ Kgf}$$

Las cargas que puede soportar el rodamiento de este tipo son de:

Carga estática admitida: 7980.73 lbf > 6144 lbf requerida

Carga dinámica admitida: 11690.08 lbf > 6210 lbf requerida

El rodamiento cumple sin problema el requerimiento de carga.

4.7.2 CÁLCULO DE LA VIDA ÚTIL TEÓRICA DEL RODAMIENTO

Para calcular la vida útil del rodamiento se utilizó la herramienta computacional en línea de SKF mostrado en la figura 4.29, en la cual se consideraron los parámetros de las revoluciones por minuto, la viscosidad relativa de la grasa tipo NGL2 con base de jabón de molibdeno, un factor de contaminación moderado de 0.22. todo esto nos da como resultado que la vida útil teórica de 1300 horas se reduce a 700 horas de vida útil en condiciones de trabajo reales.

SKF SKF Bearing Calculator English

ABOUT | HELP

Menu

- Select bearing
- Select calculation
- Enter input parameters
- Results**

[Feedback](#)

Useful links

- Ball bearings
- Plain bearings
- Roller bearings

Results

Bearing life : 3307 A

Bearing life : 3307 A

Input parameters

F_r Radial load	5000 lbf
F_a Axial load	2200 lbf
n_i Rotational speed of the inner ring	85 r/min
Operating temperature Bearing outer ring	40 °F
η_c specification method	Cleanliness classification(recommended)
Lubricant type and cleanliness	Slight-typical contamination (open bearing/light dirt ingress)
Viscosity calculation input type	Viscosity input at 104 °F (VI is 95)
Viscosity at 104 °F	100 mm ² /s

Warning

$\kappa=4$ gives full surface separation, hence the SKF rating life has no additional lubrication benefit for $\kappa>4$. Operating at $\kappa>4$ is possible but depending on the speed and lubricant quantity, may lead to higher friction and temperature.

Result

L_{10mh} SKF rating life	700 hour
a_{SKF} SKF life modification factor a_{SKF}	0.68
κ Viscosity ratio	8.64
P Equivalent dynamic bearing load	6721.8 lbf
η_c Factor for contamination level	0.22
v_1 Required kinematic viscosity for $\kappa=1$	132.8 mm ² /s
L_{10h} Basic rating life	1030 hour

Unit system

Select unit system

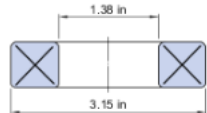
SI Imperial

Selected calculations

Bearing life

[Remove](#)

Bearing data



Designation 3307 A *

d 1.38 in

D 3.15 in

B 1.37 in

C 11690.08 lbf

C₀ 7980.73 lbf

Type Angular contact ball bearing

* SKF Explorer bearing

[View bearing details](#)

Note: The drawing displayed is only for general representation and may not be identical to the selected bearing variant.

Figura 4. 29 Imagen de la vida útil del rodamiento en nuestras condiciones de trabajo.

Fuente: SKF Bearing Calculator, <http://webtools3.skf.com>

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Las chumaceras construidas en el medio son de un acero de bajo carbono presentando muy poca resistencia a la abrasión causando un desgaste prematuro.
- Las cajas de este tipo de bajo carbono al llegar a los 5 mm de espesor presentan deformaciones en el alojamiento del rodamiento por las propiedades de deformación en el acero, lo que origina la pérdida de anclaje y destrucción prematura del rodamiento.
- El nuevo material de fundición al manganeso presentó excelentes características de estabilidad dimensional y resistencia a la fricción y abrasión.
- El proceso de manufactura, mediante conformación de soldadura y mecanizado por arranque de viruta del elemento original, no era el adecuado ya que lleva mucho tiempo y presenta baja fiabilidad a diferencia del nuevo proceso de fundición que se pueden realizar tirajes altos con costos bajos y en muy poco tiempo.
- Al tratarse de un elemento que supera los 48 Rocwell C de dureza se debió utilizar insertos de carburo de tungsteno, tipo ISO 4325, con recubrimiento de carbonitruro de titanio más alúmina, con lo que no presentaron problemas en el mecanizado incluso en tornos convencionales.
- En el análisis de microscopía electrónica se pudo verificar que el nuevo material de fundición al manganeso, presenta una característica de fractura frágil con ruptura transgranular.
- En el análisis de la fractura de la probeta de fundición se pudo apreciar un tipo llamado “fractura tipo hielo” similar a la ruptura de un helado de hielo, indicando la alta dureza de la estructura atómico molecular.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda cambiar los horómetros de los tractores al inicio de las lecturas estadísticas para evitar fallas en las mismas.
- Se recomienda realizar al menos 7 lecturas de dureza en cortes longitudinales y transversales de las probetas, ya que este tipo de materiales pueden ser laminados o extruidos y presentar estructuras de formas distintas en los 2 ejes.
- Los ensayos de espectrometría se deben hacer lejos de zonas soldadas para evitar lecturas erradas por evaporación de componentes causados por las altas temperaturas de la soldadura por arco tipo SMAW (Shielded metal arc welding), utilizada en estos elementos.
- Para la fundición de este tipo de elementos se recomienda el uso de hornos de inducción, ya que en el tipo de cubilote se presenta una baja de temperatura en la colada al presentarse una reacción endotérmica al suministrar el manganeso, fenómeno que es compensado con la energía que aporta el horno de inducción.
- El aporte del ferro-manganeso debe ser en un agregado de granulometría de 5/16 de pulgada porque de ser menor o en polvo el aleante tiende a perderse por evaporación de componentes.
- Se recomienda utilizar un 1% de ferro-silicio por cada 100 Kg de carga para mejorar la fluidez de la colada ya que el manganeso en la aleación crea problemas de gases atrapados que generan porosidades en el elemento y de esta manera se evitan estos problemas.

CAPÍTULO VI

6 PROPUESTA

“CONSTRUCCIÓN DE CHUMACERAS DE APEROS AGRÍCOLAS MEDIANTE FUNDICIÓN AL CROMO - MANGANESO, EQUIPADAS CON GUARDAPOLVOS PARA AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LOS RODAMIENTOS DE LOS TRACTORES DE BATZACÓN”.

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Una vez que se han analizado la recopilación de datos estadísticos y se han determinado los materiales de los cuales están construidos las cajas mediante espectrometría se han ubicado los problemas como el desgaste prematuro de los elementos, la falla de los sellos en los rodamientos y las deformaciones en los alojamientos de los rodamientos por fluencia del material al reducirse su espesor por desgaste.

El sector agroindustrial requiere repuestos que tengan buena confiabilidad y una vida útil considerable, puesto que, en la región centro sierra, las personas que se dedican a las labores del campo cuentan con recursos económicos limitados, lo que los obliga a conseguir repuestos de un costo inmediato bajo, pero, a largo plazo el costo se hace mucho más alto debido a las paradas intempestivas de maquinaria con varios días que no laboran, a esto se suman los costos de mano de obra y repuestos. Esto genera un círculo vicioso y llega al punto de hacer quebrar a algunos agricultores, viéndose en la penosa tarea de vender su maquinaria a precios irrisorios, generando problemas socioeconómicos profundos en nuestros productores del agro.

En tal virtud nos vemos obligados como parte de la academia aplicada en la industria a generar una alternativa de chumaceras o cajas que sean duraderas, confiables y económicas, determinado que el material más idóneo para estas aplicaciones es la fundición gris con un 14% de Manganeso para soportar mejor las deformaciones y el desgaste producido por abrasión.

Se realizó una revisión de los problemas encontrados en la tecnología de fabricación de las chumaceras en estudio para tener claro los problemas a solucionar y obtuvimos el árbol de fallos representado en la figura 6.1.

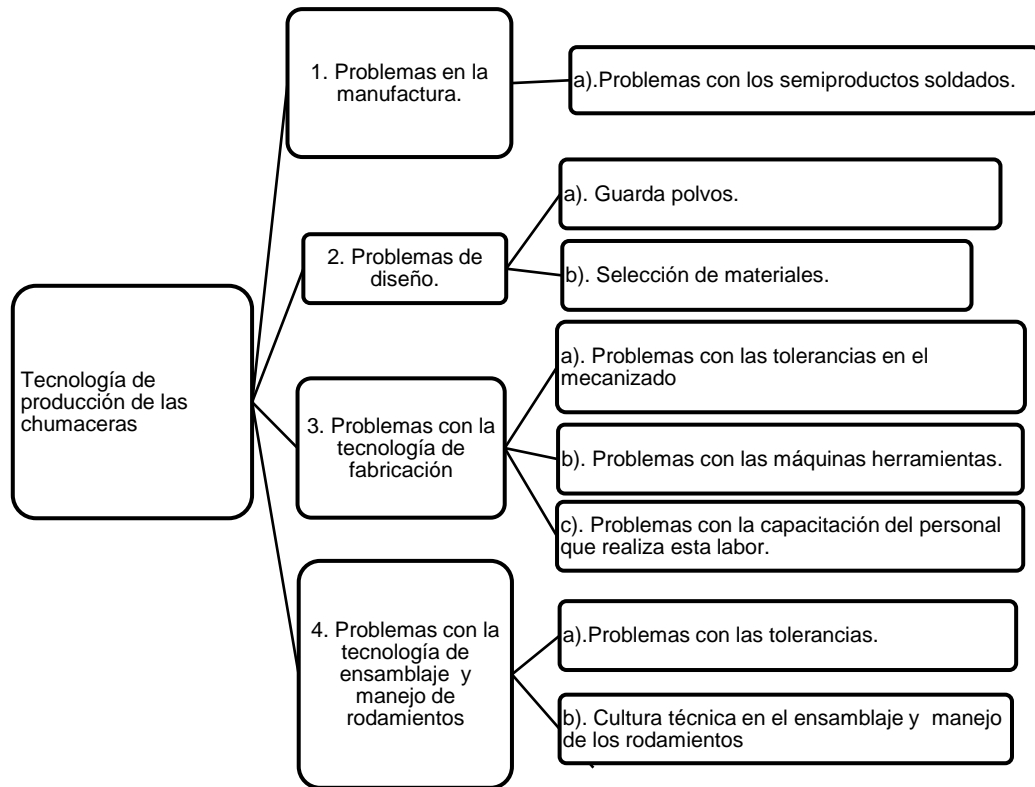


figura 6. 1. Árbol de fallos para tecnología de producción de las chumaceras de rodamiento

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Se han realizado estudios para la maquinaria para remoción de tierra y en tal virtud encontramos los aceros tipo Hadfield en honor a su descubridor, en estos aceros austeníticos se consideran el Carbono, el Cromo, el Níquel, el Molibdeno y el Manganeso como componentes para reducir el desgaste por abrasión en contacto con el terreno.

Dentro de estos aceros el componente principal para la resistencia al desgaste es el manganeso que debe considerarse entre el 11.5% y el 14.0%, de esta manera se pueden generar mandíbulas dentadas de molinos de piedra, uñetas de maquinaria pesada de remoción de piedra como cargadoras y retroexcavadoras.

6.3 JUSTIFICACIÓN

El material más idóneo para la fabricación de la chumacera se determina que es la fundición, ya que presenta una deformación despreciable por su baja fluencia y alta resistencia a la abrasión, este fue el seleccionado debido a la accesibilidad del proceso de manufactura y económicamente hablando es muy accesible.

Se consideró una fundición gris con un porcentaje del 14% manganeso en su microestructura para soportar la abrasión y desgaste, debía ser mecanizable en máquinas herramientas y de un costo reducido, ya que de esta manera podemos dar una solución confiable al agro, barata y con guarda polvos en los rodamientos para que cumplan con su vida útil o acercarse a lo más posible a ella.

Un problema serio que tenemos es la deformación del elemento ya que en nuestro medio son conformados a partir de aceros de bajo carbono y soldadura, produciendo problemas como la formación de estructuras witmanstatten en la Z.A.T. (zona afectada térmicamente) reduciendo considerablemente su resistencia mecánica ya que el tamaño de grano puede incrementarse hasta 15 veces, a más de esto tenemos efectos físicos como la fluencia que al reducirse los espesores en las cajeras cerca de los 5 mm por la fricción, los alojamientos de las mismas pierden tolerancia, se deforman y se pierde el anclaje entre la pista externa del rodamiento y la cajera, obteniéndose problemas de patinajes, fricción y recalentamientos en los rodamientos encontrándose colores azules grisáceos en su estructura, esto denota por código de colores, que el material superó los 300 grados centígrados [21] y hemos encontrado pérdidas de dureza de alrededor de unos 15 HRc y las lecturas son variables en la periferia del rodamiento.

La agroindustria y la industria en general se verán beneficiadas con elementos que resistan la abrasión del terreno, guarden su geometría y además un material de fundición que se le pueden dar diferentes aplicaciones por su versatilidad y bajo precio.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 GENERAL

Analizar una fundición de base de hierro con un 14% de manganeso para construir una cajera.

6.4.2 ESPECÍFICOS

Determinar si la fundición es capaz de soportar los esfuerzos mecánicos presentes en el elemento.

Determinar si la fundición puede soportar la abrasión contra el terreno.

Analizar si la fundición puede ser mecanizada en una máquina herramienta.

Determinar un costo accesible en el elemento.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La construcción de los elementos mediante proceso de fundición y mecanizado es factible ya que se cuenta con la ingeniería, la tecnología y el contingente humano para dicha elaboración.

Se utilizarán los hornos de inducción de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y los talleres de fundición de la empresa “Fundiciones Águila”, estos últimos serán alquilados.

Los costos son manejables ya que la Politécnica presta sus laboratorios por un convenio de ayuda para la educación de los docentes, la empresa “Fundiciones Águila” ayuda con precios muy bajos por ser una investigación y los recursos bibliográficos son manejables.

El software necesario es provisto por la universidad, con lo que no recaen costos por este objeto.

6.6 FUNDAMENTACIÓN.

La presente propuesta se basa en la información recolectada y presentada en el capítulo II que corresponde al marco teórico, donde se presentan los factores y características básicas necesarias para este efecto.

El análisis del elemento como es la chumacera está sometida a desgaste continuo y cargas similares ya que el terreno en la zona de estudio es similar en los diferentes puntos de trabajo.

Gracias a nuestro estudio, en el capítulo IV tenemos claro el comportamiento y el tipo de trabajo al que esta sometida la chumacera y de esta manera se puede escoger el material más adecuado para la aplicación, para lo que se tomó en cuenta la cesibilidad al desgaste por abrasión del elemento.

6.7 ANÁLISIS DE FUERZAS INVOLUCRADAS EN EL ELEMENTO

Ya que más adelante en los elementos fundidos vamos a necesitar las cargas que actúan sobre ellos se procedió a realizar una ingeniería inversa del producto. Para realizar el análisis de esfuerzos nos basamos en la bibliografía disponible del capítulo II, en literatura disponible de la empresa John Deere y se procedió al análisis por elementos finitos dibujando previamente el elemento en 3D con las medidas en el momento en que falló, declaramos el material como AISI 1020 y realizamos ingeniería inversa para determinar las cargas que hicieron fallar el elemento mencionado.

Para esta investigación utilizamos el paquete informático SOLIDWORKS, que pertenece a la Universidad, el cual posee varios complementos, dentro de los cuales utilizamos el denominado SIMULATION con su “ANÁLISIS ESTÁTICO”.

6.8 PRE PROCESO

Como parte del análisis por elementos finitos, el paso del pre proceso es el más fundamental. Consiste en definir por completo el modelo a estudiar. Si la definición del problema está errónea o mal planteada los resultados que se obtendrán al final del análisis serán igualmente falsos. [22]

En el pre proceso se deben definir las siguientes características del modelo: [22]

- Dominio geométrico del problema (Geometría)
- Propiedades de material en los diferentes elementos.
- Definición de conexiones entre elementos
- Mallado del sistema
- Condiciones de borde y estado de carga del sistema.

6.8.1 DOMINIO GEOMÉTRICO DEL PROBLEMA

Para realizar el análisis del elemento procedemos a dibujarlo mediante el software CAD SOLIDWORKS que nos permitió dibujar de una manera adecuada, fácil y rápida las geometrías como apreciamos en la figura 6.2. [23]

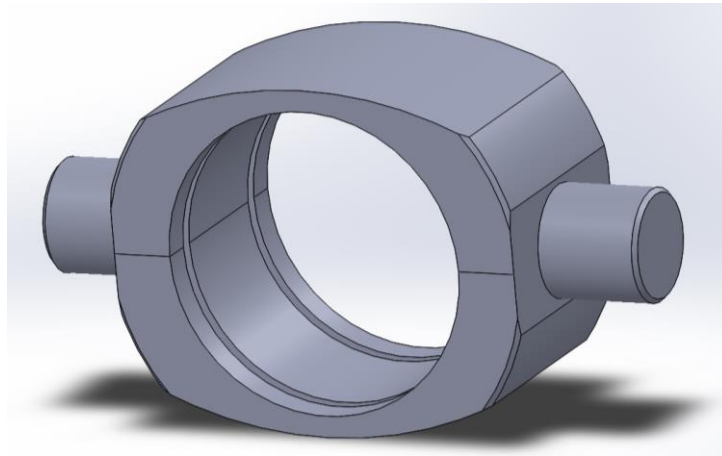


figura 6. 2. Chumacera modelada en 3D con las medias del desgaste.

Fuente: El Autor.

6.8.2 PROPIEDADES DEL MATERIAL EN LOS DIFERENTES ELEMENTOS

Los elementos para el análisis estático se consideran inicialmente con el material original que es el AISI 1020 con las propiedades obtenidas de librería.

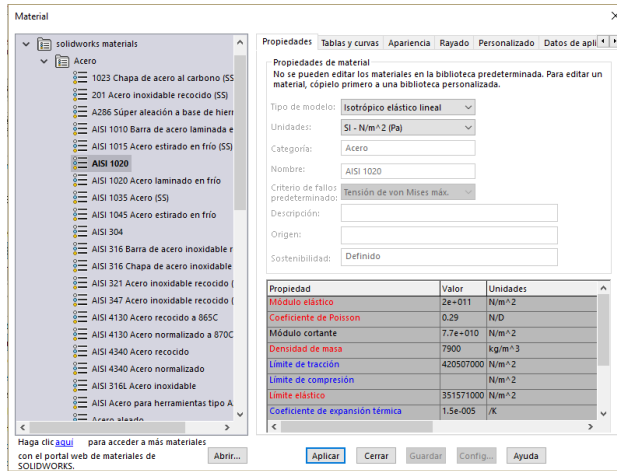


figura 6. 3. material utilizado en el análisis.

Fuente: SOLIDWORKS.

6.8.3 DEFINICIÓN DE CONEXIONES ENTRE LOS ELEMENTOS

La conexión a considerar es entre la chumacera y el soporte, para lo cual se considera sujeciones sobre caras cilíndricas con una restricción de giro de 0.1 radianes como se muestra en la figura 6.4

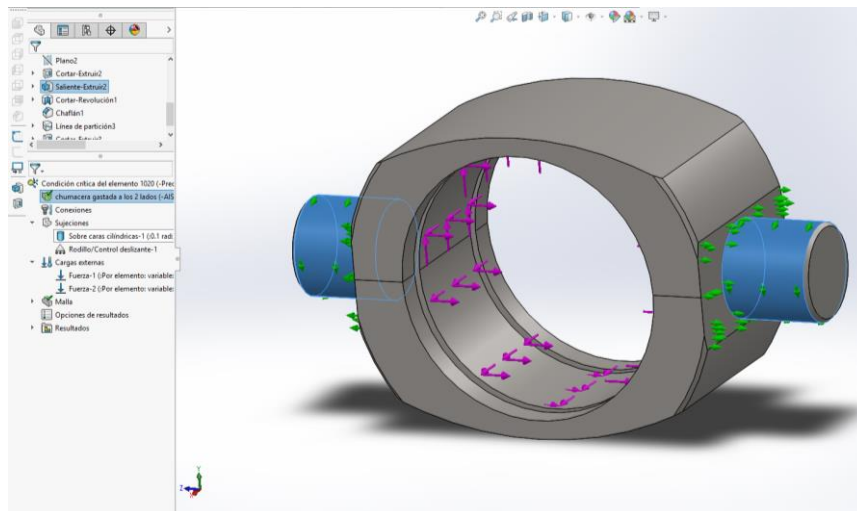


figura 6. 4. Sujeción en los rodillos.

Fuente: El Autor.

También se consideran condiciones de sujeción sobre las caras de la chumacera de tipo rodillo con control deslizante como se muestra en la figura 6.5.

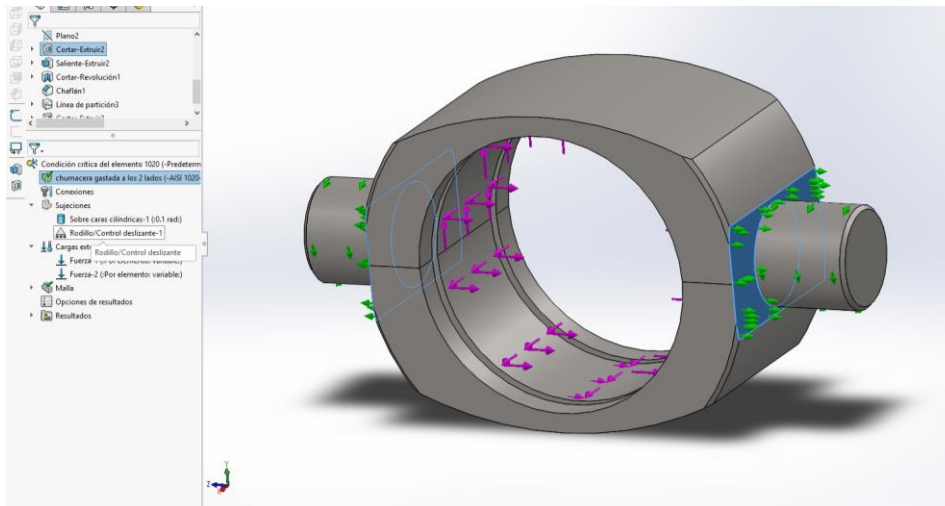


figura 6. 5. Sujeción en las caras.

Fuente: El Autor.

6.8.4 MALLADO DEL SISTEMA

En la figura 6.6 podemos observar que se utilizó una malla estándar con un mallado obtenido muy armónico corroborándose con las tendencias de calidad de elementos de malla y la relación de aspecto [24].

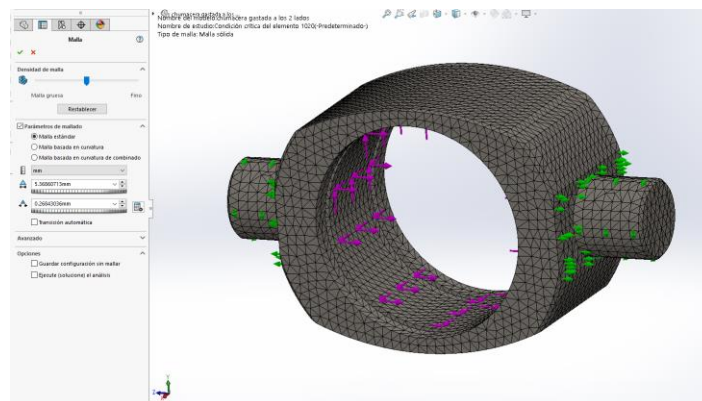


figura 6. 6. Creando la malla.

Fuente: El Autor.

6.9 CONDICIONES DE BORDE Y ESTADO DE CARGA DEL SISTEMA

Para las condiciones se consideró una línea de partición para poder colocar las fuerzas de la carga de peso sólo en la parte superior de la misma, las cargas aplicadas de acuerdo a la bibliografía disponible son las siguientes.

En la cara superior interna se consideran las cargas en los ejes: $x = 21000 \text{ N}$, $y = 10000 \text{ N}$ (peso de la rastra), $z = 21000 \text{ N}$, como se muestra en la figura 6.7.

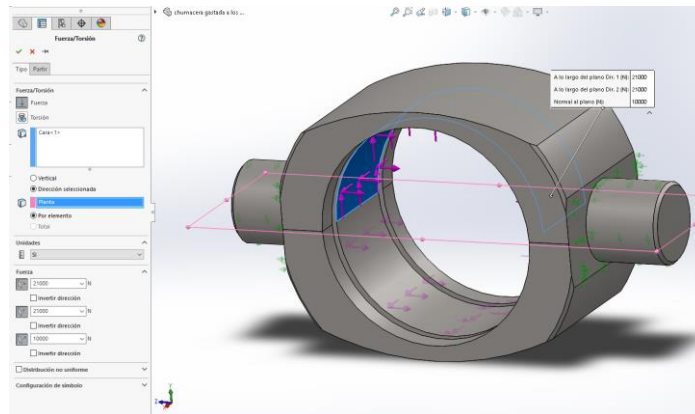


figura 6. 7. Aplicación de cargas en la cara superior interna.

Fuente: El Autor.

En la cara inferior interna se consideran las cargas en los ejes: $x = 21000 \text{ N}$, $z = 21000 \text{ N}$, como se muestra en la figura 6.8.

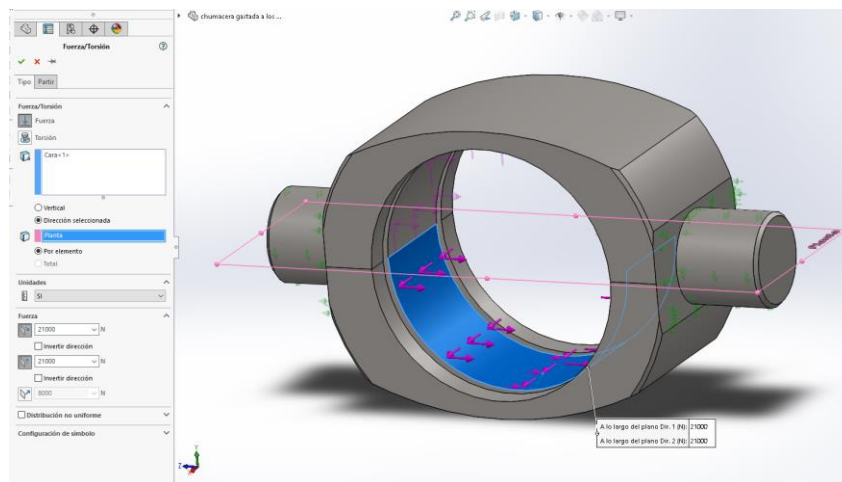


figura 6. 8. Aplicación de cargas en la cara inferior interna.

Fuente: El Autor.

6.10 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA CHUMACERA DESGASTADA, MATERIAL AISI 1020

Como se puede apreciar en el gráfico 6.9 perteneciente a las tensiones Von Mises podemos observar que el elemento se encuentra al límite de su resistencia de acuerdo al material utilizado, AISI 1020.

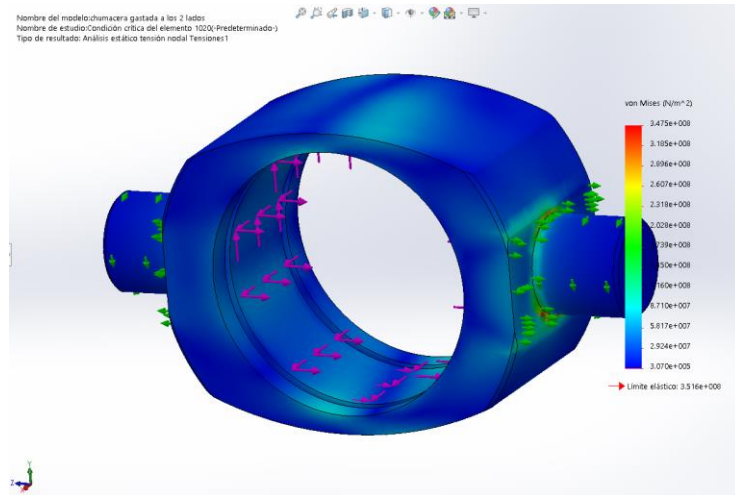


figura 6. 9. Tensiones de Von Mises.

Fuente: El Autor.

En la gráfica 6.10 correspondiente al factor de seguridad podemos observar que el elemento se encuentra al límite de su resistencia.

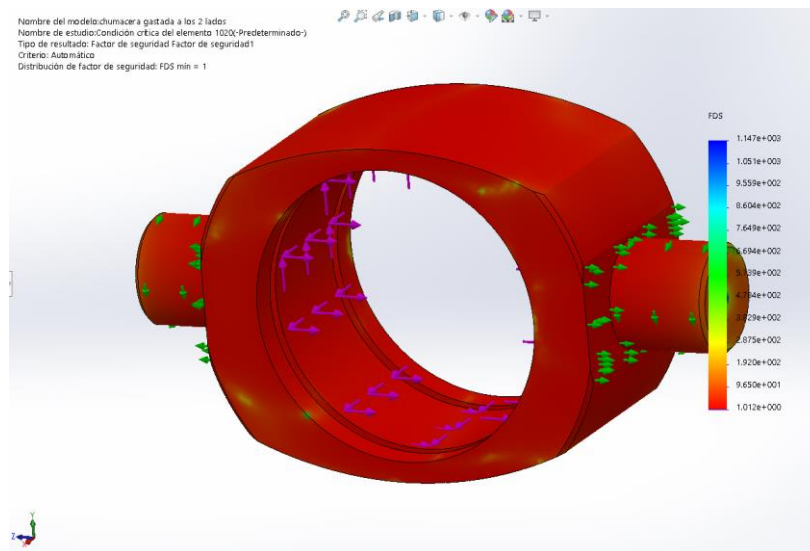


figura 6. 10. Factor de seguridad.

Fuente: El Autor.

Gracias a este estudio se comprueba el espesor mínimo en el que puede llegar a operar el elemento y concuerda con el elemento real como se muestra en la figura 6.11.



figura 6. 11. Imagen de la chumacera desgastada al espesor de falla (5mm de espesor).

Fuente: El Autor.

7 FUNDICIÓN DE LOS ELEMENTOS

7.1 FUNDICIÓN EN HORNO DE INDUCCIÓN

Para realizar la fundición de los nuevos elementos utilizamos el horno de inducción de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, su equipo de espectrometría de marca BRUKER y el laboratorio de ingeniería de materiales esto con la ayuda y la dirección de los docentes encargados. Los equipos y el contingente ingenieril los podemos apreciar en la imágenes: 6.11, 6.12, 6.13, 6.14



figura 6. 12. Horno de inducción con la carga.

Fuente: El Autor.



figura 6. 13. Colaboradores, de izquierda a derecha: Ing. Cesar Morales (docente ESPOCH), Ing. Jorge Viezner (docente Especialista en Metalurgia ESPOL), colaborador del Ing. J. Viezner, Ing. Mario Pastor (docente ESPOCH, Master en Ingeniería de Materiales de Pennsylvania University), Ing. Rodrigo Velásquez (docente ESPOCH), Ing. Julio Carrasco (docente ESPOCH).

Fuente: El Autor.



figura 6. 14. Descarga del horno de inducción, ESPOCH.

Fuente: El Autor.



figura 6. 15. Espectrómetro BRUKER, ESPOCH.

Fuente: El Autor.

Se realizaron análisis espectrométricos de las muestras de colada y de los elementos obtenidos para tener una medición clara y exacta de los elementos químicos constituyentes de la aleación utilizada para fundir las nuevas chumaceras, como se muestra en la figura 6.16.



ENSAYOS DE ESPECTROMETRIA EN CHUMACERAS FUNDIDAS

Probeta Número	1	Espécimen	Chumacera CONSTRUIDA 1
-----------------------	---	-----------	------------------------

Esayo realizado de acuerdo a las especificaciones del Equipo

EQUIPO UTILIZADO BRUKER Q2 ION

Lugar de ensayo	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FIM - ESPOCH)		
Fecha de ejecución	4/10/2016	Realizado por:	Ing. Segundo Shagñay
		Revisado por:	Ing. Julio Carrasco

PARÁMETROS DEL ENSAYO DE ESPECTROMETRIA

MÉTODO	Fe110
CANTIDAD DE LECTURAS	11

Bruker Analysis Report



Sample:

Analysis Time: 01.02.2016 10:47:21

Method: Fe110

	<u>C</u> [%]	<u>Si</u> [%]	<u>Mn</u> [%]	<u>P</u> [%]	<u>S</u> [%]
∅	>1,800	1,366	14,337	<0,0010	<0,0045
	<u>Cr</u> [%]	<u>Mo</u> [%]	<u>Ni</u> [%]	<u>Cu</u> [%]	<u>Al</u> [%]
∅	0,0299	1,0331	0.1012	2,1623	0,011
	<u>Co</u> [%]	<u>Nb</u> [%]	<u>Ti</u> [%]	<u>V</u> [%]	<u>W</u> [%]
∅	0,0030	<0,0050	0,006	0,014	<0,020
	<u>B</u> [%]	<u>Sn</u> [%]	<u>Fe</u> [%]		
∅	<0,014	0,015			

TOMA DE LA MUESTRA CHUMACERA CONSTRUIDA



LECTURAS REALIZADAS EN PROBETA



figura 6. 16. Análisis espectrométrico de los elementos fundidos.

(Fuente: El Autor).

En total se realizaron 5 coladas para obtener el material requerido, de las cuales 2 de ellas se eligieron porque presentaban las mejores características y menor variación en composición química presentadas en la tabla 6.1.

Número Colada	C	Mn	Si	Cu	Mo	Cr
1	1,5	14,3	1,3	2,1	2,4	0,02
2	1,3	14,0	1,4	2,2	3,0	0,02

tabla 6. 1. Composición química de las 2 coladas utilizadas para la creación de los elementos.

Fuente: El Autor.

Los elementos obtenidos se muestran como ejemplo en la figura 6.17

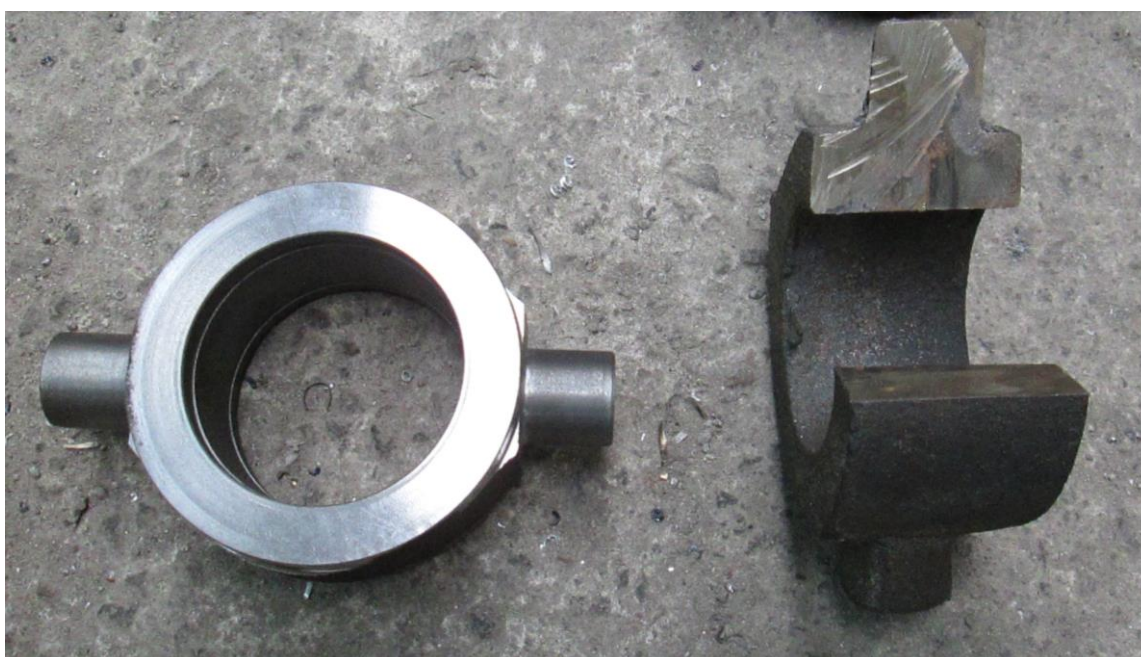


figura 6. 17. Elementos obtenidos luego de la fundición mediante horno de inducción.

Fuente: El Autor.

7.2 FUNDICIÓN EN HORNO DE CUBILOTE

Para bajar los costos de los elementos, se realizaron pruebas de fundición en horno de cubilote, como se puede apreciar en la figura 6.18.

Uno de los problemas que se tuvieron fue la baja de temperatura al incrementar el ferro-manganeso en la mezcla debido a una reacción endotérmica propia de la aleación. Para corregir el problema se procedió a construir un convertidor que es un sistema constituido por un cilindro de acero estructural de plancha de 5 mm barolada y recubierta con una capa de barro refractario de 5 cm, en la cual se procede a colocar 19% de ferro-

manganeso triturado con granulometría de 5/16 de pulgada, luego se procedió a verter 80 Kg de colada de hierro fundido y finalmente con una lanceta de acero inoxidable se procedió a la inoculación del oxígeno para generar una reacción exotérmica con el carbono y el oxígeno y subir la temperatura de la colada alrededor de los 1400 grados centígrados, esto se controló mediante un pirómetro óptico.



figura 6. 18 Chumaceras fabricadas en horno de cubilote.

Fuente: El autor

En la Figura 6.19 se puede apreciar una fractura “tipo hielo” que se ocasionó en los alimentadores denotándose una estructura acicular, debido a los aleantes de manganeso y cromo presentes para aumentar la resistencia a la abrasión.

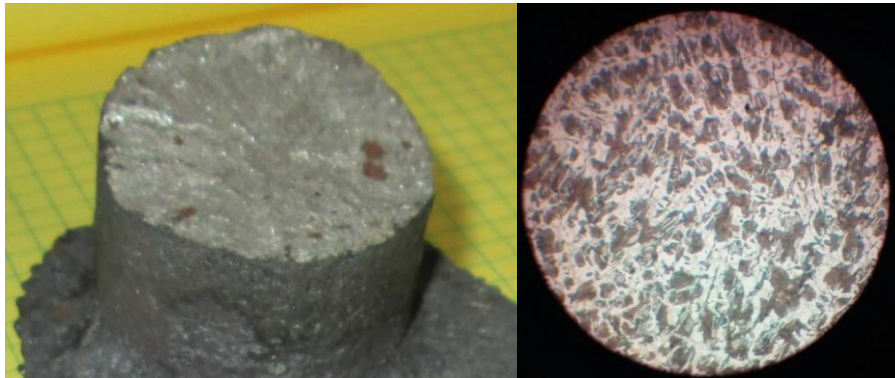


figura 6. 19. En la imagen podemos apreciar a la izquierda el tipo de fractura de la fundición de aleación al manganeso y a la derecha la metalografía del mismo material realizada en los laboratorios

Fuente: El Autor.

Para realizar este tipo de producto como son las chumaceras en fundición de hierro se realizaron: el modelo en madera, el modelado de las cajas de arena verde y se utilizaron las instalaciones de la fundidora “Tecno Casting” que podemos apreciar en las figuras 6.20, 6.21 y 6.22.



figura 6. 20. Se puede apreciar el área de preparación de las cajas para el colado del material a la izquierda y el modelo en la caja de arena verde a la derecha.

Fuente: El Autor.



figura 6. 21. Vista del elemento recién colado ya fundido

Fuente: El Autor.

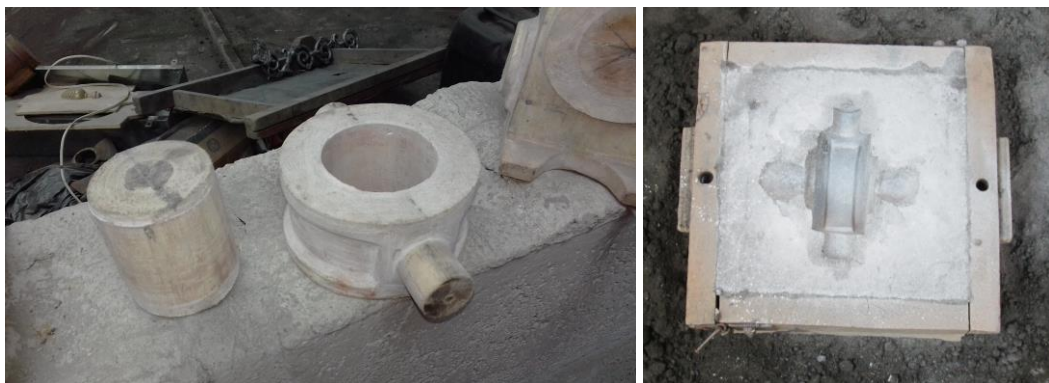


figura 6. 22. Modelos hechos en madera de la chumacera a la izquierda y la identificación del elemento en la arena a la derecha

Fuente El Autor.

8 MECANIZADO.

Para realizar el mecanizado se procedió a la selección de la herramienta, el inserto y las velocidades de corte y avance.

Para la selección de la calidad del inserto procedimos a seleccionar insertos de la marca “Sandvik” ya que los mismos cuentan con un programa computacional que nos ayuda a simular las condiciones lo más real posibles y es de licencia libre.

El inserto es de una calidad ISO 4325, tomando en cuenta que los primeros 2 dígitos nos indica la calidad, es decir, el 43 nos indica que es un inserto de carburo de tungsteno con recubrimiento de carbonitruro de titanio más alúmina, al ser 300 veces más duro que el acero este nos da una velocidad de corte de hasta 300 metros por minuto, los dos últimos dígitos nos indican que tan duro o que tan tenaz es el compuesto del carburo como se indica en la tabla 6.x

tabla 6. 2. Tabla de dureza-tenacidad del inserto

CÓDIGO	CARACTERÍSTICAS
XX10	Inserto muy duro para aplicaciones de acabado sin chaveteros, taladros o intermitencias en el corte.
XX25	Inserto para condiciones generales de corte.
XX30	Inserto para condiciones intermitentes en el corte.
XX40	Inserto para condiciones severas en el corte de alto impacto.

Fuente: Sandvik Coromand tools.

Al utilizar la herramienta computacional de cálculo, utilizamos los parámetros mostrados en la figura 6.23, tomando en cuenta la dureza real de 500 Brinell, un radio de punta de la herramienta para desbaste de 0.8 mm, avance de 0.25 mm, profundidad de corte 2.5 mm, diámetro máximo de 120 mm, diámetro mínimo de 60 mm y una vida útil de la herramienta de 45 minutos, cabe recalcar que la vida de la herramienta puede ir de 15 minutos a 45 minutos máximo, considerando que si lo que se requiere es unidades de producción se utilizan el menor tiempo de vida de la herramienta, pero, si lo que se quiere es conservar la herramienta porque el tiraje de unidades mecanizadas es bajo, seleccionaremos el mayor tiempo de vida de la herramienta.

figura 6. 23. Cuadro de dialogo del programa de cálculo de velocidades de corte Sandvik Coromand.

Fuente: El autor.

Como resultado tenemos una velocidad de corte de 50 m/min, una velocidad del husillo de 133 a 256 revoluciones por minuto y una potencia consumida por pasada de 2.5 Kw.

Con estos resultados podemos tomar la decisión de utilizar una maquina convencional o una de control numérico. Si optamos por la convencional debemos seleccionar las revoluciones que se acerquen más a las 133 RPM, para evitar recalentar el filo de corte de la herramienta, si utilizamos una maquina tipo CNC debemos utilizar la velocidad de corte de 50 m/min, utilizar en el encabezado el código G96 para velocidad de corte constante y especificar giro a derechas con velocidad de corte, M03 S50.

El mecanizado de los elementos los realizamos en un torno de control numérico por computador CNC, utilizando metrología de micrómetros y calibradores pie de rey, analógicos y electrónicos para verificar las medidas. La programación se la realizó en el programa SIEMENS NX, ya que la ESPOCH cuenta con la licencia de este programa, esto podemos apreciarlo en las figuras 6.24 y 6.25 del elemento montado en el torno de CNC y la animación de Nx respectivamente.



figura 6. 24. Elemento mecanizado montado en el torno de CNC.

Fuente: El Autor.

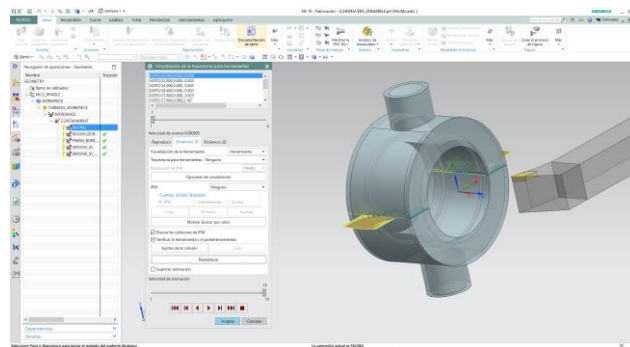


figura 6. 25. Elemento modelado en el programa Siemens Nx, donde se generó el CAD y el CAM.

Fuente: El Autor.

9 ENSAYOS DE TRACCIÓN

Los ensayos de tracción se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales de la UTA en la FICM. Dichos ensayos fueron hechos bajo la norma ASTM E-8. En la imagen 6.26 podemos apreciar la maquina universal computarizada del laboratorio para ensayos de resistencia mecánica.



figura 6. 26. Máquina de tracción FICM.

Fuente: El Autor.

En la figura 6.27 podremos observar la interfaz del software de la máquina en donde se ingresan los datos para la obtención de resultados y a través de estos obtener las curvas de esfuerzo deformación.

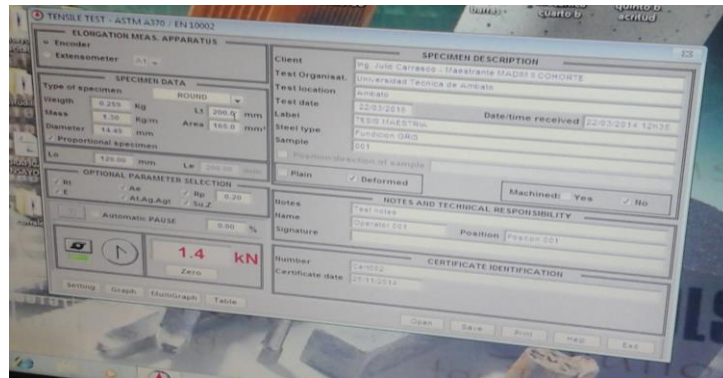


figura 6. 27. Máquina de tracción FICM.

Fuente: El Autor.

Para todos los ensayos de tracción se realizó el mismo procedimiento el cual se describe a continuación:

- Encendido de la máquina.
- Verificación de Software de análisis de datos.
- Montaje de mordazas adecuadas.
- Montaje de probeta en la máquina.
- Verificación de temple de la probeta adecuado.
- Ingreso de datos en la interfaz del programa
 - * Datos informativos
 - * Peso del espécimen
 - * Longitud total del espécimen
 - * Longitud inicial
 - * Área del espécimen
- Encerado del equipo
- Inicio de ensayo mediante botón de inicio (“play”).
- Obtención de resultados.
- Descarga de resultados.

Estos pasos del procedimiento fueron provistos por el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Civil y Mecánica de la UTA y aplicados en los laboratorios como se muestran en la figura 6.28 y 6.29.



figura 6. 28 Probeta montada para el Análisis.

Fuente: Autor)



figura 6. 29. Probetas construidas para el ensayo de tracción

Fuente: Autor

Una vez realizados los ensayos de tracción se obtiene los siguientes datos mostrados en la figura 6.30, el esfuerzo σ es arrojado automáticamente por la máquina y para el caso de la deformación unitaria ε , se ha utilizado la siguiente fórmula: $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$

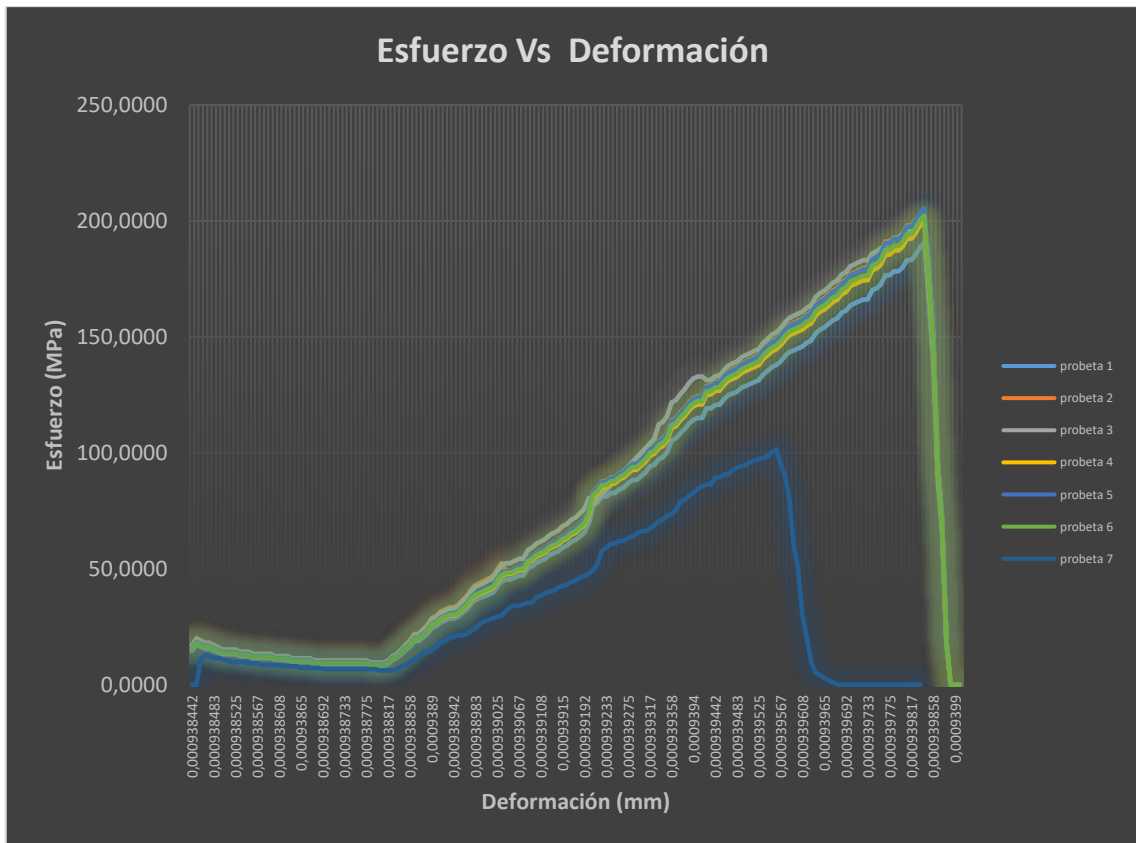


figura 6. 30. Gráficas Esfuerzo Vs Deformación de las 7 probetas analizadas.

Fuente: El autor.

Se obtuvo como resultado una resistencia máxima de 200 MPa en promedio. En la probeta número 7 la resistencia decae notablemente debido a una inclusión presente en ella como se muestra en la figura 6.31.



figura 6. 31. Probeta número 7 mostrándose la inclusión en su estructura atómico molecular.

Fuente: El autor.

10 ENSAYOS DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

Dentro de los ensayos realizamos los de microscopía electrónica para analizar la microestructura y la forma de fractura del grano. En la figura 6.32 podemos apreciar la probeta dentro de la cámara del microscopio de barrido, mientras que en la figura 6.33 observamos al microscopio con la cámara abierta.

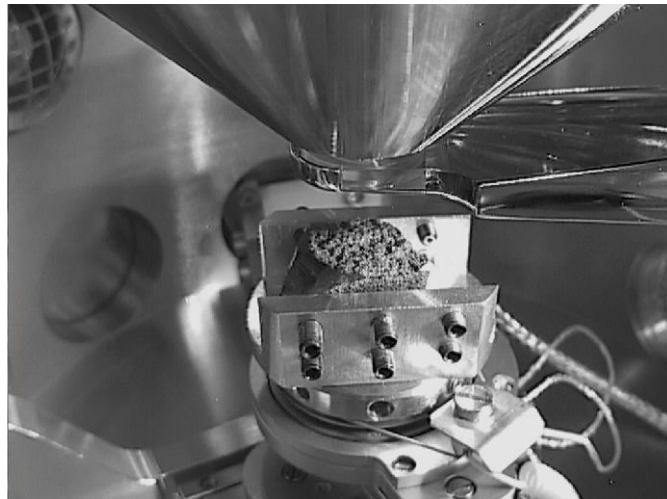


figura 6. 32. Imagen de la probeta montada en el microscopio electrónico de barrido de la chumacera fundida.

Fuente: El autor.



figura 6. 33. Microscopio electrónico de barrido de la FICM.

Fuente: El autor.

En las figuras 6.34, 6.35 y 6.36 podemos apreciar en el ensayo una fractura trans-granular o a través del grano, evidenciando que el material es de naturaleza frágil, el ancho del grano oscila alrededor de las 42 micras de milímetro de promedio.

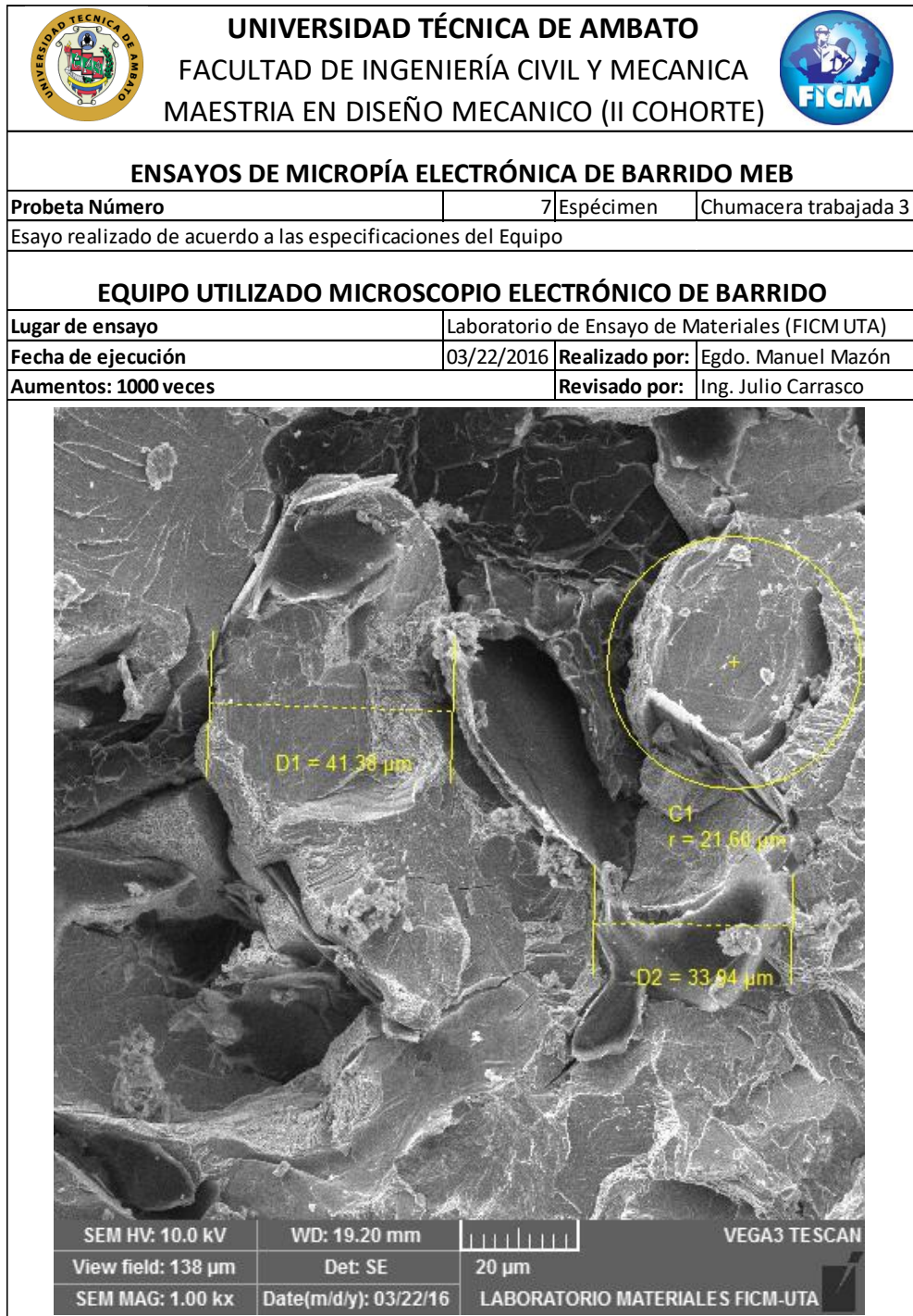


figura 6. 34. Ensayo de microscopía electrónica de barrido de la chumacera fundida a 1000 aumentos.

Fuente: El autor



ENSAYOS DE MICROPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO MEB

Probeta Número	7	Espécimen	Chumacera trabajada 3
Esayo realizado de acuerdo a las especificaciones del Equipo			

EQUIPO UTILIZADO MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

Lugar de ensayo	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM UTA)		
Fecha de ejecución	03/22/2016	Realizado por:	Egdo. Manuel Mazón
Aumentos: 2000 veces		Revisado por:	Ing. Julio Carrasco

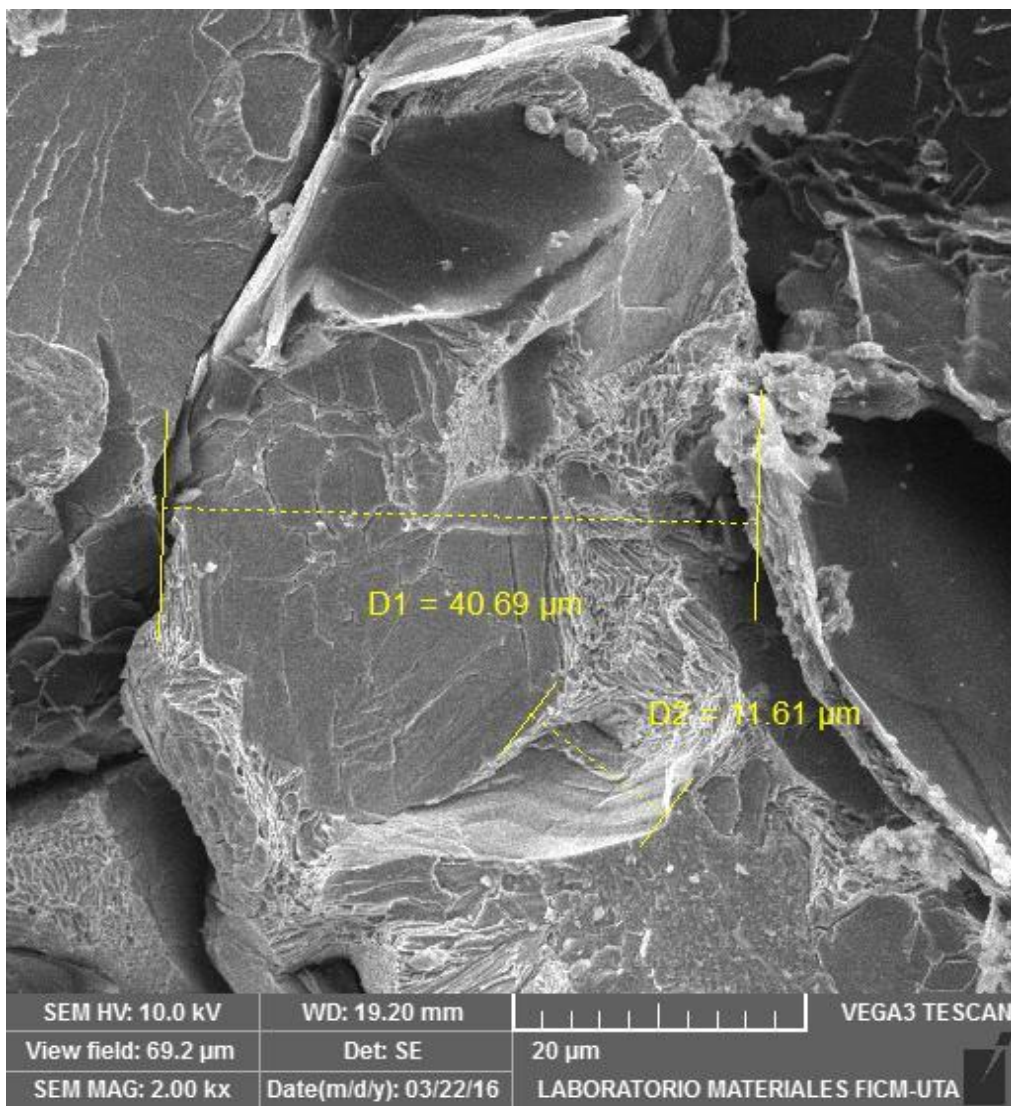


figura 6. 35. Ensayo de microscopía electrónica de barrido de la chumacera fundida a 1000 aumentos.

Fuente: El Autor



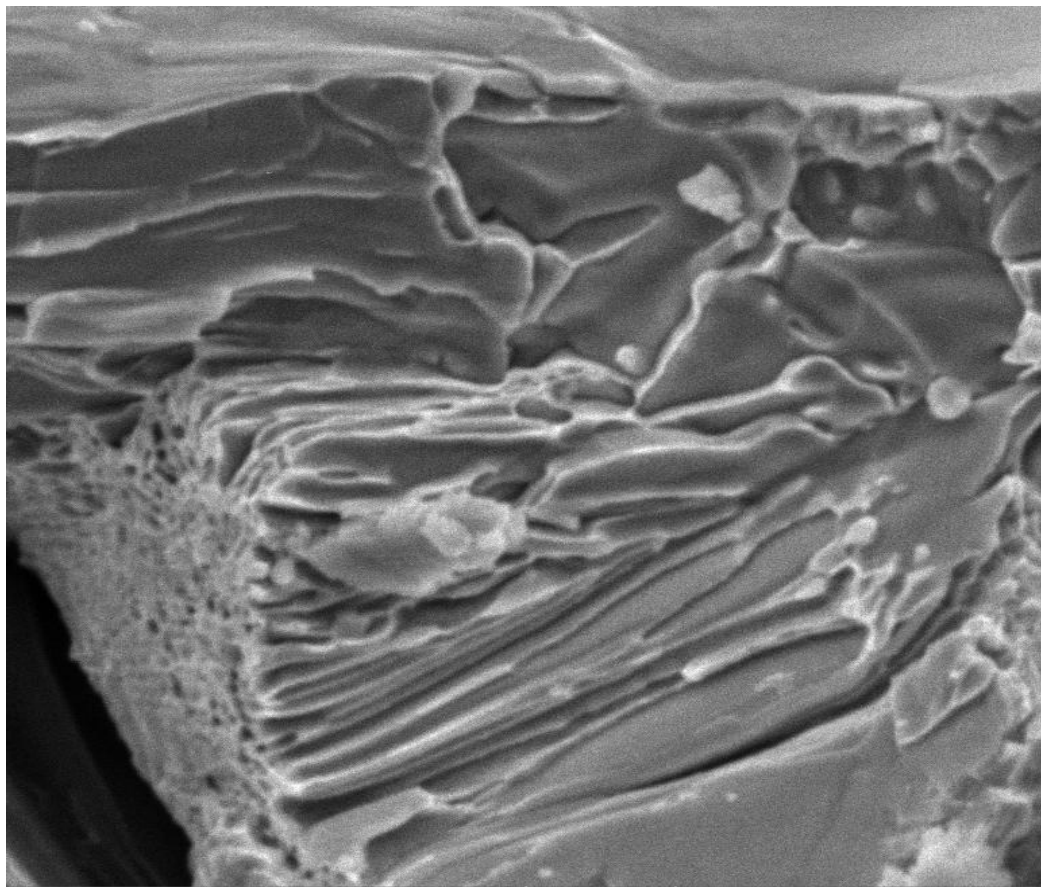
ENSAYOS DE MICROPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO MEB

Probeta Número	7	Espécimen	Chumacera trabajada 3
----------------	---	-----------	-----------------------

Esayo realizado de acuerdo a las especificaciones del Equipo

EQUIPO UTILIZADO MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

Lugar de ensayo	Laboratorio de Ensayo de Materiales (FICM UTA)		
Fecha de ejecución	03/22/2016	Realizado por:	Egdo. Manuel Mazón
Aumentos: 15000 veces		Revisado por:	Ing. Julio Carrasco



SEM HV: 10.0 kV	WD: 19.22 mm		VEGA3 TESCAN
View field: 13.8 µm	Det: SE	2 µm	
SEM MAG: 15.0 kx	Date(m/d/y): 03/22/16		LABORATORIO MATERIALES FICM-UTA

figura 6. 36. Ensayo de microscopía electrónica de barrido de la chumacera fundida a 15000 aumentos.

Fuente: El Autor



figura 6. 37. Diferencia entre la fractura dúctil del acero de bajo carbono (abajo) y nuestra fundición al manganeso con su fractura frágil (arriba).

(Fuente El Autor).



figura 6. 38. Medición las indentaciones del ensayo de dureza Brinell en el laboratorio de materiales FICM UTA, Izquierda medición de grano con objetivo escalado micrométricamente, derecha fotografía del barrido de dureza en la probeta.

Fuente El Autor.

Luego de todos los ensayos de laboratorio y en campo de los elementos que se fabricaron, podemos decir con toda certeza que se ha cumplido con el objetivo de un mejoramiento notable en la vida útil de los rodamientos y de las chumaceras.

11 COSTOS Y PROCESOS

Referente a los costos y procesos hacemos referencia a las tablas 6.3 y 6.4 en donde se hace una comparativa de los procesos de manufactura utilizados en la fundición.

tabla 6. 3. Comparativa de los costos por tonelada en horno de inducción y de cubilote.



Horno de Cubilote	costos por tonelada de fundición USD	Horno de Inducción	costos por tonelada de fundición USD
Carbón de piedra	650.00	Lingotes de fundición gris	800.00
Chatarra de hierro	600.00	Carbonato de calcio	10.00
Carbonato de calcio	40.00	Ferro silicio	45.00
Ferro silicio	45.00	Ferro manganeso	47.50
Ferro Manganeso	47.50	Costo Kw/h 0.8 USD Horno de 20KW, 2 horas	32.00
Personal	72.00	Costo de pensión básica del transformador de 50 KVA	30.00
Equipos y mantenimiento de la arena	140.00	Personal	36.00
Energía uso del galpón	6.00	Equipos y mantenimiento de la arena	240.00
		Energía uso del galpón	10.00
TOTAL	1610.50	TOTAL	1250.50

tabla 6. 4 Costos por elemento producido.

Horno de Cubilote.	costos por elemento producido USD.	Horno de Inducción	costos por elemento producido USD.
De una tonelada de material se obtienen 212 elementos ya que con mazarotas y alimentadores los elementos pesan 4.7 Kg	$1610.50 / 212 = 7.59$	De una tonelada de material se obtienen 212 elementos ya que con mazarotas y alimentadores los elementos pesan 4.7 Kg	$1250.50 / 212 = 5.89$
Caja de cartón	0.62	Caja de cartón	0.62
Ganancia para el productor 30%	2.46	Ganancia para el productor 54%	3.5
Ganancia para el vendedor	2	Ganancia para el vendedor	2
TOTAL	12.67 USD	TOTAL	12.01 USD

Los elementos disponibles en el mercado manufacturados en acero al carbono tienen un costo de 11.00 USD con una vida útil de 250 horas en promedio y los elementos producidos en horno de inducción cuestan 12.01 USD con una vida útil de 650 horas en promedio, es decir con un 250% más de vida útil de los elementos.

tabla 6. 5 Tabla comparativa de los procesos de manufactura.

<p>Horno de Cubilote</p> 	<p>Horno de Inducción</p> 
<p>Montar el equipo resulta en un costo inmediato menor, es más asequible.</p>	<p>El costo de montaje del horno y el transformador resulta mucho más alto.</p>
<p>El equipo tiene la capacidad de procesar chatarra.</p>	<p>El equipo necesariamente requiere de lingotes para evitar destruir el sistema.</p>
<p>Se causa mucho impacto ambiental.</p>	<p>Poco impacto ambiental.</p>
<p>Requiere un mantenimiento constante en el refractario interno y de mediano costo.</p>	<p>El mantenimiento del equipo tiene un costo mínimo.</p>
<p>Los operarios están expuestos a un alto índice de accidentes por quemaduras cuando descargan la colada.</p>	<p>El riesgo al operar el equipo es menor ya que el sistema es semi automático.</p>
<p>Resulta extremadamente difícil realizar aleaciones al no poder mantener la temperatura. Para eso se requiere de otro equipo llamado convertidor para inyectar oxígeno, aun así, los productos que se obtienen poseen una calidad baja, ya que</p>	<p>El equipo es óptimo para obtener aceros y aleaciones, gracias a las corrientes de inducción se forma un vórtice dentro de la colada que mezcla los aleantes de forma homogénea obteniéndose un material de</p>

los elementos poseen poros de alrededor de 3 mm en promedio.	excelente calidad, con una tendencia a ser isotrópico y no presentar porosidades.

12 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Batista, Modos y sistemas organizativos de mantenimiento en el sector automotriz, La Habana: NCE Neo Club Ediciones, 2010.
- [2] S. Candadosa , «Estudio sobre diferentes preparaciones de terreno de Tamaulipas,» Seminario de Investigación II, Victoria, Tamaulipas, 1978.
- [3] M. Navarro, «El costo material durante la proyección de máquinas cosechadoras,» *Revista Holguín Ciencias*, pp. 1-15, 2013.
- [4] P. Barreiro y B. Diezma, Las máquinas agrícolas y su aplicación, Madrid: Mundi-Prensa, 2012.
- [5] Montana, «www.maquinariamontana.com,» 05 02 2011. [En línea]. Available: <http://www.maquinariamontana.com/articulos-de-interes/11>.
- [6] A. Rios, P. Castro, R. Campos y J. Suárez , «Tractores e implementos,» IIMA Instituto de Investigaciones y Mecanización Agrícola, Holguín, 2006.
- [7] «Arados de discos s.f.,» 11 02 2016. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/22188199/3/REGULACIONES%C2%A0EN%C2%A0EL%C2%A0ARADO%C2%A0DE%C2%A0DISCOS>.
- [8] UCSM, «Implementos agrícolas,» 29 01 2016. [En línea]. Available: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Haas/6693356.html>.
- [9] H. Fernandez, «Ingeniería y mecanización vitícola,» 2001. [En línea]. Available: <http://books.google.com.ec/books?id=zf8CBOVMJKwC&pg=PA300&dq=angulo+de+l>.
- [1] SCHAEFFLER, «Medias,» 27 04 2016. [En línea]. Available: <http://medias.ina.de/medias/es!hp.info/SD31..-H-TS%20%2B%20231..-E1-K%20%2B%20H;bMQgZibJriW7>.

- [1] Brasilagropecuaria, «Agropecuaria Brasil,» 09 11 2015. [En línea]. Available:
1] <http://agropecuariabrasil.com/productos.php?id=66>.
- [1] AGROMAQUINARIAS, «AGROMAQUINARIAS,» 29 11 2015. [En línea]. Available:
2] <http://www.agromaquinarias.net/rastras-de-tiro-2/>.
- [1] NTN, CHUMACERAS, Japon: NTN CORPORATION, 2007.
3]
- [1] SKF, «www.skf.com,» 11 02 2016. [En línea]. Available:
4] http://www.skf.com/binary/tcm:42-81444/13073ES_AR_TMFTseries_tcm_42-81444.pdf.
- [1] SKF, «www.skf.com,» [En línea]. Available: [http://www.skf.com/binary/96-259464/14219-5\] EN-Bearing-damage-and-failure-analysis.pdf](http://www.skf.com/binary/96-259464/14219-5] EN-Bearing-damage-and-failure-analysis.pdf).
- [1] F. D. d. C. Rodriguez, «TRIBOLOGÍA: FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN .,»
6] *Lecturas de Ingeniería*, p. 25, 2007.
- [1] Gómez, «Caracterización de las Propiedades Tribológicas de los Recubrimientos,»
7] Departamento de Física Aplicada y Óptica de la Universidad, Barcelona, 2005.
- [1] A. y. fundiciones, «<http://www.acerosyfundiciones.com>,» 2014. [En línea]. Available:
8] <http://www.acerosyfundiciones.com/index.php/calidades>.
- [1] John Deere Service Publications, «Fundamento de operación de la maquinaria agrícola,»
9] Illinois, John Deere, 2005, p. 47.
- [2] BOHLER, «Materiales Bohler,» 10 9 2016. [En línea]. Available:
0] <http://www.bohlerperu.com/files/TRANSMISI%C3%93N%20Rev.03.pdf>.
- [2] A. Leyenssetter, Tecnología de los oficios metalúrgicos, ESPAÑA: REVERTÉ, 2006.
1]
- [2] e. a. Medina, «Análisis de estructuras navales mediante el método de elementos finitos,»
2] *Revistas electrónicas UACH*, vol. 2, n° 1, pp. 27-36, 2005.
- [2] S. Gómez Gonzalez, El gran libro del Solidworks Office Professional, Barcelona:
3] MARCOCOMBO, 2013.
- [2] Gómez, Solid Works Simulación, Colombia: Alfaomega, 2010.
4]
- [2] J. Ortiz Cañavate, Las máquinas agrícolas, Madrid: Paraninfo, 2003.
5]
- [2] R. G. Budynas y J. K. Nisbett , Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: Mc
6] GRAW HILL, 2011.

- [2 J. M. Gere, Resistencia de Materiales TIMOSHENKO, Madrid: PARANINFO, 2009.
7]
- [2 W. F. Smith y J. Hashemi, Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, México:
8] Mc GRAW HILL, 2014.
- [2 S. H. Avner, Introducción a la metalurgia física, México: POLIGRAFICA S. A., 2010.
9]
- [3 W. D. Callister, Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, México: LIMUSA,
0] 2009.
- [3 B. Bushan y B. Gupta, Handbook of Tribology, Materials, Coatings and Surface Treatments,
1] El Cairo: Krieger Publishing, 1997.
- [3 R. C. Juvinall, Fundamentos de diseño para ingeniería Mecánica, México DF: Limusa, 2007.
2]
- [3 V. Hernani, «Marchesan implementos e máquinas,» 17 11 2007. [En línea]. Available:
3] <http://www.agromaquinaria.es/empresas/322/>.
- [3 L. Torres, Mantenimiento, su implementación y gestión, Argentina: UNIVERSITAS, 2005.
4]
- [3 A. Daquinta, Mantenimiento y reparación de maquinaria agrícola, La Habana: Felix Varela,
5] 2008.
- [3 V. Klein, «Qué es la fiabilidad?,» *ABB*, pp. 27-30, 2009.
6]
- [3 WIKIPEDIA, "Wikipedia la enciclopedia lider," 04 11 2015. [Online]. Available:
7] (http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_modal_de_fallos_y_efectos).
- [3 S. Herrera, «www.prezi.com,» 01 12 2015. [En línea]. Available:
8] ,(http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/diagrama_de_pareto.pdf) .
- [3 J. Ramón de Soto, Modificación al metodo análisis de causa raíz. Amend to the root cause
9] analysis method, Holguín: UHo, 2015.
- [4 F. Menéndez y A. Menéndez, «Análisis del sistema de mantenimiento empleado en la UEB
0] Hormigón y terrazo morón,» Ciego de Avila, 2007.
- [4 N. D. S. E. H. E. E. T. INSTITUTO, «<http://www.insht.es>,» 2004. [En línea]. Available:
1] http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_679.pdf.

13 ANEXOS

ANEXO 1:

ENCUESTA PARA LOS ARADOS DE LA COMUNIDAD DE BATZACÓN.

Ocupación: _____

Sexo: Masculino _____ Femenino _____

Con cuantos años de experiencia cuenta _____

1. Estime del 1 al 5 la calidad de las chumaceras que usted ha utilizado. _____

2. ¿Realiza mantenimientos?

SI _____ NO _____ A VECES _____ MIENTRAS TRABAJA _____

3. ¿Qué tipo de lubricante utiliza para realizar los mismos?

Grasa multipropósito NLG2: _____ Grasa Grafitada: _____ Otros tipos: _____

4. ¿Retira usted las tapas laterales de los rodamientos? SI ___ NO ___

5. ¿Controla que las chumaceras trabajen con graseros? SI ___ NO ___

6. ¿Al mes cuantas horas el tractor opera?

20 ___ 40 ___ 80 ___ 120 ___ 160 ___

7. ¿El tipo de suelo trabajado es?

Arenoso: _____ Limoso: _____ Arcilloso: _____

8. ¿La profundidad de trabajo de la rastra la regula en?

100 mm ____ 120 mm ____ 150 mm ____ más de 150 mm ____

9. ¿Usted calibra la rastra de acuerdo al suelo que va a trabajar?

SI ____ NO ____ A veces ____

10. ¿Cómo se encuentra el estado del equipo a utilizar?

Bueno ____ Regular ____ Malo ____ Por favor explique:

11. El trabajo de las rastras usted lo considera.

Bueno ____ Regular ____ Malo ____ Por favor explique:

12. ¿Considera usted que el lubricante está contaminado? Si ____ No ____.

Por favor explique.

13. Al fallar las chumaceras, cual es la falla más común que se ha encontrado.

14. Al terminar el trabajo usted realiza el mantenimiento respectivo?

Sí ____ No ____

¿En caso de ser negativa su respuesta explique por qué?

ANEXO 2 GUÍA PARA EL PROCESO DE OBSERVACIÓN. [25]

En los lugares de fabricación de los elementos se debe considerar los siguientes criterios y realizar las siguientes preguntas:

1. ¿Constan con personal calificado para el diseño?
2. ¿Se realizan controles de calidad en la fabricación?
3. Dentro de la fabricación se debe inspeccionar.
 - a. Calibraciones y condiciones de las máquinas herramientas.
 - b. Constatar si el personal se encuentra debidamente capacitado.
 - c. Condiciones de los instrumentos de metrología.
4. Condiciones de ensamblaje.
 - a. ¿Tienen las herramientas adecuadas para el trabajo?
 - b. Se debe chequear que no golpeen los rodamientos.
 - c. Chequear la presión de ajuste para evitar dañar los elementos.

En el lugar de trabajo:

1. Chequear las fichas de mantenimiento.
2. Chequear los manuales de taller del fabricante.
3. Analizar el estado de los rodamientos.
4. Revisar el plan de mantenimiento que se ejecute de acuerdo a las fichas respectivas.
5. Verificar el listado de las herramientas necesarias para el trabajo.
6. Proceder al recambio del rodamiento si este presenta problemas.
7. Revisar los retenedores.
8. Revisar graseros.
9. Verificar que todos los discos rueden de manera uniforme sin trabarse.
10. Chequear regulaciones y ángulos de trabajo.

ANEXO 3: Las tablas que se muestran a continuación son el resultado de las encuestas efectuadas en el campo.

Tabla1: Mantenimiento de los equipos y lubricantes utilizados.

No	Profesión	Años promedios de experiencia.	Opinión sobre los soportes con rodamiento					Realiza el mantenimiento				NL
			muy malos	malos	regulares	buenos	excelentes	si	no	A veces	cuando se utiliza	
1	Mecánicos y ayudantes	10	7	12	4	3	1		1	6	20	2
2	Operadores	7	1	8	4	2			0	5	10	10
3	Técnicos y jefes	10		4	2	1			0	3	4	4
TOTAL		9	8	24	10	6	1	0	1	14	34	33
Por ciento			16	49	20	12	2	0	2	29	69	71.

Tabla 2: Datos de regulaciones sobre el terreno.

No	Profesión	Años promedios de experiencia.	Cuentan con tapas		graseros		Suelo que trabajan			Regulaciones		
			Si	No	Si	No	Arenoso	Limoso	Arcillo.	Si	No	A VECES
1	Mecánicos y ayudantes	10	27		20	7	17	10		20	7	
2	Operadores BATZACÓN	7	15		5	10	6	9		14	1	
3	Técnicos y jefes MAGAP	10	7		7	0	4	3		7		
TOTAL		9	49	0	32	17	27	22	0	41	8	0
Por ciento			100	0	65	35	55	45	0	84	16	0

Tabla 3: horas trabajadas.

No	Función	Años experiencia.	Horas promedio de trabajo					Profundidad de mecanizado		
			20	40	80	120	160	Menos de la recomendada	La de catalogo	Más de la del fabricante
1	Mecánicos y ayudantes	10				3	24	1	23	1
2	Operadores	7				1	14	3	11	1
3	Técnicos y jefes	10					7	1	6	
PROMEDIO		9				4	45	5	40	2
Por ciento %			0%	0%	0%	8%	92%	10%	82%	4%

Tabla 4: Indagaciones del estado técnico de los elementos.

No	Profesión	Años promedios de experiencia	Estado técnico del implemento			Existe contaminación lubricante		Explotación de rastras		
			Bueno	Regular	Malo	Si	No	Buena	Regular	Mala
1	Mecánicos y ayudantes	10	20	5	2	5	22	25	2	
2	Operadores	7	10	3	2	1	14	5	2	
3	Técnicos y jefes	10	6	1		1	6	6	1	
TOTAL		9	36	9	4	7	42	36	5	0
Porcentaje.			73,5%	18,4%	8,2%	14,3%	85,7%	73,5%	10,2%	0,0%

Tabla 5: Resultado de las indagaciones sobre las fallas de arado.

No	Profesión	Años promediados de experiencia	Principales causas de las fallas.				
			No se dan los mantenimientos	Desgaste acelerado de las chumaceras	Calidad deficiente rodamientos	Mala explotación	Contaminación de la grasa
1	Mecánicos y ayudantes	10	2	15	2	1	7
2	Operadores	7	2	7	2	1	3
3	Técnicos y jefes	10	0	4	0	1	2
PROMEDIO		9	4	26	4	3	12
Por ciento (%).			8%	53%	8%	6%	24%

Tabla 6: Resumen de las órdenes de trabajo.

No	Nombre de la unidad	Cantidad órdenes de mantenimiento	Roturas cojinetes	Desgaste de chumaceras
1	Taller "Padilla Improcar"	10	1	9
2	Taller "Guano"	18	3	15
3	Taller "Masey"	25	5	20
4	Taller "Tierra"	13	2	11
TOTAL		66	11	55