



**Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Tecnología de la Industria
Ingeniería Mecánica.**

“Mantenimiento integral del molino de bolas máquina dubal del Laboratorio de Materiales y Suelos Julio Padilla Méndez de la Facultad de Tecnología de la Construcción (FTC)”

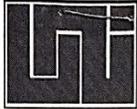
AUTOR

Br. Alexander Osiris Rodriguez Rayo

TUTOR

Dr. Jorge Alberto Rodriguez García

Managua, 12 de enero 2021



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

RODRIGUEZ RAYO ALEXANDER OSIRIS

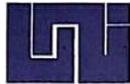
Carne: **2016-1406U** Turno **Diurno** Plan de Estudios **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los seis días del mes de abril del año dos mil veinte y uno.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Industria

DECANATURA

Managua, 01 de febrero de 2021

Br. Alexander Osiris Rodríguez Rayo

Por este medio hago constar que el protocolo de su trabajo monográfico titulado **Mantenimiento integral del molino de bolas máquina dubal del Laboratorio de Materiales y Suelos Julio Padilla Méndez de la Facultad de Tecnología de la Construcción (FTC)**, para obtener el título de **Ingeniero Mecánico** y que contará con el **Dr. Jorge Alberto Rodríguez García** como tutor, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Cordialmente,


MSc. Lester Antonio Artoja Chavarría
Decano



C/c Archivo
LACH/art

Managua, Nicaragua 17 de abril del 2021

Msc. Lester Artola Chavarría
Decano de la Facultad de Tecnología de La Industria
Universidad Nacional de Ingeniería
UNI-RUPAP

Estimado Ingeniero Artola:

El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que el trabajo monográfico elaborado por el Br. Alexander Osiris Rodríguez rayo identificado con el número de carnet 2016-1406U titulado "**Mantenimiento integral del molino de bolas maquina dubal del laboratorio de materiales y suelos Julio Padilla Méndez de la Facultad de tecnología de la construcción (FTC)**". Esta listo para su presentación y defensa en la fecha que usted como máxima autoridad académica considere oportuno.

Atentamente



Dr. Jorge Alberto García Rodríguez
Jefe de control Y Restauración de equipos
UNI-RUPAP

Managua, Nicaragua 16 de abril del 2021

Msc. Ing. Claudia Arauz Sánchez.
Jefa de departamento de construcción.
UNI – FTC.
Su despacho.

Reciba un cordial saludo.

Por medio de esta presente, yo Alexander Osiris Rodriguez Rayo, estudiante egresado de la carrera de ingeniería mecánica, identificado con el número de carnet 2016 – 1406U, hago entrega formal del equipo **“Maquina de abrasión de los ángeles”** con la finalidad de optar al título de ingeniero mecánico con el trabajo monográfico titulado **“Mantenimiento integral del molino de bolas máquina dubal del Laboratorio de Materiales y Suelos Julio Padilla Méndez de la Facultad de Tecnología de la Construcción (FTC)”**



Claudia Arauz Sánchez

Recibí conforme

Msc. Ing. Claudia Arauz Sánchez.

Entregue conforme

Br. Alexander Osiris Rodriguez Rayo

DEDICATORIA.

El presente trabajo monográfico va dedicado primeramente a **Dios**, porque ha sido mi guía, ha estado presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome la fuerza y sabiduría necesaria para poder continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mis padres **Alejandro Rodriguez** y **Maritza Rayo**, quienes han sido los pilares de mi vida, por todo su esfuerzo, apoyo e interés hacia mí a lo largo de toda mi vida.

A mi novia **Anielka Reyes** tu ayuda a sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos, has estado siempre motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían, te lo agradezco muchísimo, amor.

A mis amigos y compañeros, de quienes he aprendido mucho en diversos aspectos de la vida en cuanto a solidaridad, confianza y respeto.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco de todo corazón a **Dios**, en quien mi confianza esta puesta, por haberme guiado en todas las etapas de mi vida. Gracias **Al Dador de la Vida** por su fidelidad a pesar de mis errores y descuidos; por concederme la dicha de vivir y darme la fortaleza e inteligencia para culminar esta etapa estudiantil.

A mis padres **Alejandro Rodriguez** y **Maritza Rayo** por su sacrificio al privarse de ciertas cosas para darme la oportunidad de estudiar.

A mi novia **Anielka Reyes** por la ayuda que me ha brindado, ha sido sumamente importante, estuviste a mi lado inclusive en los momentos y situaciones más tormentosas, siempre ayudándome.

A mis abuelos maternos **Juan y Nicolasa**, a mi abuela paterna **Juana**, a mi tía **Evelia Rayo**, a **Alba Castillo**, a **Rosario Leal** y a mi tía **Excilda Giménez**, por apoyarme durante todo mi ciclo estudiantil hasta el presente proyecto.

También agradezco a mi tío, **MSc. Ing. Eduardo Vallecillo** por ser mi inspiración para elegir esta carrera y haberme apoyado al entrar a la universidad, al **Dr. Jorge Rodriguez** (tutor de tesis), por el apoyo brindado a lo largo de este trabajo monográfico al igual que el profesor **Pablo Motta**, y mis compañeros **Francisco Rocha** y **Ricardo Ríos** gracias por el apoyo brindado.

Finalmente agradezco a familia en general, mis amigos y compañeros, que tanto me han ayudado en mi carrera.

RESUMEN.

El presente documento es un trabajo monográfico de la carrera de ingeniería mecánica para optar al título de Ingeniero Mecánico.

El principal objetivo es realizar un mantenimiento integral y puesta en pleno funcionamiento la Máquina de Abrasión de los Ángeles ubicada en el Laboratorio de Materiales y Suelos Julio Padilla Méndez de la Facultad de Tecnología de la Construcción, UNI – RUPAP.

Para el mantenimiento integral de la Máquina de los Ángeles, se realizó un diagnóstico a los elementos tecnológicos que conforman la máquina.

Se plantearon soluciones en base al diagnóstico realizado, a las sugerencias de terceras personas y a los conocimientos adquiridos a lo largo de la etapa estudiantil.

Se realizó un mantenimiento integral, logrando así el objetivo principal de este trabajo monográfico.

Finalmente se elaboró un plan de mantenimiento preventivo para el equipo adjunto a una guía de posibles problemas y sus soluciones.

Índice de contenido

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. OBJETIVOS.....	5
4.1. Objetivo general.....	5
4.2. Objetivos específicos	5
V. MARCO TEÓRICO	6
5.1. Tipos de molinos.....	6
5.1.1. Molinos de matillos	6
5.1.2. Molinos verticales o de rodillos.....	7
5.1.3. Molinos pendulares	8
5.1.4. Molino de barras.....	9
5.1.5. Molino de bolas	9
5.1.5.1. Importancia	11
5.1.5.2. Campo de utilización.....	11
5.1.5.3. Ventajas	12
5.1.5.4. Máquina de abrasión de los ángeles	12
5.1.5.4.1. Partes principales.....	13
5.2. Motor eléctrico.	13
5.2.1. Motor asíncrono.	14
5.2.1.1. Constitución del motor asíncrono de inducción.....	15
5.2.1.2. Principio de funcionamiento.....	15
5.2.1.3. Motores asíncronos trifásicos.	16
5.2.1.3.1. Motores trifásicos.	16

5.2.1.4. Motores asíncronos monofásicos.	18
5.3. Reductores de velocidad.....	18
5.3.1. Clasificación de los reductores de velocidad.....	19
5.3.2. Clasificación de los engranajes en los reductores de velocidad.....	20
5.3.3. Materiales de aceros para engranajes.	23
5.4. Ejes y árboles.	23
5.4.1. Diferencias entre un eje y árbol.....	23
5.4.2. Clasificación de los ejes y árboles.....	23
5.5. Rodamientos.....	24
5.5.1. Diseño y clasificación	24
5.5.2. Características de los rodamientos.	24
5.5.3. Tipos de rodamientos básicos.....	25
5.5.4. Lubricación de rodamientos	26
5.5.4.1. Finalidad de la lubricación.	26
5.5.4.2. Métodos de lubricación	27
5.6. Lubricantes	28
5.6.1. Clasificación de los lubricantes	28
5.6.2. Clasificación de los aceites lubricantes	29
5.6.3. Requisitos de un lubricante para engranajes.	29
5.6.4. Tipos de lubricantes para engranajes.....	30
5.6.5. Funciones de los lubricantes para engranes	31
5.6.6. Selección de lubricantes para engranajes cerrados.....	32
5.6.7. Regímenes de lubricación.	33
5.7. Mantenimiento	34
5.7.1. Objetivos del mantenimiento.	34

5.7.2. Tipos de mantenimiento.	35
5.7.2.1. Mantenimiento correctivo	35
5.7.2.2. Mantenimiento preventivo	36
5.7.3. Reparación general	37
5.7.4. Consumibles y repuestos.	37
VI. Análisis y presentación de resultados.	38
6.1. Diagnóstico general del equipo.	38
6.1.1. Motorreductor.	39
6.1.2. Sistema eléctrico.	40
6.1.3. Cuenta vueltas.	42
6.1.4. Chumaceras.	43
6.1.5. Embrague.	44
6.1.6. Chapa cilíndrica y bastidor.	45
6.1.7. Tapa de cierre del cilindro.	46
6.2. Mantenimiento integral de la Máquina de Abrasión de los Ángeles.	47
6.2.1. Chumaceras.	47
6.2.1.1. Selección de chumaceras.	48
6.2.2. Sistema eléctrico.	55
6.2.3. Motorreductor.	57
6.2.3.1. Caja reductora.	58
6.2.3.1.1. Selección del lubricante.....	58
6.2.3.1.2. Datos de la caja reductora.....	58
6.2.3.1.3. Conversión de viscosidad.....	59
6.2.3.1.4. Resultado:	60
6.2.3.1.5. Conversión de viscosidad ISO a SAE.	60

6.2.3.1.6. Cambio de aceite lubricante.....	60
6.2.3.1.7. Propiedades y veneficios del GL-1 140.....	61
6.2.4. Embrague.....	62
6.2.4.1. Solución 1: Aumento de presión al disco de embrague.....	62
6.2.4.2. Solución 2: Desarmar y limpiar completamente el embrague.....	63
6.2.4.3. Solución 3: Fijar los elementos al eje.....	64
6.2.4.4. Solución 4: Balanceo de todo el sistema.....	64
6.2.5. Empaque de tapa de cierre.....	65
6.2.6. Mejora implementada.....	66
6.2.7. Pintura del equipo.....	67
6.2.7.1. Remoción de pintura.....	67
6.2.7.2. Pintura.....	68
6.2.8. Montaje final.....	69
6.3. Análisis económico.....	70
6.4. Plan de mantenimiento de la máquina.....	72
6.5. Plan de mantenimiento preventivo.....	73
6.6. Guía de problemas y posibles soluciones.....	79
6.7. Ficha técnica.....	79
6.8. Hoja de vida.....	80
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	84
IX. ANEXOS.....	87

I. INTRODUCCIÓN

El molino de bolas en estudio llamado Máquina de Abrasión de los Ángeles se utiliza para medir la degradación del agregado mineral de las clasificaciones estándar resultante de una combinación de acciones que incluyen abrasión o desgaste, impacto y molienda en un tambor de acero giratorio que contiene un número específico de esferas de acero.

En Nicaragua, cada año aumenta la necesidad de la ampliación de la infraestructura vial para llevar bienestar y prosperidad a todas las familias nicaragüenses, es importante mencionarlo porque la Máquina de Abrasión de los Ángeles se utiliza para el análisis de los materiales empleados en las obras de construcción civil.

El molino de bolas se encuentra ubicado en el Laboratorio de Materiales y Suelos Julio Padilla Méndez el cual pertenece a la Facultad de la Tecnología de la Construcción (FTC), en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacio (RUPAP), de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

Actualmente, el molino de bolas está averiado, por lo tanto, la perspectiva de este trabajo es la reactivación a pleno funcionamiento del mismo. La pregunta central de este trabajo es ¿Qué pasa si se restaura el molino de bolas? La hipótesis central dice: “si se restaura el molino de bolas al efectuar un mantenimiento integral, entonces se garantizará la disponibilidad del mismo para la realización de las prácticas de laboratorio de los estudiantes de las carreras de ingeniería Civil e ingeniería Agrícola”. El objetivo central es efectuar un mantenimiento integral al molino de bolas mediante la restauración de sus componentes para que el equipo permanezca en óptimas condiciones durante su funcionamiento.

Para llevar a cabo el estudio, el trabajo se ha estructurado en 2 capítulos. En el capítulo I, “Marco teórico” se efectúan algunos conceptos que permitan comprender funcionamiento, características y mantenimientos. En el capítulo II “Análisis y presentación de resultados” se presenta todo lo que concierne al desarrollo del tema de tesis para dejar la máquina funcionando.

II. ANTECEDENTES

Los molinos de bolas se comenzaron a utilizar hace aproximadamente 200 años con la finalidad de moler o mezclar materiales, es un equipo sumamente eficaz y confiable que se ha utilizado en diferentes sectores como la construcción, agricultura, minería, metalurgia, entre otros.

Este molino de bolas fue recibido por una donación inglesa hace varias décadas, el 18 de agosto de 1976, cuando donaron un conjunto de máquinas para los laboratorios y talleres que en ese momento pertenecían al instituto técnico que estaba ubicado donde actualmente está el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios.

Este equipo ha sido utilizado por los estudiantes de la Facultad de la Tecnología de la Construcción (FTC), para efectuar las prácticas de laboratorio de resistencia a la abrasión de agregados.

En la actualidad el equipo funciona, pero tiene averías en ciertos elementos que lo integran, debido a ello pocas veces es utilizado y por tal razón existe la necesidad de la puesta en marcha a pleno funcionamiento.

Cabe destacar que el Laboratorio de Materiales y Suelos no cuenta con ninguna información sobre este equipo ya que nunca antes se le ha realizado algún tipo de mantenimiento.

III. JUSTIFICACIÓN

La realización del presente proyecto permitirá a los estudiantes de las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería Agrícola, utilizar el molino de bolas para la realización de sus prácticas de laboratorio con el objetivo de evitar las carencias de conocimientos en esta rama de la ingeniería al salir al campo laboral.

El presente proyecto pretende lograr poner en pleno funcionamiento el equipo por medio de un mantenimiento integral, debido a que se encuentra algunos de sus componentes dañados perjudicando su máximo rendimiento y de esta manera alargar su vida útil y así ampliar la disponibilidad técnica del Laboratorio de Materiales y Suelos Julio Padilla Méndez del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacio de la UNI.

La elaboración de un plan de mantenimiento preventivo, que es un objeto de estudio en este proyecto, pretende alargar la vida útil y mantener en buenas condiciones el equipo para la disponibilidad en todo momento, permitiendo reducir los costos por reparaciones y por mantenimiento correctivo.

De esta manera, se espera que este trabajo sirva como un manual de consulta, para aplicar los conocimientos básicos que aquí se dan de forma clara, ordenada y concisa para la ayuda de futuras generaciones.

De esta forma se define como **problema científico-tecnológico** la rehabilitación total del molino de bolas máquina dubal del Laboratorio de Materiales y Suelos

El **objeto de estudio** es el sistema electromecánico, **su campo de acción** está enmarcado en las actividades de mantenimiento correctivo del equipo en análisis, considerando los conocimientos desarrollados en la carrera de Ingeniería Mecánica sobre maquinas herramientas, electrotecnia, mantenimiento y tribología.

Se define como hipótesis:

“Si se reactiva el molino de bolas máquina dubal del Laboratorio de Materiales y Suelos y se implementa el programa integral de mantenimiento, entonces se verán reducidos los costos del mantenimiento correctivo y se garantizará las prácticas de laboratorio en la carrera de ingeniería civil y agrícola.

IV. OBJETIVOS.

4.1. Objetivo general

Efectuar un mantenimiento integral al molino de bolas mediante la restauración de sus componentes para que el equipo permanezca en óptimas condiciones durante su funcionamiento.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar las fallas que impiden el buen funcionamiento del molino de bolas.
- Seleccionar los componentes adecuados para la reparación del molino de bolas con los resultados obtenidos técnicamente.
- Reemplazar los elementos de máquinas averiados para la puesta en marcha del molino de bolas.
- Garantizar el funcionamiento del equipo mediante las pruebas funcionales del mismo.
- Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para el equipo.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. Tipos de molinos

5.1.1. Molinos de martillos

Los molinos de martillos se basan en un eje horizontal giratorio del cual cuelgan articuladas, con oscilación libre, unas piezas metálicas, llamadas martillos, que golpean el material a moler al obligar a éste a pasar por los intersticios que quedan entre las paredes cilíndricas del molino, el eje y los propios martillos. Funcionan también, por tanto, por trituración. (Ángulo García, 2005).

Este tipo de molinos también se emplea para la pulverización de materias poco resistentes a los golpes, pero además sirve también para materias de dureza media, como pueden ser los calcáreos y otras materias minerales. La producción que permiten es mayor que la de los pulverizadores, presentándose entre 1 y 60 Tn/h; pero la finura media que se puede obtener con ellos es bastante basta, del orden de 1 mm. (Ángulo García, 2005).

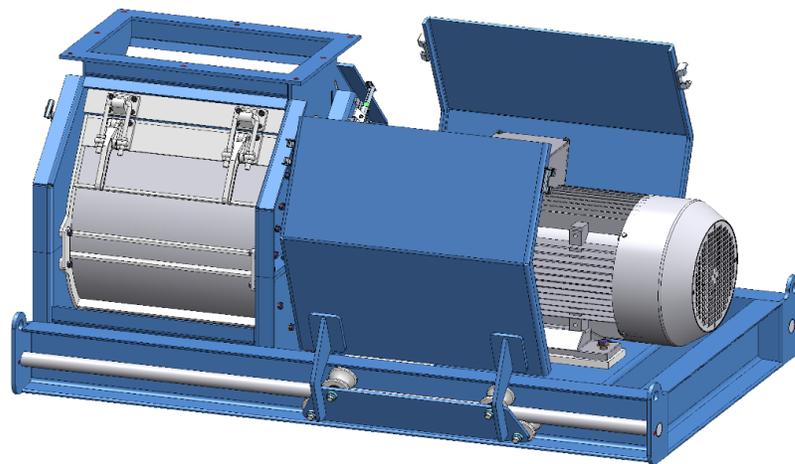


Figura 1: Molino de Martillos HM. 50 (Scheerer Engineering, s.f.).

5.1.2. Molinos verticales o de rodillos

Estos molinos constan de unos rodillos dispuestos horizontalmente sobre una pista situada en la parte inferior del molino y contra la cual producen el aplastamiento del material, por el propio giro de los rodillos, que va siendo suministrado por un alimentador que se encuentra por encima de ellos. (Ángulo García, 2005).

También son aptos tanto para molienda por vía seca como por vía húmeda, estos molinos están ideados para la preparación de masas para monococción blanca y roja, aunque también se pueden utilizar para la molienda de otros tipos de materiales. Las producciones que se pueden obtener con ellos son elevadas, hasta las 40 Tn/h; y las finuras son también más que aceptables, con valores de residuo que pueden llegar a ser del orden de tan sólo un 1% del material molido con granulometría superior a 60 micras. (Ángulo García, 2005).

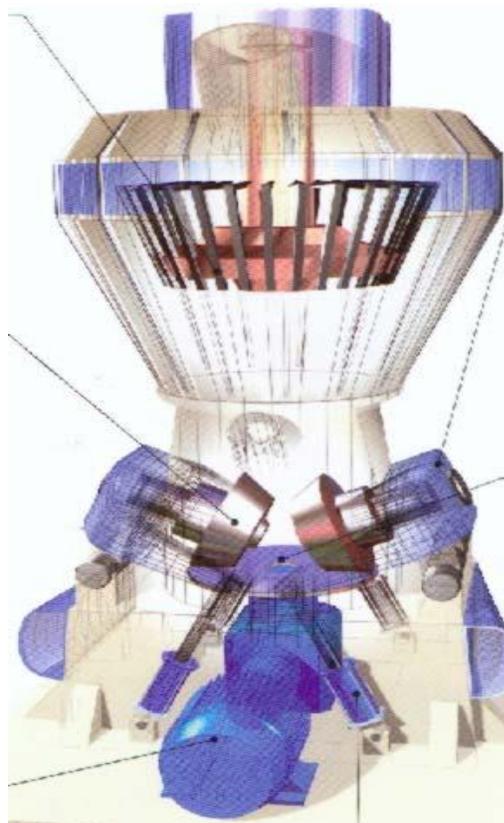


Figura 2: Esquema de molino vertical (Ángulo García, 2005).

5.1.3. Molinos pendulares

Los molinos pendulares se usan para la molienda de todas las materias duras y también para aquellos casos en que se trabaja con materiales abrasivos. Así, se pueden moler calcáreos, fosfatos, materias minerales y químicas, arcillas, carbonatos, etc. (Ángulo García, 2005).

El principio de funcionamiento se basa en la acción de la fuerza centrífuga resultante del giro de los llamados péndulos respecto al eje vertical del molino, y que produce el aplastamiento del material entre los rodillos de dichos péndulos y un aro de rodadura fijo a la carcasa del molino. (Ángulo García, 2005).

También pueden trabajar por vía húmeda, es decir, con el secado simultáneo del material que se está molturando. La granulometría que se puede obtener en el material de salida es muy fina, hasta de 40 micras; mientras que la producción es también elevada, de entre 0,5 y 40 Tn/h según las dimensiones del molino. (Ángulo García, 2005).



Figura 3: Molino pendular (Ángulo García, 2005).

5.1.4. Molino de barras

Los molinos de barras, son grandes tubos cilíndricos, dispuestos horizontalmente. Están contruidos a base de planchas de acero, protegidas contra el desgaste y la corrosión por revestimientos metálicos intercambiables. La cámara cilíndrica gira alrededor de su eje horizontal apoyada en los extremos sobre unos cojinetes cilíndricos que descansan sobre unos soportes. Están contruidos por cuerpos molidores en forma de barras, que están fabricadas de acero con alto contenido en carbono. Poseen un alto límite elástico para evitar que se tuerzan las barras evitando que se rompan o se traben con otras barras. (Dueñas Reyes & Gonzales Ballesteros , 2016).

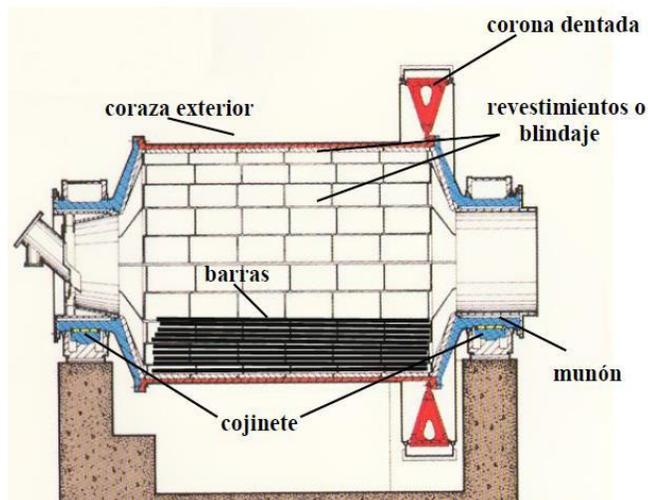


Figura 4: Molino de barras (Dueñas Reyes & Gonzales Ballesteros , 2016).

5.1.5. Molino de bolas

Los molinos de bolas tienen una capa cilíndrica o cónica que gira sobre un eje horizontal, y se cargan con bolas bien sea de acero, pedernal o porcelana, como medio de molienda. La alimentación de los molinos de bolas debe ser de 2,4 a 4 cm (1 a 1½ in) para materiales muy frágiles, pero por lo general el tamaño máximo es de 1,3 cm (1/2 in), valores que han sido obtenidos por medio de ensayos experimentales. La mayor parte de los molinos de bolas operan con una razón de reducción de 20:1 a 200:1. (Alcántara Valladares, 2008).

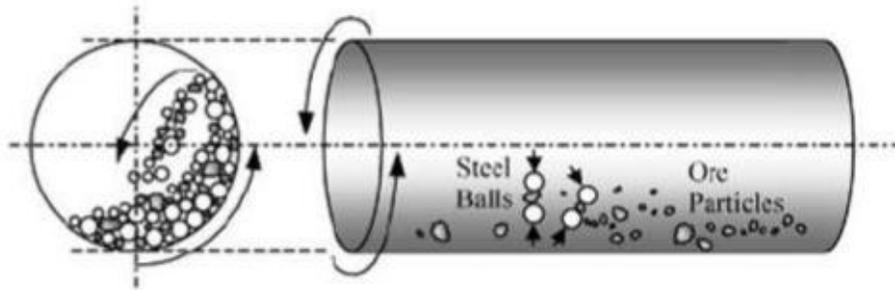


Figura 5: Corte transversal de un molino de bolas (Gutiérrez Gutiérrez, 2011)

Los molinos de bolas, permiten la molienda, bien sea por vía seca o húmeda, de materias duras, muy duras y abrasivas: piritas, cuarzo y otros minerales duros. Son especialmente indicados para la molienda de materias extremadamente duras. (Ángulo García, 2005).

Las capacidades de estos molinos de bolas son, por lo general del 28% al 50% de la capacidad del molino, con medios de molienda de acero y recubrimientos; esto depende directamente de la densidad de los medios. (Alcántara Valladares, 2008)

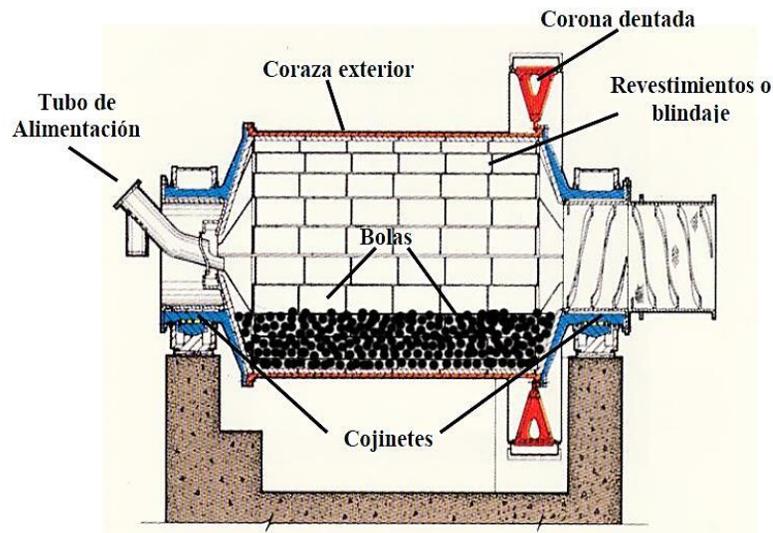


Figura 6: Molino de bolas (Dueñas Reyes & Gonzales Ballesteros , 2016)

La operación de molienda se realiza en varias etapas; La primera etapa es la de fraccionar sólidos de gran tamaño, para la cual son utilizados los trituradores o molinos primarios, aquí los más usados son: el de martillos y el de mandíbulas. (Dueñas Reyes & Gonzales Ballesteros , 2016).

La segunda etapa es la de reducción de tamaño, esta etapa se lleva a cabo con más control, manejándose tamaños intermedios y finos. Para esta etapa el molino más empleado en la industria es el molino de bolas. El molino de bolas lleva a cabo la mayor parte de la reducción por impacto. Cuando esta gira sobre su propio eje, provoca que las bolas caigan en cascada desde la altura máxima del molino. Esta acción causa un golpeteo sobre el material a moler; además de un buen mezclado del material. De esta manera la molienda es uniforme. (Alcántara Valladares, 2008).

5.1.5.1. Importancia

El molino de bolas es una herramienta vital para rectificar materiales que ya han sido triturados. Es apropiado para la molienda seca o mojada de varios tipos de materiales, en especial los más duros. Actualmente es muy utilizado en muchas industrias como la de cemento, materiales a prueba de fuego, productos de silicato, materiales para la construcción, fertilizantes, vidrio, cerámica, entre otros; también por su bajo consumo de energía. El molino de bolas mantiene una estructura simple comparada con otros molinos, una fácil instalación, largo tiempo de operación con alta capacidad, las partes que se desgastan son resistentes y con larga vida útil, y su producto de molienda mantiene una muy buena calidad. (Dueñas Reyes & Gonzales Ballesteros , 2016).

5.1.5.2. Campo de utilización

Según, (Molinos de bolas, s.f.), los molinos de bolas son utilizados en diferentes sectores de la industria por los que nos podemos encontrar con:

- Molinos de bolas para la agricultura
- Molinos de bolas para biología

- Molinos de bolas para geología
- Molinos de bolas para metalurgia
- Molinos de bolas para metalurgia
- Molinos de bolas para construcción
- Molinos de bolas para farmacéutica
- Molinos de bolas para reciclaje
- Molinos de bolas para química
- Molinos de bolas para vidrio y cerámica

5.1.5.3. Ventajas

Según, (Molinos de bolas, s.f.), el molino de bolas cuenta con varias ventajas para los usuarios que lo utilizan, entre las cuales están:

- Bajo costo de instalación
- Trabajo por lotes
- Utilizable en diferentes industrias
- Bajo costo de mantenimiento

5.1.5.4. Máquina de abrasión de los ángeles

Este tipo de máquina está dentro de la clasificación de los molinos de bolas y está diseñado para determinar la resistencia a la abrasión de agregados. El tambor de los ángeles está construido en chapa de acero cilindrada con tapa de acceso ajustable que gira sobre un eje montado sobre rodamientos, todo sobre un bastidor de construcción robusta. Posee contador de revoluciones, bandeja de descarga y juego de bolas de acero. (Morote Arias , 2015).

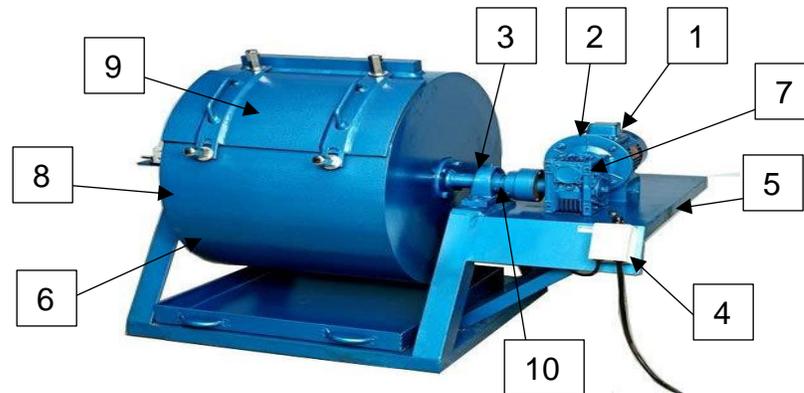


Figura 7: Máquina de Abrasión de los Ángeles (SAP Holdings, 2019)

5.1.5.4.1. Partes principales.

En la figura anterior se muestra la máquina en estudio y de ella se puede observar los partes principales que la componen y son las siguientes:

- 1- Motor eléctrico
- 2- Reductor de velocidad
- 3- Rodamientos
- 4- Caja de control (start/stop)
- 5- Bastidor
- 6- Bolas de acero (internas)
- 7- Cuenta revoluciones
- 8- Chapa cilíndrica
- 9- Tapa de cierre
- 10-Ejes

El estudio recae en los elementos sometidos al descaste ya que estos son los que en general sufren las averías.

5.2. Motor eléctrico.

Según (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010), los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes, y atendiendo al tipo de corriente utilizada para su alimentación se clasifican en:

Motores de corriente continúa.

- De excitación independiente
- De excitación serie
- De excitación [shunt] o derivación.
- De excitación compuesta [compud]

Motores de corriente alterna

- Motores síncronos
- Motores asíncronos
 - o Monofásicos
 - De bobinado auxiliar
 - De espira en cortocircuito
 - Universal
 - o Trifásicos
 - De rotor bobinado
 - De rotor en cortocircuito

Todos los motores de corriente continua, así como los síncronos de corriente alterna incluidos en la clasificación anterior tienen unas utilidades y aplicaciones muy específicas.

Los motores de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos, como trifásicos, son los que tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, poco mantenimiento y bajo costo de fabricación. Por ello es importante saber la constitución, el funcionamiento y la puesta en marcha de los motores asíncronos de inducción.

5.2.1. Motor asíncrono.

Según (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010), se le da el nombre de motor asíncrono al motor de corriente alterna porque cuya parte móvil gira a una velocidad distinta a la del sincronismo.

5.2.1.1. Constitución del motor asíncrono de inducción.

Como todas las maquinas eléctricas, un motor eléctrico está constituido por un circuito magnético y dos eléctricos, uno colocado en la parte fija (estator) y otro en la parte móvil. (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010).

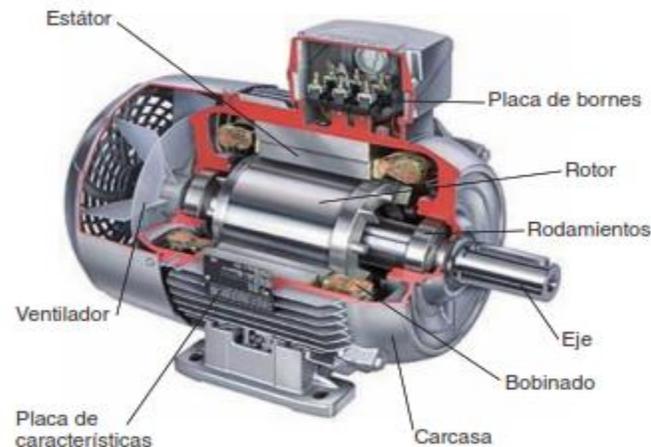


Figura 8: Sección de motor eléctrico (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010).

5.2.1.2. Principio de funcionamiento

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estático sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010).

El flujo giratorio creado por el bobinado estático corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas. La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar. (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010).

La velocidad de rotación del rotor en los motores asíncronos de inducción es siempre inferior a la velocidad de sincronismo (velocidad del flujo giratorio). Para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor ha de existir un movimiento relativo entre los conductores y el flujo giratorio. A la diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y del rotor se le llama deslizamiento. (Mafurro González & Castillo Pedrosa, 2010).

5.2.1.3. Motores asíncronos trifásicos.

Según (Mafurro González & Castillo Pedrosa, 2010), los motores asíncronos de inducción son aquellos en los que la velocidad de giro del rotor es algo inferior a la de sincronismo y los podemos encontrar tanto trifásicos como monofásicos.

5.2.1.3.1. Motores trifásicos.

Según, (Mafurro González & Castillo Pedrosa, 2010), son motores en los que el bobinado inductor colocado en el estator está formado por tres bobinados independientes desplazados 120° eléctricos entre sí y alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna. Los podemos encontrar de dos tipos:

- Rotor en cortocircuito (jaula de ardilla).
- Rotor bobinado.

Tensiones e intensidades en el estator de motores trifásicos.

Todo bobinado trifásico se puede conectar en estrella (todos los finales conectados en un punto común, alimentando el sistema por los otros extremos libres) o bien en triángulo (conectando el final de cada fase al principio de la fase siguiente, alimentando el sistema por los puntos de unión), como se puede apreciar en la siguiente figura. (Mafurro González & Castillo Pedrosa, 2010).

- **Conexión estrella**

En la conexión estrella, la intensidad que recorre cada fase coincide con la intensidad de línea, mientras que la tensión que se aplica a cada fase es $\sqrt{3}$ menor que la tensión de línea. (Mafurro González & Castillo Pedrosa, 2010).

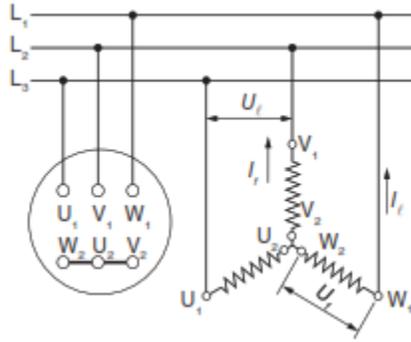


Figura 9: Conexión en los bobinados trifásicos “conexión estrella” (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010).

- **Conexión triángulo**

En la conexión triángulo la intensidad que recorre cada fase es $\sqrt{3}$ menor que la intensidad de línea, mientras que la tensión a la que queda sometida cada fase coincide con la tensión de línea. (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010).

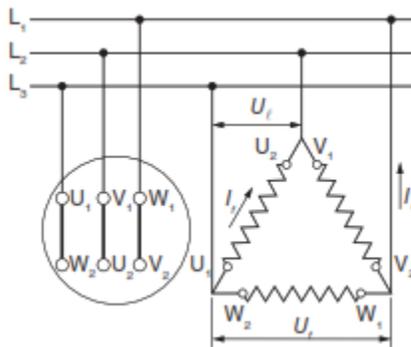


Figura 10: Conexión en los bobinados trifásicos “conexión triángulo” (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010).

- **Arranque estrella triángulo.**

Es el procedimiento más empleado para el arranque de motores trifásicos de rotor en cortocircuito para que la intensidad no aumente considerablemente, consiste en conectar el motor en estrella durante el periodo de arranque y, una vez lanzado, conectarlo en triángulo para que quede conectado a la tensión nominal, para ello, se hace necesario intercalar entre el motor y la línea un conmutador manual

especial que realiza las conexiones de los extremos del bobinado del motor, sin realizar los puentes sobre la placa de bornes. (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010).

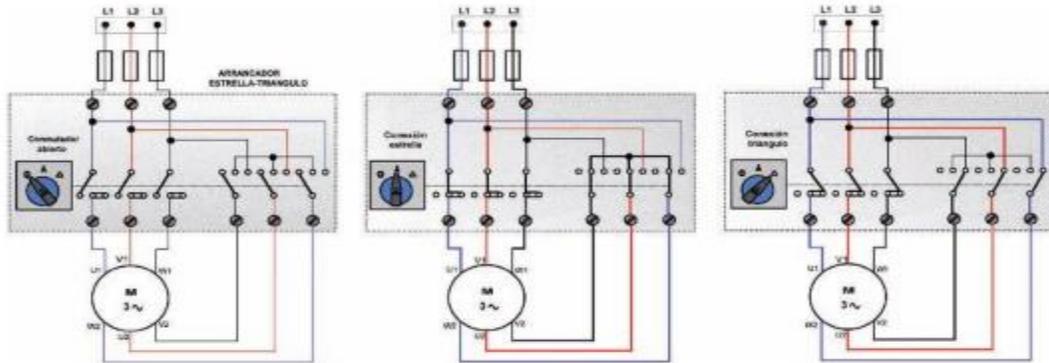


Figura 11: Arranque estrella triángulo de un motor trifásico mediante arrancador manual (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010).

5.2.1.4. Motores asíncronos monofásicos.

En el ámbito doméstico tienen gran aplicación los motores eléctricos, por lo que es necesario que estos puedan funcionar en redes monofásicas. Los motores monofásicos son muy parecidos a los trifásicos, con el inconveniente de que su rendimiento y factor de potencia son inferiores. A igual potencia, el monofásico es más voluminoso que el trifásico y siempre que las condiciones lo permitan, se utilizarán trifásicos. (Mafurro Gonzáles & Castillo Pedrosa, 2010).

Los más utilizados son:

- Motor monofásico con bobinado auxiliar de arranque.
- Motor de espira en cortocircuito.
- Motor universal.

5.3. Reductores de velocidad

Según (Peña Zayas, 2015), en muchos casos las transmisiones se utilizan como grupos independientes que tienen el fin de reducir el número de revoluciones del árbol conducido. En estos casos, la transmisión se aloja en un armazón rígido; independiente y hermético al aceite y al polvo, portante de cojinetes para en los

árboles. Si el engranaje asegura la relación de transmisión constante y sirve para reducir las velocidades del árbol conducido lleva el nombre de reductor, y si puede variarse durante la explotación, se denomina variador. Los reductores para el accionamiento de máquinas son mecanismos que sirven para reducir las velocidades angulares y elevar el momento de torsión. Tiene numerosos usos, sobre todo en la construcción de máquinas elevadoras y transportadoras, construcción de maquinarias para la metalurgia, para la industria química y construcción naval.

El reductor de velocidad es un elemento de transmisión mecánica, generalmente ubicado entre un motor eléctrico con una velocidad de rotación relativamente alta (con parámetros ampliamente normalizados) y una máquina movida cuyas características y en particular la velocidad, varía según el tipo de industria y aplicación. Existen reductores de velocidad con características muy diferentes, no solo en su relación de transmisión, sino también en sus capacidades de carga, en la disposición de sus árboles de salida y entrada, y en la forma del montaje. Obviamente, la gran diversidad de aplicaciones en la práctica requiere un igual número de diferentes tipos de reductores para garantizar las exigencias industriales. (Peña Zayas, 2015).

5.3.1. Clasificación de los reductores de velocidad

Según (Peña Zayas, 2015), los reductores pueden clasificarse de la siguiente manera de acuerdo a la disposición de los ejes.

- Reductores con los ejes de los extremos de árboles paralelos.
- Reductores con los ejes de los extremos de árboles perpendiculares.
- Reductores con los ejes de los extremos de árboles cruzados.

Reductores con los ejes de los extremos de árboles paralelos

Los reductores de velocidad con los ejes de extremos de árboles paralelos más generales pueden ser clasificados atendiendo al tipo de engranaje que conforma su parte cinemática en:

- Reductores con un engranaje de ruedas cilíndricas.
- Reductores con varios engranajes de ruedas cilíndricas con los ejes alineados (conocidos como reductores tándem).
- Reductores con varios engranajes de ruedas cilíndricas con los ejes no alineados (algunos tipos se reconocen como pendulares).
- Reductores con engranajes planetarios.

Reductores con los ejes de los extremos de árboles perpendiculares

Los reductores de velocidad con los ejes de extremos de árboles perpendiculares más generales pueden ser clasificados atendiendo al tipo de engranaje que conforma su parte cinemática en:

- Reductores con un engranaje de ruedas cónicas.
- Reductores con un engranaje inicial de ruedas cónicas y con otras etapas de engranajes de ruedas cilíndricas (conocidos como tándem cónico).

Reductores con los ejes de los extremos de árboles cruzados

Generalmente, los reductores de velocidad con los ejes de extremos de árboles cruzados pueden ser clasificados atendiendo al tipo de engranaje que conforma su parte cinemática en:

- Reductores con un engranaje de tornillo sinfín.
- Reductores con varios engranajes de tornillo sinfín.
- Reductores con un engranaje de ruedas cilíndricas y otro engranaje de tornillo sinfín.
- Reductores con un engranaje de ruedas cónicas intermedio entre engranajes de ruedas cilíndricas (conocidos como reductores ortogonales).

5.3.2. Clasificación de los engranajes en los reductores de velocidad

Según (Myszka, 2012), los engranajes son componentes sumamente comunes utilizados en muchas máquinas y su función es transmitir movimiento de un eje giratorio a otro. Además de transmitir movimiento los engranajes se utilizan con

frecuencia para incrementar o disminuir la velocidad o bien para cambiar la dirección del movimiento de un eje a otro y su clasificación es la siguiente:

Engranajes rectos

Los engranes rectos son los más sencillos y, por consiguiente, el tipo más común de los engranes. Los dientes de un engrane recto son paralelos al eje de rotación. Los engranes rectos sirven para transmitir movimiento entre ejes paralelos, las cuales se encuentran en la mayoría de aplicaciones.

Cremallera

Una cremallera es un caso especial de engrane recto donde los dientes no están configurados alrededor de un círculo, sino en una base plana. La cremallera se visualiza como un engrane recto con un diámetro infinitamente largo. Cuando la cremallera se acopla con un engrane recto, se produce movimiento de traslación.

Engrane interno

Los engranes internos o anulares tienen los dientes contruidos sobre la superficie interior de un círculo. Cuando se acoplan con un engrane recto, el engrane interno aporta la ventaja de reducir la distancia entre los centros de los engranes para lograr cierta variación de velocidad.

Engranajes helicoidales.

Los engranes helicoidales son parecidos a los engranes rectos, que sirven en las mismas aplicaciones que estos. La diferencia es que los dientes de un engrane helicoidal se inclinan hacia el eje de rotación. El ángulo de inclinación se conoce como el ángulo de hélice. Este ángulo brinda un acoplamiento más gradual de los dientes durante el acoplamiento y produce impacto y ruido menores. Por su accionamiento más suave, en las aplicaciones de alta velocidad se prefieren engranes helicoidales. Sin embargo, el ángulo de hélice produce fuerzas de empuje y pares de flexión, que no se generarían en los engranes rectos.

Engrane de espina de pescado.

Los engranes de espina de pescado se utilizan en las mismas aplicaciones que los engranes rectos y helicoidales. De hecho, también se conocen como engranes helicoidales dobles. El engrane de espina de pescado se parece a dos engranes helicoidales opuestos con los extremos colocados uno contra otro. Esta configuración compleja sirve de contrapeso a la fuerza de empuje de un engrane helicoidal.

Engranaje cónico.

Los engranes cónicos tienen los dientes moldeados sobre una superficie cónica y sirven para transmitir movimiento entre ejes no paralelos. Aun cuando la mayoría de sus aplicaciones implican la conexión de ejes perpendiculares, los engranes cónicos también se utilizan en aplicaciones con ejes cuyos ángulos son mayores y menores de 90°.

Engranajes de inglete.

Los engranes de inglete son un caso especial de engranes cónicos, donde los engranes son del mismo tamaño y el ángulo de los ejes es de 90°.

Tornillo sin fin.

Un tornillo sin fin y un engrane sin fin sirven para transmitir movimiento entre ejes no paralelos que no se interceptan. El tornillo sin fin tiene un diente en forma de espiral alrededor de un cilindro de paso. Este diente también se conoce como cuerda, porque se asemeja a la cuerda de un tornillo. Similar al engrane helicoidal, la espiral de paso del tornillo sin fin genera una fuerza axial que se debe tomar en cuenta. En la mayoría de las aplicaciones, el tornillo sin fin impulsa al engrane sin fin para efectuar grandes reducciones de velocidad. Por lo general, un engrane sin fin no es reversible, es decir, el engrane sin fin no puede impulsar el tornillo sin fin.

5.3.3. Materiales de aceros para engranajes.

Según (Mott, 2006), los engranes de los impulsores de máquinas herramientas, y de muchos tipos de reductores de velocidad, de servicio medio a pesado, se fabrican normalmente con aceros al medio carbón. Entre una gran variedad de aceros al carbón y aleados, están:

AISI 1020	AISI 1040	AISI 1050	AISI 3140
AISI 4140	AISI 4340	AISI 4620	AISI 5120
AISI 6150	AISI 8620	AISI 8650	AISI 9310

5.4. Ejes y árboles.

Los árboles y los ejes son elementos que sirven de apoyo a otros elementos giratorios presentes en las máquinas (poleas, piñones, etc.); estas piezas giratorias se pueden mover solidarias a ellos o sobre los mismos. (Arenas Mancilla & León Pico, 2012).

5.4.1. Diferencias entre un eje y árbol

Un **Eje** es el elemento de maquina fijo o móvil, que sirven de soporte a otras piezas permitiendo que estas giren a su alrededor o solidarias a él y su principal característica es que no transmiten potencia (Arenas Mancilla & León Pico, 2012)

En un **Árbol**, a diferencia de un eje si es posible transmitir potencia, gracias a que el elemento de maquina se fija por medio de chavetas, uniones forzadas o ranuras estriadas a otras piezas (Arenas Mancilla & León Pico, 2012).

5.4.2. Clasificación de los ejes y árboles.

Según (Arenas Mancilla & León Pico, 2012) , los ejes y árboles son elementos de revolución que adoptan variadas formas que dependen de factores de diseño como son: la magnitud de las fuerzas a las cuales sean expuestos, parámetros de espacio, el tipo de apoyo a utilizar, entre otros.

Según (Arenas Mancilla & León Pico, 2012) los ejes se dividen:

1. Según su misión: En ejes de máquinas de transporte y elevadoras transportadoras y ejes de transmisión (dentados, de correas y otros).
2. Según las condiciones de trabajo: Giratorios y fijos.

Según, (Arenas Mancilla & León Pico, 2012) los árboles se dividen:

1. Según su misión: en arboles de transmisión, arboles de mecanismos auxiliares y arboles principales.
2. Según la forma de sus ejes: con eje recto, acodado y con ejes variables (telescopicos y flexibles).
3. Según su configuración: En lisos, escalonados y con estrías.

5.5. Rodamientos

5.5.1. Diseño y clasificación

En general los rodamientos están formados por dos anillos, los elementos rodantes, y una jaula, y se clasifican en rodamientos radiales o rodamientos de apoyo dependiendo de la dirección de la carga principal. Además, dependiendo del tipo de elementos rodantes, se clasifican en rodamientos de bolas o de rodillos, y se subclasifican más en función de sus diferencias en diseño o uso específico (NSK, 2009).

5.5.2. Características de los rodamientos.

Según (NSK, 2009), los rodamientos en comparación con los casquillos presentan una serie de ventajas.

- 1- Su par inicial o fricción es bajo y la diferencia entre el par inicial y el funcionamiento es muy pequeña.
- 2- Con el avance de la estandarización a nivel mundial, los rodamientos se pueden encontrar en cualquier parte y son fácilmente intercambiables.
- 3- El mantenimiento, la sustitución y la inspección resultan sencillos a consecuencia de la simplicidad de la estructura del montaje.

- 4- La mayor parte de los rodamientos pueden soportar cargas tanto radiales como axiales de forma simultánea o independiente.
- 5- Los rodamientos se pueden utilizar en una amplia gama de temperaturas.
- 6- Los rodamientos se pueden precargar para conseguir holguras negativas y conseguir una mayor rigidez.

5.5.3. Tipos de rodamientos básicos.

En la actualidad podemos encontrar en el mercado una gran variedad de rodamientos, pero los Según el catálogo (NSK, 2009) son los siguientes.

Rodamientos de bolas.

Los rodamientos de bolas de ranura profunda y una sola hilera son el tipo de rodamientos más utilizado. Su uso está ampliamente difundido. Las pistas de rodadura en los anillos interior y exterior cuentan con arcos circulares de radio ligeramente superior al de las bolas. Además de las cargas radiales, también pueden soportar cargas axiales en cualquier dirección. Debido a su bajo par, son altamente adecuados en aplicaciones en que se necesitan altas velocidades y bajas pérdidas de potencia.

Rodamientos de rodillos cilíndricos.

En los rodamientos de este tipo, los rodillos cilíndricos están en contacto lineal con las pistas de rodadura. Presentan una elevada capacidad de carga radial y resultan muy adecuados para alta velocidad.

Existen distintos tipos de designaciones NU, NJ, NUP, N, NF para los rodamientos de hilera única, y NNU, NN para rodamientos de doble hilera dependiendo del diseño o de la ausencia de anillos gula laterales.

Rodamientos de agujas.

Los rodamientos de agujas ensamblan muchos rodillos finos cuya longitud es de 3 a 10 veces su diámetro. Como resultado, la relación entre el diámetro exterior del rodamiento con el diámetro del círculo inscrito es muy pequeña, y pueden

tener una capacidad de carga radial bastante elevada. Hay muchos tipos distintos, incluso muchos ni tan siquiera tienen anillo interior.

Rodamientos de rodillos cónicos.

Los rodamientos de este tipo usan rodillos cónicos guiados por una guía en el cono. Estos rodamientos pueden soportar cargas radiales elevadas y también cargas axiales en una dirección. En las series HR, los rodillos se aumentan tanto en tamaño como en número consiguiendo una capacidad de carga incluso mayor.

Dependiendo del ángulo de contacto, los rodamientos de rodillos cónicos se pueden dividir en tres tipos denominados de ángulo normal, medio y pronunciado. También se fabrican rodamientos de rodillos cónicos de dos o cuatro hileras. En general suelen utilizar jaulas de acero estampado.

Rodamientos de rodillos esféricos.

Estos rodamientos cuentan con rodillos en forma de barril entre el anillo interior, que tiene dos pistas de rodadura, y el anillo exterior que tiene una sola pista de rodadura. Puesto que el centro de curvatura de la superficie de la pista de rodadura del anillo exterior coincide con el eje del rodamiento, son autoalineantes de forma similar a la de los rodamientos de bolas autoalineantes. Por lo tanto, si se produce desplazamiento del eje o de los sapotes o desalineación de los ejes, se corrige de forma automática de forma que no se aplica un exceso de fuerza sobre los rodamientos.

Los rodillos esféricos pueden soportar, no sólo elevadas cargas radiales, sino también cargas axiales en una dirección. Cuentan con una excelente capacidad para soportar cargas radiales y resultan adecuados para la mayor parte de usos en que hay cargas elevadas o impactos.

5.5.4. Lubricación de rodamientos

5.5.4.1. Finalidad de la lubricación.

Según el catálogo (NSK, 2009), la finalidad principal de la lubricación es reducir la fricción y el desgaste en el interior de los rodamientos que podrían causar fallos

prematuras y atendiendo los efectos de lubricación se pueden describir brevemente de la siguiente manera:

1- Reducción de fricción y desgaste

Se impide el contacto metálico directo entre los anillos del rodamiento, los elementos de rodadura y la jaula, componentes esenciales de los rodamientos, por medio de una película de aceite que reduce la fricción y el desgaste en las zonas de contacto.

2- Ampliación de la vida frente a la fatiga

La vida frente a la fatiga de los elementos rodantes de los rodamientos depende de la viscosidad y grosor de la película entre las zonas de contacto de los elementos rodantes. Una película de mucho grosor prolonga la vida frente a la fatiga, pero la reduce si la viscosidad del aceite es demasiado baja y el grosor de la película es insuficiente.

3- Disipación del calor por fricción y refrigeración

Puede utilizarse un circuito de lubricación para eliminar el calor de fricción o el calor transmitido desde el exterior, con el fin de evitar recalentamientos del rodamiento y la consiguiente degeneración del aceite.

4- Otros

La lubricación adecuada también ayuda a evitar la entrada de materiales extraños en el rodamiento, además de evitar la corrosión o la oxidación.

5.5.4.2. Métodos de lubricación

Los distintos métodos de lubricación se dividen primero en lubricación por grasa o por aceite. Podrán conseguirse unas prestaciones satisfactorias para el rodamiento si se adopta el método de lubricación más adecuado para cada aplicación en particular, así como para las condiciones de funcionamiento. En general, la lubricación por aceite es superior; sin embargo, la lubricación por grasa permite una estructura más simple alrededor de los rodamientos (NSK, 2009).

Elemento	Lubricación por grasa	Lubricación por aceite
Estructura del Alojamiento y Método de Sellado	Simple	Puede ser compleja, necesita de mantenimiento cuidadoso.
Velocidad	La velocidad límite está entre el 65% al 80% de la de la lubricación por aceite.	Velocidad límite más alta
Efecto Refrigerante	Pobre	Es posible la transferencia de calor con circulación forzada de aceite.
Fluidez	Pobre	Buena
Substitución Completa del Lubricante	A veces difícil	Fácil
Eliminación de Cuerpos Extraños	Imposible la eliminación de partículas en la grasa	Fácil
Contaminación Externa por Fugas	El entorno raras veces se contamina por fugas.	Fugas frecuentes si no se toman las medidas correctas. No es aconsejable si debe evitarse la contaminación externa.

Tabla 1: Comparación de lubricantes por grasa y por aceite (NSK, 2009).

5.6. Lubricantes

5.6.1. Clasificación de los lubricantes

Según (Álvarez García, 1999), lubricante es cualquier material colocado entre dos superficies que se mueven una con respecto a la otra para reducir el frotamiento entre ambas. Los lubricantes pueden ser sólidos, semisólidos y líquidos. Los lubricantes se pueden clasificar de dos formas fundamentales:

Según su génesis.

- Orgánicos – De origen animal o vegetal
- Minerales – A partir del petróleo
- Sintéticos – A partir de fluidos sintéticos (Esteres, Peliglicolis, Polifenil Esteres, Siliconas, Perfluoroalquil etcétera).

Según su estado físico.

- Líquidos – Los aceites
- Semisólidos – Grasas
- Sólidos – Grafito, Disulfuro de Molibdeno

5.6.2. Clasificación de los aceites lubricantes

En la actualidad el campo de acción de los aceites técnicos es muy extenso y cubre una amplia gama de aplicaciones. De modo general se reconocen tres grandes grupos de aceites (Álvares García, 1999).

- Aceites Industriales.
- Aceites de Transmisión.
- Aceites de Motores de Combustión Interna.

5.6.3. Requisitos de un lubricante para engranajes.

Según (Álvares García, 1999), los requisitos fundamentales son los siguientes:

- **Viscosidad e índice de viscosidad**

La viscosidad del lubricante a la temperatura de funcionamiento influye sobre su capacidad de soporte de carga y sobre el ruido del engranaje. Además de que puede dar lugar a un aumento del desgaste y del ruido del desgaste y del ruido del engranaje como consecuencia de una resistencia de película inadecuada, una viscosidad demasiado baja presenta el inconveniente de que se traduce en fugas excesivas de la caja de engranajes y en una carencia de estabilidad a altas temperaturas.

Si la viscosidad es demasiado elevada el lubricante puede no fluir convenientemente entre los dientes de los engranajes, o provocar, debido al arrastre, una resistencia al movimiento de aquellos, especialmente a bajas temperaturas.

Durante su funcionamiento los engranajes se calientan al igual que el lubricante por lo que es preciso que este mantenga una viscosidad adecuada tanto en su funcionamiento inicial como después de calentarse.

- **Estabilidad, corrosión y resistencia a la oxidación.**

El lubricante no debe separarse o deteriorarse durante el almacenamiento. En la mayoría de las aplicaciones a los engranajes las temperaturas no son

especialmente elevadas, aunque en condiciones severas la descomposición a elevada temperatura plantea un problema bastante serio.

Los lubricantes compuestos y muchos aditivos de extrema presión son fácilmente corrosivos y su empleo puede incluso dar lugar a un aumento del desgaste de los cojinetes y engranajes. Por eso para la producción de lubricantes adecuados hay que basarse en un refinado bueno y en el empleo de los aditivos apropiados.

- **Formación de espuma**

Una formación de espuma excesiva en el lubricante en servicio es extremadamente inconveniente, ya que se traduce en fugas a través de los respiraderos y orificios que se encuentran situados a una altura superior al nivel normal del lubricante, fugas que dan lugar a que la cantidad de este descienda peligrosamente.

5.6.4. Tipos de lubricantes para engranajes.

Según (Peña Zayas, 2015), son los siguientes:

Aceites minerales

Se aplican en engranajes que trabajan bajo condiciones moderadas de operación. Los aceites minerales proceden del petróleo, y son elaborados del mismo después de múltiples procesos en sus plantas de producción, en las refinerías.

El petróleo bruto tiene diferentes componentes que lo hace indicado para distintos tipos de producto final, siendo el más adecuado para obtener aceites, el crudo parafínico.

Aceites compuestos

Tienen como característica principal su elevada adhesividad. Son una mezcla de aceite mineral y sebo animal en proporciones variables. Se utilizan en reductores con engranajes de tornillo sin - fin corona en donde la acción de deslizamiento es muy elevada. Estos aceites se pueden filtrar y enfriar sin que se separe el sebo animal del aceite base. La adhesividad también se logra adicionando pequeño

porcentaje de un aditivo para tal fin al lubricante, evitando el goteo. Estas son sustancias sintéticas.

Aceites sintéticos

Se utilizan generalmente en engranajes que presentan alto grado de deslizamiento, o que trabajan a altas temperaturas por períodos prolongados. Los lubricantes sintéticos requieren una adecuada combinación de aditivos y bases sintéticas fluidas para incrementar los beneficios sobre los aceites minerales.

5.6.5. Funciones de los lubricantes para engranes

Según (Peña Zayas, 2015), la eficiencia con la cual un engranaje opera, depende no solo de la forma en la cual ellos son usados, sino también del lubricante que les sea aplicado. Los lubricantes para engranajes, según el mismo autor, tienen varias funciones importantes para llevar a cabo:

Lubricación

Cuando los engranajes transmiten potencia, los esfuerzos sobre sus dientes se concentran en una región muy pequeña y ocurre en un tiempo muy corto. Las fuerzas que actúan en esa región son muy elevadas, si los dientes de los engranajes entran en contacto directo, los efectos de la fricción y el desgaste destruirán rápidamente los engranajes.

La principal función de un lubricante para engranajes es reducir la fricción entre los dientes del engranaje y de esta forma disminuir cualquier desgaste resultante. Idealmente, esto se logra por la formación de una película delgada de fluido la cual mantiene separadas las superficies de trabajo.

Refrigeración

Particularmente en engranajes cerrados, el lubricante debe actuar como un refrigerante y extraer el calor generado a medida que el diente rueda y se desliza sobre otro.

Protección

Los engranajes deben ser protegidos contra la corrosión y la herrumbre.

Limpieza

Los lubricantes para engranajes deben sacar todos los desechos que se forman durante el encaje de un diente con otro.

5.6.6. Selección de lubricantes para engranajes cerrados.

Según (Peña Zayas, 2015), varios factores afectan la selección de un lubricante para un conjunto particular de engranajes cerrados, los principales son: características de los engranajes, velocidad de los engranajes, efectos de la temperatura y características de carga.

Cuando los engranajes giran, la principal acción de un diente sobre otro es el movimiento de rodadura. En presencia de un lubricante, esta acción causa una cuña hidrodinámica de lubricante entre los dientes. A velocidades suficientemente altas, la cuña será lo suficientemente espesa para separar los dientes que encajan y soportan la carga. A medida que la velocidad disminuye, o la carga aumenta, la película que separa las superficies disminuye su espesor. Eventualmente puede ocurrir algún contacto metal – metal. (Peña Zayas, 2015).

La selección del aceite depende principalmente de la velocidad del engranaje y la carga. El aceite debe ser suficientemente viscoso para formar una película efectiva de lubricante a la temperatura de operación, pero no tan gruesa que se tenga pérdida excesiva de potencia a través de la fricción fluida. Entre mayor sea la velocidad en la cual el engranaje opera, menor será la viscosidad requerida del lubricante. (Peña Zayas, 2015).

Los aceites de menor viscosidad también tienen la ventaja, que son mejores refrigerantes, dan mejor separación de agua y otros contaminantes y tienen menos tendencia a la formación de espuma. (Peña Zayas, 2015).

Donde las velocidades son bajas y las cargas son altas, se vuelve imposible de mantener la lubricación hidrodinámica en estos engranajes. Entonces, los aceites que contienen aditivos de extrema presión deben ser usados para reducir la fricción y minimizar el desgaste. (Peña Zayas, 2015).

5.6.7. Regímenes de lubricación.

Según (Álvares García, 1999), durante la lubricación de los elementos de máquinas se pueden distinguir diferentes regímenes de lubricación en dependencia de: la carga normal a las superficies, la velocidad de deslizamiento entre los cuerpos, la microgeometría superficial, las propiedades de los lubricantes utilizados y la forma geométrica de los cuerpos en contacto y los regímenes de lubricación son los siguientes:

Lubricación Límite: Se produce en los casos en que existe una película de lubricante muy delgada de lubricante que no evita el contacto entre los picos de las asperezas superficiales de los cuerpos en contacto.

Lubricación Mixta: La película de lubricante es de tal espesor que la carga normal a las superficies en contacto se distribuye entre las asperezas y las micro zonas de lubricación hidrodinámica.

Lubricación Fluida: Se caracteriza por la existencia de una película de lubricante de tal espesor que evita que se produzca el contacto entre las asperezas; constituye el régimen de lubricación óptimo en los sistemas tribológicos debido al bajo valor del coeficiente de fricción y la no existencia prácticamente de desgaste.

La zona de lubricación fluida se puede dividir en dos subzonas a saber: lubricación elastohidrodinámica en uniones sometidas a grandes cargas que provocan la deformación elástica de las capas superficiales y la lubricación hidrodinámica característica de regímenes de cargas ligeros.

5.7. Mantenimiento

Según (Muños Abella), el mantenimiento se puede definir como el control constante de las instalaciones (en el caso de una planta) o de los componentes (en el caso de un producto), así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema en general.

Por lo tanto, las tareas de mantenimiento se aplican sobre las instalaciones fijas y móviles, sobre equipos y maquinarias, sobre edificios industriales, comerciales o de servicios específicos, sobre las mejoras introducidas al terreno y sobre cualquier otro tipo de bien productivo.

5.7.1. Objetivos del mantenimiento.

Según (Muños Abella), el objetivo final del mantenimiento industrial se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, los fallos sobre los bienes
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se lleguen a evitar
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Reducir costes.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

En resumen, un mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallos.

5.7.2. Tipos de mantenimiento.

Según (Muños Abella), actualmente existen variados sistemas para acometer el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación. Algunos de ellos no solamente centran su atención en la tarea de corregir los fallos, sino que también tratan de actuar antes de la aparición de los mismos haciéndolo tanto sobre los bienes, tal como fueron concebidos, como sobre los que se encuentran en etapa de diseño, introduciendo en estos últimos, las modalidades de simplicidad en el diseño, diseño robusto, análisis de su mantenibilidad, diseño sin mantenimiento, etc.

Los tipos de mantenimiento que se van a estudiar son los siguientes:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo

5.7.2.1. Mantenimiento correctivo

Es el conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados por repuestos que se realiza cuando aparece el fallo. (Muños Abella).

Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir los fallos y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad. (Muños Abella).

Tiene como inconvenientes, que el fallo puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia. (Muños Abella).

Asimismo, fallos no detectados a tiempo, ocurridos en partes cuyo cambio hubiera resultado de escaso coste, pueden causar daños importantes en otros elementos o piezas conexos que se encontraban en buen estado de uso y conservación. Otro inconveniente de este sistema, es que se debe disponer de un capital importante invertido en piezas de repuesto. (Muños Abella).

5.7.2.2. Mantenimiento preventivo

Según (Muños Abella), es el conjunto de actividades programadas de antemano, tales como inspecciones regulares, pruebas, reparaciones, etc., encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos de un sistema y sus principales desventajas son las siguientes:

Las desventajas que presenta este sistema son:

- Cambios innecesarios: Al alcanzarse la vida útil de un elemento se procede a su cambio, encontrándose muchas veces que el elemento que se cambia permitiría ser utilizado durante un tiempo más prolongado. En otros casos, ya con el equipo desmontado, se observa la necesidad de "aprovechar" para realizar el reemplazo de piezas menores en buen estado, cuyo coste es escaso frente al correspondiente de desmontaje y montaje, con el fin de prolongar la vida del conjunto. Estamos ante el caso de una anticipación del reemplazo o cambio prematuro.
- Problemas iniciales de operación: Cuando se desmonta, se montan piezas nuevas, se monta y se efectúan las primeras pruebas de funcionamiento, pueden aparecer diferencias en la estabilidad, seguridad o regularidad de la marcha.
- Coste en inventarios: El coste en inventarios sigue siendo alto, aunque previsible, lo cual permite una mejor gestión.
- Mano de obra: se necesitará contar con mano de obra intensiva y especial para períodos cortos, a efectos de liberar el equipo para el servicio lo más rápidamente posible.
- Mantenimiento no efectuado: Si por alguna razón, no se realiza un servicio de mantenimiento previsto, se alteran los períodos de intervención y se produce una degeneración del servicio.

Por lo tanto, la planificación para la aplicación de este sistema consiste en:

- Definir qué partes o elementos serán objeto de este mantenimiento
- Establecer la vida útil de los mismos

- Determinar los trabajos a realizar en cada caso
- Agrupar los trabajos según época en que deberán efectuarse las intervenciones.

5.7.3. Reparación general

Esta categoría está dentro del sistema MPP (Plan de mantenimiento Preventivo), y según (Torroella, 1979), la reparación general es la reparación planificada de máximo volumen de trabajo, durante la cual se realiza el desmontaje total del equipo, la sustitución o reparación de todas las piezas y de todos los mecanismos desgastados, así como la reparación de las piezas básicas del equipo.

Mediante la reparación general se garantiza la precisión, potencia y la productividad del equipo.

Durante la reparación general se realizan el trabajo siguiente:

- a) Desmontaje total del equipo
- b) Sustitución o reparación de componentes dañados.
- c) Reparación del sistema de lubricación

5.7.4. Consumibles y repuestos.

Los materiales que se seleccionarán para la reactivación del equipo se definirán por los datos técnicos adquiridos en libros, internet y personas profesionales en la materia. Una vez obtenida la información adecuada se procederá a cotizar y comprar, todo lo que se requiera, en las distintas casas comerciales encargadas de distribuir lo referente al equipo.

VI. Análisis y presentación de resultados.

El presente capítulo se describe los resultados, donde se expondrá primeramente el diagnóstico del equipo, aquí se identifican los componentes en mal estado y las posibles soluciones de reparación para dichos componentes mecánicos mediante el mantenimiento integral previsto a realizar, también se realizará el análisis económico y el plan de mantenimiento preventivo.

6.1. Diagnóstico general del equipo.

En todo proceso restaurativo de un equipo es necesario una inspección para ver las condiciones en las que se encuentra el equipo para luego diagnosticar las fallas que impiden su operación o buen funcionamiento.

En el momento de la inspección que se realizó al Laboratorio de Materiales y Suelos donde se encuentra la Máquina de Abrasión de los Ángeles, la cual se encuentra en estado funcional, pero con desperfectos mecánicos. Se decide encender la máquina en vacío, para así poder diagnosticar las posibles fallas, al estar la máquina en funcionamiento se escuchó un ruido en las chumaceras y en el acople del motor al cilindro (embrague), en la siguiente figura se muestra el estado en que se encontró la máquina y se procederá a desmontar cada uno de sus componentes para así poder realizar un buen diagnóstico, para finalmente proceder a realizar su mantenimiento correctivo.



Figura 12: Estado inicial de la Máquina de Abrasión de los Ángeles.

6.1.1. Motorreductor.

Esta parte del equipo fue la que se desmontó primeramente y se muestra en la siguiente figura, se encontró en buen estado mecánico, cabe destacar que este sistema está compuesto por un motor eléctrico y una caja reductora, estando el motor eléctrico en buen estado y siendo la caja reductora la que presenta un pequeño ruido, se cree que esto es debido a que el lubricante que tiene actualmente no es el adecuado, se seleccionara otro lubricante para ver si el ruido persiste y si es así, se procede a desarmar el motorreductor para resolver el problema.



Figura 14: Líneas eléctricas, conexión al motor eléctrico.

Panel eléctrico.

Al desarmar el panel de control se encontró en estado riesgoso, debido a que las líneas eléctricas que van conectadas al cuenta vueltas están deterioradas, el material aislante está tostado y esto provoca que se desprendan pedazos del material de recubrimiento, dejando así los hilos de cobre al descubierto, pudiendo provocar cortos circuitos que puedan dañar todo el sistema eléctrico del molino, también en la siguiente figura se puede observar que el panel está sucio por lo cual se tiene que asegurar una buena limpieza para que esto no afecte la conductividad eléctrica.

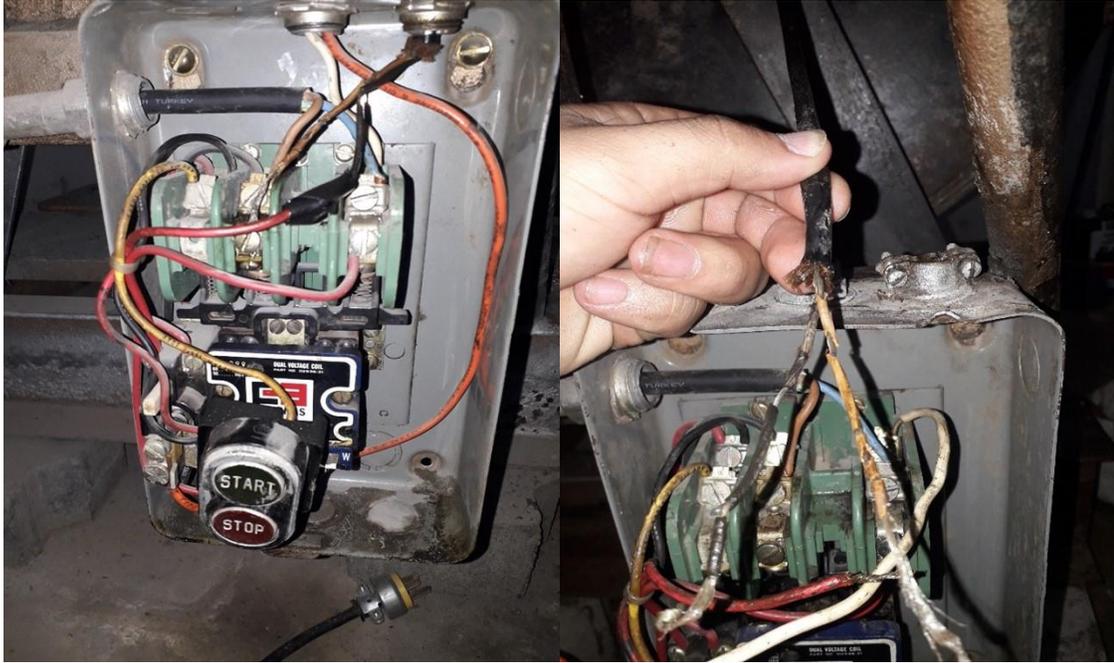


Figura 15: Panel eléctrico de la Máquina Abrasión de los ángeles.

6.1.3. Cuenta vueltas.

Este elemento se encuentra en buen estado mecánico, está programado para que al realizar 500 vueltas apague la máquina de forma automática y funciona perfectamente, la parte que presenta problemas es el sistema eléctrico (líneas eléctricas) debido a la antigüedad y exposición al polvo, las líneas están tostadas y al manipularse se quiebra en pedazos el recubrimiento de los hilos conductores y también presenta suciedad por falta de mantenimiento.



Figura 16: Cuenta vueltas.

6.1.4. Chumaceras.

Para el diagnóstico de las chumaceras se realizaron pruebas en vacío, al tener desmontado el motorreductor se le dio vueltas al cilindro de forma manual para diagnosticar los problemas por medio de sonidos, presentando ruido de arrastre (desgaste por fricción), lo que indica que se encuentran en mal estado, ya que presentan desgaste en la camisa y debido a ello se escucha dicho ruido, por lo cual se deberán cambiar. Cabe destacar que el equipo tiene aproximadamente unos 50 años y nunca se le han cambiado las chumaceras por lo cual era previsto que estuviesen desgastados los rodamientos.



Figura 17: Chumacera.

6.1.5. Embrague.

Como se mencionó anteriormente, para el diagnóstico del equipo se realizaron pruebas en vacío y se escuchó ruidos fuertes de desperfecto mecánico en el embrague (acople del motor al cilindro), se prevé que es porque el disco del embrague está desgastado o por alineamiento (desalineación que provoca patinaje del disco), también por suciedad acumulada en el disco que provoca que el disco patine, también el disco presenta una fractura de una soldadura realizada en un mantenimiento años atrás y ello puede que este provocando la desalineación y patinaje del disco de embrague.



Figura 18: Embrague (acople motor – cilindro).

6.1.6. Chapa cilíndrica y bastidor.

Esta parte de la Máquina de Abrasión de los Ángeles a simple vista se observa que se encuentra en buen estado, pero tiene una fractura en el angular que sirve para sostener la cacerola donde se vierte el material cuando se retira del cilindro y es por ello que se puede ver en la siguiente figura que tiene las dos planchas de acero que sirven para soportar el peso de dicha cacerola, esta parte de la máquina presenta partes con zarro, debido a ello se tendrá que remover la pintura y el zarro para alargar la vida útil.



Figura 19: Chapa cilíndrica y bastidor.

6.1.7. Tapa de cierre del cilindro.

Este elemento del molino es importante, ya que es el que evita que se escape material del ensayo que se realiza y debido a los años de uso y la antigüedad del equipo, el empaque de cierre no se encuentra en buen estado, ya no sella bien por estar muy duro y esto produce que se escape material lo que provoca que ensucie y dañe el resto de la maquina por lo cual se tiene que realizar un nuevo empaque.



Figura 20: Empaque de la tapa del cilindro.

6.2. Mantenimiento integral de la Maquina de Abrasión de los Ángeles.

Después de haber culminado el diagnostico detallado, se procedió a aplicarle mantenimiento integral a todos los sistemas y elementos del equipo.

Una definición breve de lo que es el mantenimiento integral es el conjunto de trabajos tanto de carácter preventivo como correctivo, necesarios para mantener al equipo en condiciones de uso durante su período de vida útil.

Las etapas que se ejecutaron en el mantenimiento correctivo fueron las siguientes:

- Desarme de los elementos
- Estudio minucioso de los sistemas
- Limpieza total
- Restauración total de la pintura
- Reemplazo de chumaceras
- Reparación del embrague
- Selección de lubricante
- Reparación de sistema eléctrico
- Reparación de cello de tapa cierre
- Implementación de mejoras.

A continuación, se describe lo que se realizó para corregir los problemas en cada uno de los elementos de máquina que presentaban averías.

6.2.1. Chumaceras.

Estos elementos de máquinas se encontraban averiados, como se mencionó en el diagnóstico, presentaban desgaste en la camisa, por ello se realizó un cálculo para la selección de las nuevas chumaceras, teniendo en cuenta que deben cumplir con la capacidad de carga requerida y además tener las mismas o similares características geométricas para garantizar un buen funcionamiento del equipo y no tener problemas de desalineación del motorreductor con el embrague conectado al cilindro.

6.2.1.1. Selección de chumaceras.

- **Cálculo de peso del cilindro.**

El primer parámetro a tomar en cuenta para la buena selección de las chumaceras es el cálculo del peso del cilindro, para así estimar la capacidad de carga requerida de los rodamientos y el cálculo del peso se realizó mediante mediciones geométricas para con ello calcular el volumen total del cilindro y este resultado multiplicado por el peso específico de acero dando como resultado el peso del cilindro y el proceso de cálculo se realiza a como se describe a continuación.

DATOS		
Altura	50,7	cm
Diametro mayor	74	cm
Diametro menor	71,2	cm
Densidad del acero	0,283	lb/pulg ³
Densidad del acero	7680	kg/m ³
Diametro de la chapa	74	cm
altura de la chapa	1,4	cm
numero de chapa	2	unidad
Factor de seguridad	10%	%

Tabla 2: Datos para el cálculo del peso del cilindro. Nota: La densidad del acero fue tomada de Robert L. Mott. Diseño de Elementos de Maquinas. Cuarta Edición. Apéndice 3. Pagina A – 7.

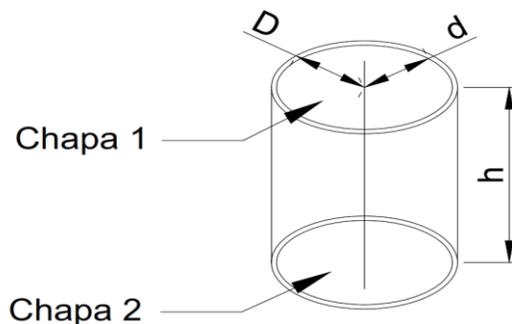


Figura 21: Esquema para el cálculo del volumen del cilindro.

Ecuación y volumen de cilindro.

$$V = \pi \frac{(D^2 - d^2)}{4} * h = \pi \frac{((0.74m)^2 - (0.712m)^2)}{4} * 0.507m = 0.0161m^3$$

Volumen de las chapas.

$$V = \pi \frac{(D^2 - d^2)}{4} * h = \pi \frac{((0.74m)^2)}{4} * 0.014m * 2 = 0.0120m^3$$

Peso del cilindro

$$W = V * \delta = 0.0161m^3 * 7680 \frac{kg}{m^3} = 124.3322 kg$$

Peso de las chapas

$$W = V * \delta = 0.0120m^3 * 7680 \frac{kg}{m^3} = 92.4852 kg$$

Peso total del cilindro más el factor de seguridad.

$$W_{tot} = 238.4992 kg = \mathbf{525lb}$$

- **Selección de las chumaceras.**

La selección de las chumaceras se realiza utilizando el capítulo 14 del libro diseño de elementos de máquina de (Robert. L Mott 2006) y el catálogo de (FBJ , 2007).

Tipo de rodamiento.

El parámetro principal a tomar en cuenta para la selección del tipo de rodamiento a utilizar es saber a qué tipo de carga está sometido, y el mecanismo en estudio está sometido a carga radiales, por lo tanto, los tipos de rodamiento posibles a utilizar son, rodamientos de bolas, de agujas, de rodillos, entre otros, y según NSK (CAT. No.E1102c). Tabla 1.1. pág. A14 Y A15 para cargas radiales los rodamientos de bolas responden de buena manera para este tipo de cargas.

Parámetros principales de selección.

Por ser un sistema donde la distribución de las cargas en los apoyos será igual se asume que las chumaceras tendrán las mismas características.

- Carga radial: 262.5 lb
- Velocidad: 33 rpm
- Diámetro mínimo del eje : 1.5 in

Ecuaciones de calculo

El cálculo de rodamiento se realiza mediante el uso de las siguientes ecuaciones:

Carga equivalente $P = VXR + YT$

Donde:

$P = \text{carga equivalente}$

$V = \text{factor por rotacion}$

$R = \text{carga radial aplicada}$

$T = \text{Carga de empuje aplicada.}$

$X = \text{factor radial}$

$Y = \text{factor de empuje}$

Al estar sometido solo a carga radial, la ecuación queda de la siguiente manera:

Carga equivalente $P = VXR$

Capacidad de carga
dinámica básica
requerida.

$$C = Pd * fL/fN$$

Donde:

$C = \text{carga dinámica básica}$

$Pd = \text{Carga de Diseño}$

$fL = \text{factor por duración}$

$fN = \text{factor por velocidad}$

Carga equivalente P.

- **factor de rotación.**

Según el Robert L. Mott, Diseño de Elementos de Maquinas, Cuarta Edición. Capítulo 14, Pagina 613, recomienda un factor de rotación $V = 1.00$ si lo que gira es la pista interior del rodamiento.

- **factor radial**

Según el Robert L. Mott, Diseño de Elementos de Maquinas, Cuarta Edición. Capítulo 14, Pagina 614, recomienda un factor radial $X = 0.56$ para todos los valores del factor de empuje Y .

- **Resultado**

La carga equivalente será igual a:

$$P = VXR = 1.00 * 0.56 * 262.5lb = 147 lb$$

Capacidad de carga dinámica básica requerida.

La obtención de este valor, permitirá seleccionar de catálogo el rodamiento más adecuado y luego comparar la carga dinámica básica requerida de diseño con la carga dinámica básica que soporta el rodamiento y si la última es mayor el rodamiento no fallara.

- **Factor por duración y velocidad.**

El cálculo de los factores anteriormente mencionado se realiza mediante el uso de la siguiente gráfica, teniendo en cuenta que la velocidad de rotación será de 33 rpm y la vida útil del rodamiento se seleccionará de la siguiente figura.

Aplicación	Duración de diseño L_{10} , h
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15 000
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20 000-30 000
Bombas y compresores	40 000-60 000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100 000-200 000

Figura 22: Duración recomendada para rodamientos. Tomada de: Robert L. Mott, Diseño de Elementos de Maquinas, Cuarta Edición. Capítulo 14, Tabla 14 – 4, Pagina 612.

Nota: Vida útil de rodamiento seleccionada: 15,000 h. (estimación para transmisiones de usos múltiples)

- **Selección de los factores.**

Los factores anteriormente mencionados dependen tanto de la velocidad de rotación como de la duración estimada de vida útil del rodamiento y para ello se utiliza la siguiente grafica.

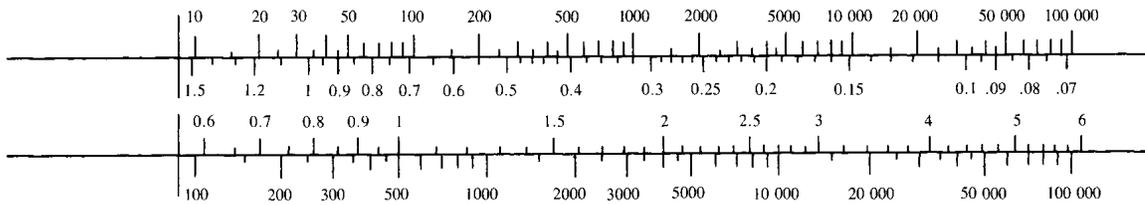


Figura 23: Factores por duración y por velocidad para rodamientos de bolas.
 Tomado de: Robert L. Mott, Diseño de Elementos de Maquinas, Cuarta Edición.
 Capítulo 14, Figura 14-12, Pagina 612.

Para 900 rpm $f_N = 0.32$

Para 15,000 h $f_L = 3$

- **Resultado:**

Capacidad de carga dinámica básica requerida se calcula por medio la ecuación.

$$C = Pd * \frac{fL}{fN} = 147 \text{ lb} * \frac{3}{0.32} = \mathbf{1378.125 \text{ lb}}$$

Selección de las chumaceras según catálogo.

Según el catálogo FBJ Pillow Block, la chumacera código UCP 208 – 24, la capacidad de carga dinámica es de 18,000 N igual a 4047 lb, y la requerida es de 1378.125 por lo cual se puede concluir que no fallara y también cumple con las características geométricas por lo cual también se garantiza un buen funcionamiento del equipo.

- **Datos principales según catálogo.**

Según el mismo catálogo anteriormente mencionado, la carcasa de tipo P, en la tabla 6.1.1, soporta las siguientes fuerzas en Newton en las direcciones que se presentan a continuación.

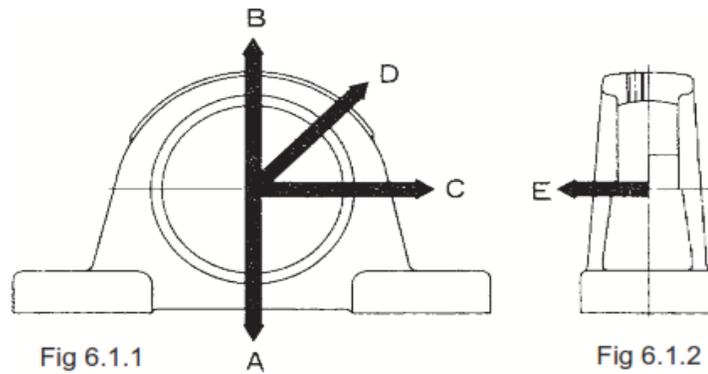


Figura 24: Esquema y direcciones de las fuerzas que soporta la chumacera.

Fuerza en (N)	
A	18,000
B	6,600
C	11,000
D	4,600
E	2,500

Tabla 3: Fuerzas que soporta la carcasa de hierro fundido. Tomada de catálogo de (FBJ , 2007, pág. 9).

Nota: Según la tabla 4.3.1 del mismo catálogo, FBJ PILLOW BLOCKS, la velocidad máxima que soporta es de 3,300 rpm, por lo cual también se cumple con este requerimiento.

Presentación de la chumacera seleccionada.

En la siguiente imagen se muestra la chumacera seleccionada, a simple vista se observa que poseen las mismas características geométricas básicas, por lo cual se garantiza el buen funcionamiento del equipo.



Figura 25: Chumacera seleccionada

6.2.2. Sistema eléctrico.

El sistema eléctrico se divide en dos partes: conexión al motor eléctrico y panel de control.

Conexión del panel de control al motor eléctrico.

Como se mencionó anteriormente en el diagnóstico del sistema eléctrico, la parte que presenta problemas son las líneas que conectan el panel de control al cuentavuelts y al tener desarmado todo el equipo, lo primero que se realizó fue limpiar las líneas que conectan al motor eléctrico, lo que se hizo fue quitar el teipe eléctrico viejo que tenía en las líneas, se quitó una por una para garantizar que no hubiese problemas de conexión por confundir las mismas, la limpieza se realizó con limpia contacto esto para que el circuito quedase completamente limpio y con ello asegurar una buena conductividad eléctrica.



Figura 26: Líneas eléctricas que conectan el panel de control al motor eléctrico.

Conexión del panel de control al cuentavueltas.

Lo que se realizó primeramente para resolver este problema fue una limpieza total con limpia contacto al panel de control y cuentavueltas, se cambió los cables que tenía anteriormente por un TSJ 3x14, el cable anterior estaba tostado y con pequeñas manipulaciones se quebraba, el cable nuevo es aún más fuerte porque tiene un revestimiento mayor, por lo tanto, se garantiza una larga vida útil.



Figura 27: Líneas eléctricas que conectan el panel de control al cuentavueltas.

Cabe destacar que el cuentavueltas está en buen estado mecánico y los problemas que tenía solo era en las líneas eléctricas que cuyos problemas se solucionaron a como se mencionó anteriormente y se garantizó una buena limpieza, en las dos fotos de arriba se ve el estado en que se encontró y el las fotos de abajo el mantenimiento correctivo realizado.

6.2.3. Motorreductor.

El motorreductor está compuesto por el motor eléctrico y la caja reductora pero el estudio se enfoca en la caja reductora ya que es la que presenta ruido y el motor eléctrico funciona perfectamente.

6.2.3.1. Caja reductora.

6.2.3.1.1. Selección del lubricante.

Estudios tribológicos han demostrado que un espesor óptimo mínimo de película para reducir el desgaste e incrementar la vida de los elementos lubricados es de 0.001 pulgadas (25.4 micras = 1000 micro pulgadas). NOTA: El espesor típico de película lubricante es de 0.5 a 20 micras (Paramo, 2020).

Según (Paramo, 2020), en base a un trabajo experimental desarrollado por Crook y Archard, se establece la siguiente fórmula para la viscosidad mínima necesaria en cSt (centiStokes) a la temperatura de operación:

$$Vg = \frac{h^2}{\left[0.1089 * d^2 * np * \left(\frac{mG}{mG + 1}\right)\right]}$$

Donde:

Vg = Viscosidad en cSt a la temperatura de operación del engranaje

h = Espesor de película en micro pulgadas. Si h = 1000 micro pulgadas se tiene el espesor óptimo mínimo de película.

d = Diámetro de paso o primitivo (Pitch Diameter) del piñón en pulgadas

np = Velocidad de piñón en RPM

mG = Relación del engranaje = Radio del inducido / Radio del motriz (Piñón)

6.2.3.1.2. Datos de la caja reductora.

La caja reductora según la chapa del motorreductor tiene los siguientes datos:

Velocidad de entrada: 1200 rpm

Velocidad de salida: 33 rpm

Potencia de entrada: 1hp

Relación de transmisión: 36:1

Para poder calcular el lubricante adecuado será necesario estimar el diámetro del piñón de entrada se asume un tamaño grande, ya que tiene más de un par de engranes al ser una reducción grande.

Diámetro del piñón: 5 in

Viscosidad en cSt

$$Vg = \frac{(1000)^2}{\left[0.1089 * 5in^2 * 1200rpm * \left(\frac{36}{36+1}\right)\right]} = 314.5937cSt$$

6.2.3.1.3. Conversión de viscosidad.

La conversión de la viscosidad se realiza mediante la siguiente tabla, suponiendo una temperatura de operación de 50 °C.

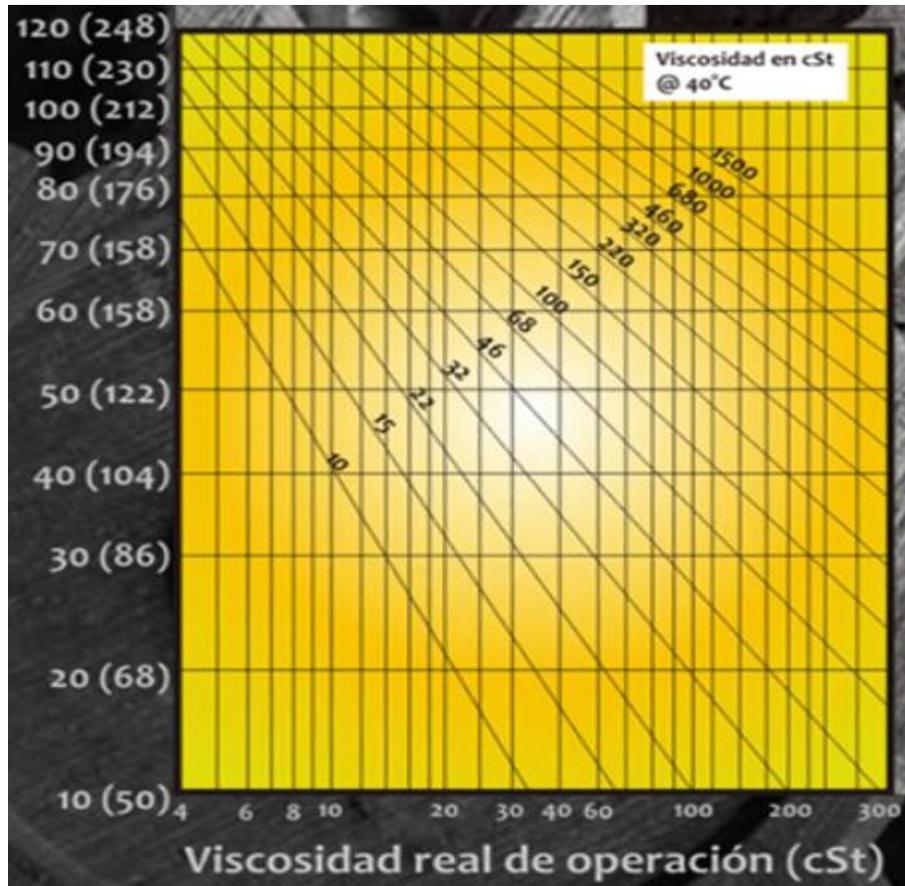


Tabla 4: Conversión de viscosidad a la temperatura de operación a grados ISO (Paramo, 2020).

6.2.3.1.4. Resultado:

Con 314 cSt y a 50 °C de operación se requiere un aceite **ISO 460**.

6.2.3.1.5. Conversión de viscosidad ISO a SAE.

En nicaragua la forma más rápida de encontrar el lubricante es por la norma SAE, ya que es la que se maneja más en el comercio, por lo tanto, será necesario convertir la viscosidad del lubricante con el apoyo de la siguiente tabla.

<u>Motor</u>	<u>Caja/Corona</u>	<u>ISO VG</u>	<u>AGMA</u>
SAE 20	SAE 80w	68	2
SAE 30	SAE 85w	100	3
SAE 40	SAE 90	150	4
SAE 50	SAE 90	220	5
SAE 50	SAE 90	320	6
	SAE 140	460	7
	SAE 140	680	8
	SAE 250	1000	8A

Tabla 5: Equivalencias de viscosidad (Tercero Aldana, 2009).

Según la tabla anterior el lubricante SAE 140 es el compatible al ISO 460.

6.2.3.1.6. Cambio de aceite lubricante.

Para cambiar el aceite lo que se realizó fue desmontar el motorreductor, ya que el tapón de vaciado está en la parte inferior de la caja y no permite poder manipular la llave Allen por el poco espacio comprendido entre el motorreductor y la plancha donde esta apernado, por lo tanto se desmota y se quitó el tapón y se sacó el aceite a como se muestra en la siguiente figura, este se observa que esta negro por lo tanto debe ser cambiado y cabe destacar que se tuvo que realizar cálculos debido a que no se tiene ficha técnica del lubricante que utiliza dicha caja reductora, finalmente se tomó la medida del aceite que se sacó para verter la misma cantidad igual a 1 litro.



Figura 28: Aceite lubricante de caja reductora.

En la imagen de la parte izquierda se observa el aceite que tenía anteriormente la caja reductora el cual se mira negro y en la imagen derecha se observa el aceite que se vertió.

6.2.3.1.7. Propiedades y veneficios del GL-1 140.

- Apropiaada protección contra la humedad debido a sus propiedades antiherrumbrantes.
- Adecuada vida útil del aceite por sus aditivos antioxidantes.
- Protege los engranes gracias a la formación de una eficiente película lubricante.
- Eficiente compatibilidad con componentes de bronce existentes en las transmisiones.

Cabe destacar que a como se mencionó en el diagnóstico la caja reductora presentaba ruido y al hacer pruebas de funcionamiento con el nuevo lubricante el ruido se eliminó, por lo tanto, se puede concluir que se realizó una buena selección del aceite lubricante.

6.2.4. Embrague.

Este elemento del sistema, se sabe que es el que trasmite el movimiento de rotación desde el motorreductor al cilindro y a como se mencionó en el diagnostico tiene un ruido que debe ser eliminado o dejarlo al mínimo.

Para resolver el problema del ruido se realizó mediante prueba y error a como se describe a continuación.

6.2.4.1. Solución 1: Aumento de presión al disco de embrague.

Este elemento de la Máquina de Abrasión de los Ángeles fue el que presento más problemas, lo que se realizó inicialmente para tratar de solucionar el ruido que efectuaba, fue socar más el anillo de presión con una llave stillson a como se muestra en la siguiente figura.



Figura 29: Embrague de la máquina de los ángeles.

Nota: Inicialmente el anillo de presión estaba alineado con la cara paralela al eje del motorreductor y se soca hasta donde se observa en la imagen de la derecha.

Esta primera solución que se intentó fallo, ya que el sonido persistía y además no se podía manipular manualmente el cilindro, por lo cual no se podía agregar y sacar material del cilindro para el ensayo de abrasión.

6.2.4.2. Solución 2: Desarmar y limpiar completamente el embrague.

Con esto lo que se preveía es que al quitar toda la suciedad que tuviese, el agarre el disco aumentaría y por lo tanto no emitiría ningún tipo de ruido, el desarme se muestra en la siguiente figura.



Figura 30: Desarme completo del embrague.

En esta parte también se reparó la soldadura que tenía, con el electrodo específico para el material (ECA NIFER 60 de 1/8”), y se realizó el montaje nuevamente para la prueba y el ruido persistía, por lo cual no se solucionó el problema.

6.2.4.3. Solución 3: Fijar los elementos al eje.

Al mover el embrague hacia un lado y otro perpendicular al eje, tenía cierto juego por lo que se creía que esto provocaba el patinaje del disco, y por ello, por medio de golpes se expandió el volumen de las chavetas logrando con ello fijar los elementos del embrague al eje, pero resulto mal ya que no se solucionó el problema al volver a realizar las pruebas porque el ruido persistía.

6.2.4.4. Solución 4: Balanceo de todo el sistema.

En este punto después de ir corrigiendo problemas, se desarmo nuevamente el disco de embrague, se analizó que la parte más desgastada del disco es la cara que estaba en orientación al eje cilindro y al tener las mismas características geométricas se cambió de orientación y se procedió a balancear el embrague, primeramente desbastando bien la soldadura para que no afectara el balanceo de los resortes de presión, dichos resortes se colocaron de tal forma que los orificios coincidieran tanto en el lado uno como en el lado dos a como se muestra en la siguiente figura ya que inicialmente estaban fuera de los orificios y esto provocaba desbalanceo.



Figura 31: Balaceo del embrague.

Al tener balanceado y alineado el embrague se procedió a alinear con el uso de nivel y escuadra el cilindro con el motorreductor, al tenerse bien alineados se fijó bien con los pernos y se realizaron las pruebas de funcionamiento y se solucionó el problema que tenía, por lo cual se puede decir que tenía problemas de

alineación, desbalance del embrague y que la soldadura anteriormente realizada a este mantenimiento estaba mal hecha y provocaban en parte el patinaje del disco.

6.2.5. Empaque de tapa de cierre.

El empaque que tenía anteriormente como se puede ver en el diagnóstico, está dañado ya que no sellaba bien y por lo tanto había fuga de material que provocaba que se ensuciara el equipo, el empaque de caucho estaba tostado y ya no tenía flexibilidad y se le realizó un pequeño mantenimiento anteriormente donde se le agregó una lámina delgada de caucho, esto redujo las fugas, pero no se resolvió el problema.

Para resolver el problema se fabricó un empaque de lona de caucho utilizada en camiones con dimensiones de 8in x 22.5in con un ancho de la cinta de 1in con un espesor de 1/4in, este material posee elasticidad que permite realizar un buen sellado y por ende elimina las fugas de material.

El pegamento utilizado para fijar el empaque con la tapa es de nombre Eagle head Gasket Shellac, el cual tiene propiedades altamente adhesivas, sirve para altas temperaturas y cuando seca completamente queda fijo el empaque por lo que garantiza un buen funcionamiento de sellado.



Figura 32: Tapa de cierre del cilindro.

6.2.6. Mejora implementada.

En la figura 12, se observa que la parte inferior del cilindro hay dos planchas metálicas las cuales servían para soportar la cacerola donde se vertía el material después de hacer el ensayo, debido a que el angular de la parte derecha del bastidor que soporta la cacerola estaba quebrado fue necesario soldarlo y para mejorar esta parte del equipo se le soldó otra varilla metálica en la parte media para que pudiese soportar el peso de la cacerola con carga, así se evita que se fondee y por lo tanto la avería de la misma, el electrodo utilizado fue el 6011 de 1/8in.



Figura 32: Mejora implementada.

6.2.7. Pintura del equipo.

6.2.7.1. Remoción de pintura

A como se muestra en la primera figura del diagnóstico, se aprecia que la pintura está en mal estado por lo cual fue necesario removerla totalmente tanto del cilindro, bastidor y motor eléctrico como de todos sus componentes, a como se observa a continuación.



Figura 33: Remoción total de la pintura.

Para remover la pintura se utilizó el remover diablo también haciendo uso de espátula, cepillo de alambre, pulidora y finalmente se lijo con lija para metal número 60 y 80 con la finalidad de dejar completamente limpio todo el equipo para que a la hora de aplicar la pintura tenga buen agarre.

6.2.7.2. Pintura.

Ya estando completamente limpio el equipo para la pintura, se desmonto nuevamente el motorreductor para poder pintar bien todas las cavidades, se utilizó $\frac{1}{4}$ de pintura anticorrosiva, esta pintura fue recomendada debido a que el equipo por antigüedad presenta sarro, la maquina se pintó con los colores habituales hoy en día en estos equipos, sientto el motorreductor en color negro y todo el resto de la maquina en color azul.



Figura 34: Pintura del equipo.

6.2.8. Montaje final.

Teniendo cada uno de los componentes que integran el equipo reparados y pintados, se procedió al montaje final, se alineó nuevamente el motorreductor con el cilindro para garantizar un buen funcionamiento, cabe destacar que al estar el equipo en un lugar cerrado la pintura dilato en secar más de lo normal, aproximadamente 5 días y en la siguiente figura se presenta el montaje final.



Figura 35: Montaje final del equipo.

6.3. Análisis económico.

Una vez culminado el mantenimiento integral, se procedió a hacer la cuantificación de los gastos de materiales y mano de obra necesaria que se utilizó para restauración y puesta en marcha del equipo.

Cabe destacar que la banda no fue un elemento para reparar la Máquina de Abrasión los Ángeles, sino para la puesta en marcha del compresor que esta el taller de Maquinas Herramientas de la FTI, necesario para poder pintar el equipo.

También el préstamo del soldador fue necesario, debido a que los equipos del taller de soldadura no se pueden mover por ser muy grandes y el molino tampoco puede trasladarse al taller de soldadura, por lo cual fue necesario hacer el préstamo del equipo.

Gastos en el mantenimiento integral de la Máquina de Abrasión de los Ángeles			
Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Total
2	Chumaceras FBJ UCP208-24	C\$ 942	C\$ 1.884
1	Cepillo de alambre	C\$ 60	C\$ 60
1	Espátula	C\$ 40	C\$ 40
1	Brocha de 2 in	C\$ 50	C\$ 50
1	Lija numero 80	C\$ 25	C\$ 25
2	Lija numero 60	C\$ 28	C\$ 56
1	Marking Tape	C\$ 35	C\$ 35
1	Teipe eléctrico	C\$ 50	C\$ 50
1	Thinner (litros)	C\$ 70	C\$ 70
1	BANDA SJGATES 500J6	C\$ 1.010	C\$ 1.010
1	Grasa automotiva FX SUPER	C\$ 160	C\$ 160
1	Alambre TSJ 3x14	C\$ 48	C\$ 48
1	Spray negro mate	C\$ 70	C\$ 70
1	Pintura anticorrosiva azul 1/4 litro	C\$ 140	C\$ 140
1	Pintura anticorrosiva negro mate 1/8 litro	C\$ 40	C\$ 40
1	Empaque de caucho de (1x8x22x1/4)in	C\$ 300	C\$ 300
1	Aceite GL -1 140	C\$ 180	C\$ 180
1	Melaza	C\$ 50	C\$ 50
1	Disco para pulir de 4 1/2in	C\$ 40	C\$ 40
1	Disco para cortar metal 4 1/2 in	C\$ 40	C\$ 40
1	Removedor de pintura diablo (galón)	C\$ 1.278	C\$ 1.278
1	Préstamo de soldador	C\$ 150	C\$ 150
1	limpia contacto	C\$ 160	C\$ 160
1	Silicón Blíster Ultra gris	C\$ 80	C\$ 80
1	Periódico (libra)	C\$ 30	C\$ 30
1	Pegamento Eagle head gasket shellac	C\$ 180	C\$ 180
1	Mano de obra	C\$ 1.350	C\$ 1.350
Total			C\$ 7.575,8

Tabla 6: Gastos realizados en el mantenimiento integral del equipo.

6.4. Plan de mantenimiento de la máquina.

En la siguiente tabla se muestra la frecuencia con la cual trabaja la Máquina de Abrasión de los Ángeles, en base a las prácticas de laboratorios en el Laboratorio de Materiales y Suelos Julio Padilla Medes.

Máquina de abrasión de los ángeles	
Frecuencia de uso	3 veces por semana
Horas de uso	1 hora por día
Total de horas por semana	3 hora por semana
Total de horas por mes	12 horas al mes

Tabla 7: Frecuencia de trabajo de la Máquina de Abrasión de los Ángeles.

Con las horas establecidas de uso se procede a realizar el plan de mantenimiento para cada sistema del equipo.

El plan de mantenimiento estipula que las frecuencias de se efectuarán, semanal, mensual, trimestral, semestral y anual. El correcto seguimiento de este plan garantizara que le equipo trabaje en óptimas condiciones y que prolongue su vida útil, siendo de carácter obligatorio realizar cada trabajo.

AVISO IMPORTANTE: Antes de realizar cualquier trabajo de mantenimiento deber seguir los siguientes pasos:

- Consultar con el encargado del laboratorio.
- Utilizar equipo de protección personal.
- Desconectar el equipo de la red eléctrica.
- Despejar la zona donde se va a trabajar.
- Si usted no está seguro del trabajo que realizara favor no lo haga.

6.5. Plan de mantenimiento preventivo.

Un resumen de lo que es mantenimiento preventivo; es aquel que realiza tareas de revisión de los elementos del equipo con el fin de detectar posibles fallos, además de labores de lubricación, ajustes, limpieza, entre otros.

Se recomienda seguir este plan tal y como se deja estipulado, ya que este permitirá que el equipo trabaje sin interrupciones y que prolongue su vida útil.

A continuación, se detalla cada trabajo, así como la hoja de mantenimiento preventivo.

FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DEPARTAMENTO DE MECÁNICA APLICADA									
HOJA DE REGISTRO Y CONTROL DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO									
No:		Código del equipo:			Nombre de la actividad:			Ubicación:	
Mes	Semana				Frecuencia				Observación
	1	2	3	4	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	
Enero									
Febrero									
Marzo									
Abril									
Mayo									
Junio									
Julio									
Agosto									
Septiembre									
Octubre									
Noviembre									
Diciembre									
SIMBOLOGÍA									
I = Lubricación A = Aseo C = Cambio IG = Inspección General					ISE = Inspección del sistema eléctrico ISM = Inspección del sistema mecánico MPM = Mtto pequeño mensual MMT = Mtto mediano trimestral MGA = Mantenimiento general anual				
NOTA: Las actividades de mantenimiento se realizan solamente bajo la supervisión del encargado del laboratorio									
Elaborado por:			Supervisado por:				Aprobado por:		
Nombre: _____			_____				_____		
Fecha:									
_____			_____				_____		

Tabla 8: Hoja de registro y control de mantenimiento preventivo.

- **Aseo:**

Limpiar con trapos todo el exceso de polvo. Este trabajo se puede realizar semanal independiente a los estipulados en el mantenimiento.

Quitar la tapa que cubre el embrague, limpiar y sacudir con trapo todos los elementos del molino sin desmontar ningún otro elemento.

- **Lubricación:**

Aplicar lubricante semisólido (grasa) a las chumaceras con engrasadora manual a las “chiches”, también a la cadena del cuentavuelas mecánico.

- **Cambio:**

El cambio de aceite lubricante de la caja reductora según (Moscardó Palop, 2017), es cada 3,000 horas de funcionamiento.

Los rodamientos se cambiarán al final de la vida útil diseñada es decir cada 15,000 horas de funcionamiento.

Y el cambio del disco de embrague se realizará cuando el equipo emita ruido (chillido), ya que eso es señal de desgaste, para este tipo de disco es aconsejable aplicar revestimiento ya que por la antigüedad es difícil encontrar el repuesto en el mercado.

- **Inspección general:**

Realizar una inspección visual del equipo. Cerciorarse que el equipo se encuentre en su debido lugar al igual que sus componentes, que no esté sometido a ningún tipo de carga, poner en funcionamiento el equipo en vacío para asegurarse que no emita ruidos ajenos a los previstos.

Esta inspección se realiza una vez por semana.

- **Inspección del sistema eléctrico.**

Este trabajo consiste en verificar que las líneas eléctricas estén conectadas correctamente y que no haya problemas de cortocircuito por haber cables pelados, quitar la tapa del panel de control para revisar bien.

- **Inspección del sistema mecánico.**

Este trabajo consiste en poner en funcionamiento el quipo en vacío (por motivos de ruido en carga), para asegurarse que todo funciona correctamente.

- **Mantenimiento pequeño mensual:**

A este mantenimiento se le denomina pequeño porque se lleva a cabo (mensualmente) trabajos primarios sin ningún grado de complejidad.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO				
MANTENIMIENTO PEQUEÑO MENSUAL	NO:	CÓDIGO DEL EQUIPO:	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
ACTIVIDAD POR SEMANA	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4
Limpiar con trapos todo el exceso de polvo en todo el equipo				
Inspeccionar generalmente el equipo				
Accionar el equipo sin carga, para verificar el correcto funcionamiento				
Verificar la lubricación de las chumaceras y cadena del cuentavueltas				

Tabla 9: Plan de mantenimiento preventivo (mantenimiento pequeño mensual).

- **Mantenimiento mediano trimestral:**

Este mantenimiento se debe realizar cada tres meses llevando trabajos como el de inspeccionar el sistema eléctrico, mecánico, aseo y lubricación.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO				
MANTENIMIENTO MEDIANO TRIMESTRAL	NO:	CÓDIGO DEL EQUIPO:	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
ACTIVIDAD POR SEMANA	1er MES	2do MES		3er MES
Limpia con trapos todo el exceso de polvo en todo el equipo				
Inspeccionar generalmente el equipo				
Accionar el equipo sin carga, para verificar el correcto funcionamiento				
Verificar la lubricación de las chumaceras y cadena del cuentavuelas				
Verificar el sistema eléctrico				

Tabla 10: Plan de mantenimiento preventivo (mantenimiento mediano trimestral).

- **Mantenimiento general anual:**

Se llevará acabo cada año teniendo en cuenta la secuencia de los mantenimientos previos.

En esta etapa se realizan todos los trabajos: Aseo, inspección general, inspección al sistema eléctrico, mecánico, lubricación y cambio.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO												
MANTENIMIENTO GENERAL ANUAL	NO:		CÓDIGO DEL EQUIPO		ELABORADO POR:		REVISADO POR:			FECHA		
	1er MES	2do MES	3er MES	4to MES	5to MES	6to MES	7mo MES	8vo MES	9no MES	10mo MES	11mo MES	12mo MES
Limpiar con trapos todo el exceso de polvo en todo el equipo												
Inspeccionar generalmente el equipo												
Accionar el equipo sin carga, para verificar el correcto funcionamiento												
Verificar la lubricación de las chumaceras y cadena del cuentavueltas												
verificar el sistema eléctrico												
Lubricar con grasa chumaceras y cadena de cuentavueltas												
Cambiar el aceite lubricante del motorreductor (cada 3000 horas)												
Cambiar chumaceras (cada 15000 horas)												
Cambio de disco de embrague (según funcionamiento)												
Realizar limpieza completa del equipo												

Tabla 11: Plan de mantenimiento preventivo (mantenimiento anual general).

Los repuestos de los elementos tecnológicos, como chumaceras, aceite entre otros se pueden encontrar en la tabla 6, de gastos realizados en el mantenimiento integral del equipo.

6.6. Guía de problemas y posibles soluciones.

Problema	Avería	Posible solución
El cilindro patina	Disco desgastado	Cambiar disco de embrague, o revestir nuevamente el disco, dejando bien alineada la maquina y embrague.
	Desalineación de la maquina	Aflojar los pernos y alinear auxiliándose nivel o escuadra el motorreductor con el embrague y cilindro
	Fractura de soldaduras	Desmotar el equipo y realizar nuevamente las soldaduras
	Suciedad	Limpia completamente el disco
La tapa del cilindro no sella bien	Se aflojo el sello	Quitar y volver a poner el cello con nuevo pegamento
La maquina no arranca	Se desconecto línea eléctrica	Revisar cuidadosamente el sistema eléctrico y conectar nuevamente la línea
Maquina forzada	Aceite lubricante en mal estado	Desmotar el motorreductor y quitar el tapón de drenado de la parte inferior y drenar el aceite, alinear bien el equipo al armarlo nuevamente.
NOTA: SI VA A DESARMAR EL EQUIPO, MARCAR PARA NO TENER PROBLEMAS CON LA DESALINEACIÓN.		

Tabla 12: Guía de posibles problemas y soluciones.

6.7. Ficha técnica.

Debido a que el equipo no contaba con ningún dato o información, se elaboró la ficha técnica.

En la ficha técnica el dato más relevante es la capacidad de carga, la velocidad del tambor, contador, potencia del motor, entre otros.

TARJETA MAESTRAL DEL EQUIPO			
EQUIPO	Maquina de abrasión de los ángelos	UBICACIÓN:	Laboratorio de Materiales y Suelos Julio Padilla Méndez
FABRICANTE	Gran Bretaña		
MODELO	M - 500	CÓDIGO DE INVENTARIO:	
MARCA	SOILTEST. INC		
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
PESO	1 ton	DIMENSIONES	1,15mX1,15m
NOMBRE:	ENGINEERING TEST EQUIPMENT	SOILTEST. INC 2205 LEE ST. EVANSTON, ILL U.S.A.	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		FOTO DEL EQUIPO	
<p>Capacidad = 5000 g de agregado y 5000 de carga (esferas) Velocidad del tambor = 33 rpm Contador = Mecánico (programado a 500 vueltas) Motor = 1Hp Operación = 110 VAC - 220 VAC / 60 Hz. Lubricante = SAE GL-1 140</p>			

Tabla 13: Tarjeta maestra del equipo.

6.8. Hoja de vida.

Este formato es de suma importancia, ya que mediante este se obtiene un control de las actividades realizadas en este equipo.

Cabe recalcar que una vez plasmada la información en dicho formato, se podrán tomar decisiones factibles para la prolongación de la vida útil.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

A lo largo del desarrollo del trabajo monográfico se llegaron a las siguientes conclusiones.

- ✓ Se logra el mantenimiento integral al molino de bolas mediante la restauración de sus componentes para que el equipo permanezca en óptimas condiciones durante su funcionamiento.
- ✓ Se realizó un diagnóstico exhaustivo de la máquina de abrasión de los ángeles, de los sistemas que la conforman y de todos los elementos tecnológicos para conocer a detalle cuales eran las fallas y así proceder al mantenimiento integral.
- ✓ Se propusieron soluciones de acuerdo al diagnóstico realizado dando como resultado la ejecución de un mantenimiento correctivo integral.
- ✓ Se realizaron las pruebas correspondientes para verificar el buen estado de la máquina. Sin la necesidad de ser trasladado a una empresa especialista
- ✓ Se plasma el plan de mantenimiento preventivo integral del equipo.
- ✓ Se realizó el mantenimiento integral con una inversión de C\$ 7,575.8 córdobas.

Recomendaciones.

A lo largo del desarrollo del trabajo monográfico se identificaron las siguientes recomendaciones:

- ✓ Para utilizar la Máquina de Abrasión de los Ángeles siempre consultar previamente al encargado.
- ✓ Se debe de seguir el plan de mantenimiento descrito en el documento para evitar posibles fallos en la máquina.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara Valladares, J. R. (2008). *Diseño Práctico de un molino de bolas [Tesis Profesional Ingeniero Mecánico]*. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.
- Álvarez García, E. (1999). *Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación [Tesis de Doctorado]*. Universidad Central de las Villas, Santa Clara.
- Ángulo García, F. X. (2005). *MOLINO PENDULAR DE 8000 kg/h. Departamento de Ingeniería Mecánica [Tesis Profesional Ingeniero Mecánico]*. Escuela Técnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona. España.
- Arenas Mancilla, E., & León Pico, G. J. (2012). *Ejes y árboles manual de diseño*. Universidad Industrial de Santander.
- Dueñas Reyes, J. D., & Gonzales Ballesteros, V. E. (2016). *Diseño y construcción de un molino de bolas para la pulverización de arcillas en el laboratorio de materiales y catálisis de la universidad de Córdoba [Tesis Profesional Ingeniero Mecánico]*. Universidad de Córdoba, Córdoba.
- FBJ . (2007). *PILLOW BLOCK BASIC STRUCTURE*.
- Gutiérrez Gutiérrez, O. A. (2011). *Estudio para calibración de molinos [Tesis Profesional Ingeniero Civil Mecánico]*. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Mafurro González, E., & Castillo Pedrosa, J. (2010). *Instalaciones Eléctricas Básicas*. España: McGraw-Hill.
- Molinos de bolas. (s.f.). *Molino de bolas*. Obtenido de <https://molinodebolas.com.mx/>
- Morote Arias, M. (19 de noviembre de 2015). *ENSAYO DE ABRASIÓN*. Obtenido de Slideshare: https://es2.slideshare.net/MaxMoroteArias/ensayo-de-abrasion?from_action=save

- Moscardó Palop, A. (2017). *Diseño y Cálculo de un reductor de velocidad con relación de trasmisión 5,82 y par máximo a la salida de 1771 N/m [Grado de Ingeniera Mecánica Trabajo Fin de Grado]*. Valencia.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.
- Muños Abella, B. (s.f.). *Mantenimiento industrial [Tesis Profesional Ingeniería Mecánica]*. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Myszka, D. H. (2012). *Máquinas y Mecanismos* (Cuarta ed.). México: Pearson Educación.
- NSK. (2009). *Rodamientos NSK(Cat.No.E1102c)*. Alemania.
- Paramo, J. (14 de abril de 2020). *Selección del tipo de aceite y cálculo de viscosidad para lubricación de engranajes industriales sometidos a alta carga*. Obtenido de Revistaimg: <https://www.revistaimg.com/seleccion-del-tipo-de-aceite-y-calculo-de-viscosidad-para-lubricacion-de-engranajes-industriales-sometidos-a-alta-carga/>
- Peña Zayas, R. Y. (2015). *Lubricación Hidrodinámica en el reductor de velocidad modelo TT 850 E CHEVRON perteneciente a la planta secadero de ECG [Tesis Profesional Ingeniero Mecánico]*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Moa.
- SAP Holdings. (2019). *Máquina de Abrasión de los Ángeles*. Obtenido de SAP HOLDINGS: <https://www.sapholdings.lk/product/los-angeles-abracion-machine/>
- Scheerer Engineering. (s.f.). *Molino de martillo [imagen]*. Obtenido de SCHEERER ENGINEERING: <http://estada.eu/produkt/molino-de-martillo-hm-50/?lang=es>
- Tercero Aldana, C. (2009). *Viscosidad*.

Torroella, J. F. (1979). *Manual de Mantenimiento y Reparación de Equipos Industriales*. La Habana, Cuba: Orbe.

IX. ANEXOS.

ANEXOS A. COTIZACIONES, FACTURAS.

HULES TODO VEHICULO

Repuestos de Hule, Ensamble, Articulos Industriales
Lubricantes para Vehiculos.



TRABAJAMOS EL ARTÍCULO CONFORME MUESTRA
Luis Fernando Castillo F.



Dirección: Puente Larreynaga, 3c. Abajo, M/D.
Tel.: 2249-4521 * Cel.: 8455-1263

RUC: 0012106580007U

DÍA	MES	AÑO
08	04	2021

PROFORMA

Nº 0030

CLIENTE:

Universidad de Ingeniería (UNI)

DIRECCION:

CANT.	DESCRIPCION	P.UNIT.	TOTAL
1	Suparte cuadrado		
	2 pies X 3/4 Gama	3000	3000
	CUOTA FIJA		

GRACIAS POR SU COMPRA

TOTAL CS

3000 =

NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES EN PARTES ELÉCTRICAS



Hernandez Nelson

31083

INDUSTRIAL EL BUEN FIERRO S.A.

08:39:56a.m.

NACHI

IKO

AGUJA



Link-Belt



RUC: J0310000356440

MANGUERAS HIDRAULICAS

Dirección principal: Del Arbolito 1 1/2 C. Arriba
Teléfono: 2266 8377 • Fax: 2268 2188
Managua, Nicaragua

Bandas Industriales, Balineras y Chumaceras, Retenedores con Pistas, Cadenas y Sprockets, Balineras Tensoras para Correas de Tiempo

INA FAG RODAMIENTOS INDUSTRIALES MADE GERMANY

BALINERAS INDUSTRIALES SNR MADE FRANCE

NSK Bearing

DODGE

CONTADO

CREDITO

DIA'	MES	AÑO
18	2	2021

Nombre: ALEXANDER RODRIGUEZ

99999

Dirección: MANAGUA

Tel:0

CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
2.00	UCP20824	CHUMACERA FBJ 1-1/2	910.07	1,820.14

Industrial El Buen Fierro S.A. ENTREGADO

INDUSTRIAL EL BUEN FIERRO S.A. ENTREGADO

Fecha: _____

Firma: _____

Tel: 2266 8377

2266 7000 - 2266 8377

LA FACTURA VENCE EN 30 DIAS, SI NO CANCELA SE LE CARGARA EL 2% MENSUAL, MANTENIMIENTO DE VALOR, ADEMAS DE CUALQUIER COSTO QUE SE INCURRA PARA LA CANCELACION DE LA FACTURA.

SUB - TOTAL	1,820.14
DESCUENTO	182.01
SUB - TOTAL	1,638.13
1%	0.00
2%	0.00
I.V.A.	245.72
TOTAL CS	1,883.85

REVISAR SU MERCADERIA, NO ACEPTAMOS DEVOLUCIONES UN MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y TRES CÓRDOBAS CON 85/100

FACTURA N° 31083

Formas La Calle Tel: 2311-6670

IMPRESO EN NICARAGUA - P.R. Simplemente La Salle Ruc: J0910000035418 ANMP12002710-0209 O.T. 11457 - 13-01-2021 - 10.000(3) - 30.001-40.000 - ACT/01/501/2021



Sucursal Mayoreo
Sandino Milton



RUC: J0310000356440

INDUSTRIAL EL BUEN FIERRO, S.A.

09.14.28a.m

9499 MANGUERAS HIDRAULICAS

• Dirección: De los semáforos del Mayoreo,
200 mts al lago • Teléfono: 2263 0149
email: fierromayoreo@hotmail.com ni / Managua, Nicaragua
• Bandas Industriales, Balineras y Chumaceras, Retenedores
con Pistas, Cadenas y Sprockets, Balineras Tensoras para
Correas de Tiempo

INAFAG
RODAMIENTOS INDUSTRIALES
MADE GERMANY

SNR
BALINERAS
INDUSTRIALES
MADE FRANCE

NSK
Bearing

DODGE

DIA	MES	AÑO
2	3	2021

**NACHI
IKO
AGUJA**

Link-Belt

CONTADO

CREDITO

99999

Nombre: RICARDO JOSE RIOS LAGUNA

Dirección: MANAGUA

CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1.00	50026	BANDA SJ GATES	878.31	878.31

Industrial El Buen Fierro S.A.
Sucursal Mayoreo
ENTREGADO
Fecha: _____
Firma: _____

INDUSTRIAL EL BUEN FIERRO S.A.
CANCELADO
TEL.: 2263-0149
Sucursal Mayoreo

LA FACTURA VENCE EN 30 DIAS, SI NO CANCELA SE LE CARGARA EL 2% MENSUAL, MANTENIMIENTO DE VALOR, ADEMAS DE CUALQUIER COSTO QUE SE INCURRA PARA LA CANCELACION DE LA FACTURA.

REVISAR SU MERCADERIA. NO ACEPTAMOS DEVOLUCIONES

UN MIL DIEZ CÓRDORAS CON 8/100

FACTURA N° 09499

SERIE "A"

SUB - TOTAL	878.31
DESCUENTO	
SUB - TOTAL	878.31
1%	0.00
2%	0.00
I.V.A.	131.75
TOTAL CS	1,010.06

ANEXOS B. FOTOS.



Máquina de Abrasión de los Ángeles antes del mantenimiento integral.



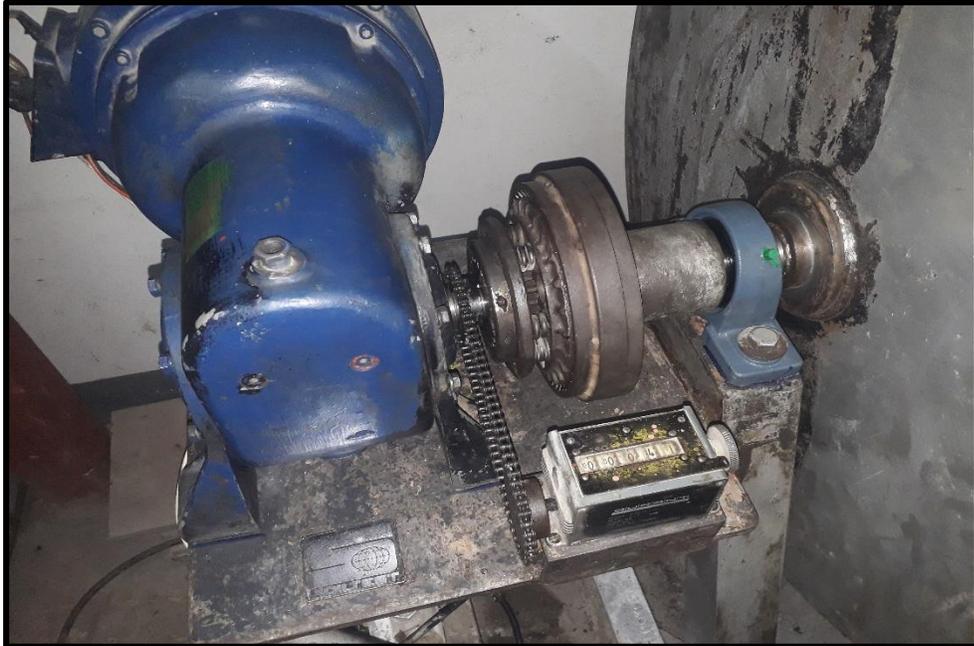
Máquina de Abrasión de los ángeles desmontada.



Estado en que se encontró el sistema eléctrico.



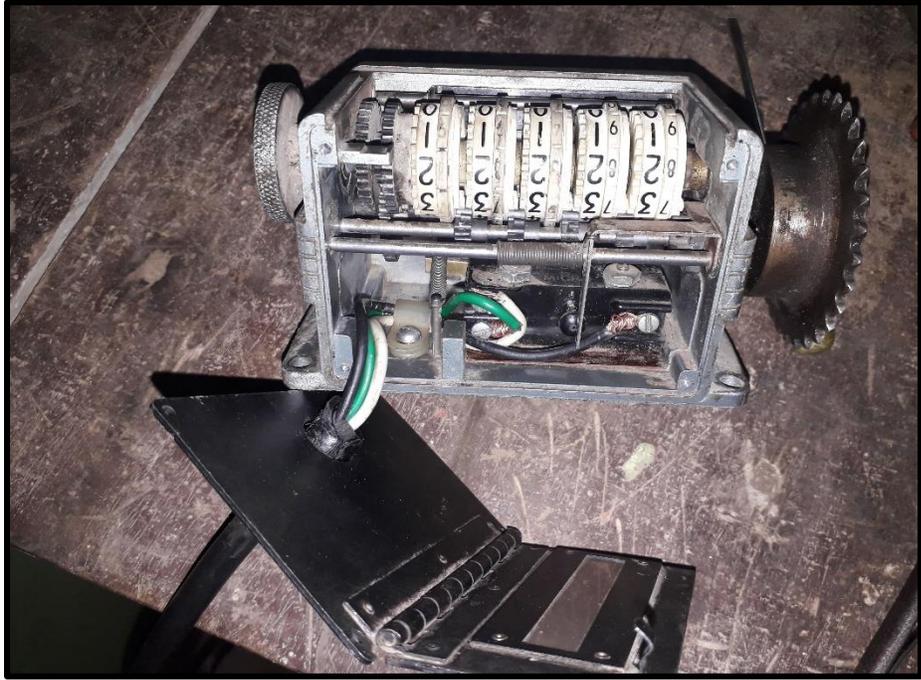
Limpeza el sistema eléctrico con limpia contacto.



Pruebas de funcionamiento de las chumaceras.



Inicio de remoción de la pintura.



Reparación del sistema eléctrico del cuentavueitas.



Remoción total de la pintura.



Pintura del bastidor y cilindro.



Pintura del motorreductor.



Estado final de la Máquina de Abrasión de los Ángeles después del mantenimiento integral.