



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

ANÁLISIS DE FALLA DE UN PERNO DE SUJECIÓN DE UNA PELETIZADORA

JAIRO ALEXANDER PEDRAZA ARIAS

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2018

ANÁLISIS DE FALLA A UN PERNO DE SUJECIÓN DE UNA PELETIZADORA

JAIRO ALEXANDER PEDRAZA ARIAS

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al
título de:

Ingeniería Mecánica

Director:

Ing. Jesús Manuel Gutiérrez - Magister en ingeniería mecánica

Línea de investigación:

Análisis de falla y fractografía

FUNDACION UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C.

2018

Dedicatorias:

A Dios, mis padres Evangelina Arias y Jairo Pedraza, a mi esposa e hijo y a mi hermana pues han sido mi motivación y apoyo incondicional. Gracias por su ayuda, apoyo emocional, sin ellos este logro no sería posible, gratitud por sus enseñanzas, apoyo y amor único. La gloria y la honra sean para Dios.

Jairo Alexander Pedraza Arias

Agradecimientos:

A mi director de proyecto el Ingeniero Jesús Manuel Gutiérrez por su guía y por brindar el apoyo para realizar y sacar este proyecto adelante sin su ayuda no hubiera sido posible desarrollarlo con éxito.

A la Fundación Universitaria los Libertadores por brindarnos los medios para obtener un título profesional.

Al cuerpo docente por transmitirnos los conocimientos necesarios los cuales nos aportan bastante en el campo profesional e industrial.

RESUMEN

El proyecto de grado *Análisis de falla de un perno de sujeción de una peletizadora* es un diagnóstico de causas y efectos de fallas que se presentan en componentes que trabajan en una peletizadora, en este caso, el perno que sujeta las cuchillas de la peletizadora. Para llegar a este fin, se realizó una observación inicial de los componentes, un análisis detallado de los elementos por medio de estudios metalográficos y pruebas de dureza. Haciendo recopilación de los resultados obtenidos, se profundiza en los datos obtenidos por medio de bibliografía especializada, para hacer un diagnóstico correcto de las fallas. Después de analizados los datos, se llegó a la conclusión que los componentes fallan principalmente por mala operación de la caldera, la cual no trabaja con los parámetros adecuados. Adicional a esto, la aplicación de soldadura en las uniones no es la más correcta, lo cual también juega un papel importante en la causa raíz de las fallas presentes.

Palabras clave: Metalografía, diagrama de fase, microestructura, dureza Rockwell.

ABSTRACT

The project of degree Analysis of the failure of a bolt to hold a pelletizer is a diagnosis of causes and effects of faults that occur in components that work in a pelletizer, in this case, the bolt that holds the blades of the pelletizer. To reach this end, an initial observation of the components was made, a detailed analysis of the elements through metallographic studies and hardness tests. By compiling the results obtained, the data obtained by means of specialized bibliography is deepened, in order to make a correct diagnosis of the faults. After analyzing the data, it is concluded that the components fail mainly due to bad operation of the boiler, which does not work with the appropriate parameters. In addition to this, the welding application in the joints is not the most correct, which also plays an important role in the root cause of the faults present.

Key words: Metallography, phase diagram, microstructure, Rockwell hardness

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1.1. ANTECEDENTES	14
1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS	18
1.4.1. Objetivo General	18
1.4.2. Objetivos Específicos	18
2.1. PELETIZADORA	19
2.1.1. Partes	20
2.1.2. Tipos de peletizadora	24
2.1.3. Clasificación	25
2.2. FALLAS COMUNES EN PERNOS DE SUJECIÓN	27
2.2.1. Falla dúctil a tensión	28
2.2.2. Falla frágil a tensión	28
2.2.3. Falla dúctil a flexión	29
2.2.4. Falla frágil a flexión	30
2.2.5. Falla dúctil por desgarre	31
2.2.6. Falla combinada tensión-torsión	32
2.2.7. Fatiga a tensión	33
2.2.8. Falla por fatiga a flexión	34
2.2.9. Deformación a tensión y flexión	35
2.2.10. Ludimiento en vástago y en roscas	36

3 METODOLOGÍA	38
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
4.1 DIAGNÓSTICO FÍSICO	39
4.1.1 Diagnóstico físico de la rosca del perno	39
4.1.2 Diagnóstico físico de la cabeza del perno	41
4.1.3 PROCEDIMIENTO	41
4.1.4 ESTUDIO DE DATOS	43
4.1.5 Estudio del perno en acero inoxidable.	46
5. RESULTADOS	51
6 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ MEDIANTE LA HERRAMIENTA ÁRBOL LÓGICO	52
6.1 Descripción del modo de falla del perno.	53
6.2 Planteamiento de la hipótesis de la falla:	53
Verificación de hipótesis	53
6.3 Estudio verificación de causas físicas	56
6.4 Estudio y verificación de causas humanas:	57
6.2 Estudio y verificación de causas latentes	58
7 CONCLUSIONES	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Diagrama TTT de una cero. (ciencia de materiales 4° curso, 2004/2005)</i>	3
<i>Figura 2. Partes de una peletizadora (GROUP, 2008).</i>	8
<i>Figura 3. Camara interna de una peletizadora (jairo pedraza, Bogota , 2018, finca s.a)</i>	11
<i>Figura 4. Falla ductil a tensión. (Mora & Martinez., 2011)</i>	17
<i>Figura 5. Falla fragil a tensión en perno. (Mora & Martinez., 2011)</i>	18
<i>Figura 6. Falla ductil a flexión en un perno (Mora & Martinez., 2011)</i>	19
<i>Figura 7. Falla fragil a flexión de un perno (Mora & Martinez., 2011)</i>	20
<i>Figura 8. Falla ductil por desgarre (Mora & Martinez., 2011)</i>	21
<i>Figura 9. Falla combinada de tensión-torsión (Mora & Martinez., 2011)</i>	22
<i>Figura 10. Fatiga a tensión (Mora & Martinez., 2011)</i>	23
<i>Figura 11. Falla por fatiga a flexión (Mora & Martinez., 2011)</i>	24
<i>Figura 12. Deformacion a tensión y a flexión (Mora & Martinez., 2011)</i>	25
<i>Figura 13. Ludimiento en un vastago y en una rosca.</i>	26
<i>Figura 14. Perno de sujeccion con rasgos de deformación.</i>	29
<i>Figura 15. Análisis de seccion donde sufrio mas el perno de sujeción</i>	30
<i>Figura 16. Cabeza del perno de sujecion de la peletizadora.</i>	32
<i>Figura 17. Corte perno de acero inoxidable usado para análisis.</i>	35
<i>Figura 18. Corte del perno nuevo en acero inoxidable</i>	35
<i>Figura 19. Probeta del perno de acero inoxidable escogido para análisis.</i>	36
<i>Figura 20. Probeta del perno nuevo de acero inoxidable escogido para el análisis.</i>	36
<i>Figura 21. Microestructura del acero inoxidable A) Aumento 20X, perno nuevo B) Aumento 20X perno que fallo</i>	37
<i>Figura 22. Microestructura de un acero ioxidable “ templables al aire” del libro (PICKERING, 1979)</i>	38
<i>Figura 23. Microestructura tomada en el laboratorio de la fundacion universitaria los libertadores del perno que fallo.</i>	38

<i>Figura 24. Procedimiento dureza Rockwell A) 53 HRC B)37 HRC. (morales)</i>	41
<i>Figura 25. Perno extraído de la peletizadora</i>	52
<i>Figura 26. Peletizadora con sobrecarga de harina en los rodillos.</i>	54
<i>Figura 27. Parte del perno totalmente deformado.</i>	55
<i>Figura 28. Tornillo después de ser extraído de la cámara de peletizado.</i>	55
<i>Figura 29. Manual de la peletizadora donde se evidencia que es el perno adecuado.</i>	56
<i>Figura 30. Arbol lógico causa raíz falla perno de sujeción.</i>	60

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
<i>Diagrama 1. Metodología del desarrollo del proyecto</i>	27
<i>Diagrama 2. Procedimiento practico en el laboratorio de la fundacion universitaria los libertadores.</i>	33
<i>Diagrama 3. Diagrama de fase temperatura composicion Fe-C (verdezoto, 2013)</i>	40

LISTA DE TABLAS

	pág.
<i>Tabla 1. Resultados Rockwell C para el acero inoxidable.</i>	41
<i>Tabla 2. Características mecánicas del acero inoxidable A2.</i>	41

INTRODUCCIÓN

Con el avance de la tecnología en toda las ramas de la industria, observamos cada vez máquinas más sofisticadas, para agilizar la producción y así aumentar la producción con el fin de generar más ganancias; como se puede observar en la industria de alimentos concentrados para animales, es un sector que ha crecido exponencialmente debido a la gran demanda de consumo de carnes, el ser humano se ha visto en la obligación de generar alimentos balanceados, de fácil digestión y con formas de una manera consumible para cada animal. Para esto, la humanidad ha desarrollado máquinas con las cuales ha llegado a lograr aumentar la producción. Pero estas máquinas, en algunas ocasiones presentan fallas mecánicas en los rodillos, la cual es una pieza fundamental dentro de las máquinas de producción de alimentos. Partes como pernos de sujeción, motores y demás piezas, son de vital importancia para que los rodillos no fallen.

El objeto de este estudio es encontrar la causa raíz de falla de un perno de sujeción de una peletizadora marca MUYANG 1640 instalada en la empresa finca S.A. La importancia de este estudio, radica en determinar un plan de acción para que esto no se repita y que la empresa no sienta alguna repercusión de tipo económica.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

El análisis de falla por causa raíz es hacer una investigación por algún tipo de problema, se basa en descartar una serie de posibles causas que se pudieron presentar para llegar a la raíz del mismo, siguiendo una serie de preguntas las cuales facilitan y agilizan la llegada al problema. Al hallar el problema vendrá la reflexión de cuáles son los principales factores que causaron este problema o que pudieron estar relacionados, descartando cada uno de estos por la lejanía de ser la causa principal. Así se llegará a la respuesta principal que se ha buscado con este ejercicio de causa raíz, con esto será muy sencillo poner en marcha o solucionar cualquier tipo de dificultad.

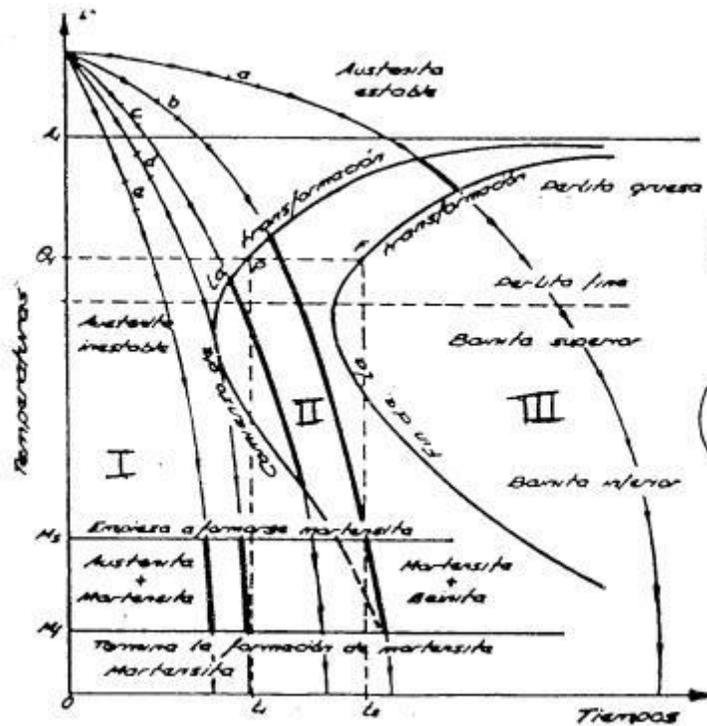
A continuación, se realizaron estudios a una boquilla de un reactor que trabaja con altas temperaturas, el cual sufrió un agrietamiento en las boquillas principales del mismo por lo cual, no estaba llegando a la presión que se requería. La pieza estaba compuesta de acero inoxidable 2205, los indicios fueron, agrietamiento causado por el frecuente contacto con el vapor del agua generando una corrosión y grieta por la alta presión que este maneja la cual es de 1800 Kpa, lo cual llevó a realizar los estudios a cinco boquillas de reactores, que habían estado en funcionamiento hace 1 año.

Mediante la fractografía “técnica microscópica con aumento de 500 a 1000 diámetros, que en vez de examinar las superficies pulidas de los metales, en realidad, se observa con un gran aumento, las caras de los pequeños cristales o las facetas de los bloques de metal, a través de los cuales se produce la fractura” (Morral, Jimeno, & Molera, 2004) este determinó las características de la deficiencia en el perno de sujeción y las causas en el desperfecto de cierto tipo de material, el procedimiento fue el análisis de la superficie de la muestra donde sucedió la fractura para así determinar la falla en el perno.

Se concluye, que la corrosión fue una falla causada por los vapores a altas temperaturas, ya que es una zona crítica debido a la soldadura a la que fue sometida en el momento de soldar, esto produjo un enfriamiento demasiado rápido lo cual generó una división de ferrita/austenita del 80 al 20 % y en efecto produjo mayor resistencia del material.

A diferencia del anterior, las altas temperaturas ocasionó un enfriamiento rápido para generar martensita lo que nos da mucha dureza, pero no se puede someter a altas temperaturas ya que es monoestable, en el diagrama de fase TTT que vemos a continuación en la figura 1 se ve un poco más claro. (Mukahiwa, scenini, bruke, platts, tice, & starmand., 2017)

Figura 1. Diagrama TTT de una cero. (Ciencia de materiales 4° curso, 2004/2005)



En otro caso, vemos cómo se realizan estudios a unos trinquetes de acero que van en un reactor, en este caso era AISI 304 LN las pruebas que se realizaron al

trinquete fueron de tracción, al extraer algunas probetas de 16 mm de objetos que ya habían estado expuestos a altas temperaturas por 1 hora a 1050 °C, luego estuvieron varias horas a 750 °C para hacer un proceso que se llama impregnación y poder realizar las pruebas microscópicas y de dureza. Estas pruebas se realizaron debido a las fallas que estaba presentando el trinquete, estos eran expuestos a vapores de alta temperatura, y no se encontraba una explicación ni causa de la deficiencia, si no se notaba nada en la superficie del trinquete que mostrara que estuviera en un punto cercano a la fatiga. Después de obtener las fotografías se hizo su respectivo análisis y de allí se observó que todo depende de la composición química de cada uno de los aceros y del tratamiento que estos hayan recibido, pues afecta la dureza y la resistencia del acero inoxidable. Al igual que sus componentes, no es lo mismo un acero compuesto con alto cromo que uno compuesto con alto carbono. Después se obtuvieron los resultados de las imágenes, y se concluye que los aceros inoxidables son cíclicamente ablandables con la temperatura. Los agrietamientos se produjeron por corrosión intragranular, luego de aumentar el estrés en los trinquetes esto se generaba al aumentar la carga. Por otro lado, las fotografías se puede decir que existió fractura dúctil debido a la cantidad de poros que existían en el material. (yang, wang, wei, & guan., 2014)

1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente las máquinas para hacer alimentos peletizados se están usando cada vez más para atender la demanda de alimentación en los animales. Para el caso específico las peletizadoras están presentando fallas en los pernos de sujeción ya que están llegando a los rodillos en donde se prolonga el daño debido a su material, son piezas muy duras que no son fáciles de peletizar, por lo cual produce un atascamiento en la máquina y esto genera en ocasiones rotura de algunas otras piezas importantes en la peletizadora. En varias ocasiones lo que se ha encontrado son tornillos y tuercas que han llegado a generar paros de hasta 8 horas, esto cuando el daño no es muy grave. Se desconoce cómo ingresan estas piezas a la

cámara de peletizado, pero lo cierto es que cuando llega un elemento ajeno, entre el rodillo y el troquel que gira a altas revoluciones es bastante fuerte el impacto que se produce. La magnitud del daño que puede llegar a ocasionar el objeto ajeno que ingresa a la cámara de peletizado, depende netamente del tamaño.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Las peletizadoras son de suma importancia debido a que nos entrega el producto final, luego de ser una harina pasa a tomar una forma de pastilla en donde se genera la cocción del producto, sin esta máquina no se podrían fabricar la cantidad de toneladas que se generan en unas horas, por lo cual si se detiene una máquina el sistema de dosificación suspende la operación, generando un paro en cadena sin tener salida del producto, es necesario saber qué está pasando en este caso y porque se están presentando frecuentemente estos errores, como resultado interrumpe la producción de la planta. Cabe señalar, que al dañarse las piezas de la cámara de peletizado se hace necesaria la reparación, pero incurriría en elevados costos al reinstalar.

El análisis se basa en anteriores investigaciones, pruebas de laboratorio y ejecución de la metodología causa raíz, refiere a detectar la principal razón de los fallos de estos materiales y dar recomendaciones para prevenir estos mantenimientos correctivos que se generan frecuentemente.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

- Realizar el análisis de falla a un perno de sujeción en acero inoxidable perteneciente a una maquina peletizadora MUZL 1610.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características micro estructurales y de dureza del material de estudio.
- Aplicar la metodología RCA para encontrar la causa raíz de falla del elemento de estudio.

2. MARCO TEORICO

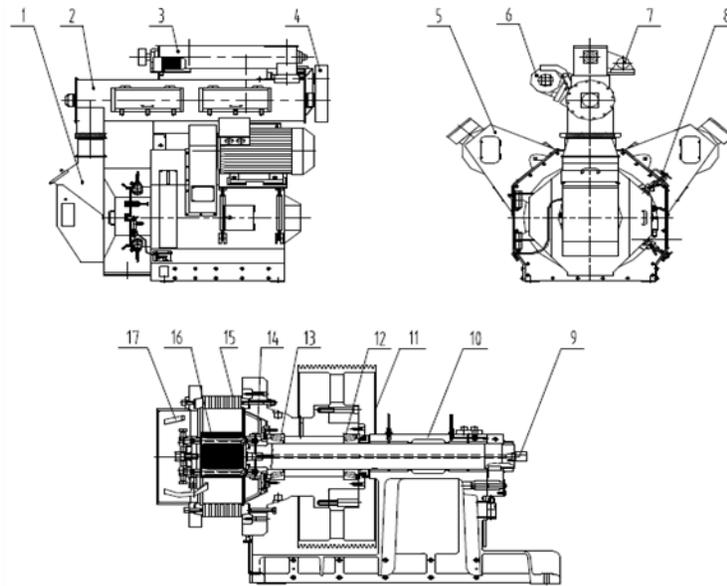
2.1. PELETIZADORA

Una peletizadora es una máquina que se utiliza para convertir una harina en una pastilla de forma cilíndrica de diferentes tamaños y de diferentes grosores, por medio de un proceso llamado extrusión, esto se genera por la presión que se le ejerce a la harina y se obliga a pasar por las secciones transversales del troquel.

La harina que contiene la peletizadora al ser forzada a pasar por los orificios de la matriz es allí donde sucede la cocción de dicha mezcla, además de la extrusión, se genera una fricción muy alta por lo cual se solidifica el producto mediante la temperatura que genera la fricción, la pastilla que sale de la peletizadora inicialmente era solo una serie de componentes mezclados, luego de pasar por la peletizadora sale el producto listo para ser empacado. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

2.1.1. Partes

Figura 2. Partes de una peletizadora (GROUP, 2008).



A continuación se hará una descripción detallada de las partes de una peletizadora, las cuales están evidenciadas en la Figura 2.

Cámara de peletizadora: es el sitio principal de la peletizadora en donde se convierte la harina en la pastilla además de cocinarse el producto. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Acondicionador: como su nombre lo indica es el que se encarga de acondicionar el producto, añadiendo ciertas cantidades de vapor, melaza o aceites según se requiera, con el propósito de mejorar la mezcla y aumentar el rendimiento de la peletizadora, ya que entre un producto más suave mayores toneladas se pueden producir por hora, entre más dura la masa menos cantidades se obtendrán por hora, La dureza de la masa depende del porcentaje de humedad que contenga el producto. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Alimentador: el alimentador se compone de un variador de velocidad sujeto a un tornillo sin fin, el cual puede girar a varias velocidades, con este se gradúa la cantidad de masa que entra en el acondicionador. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Sistema de transmisión del acondicionador: son una serie de correas las cuales se encargan de transmitir el movimiento circular del motor que está situado un poco más abajo este motor es el que se encuentra con un variador de velocidad. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Motor principal: esta máquina cuenta con dos motores principales que están simétricamente posicionados que giran en el mismo sentido y que están conectados al rotor principal. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Motor del acondicionador: el motor del acondicionador es un pequeño motor de 220 voltios que transmite su potencia a unos tornillos sin fines, los cuales mueven la harina de extremo a extremo mientras esta es empapada del líquido que se requiera para la mezcla. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Sistema de transmisión alimentador: son tres correas delgadas que se encargan de transmitir la velocidad del motor hacia el alimentador. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Ensamble de las cuchillas de corte: estas son las cuchillas que se encargan de cortar el producto después de que sale del troquel, estas cuchillas son graduables y se pueden variar para obtener diferentes tamaños de pastillas según se requiera en la producción. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Sistema de lubricación: en esta parte se encuentra el orificio por donde se introduce el aceite o grasa según el modelo de máquina, ya que unas piezas llevan

lubricación líquida y otras llevan lubricación sólida eso depende del modelo. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Base de la maquina: la base de la maquina es donde está soportado todo el peso de la máquina, es como tal su estructura. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Rotor o housing: es el que se encarga de transmitir la potencia al troquel, luego que la ha recibido de los motores principales por medio de las correas, este es un sistema mucho más sofisticado que se compone de varias piezas. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Rodamiento en la parte trasera: es donde se soporta el rotor en la parte trasera, es una parte que está en constante movimiento. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Rodamiento en la parte delantera: es donde se soporta el rotor en la parte delantera, al igual es una parte que está en movimiento constante. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Raspador interno: es el encargado de hacer un pequeño barrido en la parte de atrás del tambor de peletizado para evitar aglomeración de harina en la parte trasera del troquel. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Matriz o troquel: es la encargada de estar girando constantemente y es una de las partes más importantes ya que es por donde pasa la harina y toma la forma cilíndrica de la que hemos hablado, además de eso es la que junto con los rodillos genera la fricción y así cocinan la harina. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Rodillos: los rodillos son los encargados de generar la presión sobre la harina para que esta pase por el troquel y toma la forma de pastilla, estos rodillos vienen con

diferentes tipos de caras como lo son corrugada, dentados y endurecida que son muy poco comunes. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Figura 3. Cámara interna de una peletizadora (Jairo Pedraza, Bogotá, 2018, finca S.A.)



Rodillos: las peletizadoras están equipadas con rodillos los cuales están siempre recubiertos con material muy resistente, debido a que estas mezclas son muy abrasivas y en ocasiones tiene componentes muy duros, por lo cual estos deben ser muy resistentes, por lo general no deben soltar agentes contaminantes ya que estas mezclas contienen humedad tanto por vapor, como por líquidos que se adhieren para hacer más balanceados los alimentos para animales, estos rodillos

son ajustados para que generen una pequeña capa entre el troquel y el rodillo, este pequeño espacio recibe el nombre de prensado que es exactamente donde se fuerza la harina a pasar por los orificios del troquel que ya están previamente calculados los cuales se ven en la figura 3 dentro del aro grande de acero inoxidable. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Troquel o matriz: el troquel es el aro de acero inoxidable grande que se ve en la figura número 3, este está hecho en acero inoxidable y tiene una serie de factores que definen como sale el granulado estas son del tamaño de los orificios la cantidad de orificios y la longitud de los orificios, tampoco se puede superar una cantidad de perforaciones en el troquel ya que esto debilita la pieza, la presión que genera el rodillo sobre el troquel es la que hace que pase la harina por entre las perforaciones y así tome la forma deseada, además que se cocine por el calor que genera la fricción que hay aquí dentro. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

2.1.2. Tipos de peletizadora

En el mercado existen diferentes tipos de peletizadoras, dependiendo de sus características y tipo de material que se vaya a peletizar, cada una cuenta con unas características diferentes. Estas son algunas más comunes que se utilizan en el peletizado de alimento concentrado para animales.

Peletizadora con secado de fluidificación: no son peletizadoras muy comunes, pero esta peletizadora utiliza aire a alta temperatura para secar las partículas que han salido ya peletizadas. Estas máquinas hacen todo el proceso de mezclado de las harinas y la dosificación de líquidos en compartimentos diferentes por lo cual su proceso es más lento. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Ventajas

- Menor costo de la máquina ya que su tamaño es muy pequeño.

- Reducción de uso de espacios por su tamaño.
- La cantidad de energía que consume es muy baja ya que es de 220.
- Su mantenimiento es más fácil ya que su diseño es muy sencillo.

Desventajas

- Su producción es muy baja con respecto a otras peletizadoras.
- No resisten altas cargas de trabajo por su tamaño y diseño.
- En ocasiones sus daños son costosos por los materiales que trabajan.
(Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Peletizadora vertical: es una peletizadora también de alta eficiencia pero esta peletizadora es muy delicada, por lo cual solo se utiliza para peletizar purina para pollos ya que este es un producto bastante blando y no requiere mucho esfuerzo para transformar la harina en pastilla. Además de esto es solo una peletizadora no se encarga ni de mezclar ni dosificar como otros modelos de peletizadora. (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Ventajas

- Grandes producciones por hora en purina para pollo.
- Si se mantiene bien lubricada no presenta fallas constantemente.
- Sus diseños son más que todo altos y delgados, por lo cual no ocupan mucha área.

Desventajas

- Su costo es mayor.
- En su mayoría solo se puede utilizar para materiales blandos.

2.1.3. Clasificación

La clasificación general de las peletizadoras de acuerdo a su uso es el siguiente:

Por su configuración:

- Vertical.
- Horizontal.

Según su movilidad o instalación:

- Fija o estacionaria.
- Móvil o portátil.

Con varias funciones en una misma maquina

- Mezcladora peletizadora de alta velocidad.
- Peletizadoras rotativas.
- Peletizadora dosificadora.

Según la producción por horas:

- Baja producción. 0 a 1 Ton/h
- Media producción. 2 a 5 Ton/h
- alta producción. 5 a 10 Ton/h
- máxima producción 10 a 20 Ton/h

Según la cantidad de rodillos:

- De dos rodillos.
- De tres rodillos.

Según el ingreso de harina a la peletizadora:

- Ingreso manual.
- Ingreso automático.

Con o sin acondicionador de la harina.

- Con suministro de fluidos.
- Sin suministro de fluidos.

Por los componentes.

- Con o sin acondicionador.
- Con o sin mezcladora.
- Con o sin dosificación.
- Con o sin tornillo sin fin.

Por la transmisión de los motores principales.

- Por correas.
- Por piñones.
- Mixtas (Escobar, Colorado, & Daza, 2010)

Las peletizadoras y otros tipos de máquinas siempre van a contar con pernos de sujeción, los cuales están expuestos a infinidad de factores que pueden generar una falla en el tornillo; dependiendo de la función el tornillo puede experimentar una falla diferente en cada caso podremos observar fallas de tipo súbitas, deformación, de fatiga etc. Esto depende del tipo de esfuerzos al que se está sometiendo el tornillo o muchas veces pueden ser generadas por un factor externo que nunca se le presta atención si no que solo se hace el cambio del tornillo cada vez que este falla. (Andrés, Santiago, & Samuel, 15 de Julio de 2015)

2.2. FALLAS COMUNES EN PERNOS DE SUJECIÓN

Una falla se denomina cuando el material de un componente está bajo la condición de no poder prestar más su servicio, de no ejercer más su trabajo debido alguna característica en su estructura o ha pasado a ser inútil, o no está en condiciones para ejercer su trabajo. (Andrés, Santiago, & Samuel, 15 de Julio de 2015)

2.2.1. Falla dúctil a tensión

El tornillo presenta un alargamiento, la zona donde existió la fractura presenta adelgazamiento. Muestra un desgarre fibroso y un desgarre en el diámetro de todo el tornillo donde hubo la fisura. (Mora & Martínez., 2011)

Algunas Causas:

- Sobrecarga a tensión en servicio.
- Grado del tornillo inferior al necesario.

En la Figura 4, se evidencia una capa gruesa y agrietada de magnetita, y una sección metalográfica de magnetita gruesa y porosa.

Figura 4. Falla dúctil a tensión. (Mora & Martínez., 2011)



2.2.2. Falla frágil a tensión

Cuando sucede esta falla el tornillo no presenta ningún tipo de estiramiento ni tampoco se reduce su diámetro, su rotura si presenta una forma intergranular brillante, esto es normal verlo en tornillos de alto grado. (Mora & Martínez., 2011)

Algunas Causas:

- Sobrecarga a tensión en servicio
- Grado de tornillo inferior al necesario

En la Figura 5, se puede observar las estrías brillosas y como la falla de este tornillo es uniforme en toda la superficie.

Figura 5. Falla frágil a tensión en perno. (Mora & Martínez., 2011)



2.2.3. Falla dúctil a flexión

Estos pernos por lo general tienden a ser doblados y con una rebaba de alargamiento contraria a la carga, su textura es intergranular brillante; y este tipo de falla se presenta por lo general en tornillos de bajo grado. (Mora & Martínez., 2011)

Algunas causas:

- Sobre carga a flexión en servicio
- Carga lateral elevada
- Grado de tornillo inferior al necesario

En la Figura 6, se observa el estiramiento del tornillo en un costado, y vemos su brillo es casi en toda la superficie de la falla, con su fibrosidad transversal.

Figura 6. Falla dúctil a flexión en un perno (Mora & Martínez., 2011)



2.2.4. Falla frágil a flexión

En este tipo de falla el tornillo no muestra ningún tipo de deformación; en la falla muestra una estructura granular y se forma como una serie de escalones; esta forma se muestra casi siempre en tornillos de alto grado. (Mora & Martínez., 2011)

Algunas causas:

- Sobrecarga a flexión en servicio.
- Carga lateral elevada
- Grado del tornillo inferior al necesario

En la Figura 7, se muestran formación de escalones y una deformación granular en la superficie de la falla.

Figura 7. Falla frágil a flexión de un perno (Mora & Martínez., 2011)



2.2.5. Falla dúctil por desgarre

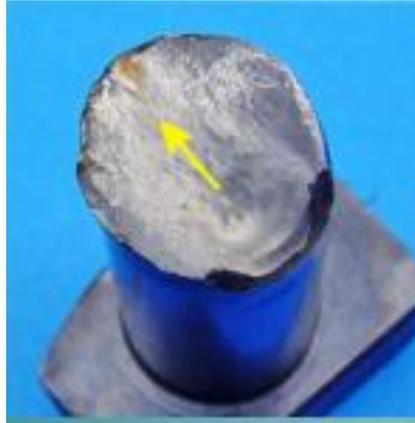
Este tipo de falla es muy sencilla de presenciar, se nota hacia donde sucedió el desgarre por la textura del material que se ve en un solo sentido y además tiene un color brillante. (Mora & Martínez., 2011)

Algunas causas:

- Carga lateral muy elevada
- Perdida del torque o par de apriete en el tornillo lo que permite fugas laterales en las juntas las cuales generan cargas laterales en el tornillo.

En la Figura 8, se puede observar como el color de la pieza es muy brillante. Cuando existe este tipo de falla se puede ver como la textura en la superficie de la falla va en un solo sentido, este sentido depende hacia donde hayan existido las cargas laterales.

Figura 8. Falla dúctil por desgarre (Mora & Martínez., 2011)



2.2.6. Falla combinada tensión-torsión

El tornillo presenta forma de entorchamiento, además la textura del tornillo se ve que es granular combinada con una textura fibrosa, para los tornillos de alto grado cuando existe este tipo de falla domina la textura granular, y para el de bajo grado domina la textura fibrosa. (Mora & Martínez., 2011)

Algunas causas:

- Este tipo de falla solo se da cuando, existe un sobre torque o par de apriete al tornillo, esto genera sobrecargas de tensión y torsión.

En la Figura 9, se puede observar claramente los tipos de textura ya que esas líneas que se ven son textura fibrosa y por los bordes podemos ver la textura granular, además se puede notar que trata de hacer como escalones en la superficie de la falla.

Figura 9. Falla combinada de tensión-torsión (Mora & Martínez., 2011)



2.2.7. Fatiga a tensión

Esta falla es progresiva, es decir que comienza en algún sitio y se va desplazando, por lo general estas fallas empiezan hacia los bordes del tornillo y se van desplazando hacia el centro, la superficie muestra rasgos elípticos que son concéntricas al origen de la falla. (Mora & Martínez., 2011)

Algunas causas:

- Cargas elevadas de tensión.
- Bajo torque o pérdida de este en servicio.
- Daño por corrosión o aludimiento.
- Grado del tornillo menor al necesario.

En la Figura 10, se puede observar algunas partes casi lisas donde empezó toda la fatiga y una textura que tiene como forma de escalonamiento en donde sucedió la fractura final.

Figura 10. Fatiga a tensión (Mora & Martínez., 2011)



2.2.8. Falla por fatiga a flexión

Es una fractura que muestra sus inicios en dos costados opuestos, esta fractura también es progresiva, y es fácil diferenciar donde ocurrió la fatiga final porque su textura es más lisa que donde empezó la fractura, muestra una textura tersa con líneas elípticas y son concéntricas al origen.

Algunas causas:

- Cargas elevadas de flexión laterales.
- Bajo torque o pérdida de este mismo en servicio.
- Grado del tornillo menor al necesario.
- Daño por corrosión o ludimiento.

En la Figura 11, se puede ver la fatiga a flexión y se puede diferenciar de donde empezó a donde terminó por la diferencia de textura que presenta la superficie.

Figura 11. Falla por fatiga a flexión (Mora & Martínez., 2011)



2.2.9. Deformación a tensión y flexión

Se presentan por lo general con deformación del tornillo con muy mínimas las diferencias ya que una se deforma hacia el lado y la otra solo se estira.

Algunas causas: para la deformación a flexión

- Sobrecarga a flexión del tornillo
- Carga lateral elevada
- Bajo torque o su pérdida en servicio

Algunas causas: para la deformación a tensión

- Sobrecarga a tensión en servicio.
- Grado del tornillo inferior al necesario.
- Sobre torque durante el apriete del tornillo o la tuerca.

En la Figura 12, se observa una tubería que presenta un agrietamiento de labio grueso, y la sección metalográfica de la grieta.

Figura 12. Deformación a tensión y a flexión (Mora & Martínez., 2011)



2.2.10. Ludimiento en vástago y en roscas

Consiste en daños superficiales asociados a roces entre piezas con movimiento o por desgaste u oxidación que se generan por el frecuente contacto entre el perno y el alojamiento.

Algunas causas: para el vástago.

- Carga lateral elevada.
- Toque de apriete insuficiente.
- Pérdida de torque en servicio.

Algunas causas: para la rosca.

- Carga lateral elevada.
- Torque de apriete insuficiente.
- Pérdida de torque en servicio.

En la Figura 13, se muestran los lucimientos que se generan en el vástago y en la rosca.

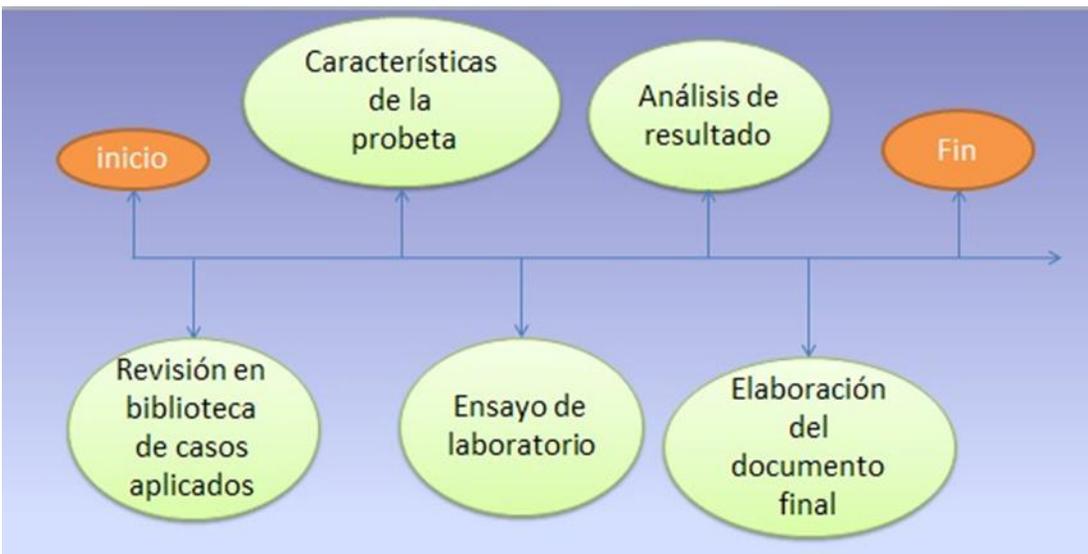
Figura 13. Ludimiento en un vástago y en una rosca.



3 METODOLOGÍA

Para el progreso de este proyecto, se desarrollaron una serie de pasos (ver Diagrama 1), los cuales se describen con más detalle a continuación de la imagen, y mostrando en qué consiste cada uno de los pasos.

Diagrama 1. Metodología del desarrollo del proyecto



- **REVISIÓN EN BIBLIOTECA:** Se realizó revisión de los casos aplicados reportados en artículos científicos, en base de datos especializadas.
- **CARACTERÍSTICA DE LA PROBETA:** se expusieron las condiciones de trabajo del elemento de estudio y se indagó cuál fue la supuesta causa de falla según los afectados o el fabricante.
- **ENSAYO DE LABORATORIO:** se cortaron y pulieron las muestras, se realizó la identificación de microestructura del material y fallas microscópicas, prueba de dureza.

- **ANÁLISIS DE RESULTADOS:** Se realizó el análisis de los datos obtenidos en las pruebas, y se registró la información.
- **ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO FINAL:** Se realizó la compilación de todos los resultados obtenidos en las pruebas y el documento inicial para realizar el documento final.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

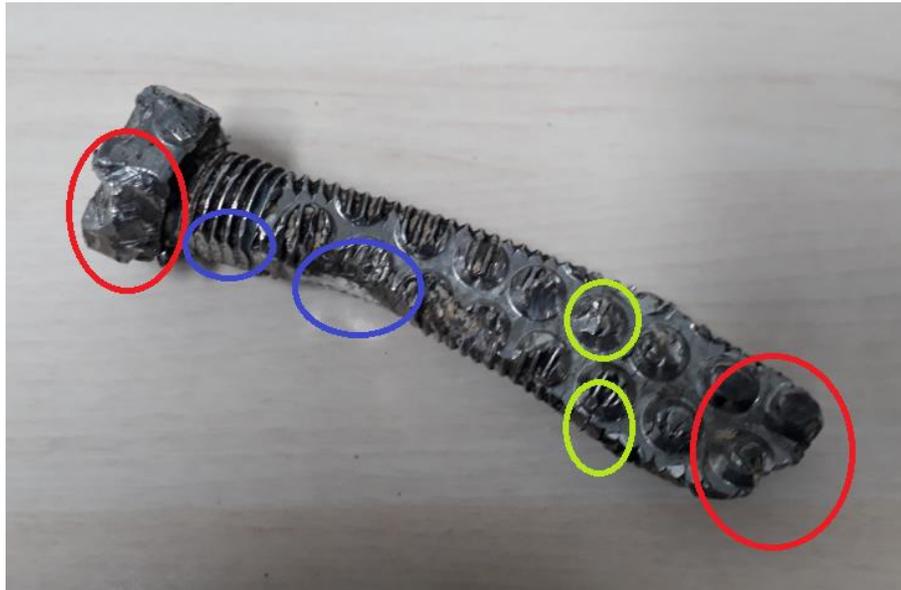
4.1 DIAGNÓSTICO FÍSICO

4.1.1 Diagnóstico físico de la rosca del perno

Este perno pertenece a una peletizadora el cual desempeña la función de sujetar unas cuchillas de arrastre, las cuales se encargan de hacer un barrido en el troquel o matriz, además no permiten que se adhieran las mezclas a las paredes de la matriz y así pueda ingresar más materia dentro de los orificios del troquel. Este se encuentra ubicado en la cámara de peletizado y están distribuidos a 180 grados uno del otro, uno en la parte superior y otro en la parte inferior. Las condiciones a las que trabaja este elemento son altas temperaturas y una vibración constante de 24 horas al día 7 días a la semana estos factores pueden dar los posibles indicios porque el perno fallo y llego al lugar donde no pertenecía.

Después de realizar el análisis visual podemos ver que el perno presenta una deformación total elástica. Además de esto se puede ver en algunas partes del tornillo pequeñas afectaciones como si el tornillo hubiese recibido algún tipo de golpe estos rasgos se encuentran en todo el tornillo ubicados de una manera aleatoria, tal como lo muestra la Figura 14.

Figura 14. Perno de sujeción con rasgos de deformación.



- Rastros o líneas en varias direcciones, están encerradas en círculos de color verde.
- Ruptura en escalones de diferentes medidas, se encuentran encerradas en círculos rojos.
- Marcas de golpes en varios lugares del tornillo, se ven encerradas en círculos de color azul.

Después de una inspección más detallada del elemento se pueden apreciar nuevas rasgos físicos producidos por la falla (ver Figura 15):

Figura 15. Análisis de sección donde sufrió más el perno de sujeción



4.1.2 Diagnóstico físico de la cabeza del perno

Este elemento también perteneciente al perno de la peletizadora, el cual está compuesto de acero inoxidable cumple la función de dar el ajuste a las cuchillas de barrido de la peletizadora, para que esta cumpla con la función de raspar las pequeñas partículas que se adhieren a la matriz por la fricción que se genera después de realizar una inspección física a esta pieza mecánica, se evidencia que presenta deformación en varias partes como si hubiera sufrido algún tipo de golpes ocasionado por otro material muy duro. Esto lo podemos apreciar a continuación en la Figura 16.

Figura 16. Cabeza del perno de sujeción de la peletizadora.



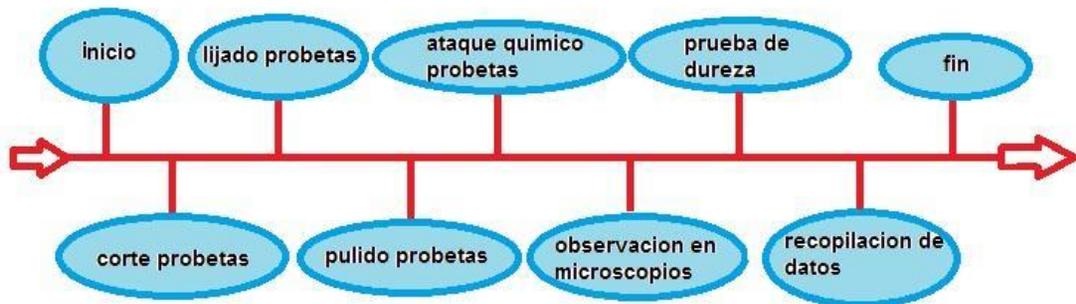
4.1.3 PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo del respectivo análisis de los componentes, se tomaron muestras metalográficas con el fin de inspeccionar con mayor detalle el comportamiento de dichos elementos. Adicionalmente, se realizó una prueba de dureza por método Rockwell C, para dar con mayor exactitud el material de estudio. El desarrollo de

estos estudios se llevó a cabo en el laboratorio correspondiente a la fundación universitaria los libertadores.

El paso a paso Para llegar a la toma de muestras de cada probeta se realizó el siguiente procedimiento (ver Diagrama 2):

Diagrama 2. Procedimiento práctico en el laboratorio de la fundación universitaria los libertadores.



1. Se comenzó cortando los elementos de estudio, por medio de una cortadora de disco, para obtener pequeñas probetas las cuales serían usadas para un mejor análisis y facilitar el estudio de dicho material.
2. A continuación se realizó un lijado de las probetas, con lijas de numerología 60, 100, 220, 360, 800, 1000 y 15000 respectivamente, con el propósito de reducir las imperfecciones superficiales en el área de corte, y así obtener una superficie más lisa sin rayas para que al atacar la pieza con el químico se hiciera parejo en toda la superficie, y no empezara por las líneas que quedan si no se hace este procedimiento.
3. Luego se procede a pulir las probetas con un paño, y se le va adicionando alúmina para agilizar el proceso, y así obtener un brillo tipo espejo con una mayor perfección de la superficie.

4. Una vez obtenido las probetas con su pulido correspondiente, se realiza un ataque químico con agua regia que está compuesta 75% de ácido clorhídrico y 25% de ácido nítrico a la superficie tratada, para poder observar la microestructura del material con la ayuda del microscopio, el ataque químico tiene una duración total de 3.5 minutos y la duración de cada ataque dura 30 segundos.
5. Después se pasa la probeta al microscopio y se toman las respectivas imágenes digitales que son las pruebas recolectadas para el proyecto.
6. Luego se realiza una prueba de dureza por método Rockwell para así determinar más acertadamente el material que se está estudiando, vale aclarar que el método de dureza rockwell se hace primero precargando el durómetro con una carga muy pequeña para disminuir el rango de error y luego se hace la carga de 150 kgf, esta carga se utiliza cuando son materiales de alta dureza, la punta con la que se hace la carga es de diamante y tiene un grado de inclinación de 120°.
7. Finalmente se recopila la información obtenida en el laboratorio (tanto microestructura como dureza) para su respectivo análisis teórico

4.1.4 ESTUDIO DE DATOS

Para el desarrollo de un correcto análisis, se realizó el correspondiente procedimiento práctico en el laboratorio de la fundación universitaria los libertadores, de la cual se pueden destacar ciertos aspectos:

- Principalmente se obtuvieron 2 probetas una del perno que fallo y una probeta de un perno que tiene las mismas características lo cual se supone que es del mismo material (Figura 17 y Figura 18)

Figura 17. Corte perno de acero inoxidable usado para análisis.



Figura 18. Corte del perno nuevo en acero inoxidable



- Se escoge solo una probeta debido a que el tornillo en algunas zonas está muy deformado y va a ser un poco más complejo realizar los alistamientos para

hacer los ataques, la probeta se corta en una de las partes donde el tornillo no sufrió muchas deformaciones. (Figura 19 y Figura 20).

Figura 19. Probeta del perno de acero inoxidable escogido para análisis.



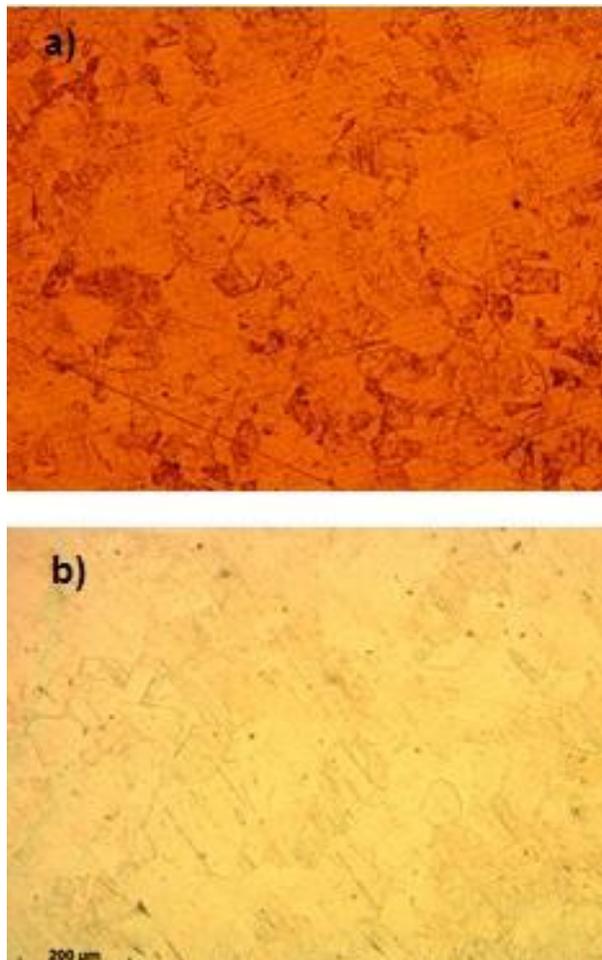
Figura 20. Probeta del perno nuevo de acero inoxidable escogido para el análisis.



4.1.5 Estudio del perno en acero inoxidable.

Después de realizar la observación en el microscopio se recopilaron las siguientes imágenes:

Figura 21. Microestructura del acero inoxidable A) Aumento 20X, perno nuevo B) Aumento 20X perno que fallo



Teniendo en cuenta las muestras anteriores se procede a realizar la comparación con fuentes de información específica (ver Figura 22) y una de las muestras tomadas en el laboratorio (ver Figura 23) para determinar el material de estudio.

Figura 22. Microestructura de un acero inoxidable “templables al aire” del libro (PICKERING, 1979)

<https://www.slideshare.net/cesarmarine/clase10teoria>

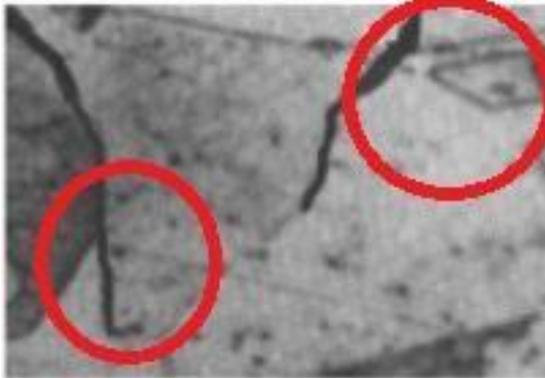


Figura 23. Microestructura tomada en el laboratorio de la fundación universitaria los libertadores del perno que fallo.



Observando y analizando las microestructuras vemos que se comportan de la misma manera; ya que en la superficie de cada grano existe una demarcación más notoria el grano es similar, aunque sus formas son parecidas existen variedad, caracteriza a los aceros inoxidables. La variación del tamaño del grano puede ser por la deformación elástica que sufrió el perno, también este es un acero de tipo A debido a que las demarcaciones más notorias en cada grano se debe a la precipitación de carburos de Cr “Cromo” debido a la disminución de temperatura de 850 °C a 400 °C .

Analizando la similitud de las microestructuras mostradas, se puede suponer que el material en estudio es un acero tipo A2 que su nombre más técnico es “aceros para trabajo en fríos templables al aire” el cual está compuesto de 1% C, 1 % Mo, 5 % Cr y el porcentaje restante de acero inoxidable, estos materiales son utilizados donde se requieren excepcional resistencia al impacto y alta resistencia a la abrasión, como puede ser matriz de estampado, de extrusión y de trefilación. Estos aceros son muy sensibles a la corrosión intergranular por el bajo contenido de Cr que pierden algunas zonas de los granos por la pérdida de temperatura que hablábamos anteriormente (PICKERING, 1979).

(MarcadorDePosición1)

Adicionalmente, se realiza un análisis del tipo de material en el diagrama de fase temperatura composición, donde se observa que por la cantidad de carbono y por la temperatura a la que se va enfriando damos sobre la misma microestructura que se pueden ver en las pruebas que se tomaron en el laboratorio, lo cual corrobora la información sobre la microestructura obtenida. (Verdezoto, 2013)

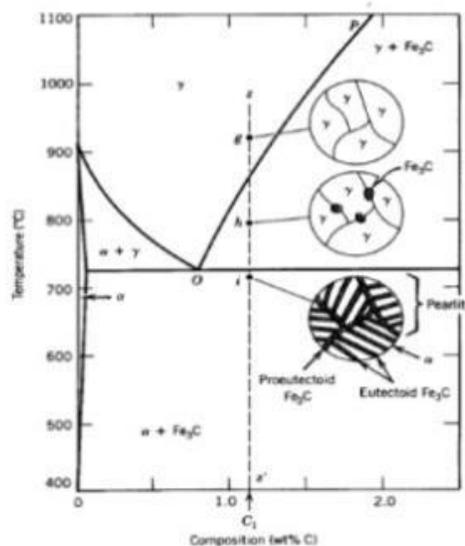


Diagrama 3. Diagrama de fase temperatura composición Fe-C (Verdezoto, 2013)

Para el estudio del acero inoxidable también se realizaron pruebas de dureza tipo Rockwell C en el laboratorio de la fundación universitaria los libertadores, este análisis solo se hizo una toma de dureza rockwell c debido a inconvenientes de tiempo por la rotación del director de proyecto que en este caso fue de 2 veces continuas, lo cual generó retrasos en el avance del proyecto.

El objetivo de realizar las pruebas rockwell a las probetas del perno de sujeción de la peletizadora era recopilar más información sobre el material que se está usando. Los resultados obtenidos al realizar la comparación de los valores resultantes con los valores nominales de lo cual se puede observar lo siguiente. La dureza máxima mostrada en la tabla 1 es de 53 HRC y el dato teórico de la dureza del acero inoxidable es 60 HRC que se muestra en la tabla 2 lo cual, evidencia un margen de error relativamente grande. También por el análisis se puede evidenciar un pequeño indicio de que el material ha perdido sus propiedades físicas y mecánicas por el trabajo que este perno está expuesto en la peletizadora, los cuales son altas temperaturas y es sometido a esfuerzos cortantes.

Al realizar el respectivo procedimiento de dureza Rockwell C, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1. Resultados Rockwell C para el acero inoxidable.

Prueba	Dureza (HRC)	
1	53	Perno nuevo
2	37	Perno que fallo

Figura 24. Procedimiento dureza Rockwell perno nuevo a) 53 HRC, perno que fallo b)37 HRC.

(Morales)



Tabla 2. Características mecánicas del acero inoxidable A2.

(SISA, 2012)Recuperado de: <http://sisa1.com.mx/pdf/Acero%20SISA%20A2.pdf>

PROPIEDADES MECÁNICAS

	Temperatura ⁽¹⁾ de Temple		Dureza HRC	Resistencia ⁽²⁾ al Impacto		Resistencia ⁽³⁾ al Desgaste Adhesivo
	°C	°F		ft.-lb.	(J)	
A2	955	1750	60	40	(53)	2-3
S7	955	1750	57	125	(165)	1
D2	1010	1850	60	21	(28)	3-4
SISA CR8	1065	1950	62	30	(40)	5-6
SISA-MET CR8	1065	1950	62	70	(95)	5-6
M2	1120	2050	62	20	(27)	8-10
SISA-MET M4	1120	2050	62	32	(43)	20-25
SISA-MET A11	1175	2150	63	14	(19)	90

5. RESULTADOS

Finalmente con los datos recopilados anteriormente y realizando las comparaciones correspondientes de los datos obtenidos, se procede a realizar un diagnóstico concreto de la causa de las posibles fallas presentadas en los componentes de la caldera.

PIEZA	FALLAS
PERNO SUJECIÓN DE LA PELETIZADORA	Con los resultados obtenidos, podemos determinar que el material presenta corrosión intergranular por el tratamiento térmico al que se somete este tipo de acero y el porcentaje de cromo. También hace pequeños aportes a la corrosión intergranular, además de esto las temperaturas junto con las cargas cortantes a las que es sometido el perno de sujeción ocasionó la falla de este mismo y la agresividad en la materia prima hubo influencia sobre la falla del perno. La diferencia de tamaños en los granos que nos dejó ver la fotografía de la estructura, significa que el tornillo sufrió una deformación elástica, hasta que el perno soporto la fatiga completa, y fue cuando cayó dentro de los rodillos y el troquel. En este momento experimento la deformación completa por la compresión que se genera entre los rodillos y la matriz. La gran diferencia que muestra en el ensayo roswell C quiere decir que el perno si estaba perdiendo sus características mecánicas ya que como habíamos investigado los aceros si son ablandables cíclicamente con la temperatura, y este perno está expuesto constantemente a temperatura casi que 24 horas 7 días a la semana.

6 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ MEDIANTE LA HERRAMIENTA ÁRBOL LÓGICO

Evento (mal actor): los pernos de sujeción presentan varios problemas durante mi periodo de contrato de aprendizaje en la empresa Finca S.A. (año 2018). Estos pernos ocasionaron paros en las peletizadoras de larga y corta duración: el fallo de los pernos más simbólico, fueron rompimiento total de algún perno, deformación en los pernos, desajuste de algunas otras piezas que conforman la cámara de peletizado, esto ocasionó gran cantidad de tiempos muertos para la peletizadora y mantenimiento correctivos muy seguidos.

Figura 25.perno extraído de la peletizadora



La figura muestra el perno de sujeción que falló en la cámara de peletizado, esto generó un paro de 6 horas mientras se extraía el perno de sujeción de entre la matriz y el troquel, además de esto representó un tiempo muerto de 4 horas para la máquina, lo cual representa un promedio 40 toneladas que se dejan de producir. Al caer el perno justo entre los rodillos y el troquel generó un atascamiento bastante fuerte, por lo cual fue necesario bajar la matriz. Este evento duró aproximadamente 4 horas.

6.1 Descripción del modo de falla del perno.

- Alarma de fallo en el panel de dosificación : se fue a falla la peletizadora, de un momento a otro arrojando una alarma en el panel de dosificación este fue el primera alarma de que algo andaba mal en la cámara de peletizado.
- Ruido fuerte en la cámara de peletizado: este va acompañado junto con la alarma de fallo, es un sonido intenso y dura hasta que la máquina se apaga por sí sola en el panel de dosificación se vio una elevación del amperaje en los motores de la peletizadora y cuando superó los parámetros de seguridad se apagó por sí sola.
- Olor ha quemado de harina con presencia de humo: este olor y humo sale de la cámara de peletizado en grandes cantidades.

6.2 Planteamiento de la hipótesis de la falla:

Las hipótesis planteadas para los modos de falla fueron los siguientes.

1. Exceso de harina en la cámara de peletizado
2. Espacio de prensado demasiado pequeño
3. Pieza ajena en la cámara de peletizado
4. Desajuste de los rodillos
5. Exceso de vapor para la harina
6. Falla eléctrica
7. falla mecánica del motor

Verificación de hipótesis

Hipótesis 1: para la verificación de esta hipótesis se hicieron los siguientes pasos

- Inspección visual: se observó que si existían exceso de harina en la cámara de peletizado, como se puede ver en la imagen.

- Limpieza general: se hace una limpieza bastante amplia se retira el exceso de harina, pero esto no da resultado para desatascar la máquina.

Figura 26. Peletizadora con sobrecarga de harina en los rodillos.



Hipótesis 2: al hacer una inspección visual se nota que los rodillos no están tan ajustados a simple vista.

- Con un calibrador pie de rey se mide la distancia entre la peletizadora y el troquel, esta nos arroja que conserva sus 20 mm de distancia que se requiere para el tipo de producción que se está haciendo en el momento.

Hipótesis 3: al hacer una pequeña limpieza y verificar en la parte justo en medio un rodillo se evidencia, una pieza no muy particular de un tamaño mediano con deformación en todo su cuerpo. Inicialmente se logró extraer esta pequeña parte del perno que quedó totalmente deformada.

Figura 27. parte del perno totalmente deformado.



Se sigue en busca de piezas ajenas porque los rodillos a un no alivianan quedando de fácil rotación y es cuando se encuentra el resto del perno en la peletizadora.

Figura 28. tornillo después de ser extraído de la cámara de peletizado.



Hipótesis 4: se hace una verificación de los ajustes de los rodillos con una llave fija que fue construida por el mismo personal de mantenimiento, y los rodillos se encuentran con un ajuste relativamente adecuado lo cual nos indica que no se han desajustado los rodillos ni se han desacomodado.

También se aplica una fuerza con una palanca a cada rodillo para ver si se mueven en algún sentido, a lo cual los rodillos no presentan ningún movimiento esto quiere decir que están bien ajustados.

Hipótesis 5: al retirar la harina salió con bastante facilidad esto quiere decir que no era exceso de vapor ya que cuando la mezcla se le ha adherido vapor se vuelve muy espesa casi como un chicle, lo cual hace muy difícil su limpieza .

Hipótesis 6: en esta parte se hacen las diferentes mediciones con una pinza a perimétrica verificando existencia de voltajes, verificando que el motor no tenga abiertas sus bobinas y que tampoco exista cortó dentro del motor. A lo cual todas las pruebas salen muy bien pero al intentar arrancar la máquina esta seguía atascada, hasta que se extrajo el perno atascado.

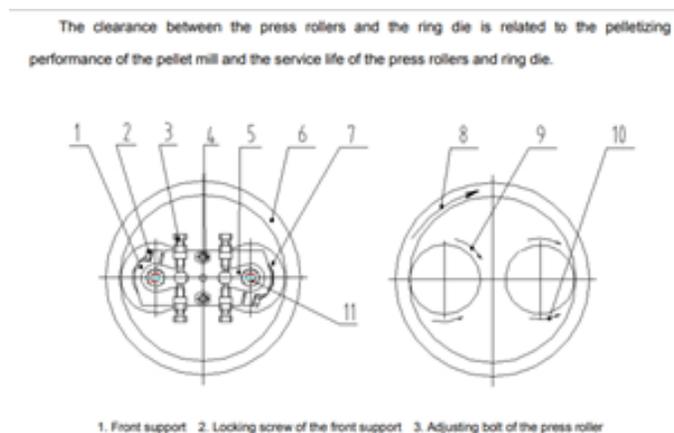
Hipótesis 7: para esta hipótesis se realizó una prueba la cual consistía en liberar totalmente el motor del sistema de transmisión de potencia y así comprobar que el motor no estaba frenado, y encender el motor libre y así se hace una inspección más a fondo de que no tenga ruidos extraños y que esté trabajando en óptimas condiciones, a lo cual el motor respondió de una manera muy satisfactoria.

6.3 Estudio verificación de causas físicas

Hipótesis 1: perno inadecuado.

Se consultan los manuales de la peletizadora y es el perno adecuado para dar ajustes en la peletizadora.

Figura 29. Manual de la peleizadora donde se evidencia que es el perno adecuado.



La imagen nos señala el número 3 que es el perno de sujeción que fallo.

Hipótesis 2: el perno cumplió su ciclo de vida.

El tornillo a simple vista no se ve con grandes deterioros físicos, pero se realiza una inspección del software con el que se lleva el registro de mantenimiento en la empresa, y se evidencia que el perno lleva aproximadamente 30 meses en funcionamiento. Sin mantenimientos preventivos que permitieran que se prolongará los meses de vida útil del perno.

Hipótesis 2: fatiga del material del perno

El tornillo que se pudo extraer de en medio del prensado está quebrado en varias partes, presenta falla por fatiga tiene una deformación hacia los costados y perdió su forma casi que en todos los aspectos; esta hipótesis debe ser verificada para encontrar la causa que está generando la falla del perno.

6.4 Estudio y verificación de causas humanas:

En las causas humanas podemos observar que el personal de mantenimiento no utiliza las herramientas adecuadas para dar el ajuste a las piezas de la peletizadora, si no que usan herramientas que ellos mismos se ingenian y esto puede generar una sobrecarga en los pernos o también pueden quedar elementos sin su ajuste adecuado.

La incorrecta operación del personal al adicionar mal el vapor o las cantidades de líquidos que estas mezclas necesitan pueden generar esfuerzos adicionales en las piezas de la peletizadora ya que estas mezclas con bastantes viscosas y esto genera más esfuerzo en las piezas de la peletizadora.

La mala calibración del espacio de prensado, esto genera una fricción muy elevada entre los rodillos y la matriz esto hace que las piezas aumentan más su temperatura, aparte de la que están expuestas estas piezas 24 horas 7 días a la semana 345 días del año, eso quiere decir que reciben sobrecarga de temperatura.

6.2 Estudio y verificación de causas latentes

El cambio a determinado tiempo de las piezas que están sometidas a altas temperaturas, como sabemos la temperatura es una condición que nos afecta todo tipo de materiales, unos con más intensidad y otros con más baja intensidad, fuera de eso el perno está sujeto a un constante desgaste ya que es un pieza que se está ajustando y desajustando cada aproximadamente 2 meses, que es cuando se realiza el cambio de rodillos por desgaste.

No se cuenta con un mantenimiento predictivo el cual nos está arrojando un estado constante de las piezas de la máquina peletizadora, este mantenimiento debe hacerse con una periodicidad de 6 meses ya que es una maquina muy importante en la producción de alimentos balanceados para animales.

No se cuenta con una herramienta que nos facilite la manipulación adecuada de las piezas, y no se es seguro si se está sobrecargando el perno o si este está quedando sin el ajuste necesario.

Los operarios de la máquina no toman las medidas adecuadas o que minimicen el riesgo de que se sobrecargue la máquina, y así no forzar la maquinaria con cargas adicionales.

El personal operativo de la máquina debe estar atento cuando la temperatura de la máquina se eleve en su cámara de peletizado ya que aquí no se cuenta con un sistema de refrigeración y esta piezas pueden llegar a muy altas temperaturas, algo que no es conveniente para las piezas ya que estas son afectadas en sus propiedades mecánicas.

Causa latente	Recomendaciones
<p>Es muy extenso el tiempo que estuvo trabajando el perno, teniendo en cuenta que el tiempo operación de este perno es constante durante todo el año.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hacer cambio de los pernos de sujeción por lo menos cada 12 meses. 2. como máximo 18 meses de operación, así se garantizara que el perno falle y generar daños en las demás piezas de la peletizadora.
<p>No se está prestando un mantenimiento predictivo, por lo cual no sabemos cuál es la condición física del perno ni de ninguna de las otras piezas de la cámara de peletizado.</p>	<p>Prestar un mantenimiento predictivo cada 6 meses lo cual nos permite tener un conocimiento más exacto de cómo se encuentran los pernos de sujeción y demás piezas de la peletizadora, además de esto se puede hacer una inspección de no más de 10 minutos cada lunes en la mañana esto nos permitirá tener un conocimiento físico de las piezas.</p>
<p>Los ajustes con los que están trabajando las piezas mecánicas no son los adecuados, debido a que no se tiene la herramienta indicada para darle un torque de apriete adecuado por lo cual nos pueden quedar sobrecargados o desajustados lo pernos de sujeción y demás piezas.</p>	<p>Adquirir la herramienta necesaria para cada vez que se haga un mantenimiento sea el adecuado, para que los pernos y demás piezas queden con un torque adecuado y así operen en óptimas condiciones, además de esto se puede hacer un reajuste cada lunes en la mañana tanto a los pernos de sujeción como todas las piezas mecánicas de la cámara de peletizado.</p>

El personal operativo no está prestando el cuidado que requiere la máquina cuando está operando, sobrecargando la máquina con vapor y con cargas de mezcla muy elevadas y muy viscosa aumentando así el esfuerzo de las piezas de la máquina.

El personal operativo debe estar más atento evitando las sobrecargas en la peletizadora para la reducción de esfuerzos en los pernos y demás piezas mecánicas. Además debe estar atento a que no se eleve la temperatura normal de la maquina ya que así no nos afectará ninguno de los pernos de sujeción u otra pieza mecánica.

Figura 30.arbol lógico causa raíz falla perno de sujeción.



7 CONCLUSIONES

- El material es altamente cercano a un acero tipo A 2, por el estudio que se realizó a las microestructuras y la semejanza que estas arrojaron, además el ensayo de dureza rockwell-C nos da una semejanza del material pero por las pérdidas mecánicas que el perno sufrió se ve la diferencia en la escala.
- La Falla que presentó este perno fue por fatiga a flexión ya que haciendo la comparación con las imágenes que se obtuvieron en la investigación nos arroja una muy alta semejanza en las formas cuando un perno falla a flexión, ya que tiene un escalonamiento, y muestra las marcas de playa que iba avanzando en el perno hasta que sufrió la falla total.
- Al realizar el estudio de los materiales se pudo comprobar que el perno seleccionado para la peletizadora es el adecuado para su óptima operación la falla es ocasionada por no prestar un mantenimiento adecuado, o un reemplazo de la pieza a un tiempo determinado, vale aclarar que la mala operación del sistema y por permitir en ocasiones que se eleven las temperaturas y se atasque la maquina acorta la vida útil del perno.
- Al desarrollar adecuadamente la metodología análisis causa raíz RCA, permite dar con exactitud la falla que presentó el elemento de estudio y las variables que están acortando la vida útil del perno de sujeción.

Bibliografía

- Andrés, C. M., Santiago, M. C., & Andrés, O. G. (2015). *ANALISIS DE FALLA DE MATERIALES*. pereira.
- aranda, m. a. (2005). *programa de ciencias de mateeriales*. malaga.
- Atehortúa, J. D., Colorado, R. C., & Daza, H. G. (2011). *Diseño conceptual de una máquina peletizadora de alimento para aves de corral para una producción de 1 tonelada diaria*. Bogota.
- callister, w. (s.f.). *CIENCIA E INGENIERIA DE LOS MATERIALES* . Barcelona : Reverte .
- Gonzales., J. (2016). *TIPOS DE ACERO Y SUS USOS*.
- INGEMECANICA. (2009). *ESTUDIO Y CLASIFICACION DE LOS ACEROS*.
- MORA, E. E., & MARTINEZ, J. C. (2011). *MODOS DE FALLA COMUNES DE TORNILLOS*. Bogota.
- Morales, A. (s.f.). *ensayo y analiis de materiales para ingenieria* . venezuela: Globus .
- Morral, F., Jimeno, E., & Molera, P. (2004). *Metalurgia General Tomo 2*. Barcelona: Reverté, S.A. .
- NEWELL, J. (2010). *CIENCIA DE MATERIALES APLICACIONES EN INGENIERIA*. MEXICO: ALFA OMEGA .
- Obedei, M. (2014). *lasert surface texturing of stainless 316 L cylindrical pin interference fit applications*. . Dublin.
- PICKERING. (1979). *in the metallurgical evolution of stanless steels*.
- SISA. (2012). *Acero SISA A2 acero para trabajo en frio*. Mexico D.F.
- verdezoto, G. (2013). *materiales escuela de ingenieria industrial*.