



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN
PARA UNA PLANTA PRODUCTORA DE ARENA SÍLICE A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE
AMBIENTE, CONDICIONES DE TRABAJO Y SELECCIÓN DE LUBRICANTE PARA LOS
ELEMENTOS RODANTES**

Luis Fernando Pineda Alvizures

Asesorado por el Ing. Javier Fidelino García

Guatemala, octubre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN
PARA UNA PLANTA PRODUCTORA DE ARENA SÍLICE A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE
AMBIENTE, CONDICIONES DE TRABAJO Y SELECCIÓN DE LUBRICANTE PARA LOS
ELEMENTOS RODANTES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS FERNANDO PINEDA ALVIZURES
ASESORADO POR EL ING. JAVIER FIDELINO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADORA	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
EXAMINADORA	Inga. Nathalie López Torres
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN
PARA UNA PLANTA PRODUCTORA DE ARENA SÍLICE A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE
AMBIENTE, CONDICIONES DE TRABAJO Y SELECCIÓN DE LUBRICANTE PARA LOS
ELEMENTOS RODANTES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 29 de abril de 2019.

Luis Fernando Pineda Alvizures

Ref. AGS-MGIPP-013-2019

Guatemala, 29 de abril de 2019

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el **Diseño de Investigación** del estudiante **Luis Fernando Pineda Alvizures** carné número **201020695**, quien optó por la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento**.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, se firma y sella la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular,

Atentamente,

Mtro. Ing. Javier Fidelino García T.

Asesor

Javier Fidelino García Tetzaguic
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 14190

"Id y Enseñad a Todos"

Doctora Inga. Alba Maritza Guerrero S.

Coordinador de Área
Gestión y Servicios



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí

Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



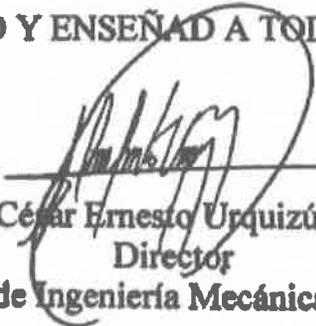




EEP-EIMI-071-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN PARA UNA PLANTA PRODUCTORA DE ARENA SÍLICE A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE AMBIENTE, CONDICIONES DE TRABAJO Y SELECCIÓN DE LUBRICANTE PARA LOS ELEMENTOS RODANTES**, presentado por el estudiante universitario **Luis Fernando Pineda Alvizures**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2020





DTG. 319.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN PARA UNA PLANTA PRODUCTORA DE ARENA SÍLICE A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE AMBIENTE, CONDICIONES DE TRABAJO Y SELECCIÓN DE LUBRICANTE PARA LOS ELEMENTOS RODANTES**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Fernando Pineda Alvizures**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2020

AACE/asga



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por dotarme de voluntad e inteligencia, a él todo honor y toda gloria.
Mis padres	Rigoberto Pineda y Carmen Alvizures de Pineda, porque sus hijos hemos sido siempre su prioridad.
Mi esposa	Lourdes Cabrera de Pineda, por ser mi compañera e impulso.
Mis abuelos	Paternos y maternos, a los que están y a los que ya no pueden acompañarnos, espero enorgullecerlos.
Mis hermanos	Rigoberto, Mariela, Juan, Victoria, Manuel y Gabriela Pineda, porque forman parte de este logro.
Mis amigos	Kevin López, Zachary Solís, Sergio Aguilar, Diego Morataya, Andrés Rodríguez, y otros muchos que no alcanzo a mencionar. Por su apoyo y amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por la vida, la historia que me ha regalado y cada lección que me ha permitido superar, por acompañarme y no dejarme claudicar.
- Mis padres** Por enseñarme que siempre se puede salir adelante, que siempre hay algo que se puede hacer en medio de las dificultades y que Dios mediante siempre se puede seguir en el camino honesto.
- Mi esposa** Por impulsarme, por acompañarme en mis buenos y malos momentos, por su amor.
- Mis hermanos** Porque cada uno me ha nutrido a través de sus cualidades: solidaridad y responsabilidad, Alegría, determinación y asertividad, empatía, resiliencia y elocuencia, adaptabilidad; porque me han apoyado y dado un empujón en momentos clave.
- Mis amigos** Por todos los momentos compartidos, que, aunque la mayoría fueron buenos, no sería una amistad real sin tonos de tristeza, las carcajadas y las lágrimas que compartimos, porque me

apoyaron y enseñaron, porque nos permitimos avanzar juntos.

Mi asesor

Msc. Ing. Javier Fidelino, por ayudarme desinteresadamente.

Mis educadores

A todos los profesionales que compartieron su conocimiento y experiencia conmigo, porque no cualquiera posee el don de la enseñanza.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por brindarme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por darme la oportunidad de egresar como profesional de esta gloriosa Facultad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
3.1. Descripción del problema	11
3.2. Delimitación	12
3.3. Formulación del problema	13
3.3.1. Pregunta central.....	13
3.3.2. Preguntas auxiliares	14
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS.....	19
5.1. General.....	19
5.2. Específicos	19
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	21

7.	MARCO TEÓRICO	23
7.1.	Mantenimiento.....	23
7.1.1.	Mantenimiento correctivo.....	24
7.1.2.	Mantenimiento preventivo.....	26
7.1.3.	Mantenimiento predictivo	27
7.2.	Fricción	28
7.3.	Desgaste.....	29
7.3.1.	Desgaste por fatiga de contacto	29
7.3.2.	Desgaste abrasivo.....	30
7.3.3.	Desgaste por cavitación	32
7.3.4.	Desgaste adhesivo	33
7.3.5.	Desgaste erosivo.....	34
7.3.6.	Desgaste por <i>fretting</i>	35
7.3.7.	Desgaste por deslizamiento	36
7.4.	Lubricación.....	36
7.4.1.	Lubricante.....	38
7.4.2.	Clasificación internacional de los lubricantes.....	38
7.5.	Indicadores de clase mundial	41
7.5.1.	Tiempo medio entre fallas	41
7.5.2.	Tiempo medio para reparación	42
7.5.3.	Tiempo medio para la falla	43
7.5.4.	Disponibilidad de los equipos	44
7.6.	Análisis de Pareto	44
8.	PROPUESTA DE INDICE DE CONTENIDO.....	49
9.	MÉTODOS Y TÉCNICAS	51
9.1.	Tipo de estudio.....	51
9.2.	Diseño de la investigación.....	51

9.3.	Variables	52
9.4.	Indicadores	52
9.5.	Fases de la metodología.....	53
10.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	55
11.	CRONOGRAMA.....	57
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	59
12.1.	Financiamiento	59
13.	REFERENCIAS	62

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	22
2.	Rodamiento con desgaste por fatiga de contacto.....	30
3.	Teja de motor con desgaste abrasivo.....	31
4.	Impulsor de bomba con desgaste por cavitación.....	32
5.	Pista de cojinete con desgaste adhesivo.....	33
6.	Impulsor de bomba con desgaste erosivo	34
7.	Pista interna de cojinete con desgaste por <i>fretting</i>	35
8.	Rodamientos con desgaste por deslizamiento	36
9.	Prueba para clasificación de grasas NLGI.....	40
10.	Grafica ejemplo de diagrama de Pareto	47
11.	Cronograma de actividades	57

TABLAS

I.	Clasificación ISO de los aceites industriales	39
II.	Clasificación de las grasas del NLGI	41
III.	Ejemplo de datos para elaboración del diagrama de Pareto	47
IV.	Recursos necesarios.....	60

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cst	Centistokes
DISP	Disponibilidad
°C	Grados Celsius
HCAL	Horas calendario
HROP	Horas de operación del equipo
HTMC	Horas totales de mantenimiento correctivo
N	Número de ítem
NTMC	Número total de fallas
%	Porcentaje
TMEF	Tiempo medio entre fallas
TMPF	Tiempo medio para la falla
TMPR (MTTR)	Tiempo medio para reparación

GLOSARIO

Canteras	Sitio de donde se saca piedra, greda u otra sustancia análoga para obras varias.
Elementos rodantes	Uno de los elementos fundamentales que componen un rodamiento, estos son los que constituyen el movimiento (en forma de rodillos o bolas).
Fallas	Se refiere a los problemas que un equipo Mecánico/eléctrico puede presentar.
Flotación	En un concepto flotación es un proceso fisicoquímico de separación de minerales o compuestos finamente molidos, basados en las propiedades superficiales de los minerales.
Indicador	Dato o información que sirve para conocer o valorar las características y la intensidad de un hecho o para determinar su evolución futura.
ISO	Internacional Standards Organization
N.L.G.I.	National Lubricating Grease Institute

Sílice

Óxido de silicio, o dióxido de silicio, es un compuesto de silicio y oxígeno, utilizado principalmente para fabricación de vidrio, cerámica y cemento.

Zaranda

También se llama criba. En uso industrial es una maquina compuesta por un cajón de estructura metálica y un sistema mecánico/eléctrico que le permita poseer un movimiento vibratorio, una malla en el fondo permite separar de forma mecánica tamaños diferentes de un material a granel.

RESUMEN

Durante el desarrollo de este proyecto se sientan las bases para realizar un análisis del sistema de lubricación de la planta en evaluación. Se ha realizado una investigación teórica de los conceptos básicos más importantes para poder desarrollar el proyecto, entre ellos: mantenimiento, tipos de mantenimiento, desgaste, tipos de desgaste, lubricación e indicadores de mantenimiento.

Se expone el problema y se determina que un sistema de lubricación ayudara a la planta a disminuir sus tiempos muertos y reducir los costos de mantenimiento.

En la búsqueda de antecedentes de la investigación se encontraron investigaciones relacionadas, en alguna medida, con el caso que se expone de la planta productora de arena.

Sobre la base de las investigaciones que conforman los antecedentes, se determina el proceso para desarrollar el proyecto de mejora en el sistema general de lubricación de la planta productora de arena sílice.

Para determinar las prioridades por analizar, por su impacto en tiempos muertos y costo, se aplicará el sistema de Pareto a la información disponible o, en caso contrario, se realizarán una observación e investigación de campo.

El proceso determinado incluye planteamiento, investigación, antecedentes, análisis de datos disponibles e investigación de campo, realización de paretos para determinar prioridades, y definición de procedimientos bien establecidos

para los equipos que resulten ser prioridad derivado de paretos y equipos críticos por concepto del propio proceso.

1. INTRODUCCIÓN

El ser humano, en su constante evolución, ha aprendido a utilizar los recursos naturales, fauna, flora y rocas minerales. Dependiendo de su composición las rocas minerales se someten a procesos para obtener materia prima útil en sinfín de aplicaciones. De esa materia prima se fabrican, desde herramientas metálicas hasta piezas cerámicas, útiles en la vida cotidiana del ser humano.

Cuando se consolidó la corteza terrestre se formaron rocas minerales concentradas en distintas secciones territoriales. Algunas regiones son explotadas para obtener determinadas materias primas. Estas son útiles en la fabricación de productos finales específicos.

La arena sílice que se encuentra en Guatemala se utiliza en filtros, canchas sintéticas, limpieza de piezas por abrasión, entre otras. Principalmente, se usa como materia prima para fabricar envases de vidrio utilizados en industrias guatemaltecas y extranjeras. Con ello se promueve el desarrollo del país.

El proceso para obtener arena sílice, consiste en extraer cuarzo de una cantera. El mineral es transportado a la planta para lavarlo, molerlo, separar la sílice del resto de componentes a través de precipitación (proceso de flotación), secar, separar granulométricamente y embarcar para que salga de la planta hasta su destino final. El proceso requiere el apoyo de maquinaria bastante común como bandas, tornillos sinfín, molinos, cribas, entre otros. A esta maquinaria se le aplican cuidados especiales debido al entorno hostil que genera la arena sílice, en diferentes etapas del proceso.

Para la planta productora de arena es prioritario un cambio de reacción a prevención en el sistema de mantenimiento. Cambiar es un proceso que requiere la toma de decisiones y acciones en diferentes ámbitos. Establecer un sistema de lubricación será uno de los pasos principales a tomar para iniciar el proceso de cambio y enfoque que el departamento de mantenimiento requiere.

La industria de los lubricantes (grasas y aceites) está en constante cambio. Permanece en la búsqueda de disminuir la fricción y los diferentes tipos de desgaste que la fricción ocasiona en los equipos de una industria. La búsqueda de mejora continua ha llevado a desarrollar lubricantes que a través de variados aditivos se van adaptando a las diferentes condiciones de las diferentes industrias. Para aprovechar al máximo un lubricante es importante determinar asertivamente los ambientes y condiciones de trabajo en los que se aplicaran.

Cada grupo de equipos separado por partes del proceso posee características propias. Cada equipo perteneciente a un grupo posee otras tantas características específicas. Es importante tomar en cuenta que dos equipos del mismo tipo pueden estar ubicados en diferentes áreas lo que significa que su entorno y ambiente cambia. Las diferencias en el entorno y ambiente implican variaciones en el sistema de lubricación, es decir, dos estudios de lubricación totalmente distintos.

El estudio por realizar determinará y propondrá los métodos para ejecutar una lubricación eficiente a la maquinaria y equipo de la planta. Un sistema de lubricación brinda a los equipos una mayor durabilidad y es el cimiento sobre el cual puede edificarse un programa de manteniendo proactivo y no reactivo.

En el mundo han surgido cambios relacionados con la conciencia social y su aplicación al medio ambiente. Esto responde al evidente calentamiento global y agotamiento de recursos. Es necesario desarrollar un plan del manejo de desechos y residuos relacionado con la lubricación. Se debe considerar que la mayoría de los lubricantes utilizados en la planta arenera son lubricantes a base de hidrocarburos. Si no se manejan adecuadamente pueden contaminar el medio ambiente por contaminación del manto freático.

En el capítulo uno se presentará el marco teórico relativo a mantenimiento. Se definirán tres tipos diferentes: mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. Se enfatizará el mantenimiento preventivo que es el tipo mayormente relacionado a la lubricación. Otros conceptos importantes que se tratarán son: fricción, desgaste y sus diferentes tipos. Se dará una breve descripción de los indicadores de mantenimiento, los cuales serán importantes en el futuro como marco de referencia, que permitirá visualizar los cambios que se generaran, derivados de la aplicación del sistema de lubricación propuesto.

En el capítulo dos se describirá la metodología y los procesos utilizados desde el inicio de la investigación hasta llegar a la propuesta del plan de lubricación.

En el capítulo tres se describirá la situación de la lubricación en la planta productora de arena sílice. Se delimitan las áreas según su función o participación en el proceso productivo, que coincide con la distribución geográfica de los equipos. Se brinda una descripción de las condiciones de ambiente en cada área y se realiza un inventario de equipos por cada una. Por otra parte, se determinan los puntos de lubricación en cada equipo.

Se recopilarán datos importantes para el desarrollo de una propuesta de sistema de lubricación. Debe evaluarse la frecuencia de lubricación a cada equipo, el tipo de lubricante utilizado, metodología de la aplicación de lubricantes, manipulación, almacenamiento y se determinará el manejo de desechos provenientes de la lubricación.

En el capítulo cuatro se analizarán los datos obtenidos en el capítulo anterior. Con los datos se efectuará la determinación de las fallas más comunes y las de mayor impacto a la producción. Se identificarán puntos de mejora, características de lubricante requeridas y se determinará si la manipulación, manejo de lubricantes y desechos de estos es la adecuada.

En el capítulo cinco se formulará una propuesta de sistema de lubricación que permita hacer más eficiente la lubricación de la maquinaria. Para esto se hará uso de la información recopilada en el capítulo cuatro. Se enlistarán las características requeridas para los lubricantes que deben utilizarse en cada área. Se determinará si los lubricantes utilizados son adecuados y de no serlo, se proponen lubricantes aptos para las condiciones de trabajo de la maquinaria. Se propondrán frecuencias de relubricación y se realizará una segunda división de equipos basado en criticidad del proceso, para crear un criterio de prioridades en la posterior implementación del sistema propuesto. Además, se realizará una propuesta para la manipulación y desecho de los residuos provenientes de la lubricación.

2. ANTECEDENTES

La planta productora de arena sílice inicia labores en el año 1975 con un molino en funcionamiento. En el transcurso de los años la planta ha crecido y opera con tres molinos. El aumento de producción ha requerido la modificación de equipos como bandas, zarandas, tolvas, entre otros.

Las modificaciones que requirió la planta fueron realizadas según el presupuesto y espacio permitido. Muchos equipos no cuentan con diseños de fábrica y sus estructuras son muy diferentes en dimensiones a las originales. Por esta razón no puede adquirirse planes de mantenimiento basados en manuales o diseño de equipos.

La planta antes del año 2014 laboraba con dos turnos de lunes a viernes en un horario total de seis de la mañana a diez de la noche. A partir del año 2014, la planta produce veinticuatro horas al día, siete días a la semana. Este cambio radical debido al aumento de producción evidencia que la planta ha tenido un mantenimiento deficiente durante años. La producción continua se ve constantemente interrumpida por paros no programados, debido a fallas de los equipos.

Cualquier persona que labore en el campo del mantenimiento sabe que la vida de cualquier mecanismo depende en gran parte de una lubricación óptima. Por tal razón, la falla constante de rodamientos hace cuestionar la eficiencia de lubricación en la planta y motiva el planteamiento de una propuesta de un sistema de lubricación que permita alargar la vida útil de los rodamientos.

Para desarrollar el plan de mantenimiento que se pretende, proponer se ha estudiado casos similares trabajados con anterioridad. Estos casos serán utilizados como referencia debido a sus similitudes en diferentes aspectos con la planta arenera.

Rodríguez (2006) realizó un estudio a partir de un sistema de lubricación que fue implementado en la planta de análisis hacía ya varios años. En este sistema, cada equipo contaba con cartas de lubricación. Sin embargo, el pasar de los años y modificaciones realizadas en la planta que no fueron actualizadas al sistema de lubricación establecido, fueron dejando atrás el tecnicismo. El sistema fue volviéndose papeleo por requisito sin un peso o trasfondo real que aporte al mantenimiento preventivo.

Rodríguez describe el sistema de lubricación como un sistema empírico. Se determina luego del estudio técnico correspondiente que el 90 % de los equipos debe cambiar su sistema de lubricación en cuanto a frecuencia y cantidad de lubricante. En la mayoría de los casos, se determinó que lo requerido era aplicar menores cantidades de lubricante y mayores los lapsos de lubricación, lo que se traduce en ahorro para la empresa.

Rodríguez actualiza el sistema de lubricación de la planta Minera Loma de Níquel C.A. mejorando los registros que serán tomados como ejemplos para el trabajo por realizar. En las hojas de los equipos aparecen datos importantes como: número de equipo, puntos de lubricación, tipo de rosca de boquilla para engrasar, tipo de grasa que utiliza, tiempo de relubricación, entre otros datos de interés para quien requiere adquirir información del equipo.

Otra referencia importante por tomar en cuenta es el cronograma de lubricación. El cronograma indica las rutinas de lubricación en concordancia con los tiempos de relubricación establecidos para cada equipo.

La planta arenera donde se realizará el estudio no cuenta con un sistema documental que permita dar trazabilidad a la lubricación. La planta carece de historiales de mantenimiento y planes bien establecidos para los equipos. El mantenimiento de la planta se realiza una vez cada dos semanas por área. Los equipos paran ocho horas, se realizan inspecciones y se corrigen los problemas detectados. Las rutinas de lubricación han sido establecidas tiempo atrás pero no se cuenta con un registro de estas.

Por las razones descritas en el párrafo anterior, el trabajo de Rodríguez será útil porque el problema planteado es similar al que se presenta en la planta arenera. El proyecto de Ramírez también es una referencia clave porque el proceso productivo tiene similitud con el de la planta arenera.

Salguero (1996) elaboró un sistema de lubricación basado en el proceso y dividió grupos a partir de las características de los equipos. Los grupos se crean para llevar a cabo una evaluación. Luego, se crean rutinas de lubricación para los equipos que carecen de la recomendación o indicación del fabricante. Salguero determinó las características requeridas del lubricante, estableció rutinas de lubricación y capacitó al personal. Creó conciencia acerca de la importancia de un sistema de lubricación bien implementado.

Salguero presenta de manera clara el procedimiento que se ha seguido para realizar su proyecto y este se utilizará como referencia. El proceso que se plantea para efectuar la propuesta del plan de lubricación para la planta arenera es muy similar al procedimiento empleado por Salguero. En el planteamiento del plan de

lubricación se plantea dividir los equipos en grupos cuyas características de trabajo son similares para buscar lubricantes que sean capaces de soportar las condiciones de trabajo que se tienen en la planta arenera. Como consecuencia de las condiciones variadas de los equipos en los procesos diferentes de la planta, un sistema estándar no es aplicable. Cada área debe estudiarse según sus propias características, como lo realizado en el trabajo de Salguero.

Díaz (2006) elaboró una síntesis de metodologías y características que se deben considerar al plantear la gestión de lubricación para diferentes sistemas mecánicos. Es una guía muy útil para actualizar, proponer o implementar un sistema de lubricación basado en métodos teóricos. Métodos que se utilizan como parámetros para las pruebas físicas y de funcionamiento. Las pruebas permiten definir finalmente la metodología óptima de lubricación para diferentes puntos en sistemas mecánicos.

Díaz realiza un documento capaz de guiar al gestor de mantenimiento en la selección y aplicación de lubricantes. El documento que Díaz presenta es un sumario de consideraciones a tomar al momento de seleccionar lubricantes, almacenarlos, manipularlos, aplicarlos, crear rutinas, entre otros.

El proceso que Díaz plantea será útil en el desarrollo de la propuesta del plan de lubricación para la planta arenera porque considera la vida de los lubricantes desde su selección hasta su recolección. Al crear un plan de lubricación para la planta arenera, se pretende desarrollar rutinas de lubricación y apoyar al usuario para que realice el proceso completo de manera adecuada. Por esta razón el trabajo de Díaz será una herramienta clave.

Mancilla (2004) presenta un reporte detallando del procedimiento empleado para diseñar e implementar un plan de lubricación para una planta que fabrica

fibra de vidrio. La metodología utilizada consiste en determinar las condiciones de trabajo de los equipos de la planta. Con esta información se establecen las características de los lubricantes requeridos. En la búsqueda de homologar los lubricantes y proveedores se realizaron visitas a la planta de diferentes proveedores de lubricantes para presentar sus propuestas. Para contar con un único proveedor que satisfaga las necesidades de la planta (referente a lubricantes)

Los proveedores presentan propuestas de lubricantes, servicios, asesoría y todo un paquete de monitoreo. La idea es que la planta mantenga el control y verifique la efectividad de la implementación de los lubricantes y rutinas de lubricación. Luego de seleccionar un proveedor basado en criterios que él explica en su tesis, realiza las cartas de lubricación, los cálculos que determinen la relubricación en tiempo y cantidad de lubricante requerida. El proveedor seleccionado apoya y acompaña la implementación del plan de lubricación obtenido.

Mancilla aporta algo muy importante a la creación del plan de mantenimiento y es el involucramiento de los proveedores. Con esta estrategia la planta se beneficia porque ofrecerá contratos de trabajo a mediano o largo plazo. Puede ser un punto muy importante en el planteamiento del sistema de lubricación que pretende crearse para la planta arenera. Los proveedores pueden aportar mucho conocimiento y ofrecer apoyo en el control de la implementación, de manera que si alguno de los puntos planteados, al momento de la ejecución no obtienen los resultados deseados, el proveedor puede apoyar en el reencase de dicho punto asegurando el éxito de la ejecución del sistema propuesto.

Acosta (2006) elabora un plan para el almacenamiento, manejo y manipulación del recurso lubricante. A través de su estudio determina métodos incorrectos de almacenamiento y manipulación de recipientes de productos lubricantes, alta probabilidad de confusión de lubricantes y aplicaciones incorrectas. Acosta propone un área bajo techo y de otras características que permitan mantener los lubricantes en óptimas condiciones. Propone para mitigar riesgos: utilizar herramienta y equipo adecuado para la aplicación de lubricantes, etiquetas especiales para los lubricantes que determinen el tipo de aceite, el grado SAE o NLGI en caso de grasas, sus equivalentes, y el mismo símbolo en cada equipo que requiera de la aplicación del respectivo lubricante. Además, en cada equipo un símbolo extra que determine la frecuencia de lubricación del equipo. En síntesis, Acosta propone un sistema que permita asegurar la correcta implementación y manejo de lubricantes para asegurar el éxito de cualquier sistema de lubricación implementado.

La implementación de nuevas formas de hacer algo siempre acarrea problemas de acoplamiento. La resistencia al cambio o el desconocimiento del nuevo sistema, puede ser un punto negativo que perjudique seriamente la implementación de la propuesta del sistema que se plantee. Una de las formas de mitigación es la capacitación y concientización del personal y otra forma es la identificación clara de elementos de manera que se evite la confusión del personal.

El nivel académico de las personas que laboran para la planta arenera es bajo, pocos tienen concluida la primaria. El sistema de identificación que plantea Mancilla será útil para asegurar la implementación de la propuesta de sistema de lubricación que se entregará a la planta arenera. Tomando como referencia el sistema de identificación de mancilla, se efectuará uno adecuado a la lubricación de la planta arenera y al nivel académico de su personal.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las fallas en los elementos rodantes de equipos producen paros no programados que retrasan la producción y despacho de productos, estos paros no programados disminuyen la eficiencia de la planta.

3.1. Descripción del problema

El material llega a planta mezclado con arcillas, piedras y otros minerales. Estos elementos deben separarse por medio de procesos para obtener la arena sílice como producto final.

El proceso consta de las siguientes áreas: lavado, molienda, flotación y secado. Cada área posee sus propias características. Desde el punto de vista de mantenimiento forman las condiciones de operación de las maquinas en cada área del proceso.

El proceso productivo se ve interrumpido constantemente por fallas en los equipos. En promedio un 4 % del tiempo productivo se pierde debido a paros no programados. Esto se traduce a un aproximado de 29 horas mensuales perdidas, y 319 toneladas de material que no serán procesadas. Cada área presenta diferentes condiciones, como agua en exceso, lodos, polvo, altas temperaturas, entre otros. Es necesario desarrollar una estrategia de lubricación que se adapte a cada área del proceso y permita extender la vida útil de las rodaduras.

En la planta una persona lubrica los equipos, aunque carece de un protocolo bien definido de lubricación. No se han determinado los intervalos adecuados de

relubricación para cada equipo. No existe una separación definida de áreas que permita determinar las condiciones de trabajo específica para cada una de ellas (como se explica en el párrafo anterior) y las necesidades distintas en cuanto a lubricantes. Es decir, el sistema de lubricación actual se basa únicamente en la experiencia del lubricador, que no siempre es asertiva.

3.2. Delimitación

En general, se puede dividir el proceso productivo de la arena sílice en cantera y planta. En el área de cantera se cuenta con dos perforadoras las cuales son críticas para el proceso productivo de la planta. Sin embargo, no serán tomadas en cuenta para efectos del estudio; debido a que el fin principal del estudio es aumentar la eficiencia reduciendo los paros no programados. Con el enfoque mencionado, la cantera no influye directamente en el objetivo que se plantea.

La maquinaria ubicada en la planta también se puede dividir en otros dos grandes grupos: equipos estacionarios y maquinaria pesada. La maquinaria pesada cuenta con varios puntos de lubricación y otro enfoque con mayor inclinación hacia lubricación automotriz, que no es menos importante, pero para el estudio buscamos enfocar la atención en el área industrial. Considerando lo anterior y que los paros no programados o emergencias en horas no hábiles, en su mayoría son debidos a equipos estacionarios y no maquinaria pesada, esta última no estará incluida dentro de la investigación a realizar.

Una vez descartados dos grandes conjuntos de puntos de lubricación: cantera y maquinaria pesada, el estudio se centra en los equipos estacionarios de la planta, cuya mayoría cuenta con elementos rotatorios. Sin embargo, existen otros puntos de lubricación que no son rodaduras, por ejemplo, bisagras,

compresores, reductores, piñones, entre otros. La lubricación de rodaduras será la parte central del estudio, pero se debe considerar que el fin primordial es reducir paros no programados de producción y hacer más eficiente la gestión de mantenimiento a través de la lubricación. Por esta razón, el estudio incluirá la lubricación de los molinos de producción. El sistema de lubricación de molinos cuenta con un circuito de lubricación centralizado que cíclicamente lubrica las coronas. También se considerarán las cajas reductoras que forman parte del equipo mayoritario de la planta y cuya falla puede llegar a generar paros considerables de producción.

3.3. Formulación del problema

A continuación, se presentan las preguntas general y auxiliares de la investigación:

3.3.1. Pregunta central

¿Cuál es el sistema de lubricación adecuado para la planta productora de arena sílice, que disminuya el impacto del ambiente, condiciones de trabajo hostiles en los rodamientos y contribuya a la disminución de los paros no programados?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cómo funciona el sistema de lubricación para los rodamientos de la planta arenera?
- ¿Cuáles son los ambientes y condiciones de trabajo de los rodamientos en las diferentes áreas de la planta?
- ¿Cuáles son los rodamientos críticos de la planta y las fallas de mayor impacto en la producción?
- ¿Cuáles son los lubricantes adecuados con la capacidad de contrarrestar el ambiente hostil de las diferentes áreas?

4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación bajo la que se realizará el proyecto será “gestión del mantenimiento”, principalmente, porque el enfoque se inclina hacia el análisis de las metodologías bajo las que se rige el sistema de lubricación. Se usarán los datos disponibles, se planteará una propuesta de mejora e indicadores que pueden servir en el futuro como herramienta de toma de decisiones. Los cursos de Maestría en Mantenimiento que servirán como apoyo principal son: Administración del Mantenimiento, Tribología Aplicada y Análisis de Fallas Mecánicas.

La producción de la empresa dedicada a la generación de arena sílice se ha duplicado desde el año 2014, la cual supera el 90 % del total de la capacidad productiva de la planta, cuyo horario productivo es de 24 horas, 7 días a la semana. Esto implica una disminución en los tiempos de paro programados para mantenimiento, los cuales son menores del 40 % de lo que anteriormente se designaba.

Las estrategias de mantenimiento utilizadas hasta inicios del año 2014 ya no son funcionales. La amplia holgura de producción era capaz de tolerar paros repentinos para la solución de problemas que se presentaban en el proceso. El departamento de mantenimiento debe cambiar urgentemente la estrategia y mutar de un estado reactivo a un estado proactivo.

Un análisis preliminar de los gastos de mantenimiento de la planta arenera permite visualizar que un 13 % de los gastos en repuestos se utiliza en chumaceras y cojinetes (rodaduras). Este dato es alto si se considera que el total

incluye los repuestos de las bombas que impulsan la arena (sometidos a alta abrasión), bandas de hule, repuestos para molinos, repuestos para maquinaria pesada y todo lo necesario para el mantenimiento eléctrico de la planta. Una reducción de gastos en rodadura significara por lo tanto un impacto significativo en los gastos totales.

Es importante determinar con exactitud los puntos de lubricación, las condiciones de cada uno de ellos y determinar los procedimientos que se adapten a las necesidades de cada área. Este proceso de cambio permitirá al departamento de mantenimiento mejorar la eficiencia de sus labores.

La distribución y el tipo de procesos de la planta arenera permite que las condiciones de trabajo de los rodamientos sean totalmente distintas en cada parte del proceso. Por ejemplo, las chumaceras de bandas transportadoras no trabajan en las mismas condiciones en el área de lavado o en el área de secado.

En lavado se cuenta con difusores de agua para lavar arena y desechar los lodos no deseados. En el proceso se “salpica” (en el mejor de los casos) con agua constantemente la chumacera. En casos donde la chumacera está en posiciones bajas (rodos tensores) el agua escurre hasta la base y lava constantemente la concha de la chumacera.

En el área de secado se tiene arena con muy bajos porcentajes de humedad. En el manejo de la arena los granos finos se elevan creando una nube de polvo que al sedimentar se aloja en los contornos de la chumacera y contamina los lubricantes

Por las razones anteriores es muy importante determinar los lubricantes y métodos de lubricación que se adapten a las condiciones de trabajo y de ambiente de las rodaduras.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Definir un sistema de lubricación adecuado para la planta productora de arena sílice, que disminuya el impacto del ambiente, condiciones de trabajo hostiles en los rodamientos y contribuya a la disminución de los paros no programados.

5.2. Específicos

- Describir cómo funciona el sistema de lubricación para los rodamientos en la planta arenera.
- Determinar y describir los diferentes ambientes y condiciones de trabajo existentes en la planta para los rodamientos.
- Establecer los equipos críticos en la planta y las fallas de mayor impacto en la producción para crear un criterio de identificación de prioridades.
- Determinar los lubricantes adecuados y tiempos de relubricación que cumplan con las características que contrarresten el ambiente y condición de trabajo de los rodamientos.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

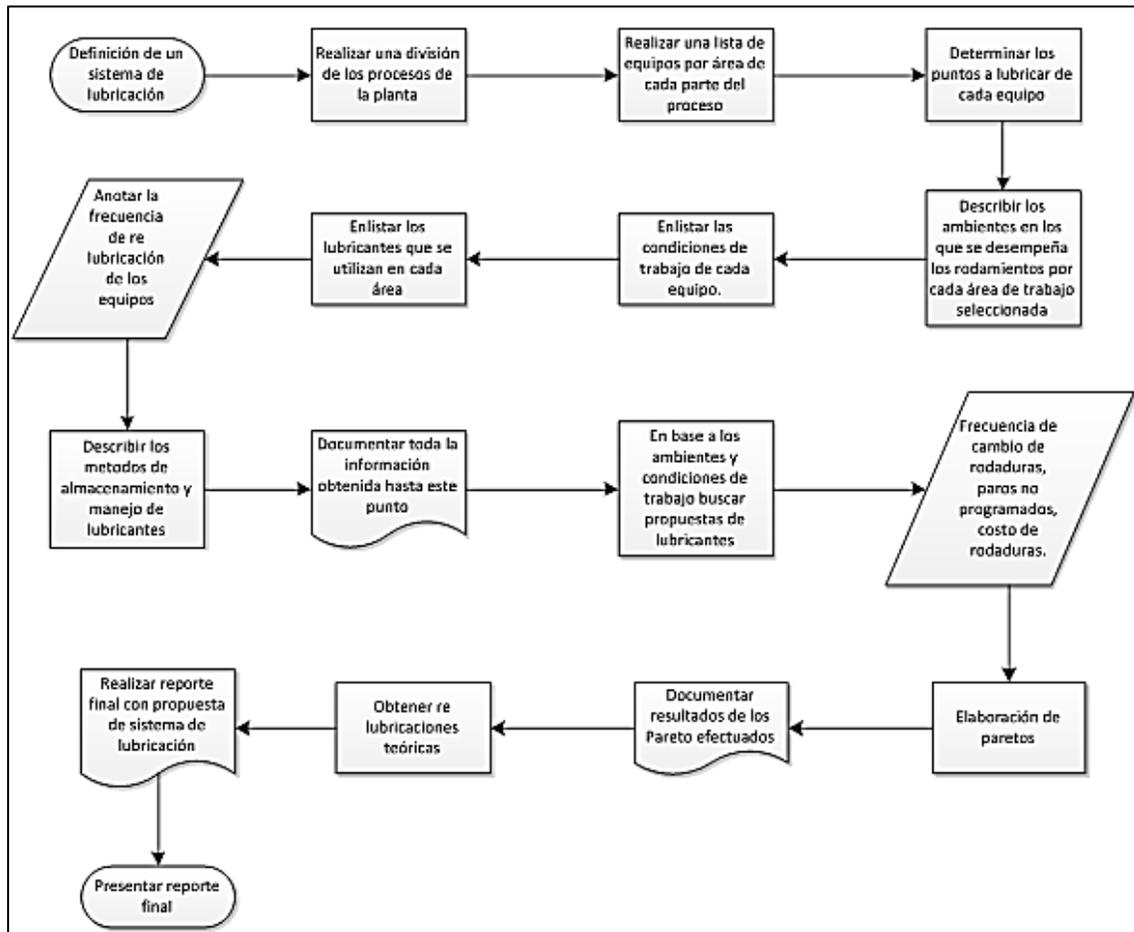
En el contexto del problema, la necesidad principal es la disminución de paros no programados que afectan la producción de la planta.

Las necesidades laborales por cubrir son la disminución de fatiga y estrés. La carga extra de trabajo se da por reparaciones de emergencia fuera del horario ordinario, en horarios nocturnos o fines de semana. Al disminuir los paros no programados el trabajador dispone mejor de su tiempo libre y sus lapsos de descanso son más placenteros.

Beneficiar económicamente a todos los trabajadores de la planta, debido a que, al disminuir los paros no programados, se aumenta la eficiencia de la planta, esto hace posible alcanzar las metas de producción y alcanzar el bono de productividad.

Se espera reducir los gastos por mantenimiento, disminuyendo la compra de repuestos de emergencia. Debido al transporte u horarios de entrega los repuestos suelen ser mucho más caros que adquiriéndolos con tiempo de entrega ordinarios. Es importante aclarar que al hablar de costos no solamente se habla del costo de los rodamientos, ya que la falla repentina de un rodamiento influye en la pérdida o daño de otros elementos del equipo e incluso en daños a otros equipos, es decir, que se habla de una reducción global de los costos de mantenimiento.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Mantenimiento

Bona (1999) define el mantenimiento de forma sencilla: “lo que hay que hacer para que las cosas funcionen correctamente o, en su defecto que las averías duren lo menos posible”. (pág. 21)

Existe una gran cantidad de tipos de mantenimiento, los cuales son diferentes métodos para garantizar el funcionamiento de la maquinaria y existe mucha teoría en torno a ellos. La definición de Bona, bastante simple, abarca en pocas y sencillas palabras muchas otras definiciones y todos los tipos de mantenimiento. Bona lo define de una forma general y Cabanas de manera muy similar pero enfocado a la industria.

Cabanas (1998) lo define como: “todo conjunto de acciones que tengan por finalidad mantener la maquinaria y equipo de una planta en la capacidad de desempeñar las funciones para las cuales fue creada e instalada”. (pág. 12)

Con las definiciones de Bona y Cabanas el concepto de mantenimiento es bastante claro. Limpiar el teclado de su computadora evita que el polvo se introduzca bajo las teclas y prolonga el funcionamiento correcto, esta acción tan simple es mantenimiento. También cambiar una resistencia quemada de la tarjeta madre de la computadora constituye parte del mantenimiento. Ambas acciones están enfocadas en mantener la capacidad de la computadora de realizar las funciones para las cuales fue creada e instalada.

Cabanas divide el mantenimiento, considerando como principales:

Mantenimiento correctivo

Mantenimiento preventivo

Mantenimiento predictivo

7.1.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es el mantenimiento más común en la pequeña y mediana empresa. Su propósito es intervenir el equipo cuando la producción se ve interrumpida por un problema en la maquinaria, esto sucede cuando se presenta una falla.

Bona (1999) lo define como “acciones necesarias para dejar la instalación en las condiciones en que se encontraba antes de la avería” (pág. 25).

Bona también afirma que es importante aprender a separar la resolución de la avería de la completa reparación.

- Ejemplo (1). Cambio de chumacera: Imaginemos que se presenta una falla en una banda transportadora de arena. Los balines del cojinete de una de las chumaceras del rodillo motriz (o de tracción) se han salido del alojamiento, lo que ha generado un atrancamiento del eje y se toma la acción de sustituir la chumacera. Sustituir la chumacera no en todos los casos será una reparación completa. Esto se aclarará con los siguientes conceptos.

Cabanas (1998) divide el mantenimiento correctivo en:

Mantenimiento correctivo con eliminación de la avería:

Básicamente, consiste en reparar o sustituir los elementos dañados, normalmente las reparaciones de este tipo se dan bajo fuerte presión por producir de nuevo.

En el ejemplo 1, (Cambio de chumacera), si se sustituye la chumacera, el equipo puede volver a operar. Es muy probable que en un tiempo a corto plazo la chumacera volverá a fallar debido a que la causa raíz no ha sido corregida.

Las razones del por qué se tiene reincidencia de la falla pueden ser muy variables. Por ejemplo, puede ser que se conozca la causa raíz, pero existe un pedido urgente que debe entregarse y justifica la reparación de la avería más no de la causa, o puede darse el caso que se desconoce la causa raíz. Lo cual involucra otro tipo de problemas: falta de conocimiento del técnico, tiempo reducido para realizar un análisis detallado para la reparación, decidía del personal. Entre otros.

Mantenimiento correctivo con la eliminación de causa:

Este mantenimiento requiere un análisis más profundo, debido a que no se sustituye y reparan piezas, únicamente, sino que se busca la causa raíz de la avería y es corregida.

Tomando como referencia el caso del ejemplo 1, (cambio de chumacera), para encontrar la causa raíz podría verificarse si el eje posee desgaste, si esta deformado, verificar alineación del eje, verificar si se ha lubricado adecuadamente el cojinete, verificar si se ha utilizado el lubricante adecuado. Puede ser que la chumacera es de mala calidad o fue mal instalada, entre otras

causas. Sin embargo, como indica la definición se requiere de un análisis profundo para determinar la verdadera causa del problema y corregirla.

7.1.2. Mantenimiento preventivo

Céspedes A. (1981) “Es aquel conjunto de acciones o labores que puedan ser previstas con suficiente anticipación, de tal forma que se planifiquen o se programen adecuadamente tanto en la manera de realizarlas como en su tiempo de ejecución”. (pág. 23).

Su estrategia consiste en sustituir las piezas o elementos antes de que fallen. En el Mantenimiento preventivo se establecen periodos de sustitución, o ciclos de funcionamiento.

Es difícil determinar el momento exacto en el que una pieza o elemento producirá una falla. Si no se tiene un criterio claro que optimice el aprovechamiento de la vida de los elementos, puede desperdiciarse varias horas de operación de elementos útiles.

Cabanas (1998) describe una serie de actividades características del mantenimiento preventivo:

“Limpieza y revisiones periódicas, conservación de equipos y protección contra los agentes ambientales, control de la lubricación, reparación y recambio de los puntos del sistema identificados como puntos débiles, reparación y recambios planificados.” (pág. 10)

En algunos casos, ciertas piezas de maquinaria cuentan con un tiempo estimado de vida por parte del fabricante. Si se siguen los parámetros de

mantenimiento y operación estipulados, pueden evitarse problemas posteriores. La persona o departamento encargada del mantenimiento podría anticiparse con el repuesto al estar cerca de concluir el tiempo de vida estimado para la pieza y tenerlo disponible para cuando falle. También puede usarse la estrategia de sustituir la pieza antes de su falla. La decisión dependerá del criterio de criticidad del repuesto y de la maquinaria a que pertenece. Si la máquina para, repentinamente cuando se encuentra produciendo, y por tal motivo se desperdicia parte del material en proceso (productos perecederos, procesos químicos, pérdida de temperaturas, entre otros) y la pérdida del valor del material en proceso es alta, la mejor decisión es sustituir el elemento en un paro programado antes su falla repentina, por ejemplo.

7.1.3. Mantenimiento predictivo

Carnero (2012) Plantea que el Mantenimiento Predictivo consiste en el control de determinadas variables que informan sobre la condición de los equipos, permiten diagnosticar fallos y establecer el tiempo de vida remanente de las maquinas. Un Programa de Mantenimiento Predictivo puede proporcionar numerosos beneficios: incremento en la disponibilidad, seguridad y calidad, mejoras en programación del mantenimiento, reducción de costes, entre otros.

Gómez (1998) asegura que el mantenimiento predictivo debe apoyarse en dos pilares fundamentales:

“La existencia de parámetros funcionales indicadores del estado del equipo. La vigilancia continua del equipo” (pág. 28)

Esto significa que debe controlarse la operación de los equipos y determinar a través de puntos de control establecidos cuan alejado está el equipo de

condiciones consideradas “normales”. Debe tenerse control con el uso de una o varias variables como: temperatura, análisis de vibraciones, ultrasonidos, entre otros. Y, a partir de los hallazgos encontrados en las rutinas de monitoreo, trazar un plan que permita anticipar las acciones de mantenimiento a la falla.

7.2. Fricción

Schmid (2002) indica “La fricción se define como la resistencia al movimiento relativo entre dos cuerpos que se tocan, sometidos a una fuerza normal” (pág. 883)

La fricción, aunque es un proceso físico que puede parecernos obvio en ciertas circunstancias, es un tema amplio con muchas variables en juego. La fricción puede variar en dos cuerpos de este material, pero a diferentes temperaturas. Puede ser beneficiosa en el funcionamiento de un elemento mecánico y ser perjudicial en otro. Puede reducirse, pero no puede eliminarse, está en todos lados, en todo lo que hacemos, la fricción le da vida a la tribología una ciencia que estudia los métodos posibles para reducir la fricción. Aunque existen muchos avances respecto al tema de la fricción, queda mucho aún por descubrir, tal como lo plantea Martínez.

Martínez (2002) indica que la “fricción es el objetivo fundamental de estudio en la tribología. Los trabajos hasta ahora han aportado conocimientos importantes en el área real de contacto, la adhesión y el surcado; no obstante, una teoría completamente elaborada aún no se ha logrado”. (pág. 18)

7.3. Desgaste

Schmid (2002) Indica que “el desgaste se define como la pérdida o remoción progresiva de material de una superficie”

El desgaste es producido por la fricción y aunque físicamente es imposible eliminarlo, existen formas de disminuir su impacto.

El desgaste puede clasificarse en:

- Desgaste por fatiga
- Desgaste abrasivo
- Desgaste por cavitación
- Desgaste adhesivo
- Desgaste erosivo
- Desgaste por *fretting*
- Desgaste por deslizamiento

7.3.1. Desgaste por fatiga de contacto

Schmid (2002) describe que el desgaste por fatiga se debe a grandes esfuerzos aplicados a un cuerpo en forma cíclica o repetitiva. Se forma por una combinación de esfuerzos, los generados por el impacto y los generados por la fricción. Después deformarse plásticamente la superficie de los cuerpos, se generan pequeñas grietas en la superficie de los cuerpos. El desgaste se da en chumaceras, cojinetes, rodillos, por mencionar algunos ejemplos.

Figura 2. **Rodamiento con desgaste por fatiga de contacto**



Fuente: *Mecanismos básicos de descarga* (2018). Recuperado de <http://noria.mx/lublearn/mecanismos-basicos-de-desgaste>

En la figura 2 se observan varios agujeros muy pequeños sobre la superficie de la esfera metálica, que puede ser el rodamiento de un cojinete. Como lo explica Schmid, el desgaste por fatiga se produce por cargas cíclicas, lo que sucede con el rodamiento al girar el cojinete. El punto de contacto con la pista cambia conforme gira, por lo tanto, la carga en cada punto del contorno es cíclica y no constante, de esta manera la carga cíclica va generando fisuras de tamaño muy reducido. Las fisuras se unen y provocan el desprendimiento de un pedazo muy pequeño de metal y va tomando la apariencia de la rodadura de la imagen.

7.3.2. Desgaste abrasivo

Schmid (2002) comenta que el desgaste abrasivo puede darse en dos formas, contacto a dos cuerpos o contacto a tres cuerpos. En la abrasión a dos cuerpos, uno de ellos posee asperezas en su superficie de contacto y, en el otro caso, el desgaste lo provocan partículas duras distribuidas entre la superficie de contacto de dos piezas.

Figura 3. **Teja de motor con desgaste abrasivo**



Fuente: *Mecanismos básicos de descarga* (2018). Recuperado de <http://noria.mx/lublearn/mecanismos-basicos-de-desgaste>

El desgaste abrasivo, como indica Schmid, se da entre dos cuerpos en contacto en el cual uno posee asperezas en su superficie y es más duro. Cuando se corta una pieza metálica con cierra o discos de corte, el corte del material se obtiene por la abrasión.

Este tipo de desgaste sucede entre dos superficies cuando hay partículas de un material más duro que los que están en contacto. Lo puede generar la contaminación del lubricante en una caja reductora por desprendimiento de otras piezas, o mal manipulación del lubricante. También se puede ver en engranes abiertos o en cojinetes en ambientes sumamente contaminados por polvos y partículas, Entre muchos otros casos. En la figura 3 se muestra una teja de un motor de combustión dañada por varias ralladuras en su superficie y deformada. Se debe a la contaminación de partículas ajenas al proceso, que han interrumpido la película de lubricante entre la teja y el eje cigüeñal. Exactamente, el mismo tipo

de desgaste puede darse en la pista de un cojinete con grasa contaminada con partículas sólidas.

7.3.3. Desgaste por cavitación

Vélez (2008) Indica que: “la erosión por cavitación se presenta cuando un sólido se mueve a alta velocidad en un medio líquido... entendido como la implosión de burbujas de vapor presentes en un fluido” (pág. 91)

El movimiento genera puntos de baja presión que permiten la creación de pequeñas burbujas que al “explotar” erosionan la superficie de los objetos.

Figura 4. **Impulsor de bomba con desgaste por cavitación**



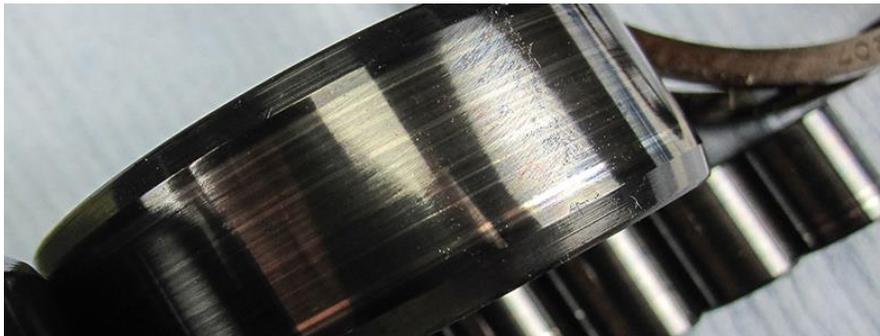
Fuente: *Componentes y mecanismos* (2018). Recuperado de http://www.interempresas.net/Componentes_Mecanicos/Articulos/34521-Cavitacion-en-el-bombeo-de-fluidos.html

La figura 4 es el impulsor o impeler de una bomba centrífuga. En los extremos de los alabes se ven poros profundos en el material. El impeler se mueve a alta velocidad en un medio líquido y el contacto con el líquido le va generando esta porosidad y desgaste, tal como Vélez describe el desgaste por cavitación.

7.3.4. Desgaste adhesivo

Schmid (2002) Indica que cuando dos superficies están en contacto unidas por una fuerza normal, no es el área de contacto en su totalidad la que soporta la carga. Son pequeñas rugosidades que se funden unas con otras, el movimiento rompe los enlaces y las piezas pierden parte de su superficie.

Figura 5. **Pista de cojinete con desgaste adhesivo**



Fuente: Mapro (2016). Recuperado de www.mapro.skf.com

Como se observa en la figura 5, se ve parte de la superficie con un brillo particular, esta pista interna de cojinete posee desgaste adhesivo. Como Schmid indica, parte de la superficie de la pista se fundió con pequeñas rugosidades del rodamiento. Debido a la fuerza normal existente entre ambas piezas y posiblemente a la escasa lubricación entre ellas se obtiene un incremento en la temperatura y la pérdida de materia a través de pequeñas soldaduras que se forman entre superficies.

7.3.5. Desgaste erosivo

Schmid (2002) llama desgaste erosivo al deterioro de un material por partículas sólidas que impactan contra una superficie. Las partículas pueden actuar solas o combinadas. El desgaste por erosión afecta muchos materiales fabricados en ingeniería y sobre todo en industrias como la minería.

Figura 6. **Impulsor de bomba con desgaste erosivo**



Fuente: *Desgaste erosivo* (2018). Recuperado de https://www.ecured.cu/Desgaste_erosivo

La figura 6 muestra una parte de un impulsor de bomba deteriorado por desgaste erosivo. La erosión como indica la definición es el efecto de partículas sólidas suspendidas en un fluido. La fuerza de las partículas que impactan en cierto objeto produce que pierda parte de su superficie. Puede darse en un impeler de bomba que impulsa agua con partículas de arena, un extractor que succiona gases con polvos u otras partículas sólidas, aspas de una turbina en ambientes contaminados, entre muchos casos más.

7.3.6. Desgaste por *fretting*

Vélez (2008) Define como desgaste por *fretting* “al desgaste producido por las vibraciones inducidas por un fluido a su paso por una conducción” (pág. 91)

Es decir que, a causa de las vibraciones dadas entre dos superficies separadas por una capa lubricante, se producen pequeñas fisuras. Las fisuras se entrelazan y permiten la pérdida de materia en la superficie del objeto. La pérdida de material va acompañada de oxidación, en las superficies dañadas que han quedado descubiertas, el resultado es una aceleración en el proceso de desgaste.

Figura 7. **Pista interna de cojinete con desgaste por *fretting***



Fuente: Mapro (2016). Recuperado de www.mapro.skf.com

En la figura 7 se observa la pista interna de un cojinete seriamente afectada por el desgaste por *fretting*. Se ven pequeños agujeros con óxido en su interior lo que da la apariencia de una mancha grande de óxido.

7.3.7. Desgaste por deslizamiento

Schmid (2002) indica que el desgaste por deslizamiento se da debido al roce constante entre dos piezas. Varios experimentos han demostrado que el deslizamiento produce deformación plástica en la superficie y un pequeño gradiente de deformación bajo la superficie con desgaste.

Figura 8. **Rodamientos con desgaste por deslizamiento**



Fuente: Desgaste (2018). Recuperado de <http://www.nskeurope.es/desgaste-171.htm>

En la figura 8 se observa la periferia de rodamientos cilíndricos y la pérdida de su circunferencia esto debido al desgaste por deslizamiento que sufrieron. La deformación plástica en estos rodamientos indica que fueron sometidos a alta carga sin movimiento, esto significa que los rodillos no giraron sino solamente se deslizaron contra la pista debido a lubricación excesiva o por contaminación en la grasa que se endureció e impidió que rodaran como es debido en un cojinete.

7.4. Lubricación

Groover (1997) acerca de la lubricación dice que “es la forma más efectiva para reducción de la fricción y el desgaste”. (pág. 104).

La lubricación es el método más importante para reducir la fricción, por encima de otros, como la selección de materiales y condiciones de trabajo.

La lubricación es el proceso por medio del cual dos piezas en contacto son separadas por una película lubricante que evita el rozamiento y el desgaste de ambas piezas. La película de lubricante debe poseer determinadas características, como son: Adhesividad, viscosidad, espesor y aditivos.

Una película de lubricante muy delgada puede ocasionar que ambas piezas tengan contacto directo, favoreciendo al desgaste de ambas. Una película demasiado gruesa puede ocasionar fricción y generar calor entre las partículas del lubricante lo que ocasiona el deterioro de las piezas.

La lubricación es afectada por ciertos factores los cuales pueden ser de operación como: velocidad, carga, temperatura. Por otra parte, también es afectada por factores de diseño, como cálculo y fabricación de la maquinaria, materiales utilizados en la construcción de los mecanismos, acabado superficial del mecanismo y diseño de aplicación del lubricante.

Otros factores que afectan el desempeño de un lubricante pueden ser:

- Agua
- Polvo
- Combustible
- Refrigerante
- Elementos de desgaste
- Hollín
- Mezclas de aceites

7.4.1. Lubricante

Benllonch, (1972) lo define de la siguiente manera: “un lubricante es toda sustancia sólida, semisólida o líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintética que pueda utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento”.

Con la definición anterior se nota la amplia gama de lubricantes que pueden existir. Desde el agua hasta los lubricantes más sofisticados desarrollados por el ser humano, incluso sólidos como tantos materiales creados en la actualidad, hablese de teflón y otros llamados “plásticos de ingeniería” que han sido creados con el fin de resistir el desgaste y disminuir la fricción.

7.4.2. Clasificación internacional de los lubricantes

Debido a la globalización de los procesos industriales y del crecimiento de las industrias en el mundo, es necesario que los fabricantes de lubricantes y los consumidores hablen un mismo lenguaje para cumplir con las especificaciones de los equipos. Por tal razón se han creado clasificaciones y normativas de nivel internacional para la producción de lubricantes, con el fin de homogenizar su clasificación.

En este texto se abordará la clasificación de grasas y aceites más conocidas y utilizadas. Para la clasificación de los aceites se utilizará la clasificación ISO (International Standards Organization) una de las más utilizadas por su manera simple de interpretar. Para el caso de las grasas el mayor renombre lo posee la N.L.G.I (National Lubricating Grease Institute).

El sistema ISO funciona midiendo la viscosidad de los aceites a una determinada temperatura. En este caso, es una escala de viscosidad medida en “centistokes” (cst) a 40 grados Celsius. La clasificación ISO propone que el grado ISO se encuentre al final del nombre del producto.

En la tabla I se muestran los diferentes grados ISO con sus límites admisibles de viscosidades en centistokes a la temperatura indicada.

Tabla I. **Clasificación ISO de los aceites industriales**

Grado ISO	Límite min. (cst/40°C)	Límite max (cst/40°C)
2	1.98	2.42
3	2.88	3.52
5	4.14	5.06
7	6.12	7.48
10	9.00	11.00
15	13.50	16.50
22	19.80	24.20
32	28.80	35.20
46	41.40	50.60
68	61.20	74.80
100	90.00	110.00
150	135.00	165.00
220	198.00	242.00
320	288.00	352.00
460	414.00	506.00
680	612.00	748.00
1000	900.00	1100.00
1500	1350.00	1650.00

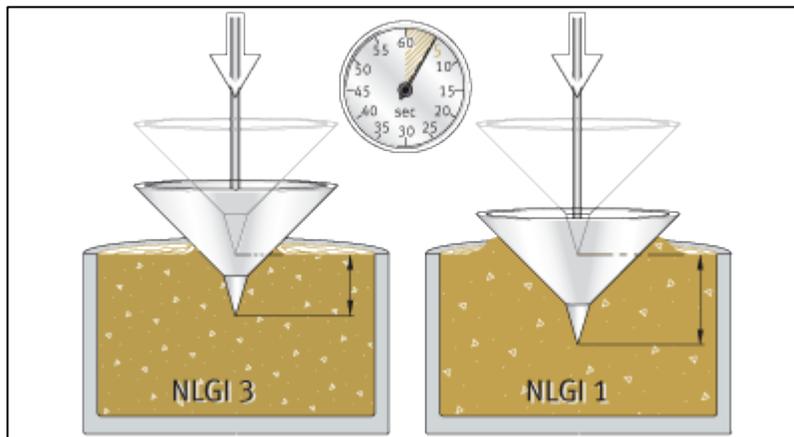
Fuente: Viscosidad (2018). Recuperado de <http://www.widman.biz/Seleccion/viscosidad.html>

El N.L.G.I. desarrolló para las grasas una clasificación basada en la consistencia, la cual puede ir desde muy fluida hasta extradura y van identificadas con números que van desde 000 para la primera, hasta 6 para la segunda.

Para determinar la consistencia de las grasas se deja caer un cono de 150 gramos en un recipiente con la grasa, durante 5 segundos y se toma una

medición de la penetración alcanzada. Cuanto más penetra, menor es el número NLGI.

Figura 9. **Prueba para clasificación de grasas NLGI.**



Fuente: SCHAEFFLER. (2018). *Lubricación*. Recuperado de http://medias.schaeffler.de/medias/es!hp.tg.cat/tg_hr*ST4_1652077067#

La figura 9 ayuda a comprender cómo se realiza la prueba para determinar el grado N.L.G.I. de las grasas.

La tabla 2 muestra los grados N.L.G.I. asociados a la consistencia que representan y el grado de penetración de la prueba.

Tabla II. **Clasificación de las grasas del NLGI**

Número NLGI	Penetración ASTM (10⁻¹ mm)	Aspecto a temperatura ambiente
000	445-475	muy fluida
00	400-430	Fluida
0	355-385	Semifluida
1	310-340	muy blanda
2	265-295	Blanda
3	220-250	Semidura
4	175-205	Dura
5	130-160	muy dura
6	85-115	extremadamente dura

Fuente: Viscosidad (2018). Recuperado de <http://www.widman.biz/Seleccion/viscosidad.html>

7.5. Indicadores de clase mundial

Gonzales (2009) explica que son los que se usan en diferentes países para la gestión y control del mantenimiento. Son seis los índices de clase mundial de los cuales solo cuatro hacen referencia a la gestión de equipos, los otros dos hacen referencia a la gestión de costos del mantenimiento.

Los indicadores brindan información para determinar los resultados de la gestión del mantenimiento. Permiten identificar puntos de mejora, medir y analizar los resultados de acciones y estrategias efectuadas.

7.5.1. Tiempo medio entre fallas

Gonzales (2009) lo describe como: “relación entre el producto del número de ítem por sus tiempos de operación y número total de fallas detectadas en ese ítem, en el periodo observado” (pág. 521)

$$TMEF = \frac{N * HROP}{\sum NTMC} \quad (1)$$

Donde:

N: número de ítem

HROP: horas de operación del equipo

NTMC: número total de fallas

TMEF : tiempo medio entre fallas

El tiempo medio entre fallas es utilizado para ítems que se reparan después de la ocurrencia de la falla.

El TMEF indica la frecuencia de fallas en un equipo en operación. Las acciones deben procurar el aumento de este indicador. Para aumentar el TMEF se debe reducir el número de fallas y aumentar el tiempo de operación de los equipos.

7.5.2. Tiempo medio para reparación

Gonzales (2009) define este indicador como: “la relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con fallas y el número total de fallas detectadas en esos ítems en el periodo de observación” (pág. 521)

$$TMPR = \frac{\sum HTMC}{NTMC} \quad (2)$$

Donde:

TMPR (MTTR): tiempo medio para reparación

HTMC: horas totales de mantenimiento correctivo

NTMC: número total de fallas

Este indicador se utiliza cuando el tiempo de reparación es significativo comparado con el tiempo de operación. Ayuda a entender qué tan rápidas y efectivas son las reacciones del departamento de mantenimiento cuando se presenta una falla. Si el TMPR aumenta o se mantiene estable en el tiempo, se deben establecer estrategias para resolver las fallas en menor tiempo. Es importante determinar todo aquello que representa retrasos para realizar reparaciones, cuando se han presentado fallas.

7.5.3. Tiempo medio para la falla

González (2009) Explica que: “este indicador se usa cuando, la pieza se sustituye después de la falla”. (pág. 522)

Es una relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo de estudio:

$$TMPF = \frac{\sum HROP}{NTMC} \quad (3)$$

Donde:

TMPF: tiempo medio para la falla

HROP: horas de operación del equipo

NTMC: número total de fallas

El TMPF puede confundirse con el tiempo medio entre fallas. Para hacer la distinción, González indica que el tiempo medio para la falla se refiere a los elementos o equipos que no se reparan, únicamente se sustituyen, por ejemplo, un bombillo.

7.5.4. Disponibilidad de los equipos

González (2009) explica que, con este indicador se determina el porcentaje de tiempo en el cual equipo estuvo disponible en un periodo específico.

$$DISP = \frac{\sum (HCAL - HTMN)}{HCAL} \quad (4)$$

Donde:

DISP: disponibilidad

HCAL: horas calendario

HTMN: horas de intervención del personal de mantenimiento

Una forma de entender la disponibilidad es responder la siguiente pregunta ¿Cuánto tiempo el o los equipos estuvieron en condiciones de operación del tiempo disponible? La disponibilidad puede utilizarse de referencia para tomar acciones o establecer estrategias, que permitan aumentar el tiempo en que los equipos están disponibles. Esto significa aumentar la disponibilidad e involucra el aumento del tiempo medio entre fallas (TMEF) y la disminución del tiempo medio para reparación (TMPR).

7.6. Análisis de Pareto

Rey (2001) explica que “los diagramas de Pareto se utilizan cuando debemos dirigir nuestra atención a un tema y esta herramienta permite distinguir lo que debemos atender primeramente” (p. 265). Explica también el diagrama de barras de Pareto de la siguiente manera: “es una forma especial de grafico de barras verticales en el cual se distribuyen los datos en orden de magnitud decreciente de izquierda a derecha. Pueden utilizarse con o sin una línea de

frecuencia acumulada que representa la suma progresiva de las barras de izquierda a derecha” (p. 265).

Los diagramas de Pareto también son conocidos como análisis del 80/20, esta analogía es utilizada en muchos ámbitos diferentes y buscan encontrar las prioridades para resolver ciertos problemas.

En mantenimiento puede utilizarse, en muchos casos, para priorizar esfuerzos, por ejemplo, si en una empresa se desea disminuir los gastos generados en compra de rodamientos. Para ello, se determina cuáles rodamientos, del 100 % que se compran, representan el mayor porcentaje en costos. Partiendo de la teoría del 80/20 significa que aproximadamente un 20 % de los rodamientos que se comprar representan aproximadamente el 80 % del costo total de rodamientos. Si se logra crear una estrategia que logre alargar la vida de este 20 % de rodamientos costosos, se estará generando un impacto significativo en los gastos.

La teoría del 80/20, Aplicada a casos reales no es exacta en cuanto al porcentaje, sin embargo, es un hecho que da la pauta para determinar prioridades o entender ciertos fenómenos.

Los diagramas de Pareto se utilizan:

- Como técnica de análisis de problemas de una nueva perspectiva
- Para concentrar la atención en los problemas en orden de su prioridad

Etapas para la construcción de un diagrama de Pareto.

Se tomará el ejemplo de una fábrica que desea analizar los defectos de un artículo de producción para generar un plan de disminución de estos.

Se puede construir como ejemplo con las siguientes etapas:

Primera etapa: decidir cómo se establecerán los datos definiendo una lista de problemas y causas. Ejemplos:

- Por el turno de trabajo en que se hicieron las piezas
- Por el tipo de defecto
- Por la máquina que hizo el defecto en cada pieza
- Por el operario que controla cada pieza

Segunda etapa: utilizar una hoja de control para tomar datos bajo un tiempo convenido.

Tercera etapa: resumir los datos obtenidos en una hoja de control.

- Ordenando los datos de mayor a menor
- Calculando los porcentajes

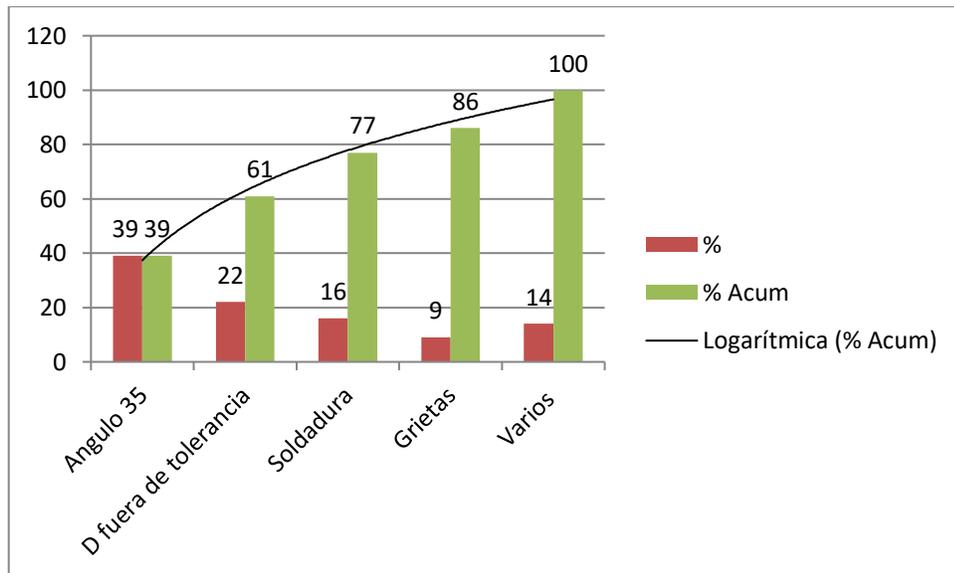
Cuarta etapa: anotar los datos en un gráfico, trazando las líneas verticales y horizontales a la escala apropiada al número de defectos, con valores decrecientes.

Tabla III. Ejemplo de datos para elaboración del diagrama de Pareto

Tipo de defectos	Número	%	% Acum
Angulo 35	145	39	39
D fuera de tolerancia	83	22	61
Soldadura	59	16	77
Grietas	332	9	86
Varios	54	14	100
(total)	373	100	

Fuente: Rey Sacristán F. (2001) *Manual del Mantenimiento Integral de la Empresa*.

Figura 10. Gráfica ejemplo de diagrama de Pareto



Fuente: Rey Sacristán F. (2001) *Manual del Mantenimiento Integral de la Empresa*.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

GLOSARIO

ANTECEDENTES

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

ALCANCE

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Mantenimiento

1.2 Mantenimiento correctivo

1.2.1 Mantenimiento preventivo

1.2.2 Mantenimiento predictivo

1.3 Tribología

1.4 Fricción

1.5 Desgaste

1.5.1 Desgaste por fatiga

1.5.2 Desgaste abrasivo

1.5.3 Desgaste por cavitación

1.5.4 Desgaste adhesivo

1.5.5 Desgaste erosivo

1.5.6 Desgaste por *fretting*

1.5.7 Desgaste por deslizamiento

- 1.6 Lubricación
 - 1.6.1 Lubricante
 - 1.6.2 Clasificación internacional de los lubricantes
- 1.7 Indicadores de clase mundial
 - 1.7.1 Tiempo medio entre fallas
 - 1.7.2 Tiempo medio para reparación
 - 1.7.3 Tiempo medio para la falla
 - 1.7.4 Disponibilidad de los equipos

- 2. PROCESO DE DESARROLLO DEL PROYECTO

- 3. DETERMINACIÓN DE METODOLOGÍA DE LUBRICACIÓN UTILIZADA

- 4. ANÁLISIS DE METODOLOGÍA DE LUBRICACIÓN UTILIZADA

- 5. PROPUESTA DE PLAN DE LUBRICACIÓN

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. MÉTODOS Y TÉCNICAS

A continuación se describen, de forma breve, las técnicas, métodos y procedimientos a utilizar en la búsqueda del cumplimiento de los objetivos propuestos para esta investigación.

9.1. Tipo de estudio

Para realizar el proyecto se aplicará la investigación descriptiva porque se deben determinar los métodos actuales en el sistema de lubricación. Se deben determinar los métodos de almacenaje, manipulación, formas y frecuencias de lubricación, para detectar todos los actos o condiciones que sean potenciales puntos de mejora.

9.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación será no experimental basado en la observación de las metodologías actuales y sus resultados.

En el estudio de la lubricación de las diferentes áreas de la planta arenera a estudiar debe utilizarse el método cualitativo. Herramienta que permitirá describir las condiciones de trabajo de los rodamientos en las diferentes áreas.

La metodología actual de lubricación y sus frecuencias en contraste con el método a proponer debe ser evidenciado y generar resultados positivos. El logro de los objetivos se medirá por medio del estudio cuantitativo, el cual mide los

resultados por medio de la durabilidad de los elementos rodantes u otros sometidos a desgaste, además del uso de indicadores de mantenimiento.

9.3. Variables

VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Equipos (maquinaria).
- Ambiente de trabajo de los equipos (húmedo, seco, corrosivo, entre otros).
- Condiciones de trabajo (temperatura, vibración, tipo de carga, entre otros).
- Personal.

VARIABLES DEPENDIENTES:

- Tiempos de relubricación
- Tipos de lubricantes
- Vida útil de los rodamientos

9.4. Indicadores

La lubricación es parte primordial de un sistema de mantenimiento bien estructurado. No es posible la lubricación independiente del mantenimiento. Una lubricación eficiente elevará los resultados de los indicadores de mantenimiento.

Como guía para el proceso de mejora se utilizan los diagramas de Pareto. Una vez determinadas las prioridades se soluciona el problema de las fuentes mayores de paros no programados o que representan mayor costo para la organización.

9.5. Fases de la metodología

A continuación, se describe cómo se ejecutará cada una de las fases planteadas para esta investigación:

- **Fase 1. Marco teórico**

Esta fase iniciará con la investigación de la teoría en torno al tema del mantenimiento y lubricación enfocada en la prevención del desgaste, lubricación e indicadores de la gestión del mantenimiento. Además, se indagará, estudiará e interpretará la parte documental de proyectos similares cuyos resultados han generado impacto en industrias de la misma índole.

- **Fase 2. Proceso de desarrollo del proyecto:**

Después de plantear el Marco teórico de la investigación, se concretará y describirá el plan de acción para desarrollar el proyecto y cumplir los objetivos planteados.

En esta fase se plasmará de manera clara el proceso de la creación de la propuesta y cada una de las acciones por ejecutar.

- **Fase 3. Determinación de metodología de lubricación utilizada**

La tercera fase consistirá en determinar cómo se encuentra la tarea de lubricación en la empresa. Se debe realizar una descripción de las áreas de trabajo y de las condiciones a las que están sometidos los equipos.

Para tener un panorama claro de la situación actual se necesitan datos concretos. Los datos servirán para realizar un análisis cuantitativo. Es necesario especificar en base a datos históricos el punto de partida del proyecto respecto a las variables escogidas.

Se cuenta con poca información histórica de los equipos por lo que en esta fase se tomarán datos de todos los procesos y rotación de repuestos.

- Fase 4. Análisis de metodología de lubricación utilizada

Se realizará un análisis de los datos obtenidos en la fase 3. Se evaluarán las fortalezas y debilidades del sistema de lubricación que la empresa posee.

Se determinan los puntos de mejora para poder realizar en base a esto una propuesta.

- Fase 5. Propuesta del plan de lubricación:

Se realizará la propuesta con base en las fases anteriores, se describirá lo que se propone con recomendaciones de lubricantes, frecuencias de relubricación, manejo de lubricantes y grasas, también del correcto desecho de estos.

10. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La investigación por realizar presenta características cualitativas y cuantitativas. La información cualitativa se obtendrá mediante la observación directa de los equipos, de las diferencias de ambiente entre áreas y condiciones de trabajo de los equipos.

Los datos cuantitativos son las frecuencias de sustitución de rodaduras. Con estos datos y el uso de la estadística descriptiva se determinará un análisis de 80/20 (diagramas de Pareto). Con la interpretación del diagrama se establecerá qué equipos presentan mayor rotación de rodaduras y qué tipo específico de rodaduras se sustituyen con mayor frecuencia. Estos datos indicarán dónde se encuentra el gasto más fuerte por sustitución de rodaduras.

- **Recolección de datos:** la recolección de datos cualitativos se realizará por la observación directa, la interacción con operadores y personal de mantenimiento. Se recolectará la información por medio de entrevistas que determinen las debilidades de la metodología de lubricación. Se describirán las condiciones ambientales de las áreas y de trabajo de los equipos.

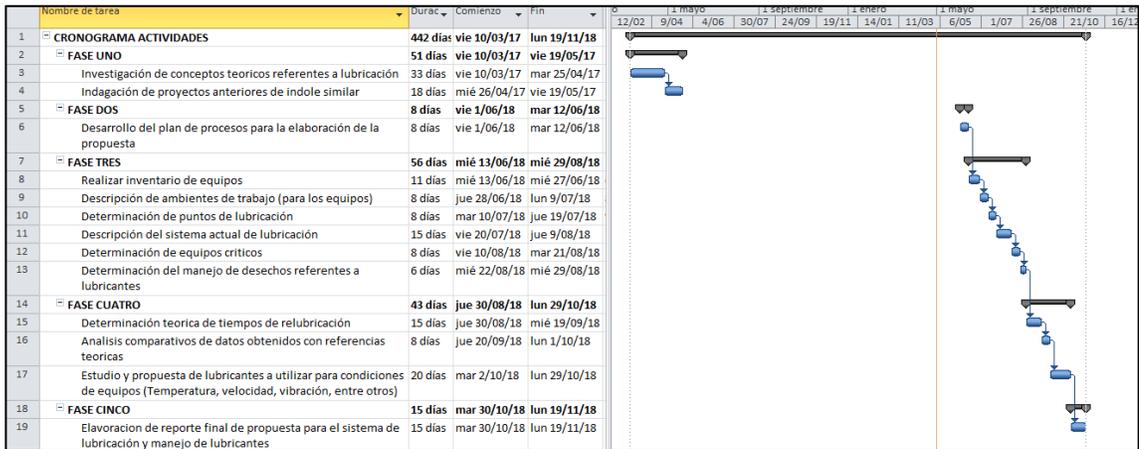
Los datos cuantitativos serán los datos históricos de sustitución de rodaduras. Si no existe registro, puede utilizarse la información de rotación de rodaduras en almacén y la información adicional que pueda obtenerse en almacén respecto al tema.

- Análisis de datos: los datos obtenidos serán analizados y comparados con conceptos teóricos que guíen las conclusiones de las observaciones. Es decir, se determinará la brecha entre el sistema actual y el objetivo de la propuesta. Se establecerán parámetros que ayuden a mantener el control del sistema de lubricación.

Los datos cuantitativos se ordenan y utilizan dependiendo de los diferentes enfoques. A través de gráficas de Pareto como principal herramienta, por ejemplo, determina en qué rodamientos se centra el mayor gasto, cuáles son los de mayor frecuencia de cambio, cuáles son los equipos de mayor frecuencia de cambio de rodaduras, entre otros.

11. CRONOGRAMA

Figura 11. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

12.1. Financiamiento

La realización de este proyecto requiere la inversión de tiempo del investigador y de una persona que colabore con él y lo oriente a lo largo del proyecto (asesor). También se debe visitar la planta que queda a 140 Km de la capital e invertir en combustible y servicios para el vehículo. Además, se requieren insumos de oficina, como papel, el uso de energía eléctrica e internet.

Los recursos humanos y los viáticos serán financiados por el investigador y los insumos los proveerá la empresa.

Tabla IV. **Recursos necesarios**

Recursos	Descripción	Costo
Investigador	Horas de trabajo del investigador invertidas en el análisis, evaluación y redacción del proyecto	Q4,000.00
Asesor	Horas de trabajo invertidas por el asesor, en revisar y proponer mejoras al proyecto, se considera el costo mínimo indicado por la escuela de posgrado	Q2,500.00
Viáticos	Gasolina por visitas a la planta, servicios del vehículo, almuerzos.	Q3,000.00
Consumibles oficina	Costo de papelería, internet, lapiceros, entre otros.	Q1,500.00
Total		Q7,000,00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Acosta Zamudio J.A. (2006). *Plan de gestión para el almacenamiento manejo y manipulación del recurso lubricante en la planta siderúrgica de acerías paz del Rio*. Universidad Industrial de Santander, Colombia.
2. Arizmendi Espuñez L. (1987). *Tribología, selección de publicaciones*. España: CSIC.
3. Arnés Carrasco S. (2012) *Un regalo de cielo: la energía renovable*. España: Gamma.
4. ASTM G40-92 (1992). *Terminología estándar relacionada a desgaste y erosión*.
5. Baley A. (2001) *Aceites y grasas Industriales*. España: Reverte S.A.
6. Barona Garza C. (1967). *Lubricación Industrial*. Ingeniería Mecánica, México: Universidad de Nuevo León.
7. Bellonch, José (1972). *Los lubricantes*. España: CEAC.
8. Bona J.M. (1999) *Gestión del mantenimiento*. España: Fundación Confemetal

9. Cabanas M.F, Melero M.G, Orcajo G.A. Cano J.M. Universidad de Oviedo y Solares J, ABB service (1998). *Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas*, MARCOMBO.
10. Carnero Moya M.C (2012) *Programas de mantenimiento predictivo*. EAE.
11. Céspedes Ruiz A. (1981) *Principios de administración de mantenimiento*. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
12. Chávez Martínez F. (2002) *La Tribología: ciencia y técnica para el mantenimiento*. México: LIMUSA.
13. Díaz Sepúlveda J.J. (2006). *Documento de apoyo a la gestión de mantenimiento, para la selección y aplicación de lubricantes*. Chile: Universidad Austral de Chile.
14. ECuRed (2018), *Desgaste erosivo*. Recuperado de https://www.ecured.cu/Desgaste_erosivo
15. Evolution Negocio y Tecnología de SKF. *Beneficios de utilizar rodamientos revestidos de óxido negro en aplicaciones eólicas*. Recuperado de <http://evolution.skf.com/es/beneficios-de-utilizar-rodamientos-revestidos-de-oxido-negro-en-aplicaciones-eolicas>
16. Farías Mesa J.C, Martínez E. *Selección de lubricantes a usarse en máquinas y equipos*. Recuperado de www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2396/1/4736.pdf

17. Gómez de León F.C. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial*. España: Universidad de Murcia.
18. Gonzales Fernández J. (2009). *Teoría y práctica para mantenimiento industrial avanzado*. España: FC editoriales.
19. Groover M.P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Pearson.
20. Interempresas.net (2009). *Cavitación en el bombeo de fluidos*. Recuperado de http://www.interempresas.net/Componentes_Mecanicos/Articulos/34521-Cavitacion-en-el-bombeo-de-fluidos.html
21. Iñigo Fernández L. (2012). *Breve historia de la Revolución Industrial*. España: Ediciones Nowtilus.
22. Linares O. (2016). *Generalidades de la tribología fundamentos de la lubricación*.
23. Lublearn (2018). *Mecanismos básicos de desgaste*. Recuperado de <http://noria.mx/lublearn/mecanismos-basicos-de-desgaste>
24. *Lubricación, fricción y el desgaste*. Recuperado de www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/histrib.pdf
25. Mancilla Vizcaya J.M. (2004). *Diseño e implementación del plan de lubricación productiva para la empresa Fiber Glass Colombia S.A. planta mosquera*. Colombia: Universidad Industrial de Santander.

26. Martínez Pérez F. (2002). *La tribología ciencia y técnica para el mantenimiento*. México: Limusa.
27. NSK (2018). *Desgaste: tipos de fallos*. Recuperado de <http://www.nskeurope.es/desgaste-171.htm>
28. Rey Sacristán F. (2001). *Manual del mantenimiento integral de la empresa*. España: FC editorial,
29. Rodríguez J.L. (2016). *Actualización del plan de lubricación de minera Loma de Níquel C.A*. Venezuela: Ingeniería Mecánica, Universidad Simón Bolívar.
30. Salguero Castillo E. D. (1996). *Diseño e implementación de un programa de lubricación parte de un programa de mantenimiento preventivo en un ingenio azucarero y su aplicación práctica en Ingenio Guadalupe*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
31. Santos Martínez E. (1992). *Lubricación industrial*. México: Ingeniería Mecánica Universidad de Nuevo León.
32. SCHAEFFLER. (2018). *Lubricación*. Recuperado de http://medias.schaeffler.de/medias/es!hp.tg.cat/tg_hr*ST4_1652077067#
33. Schmid S. (2002). *Manufactura ingeniería y tecnología*. México: Pearson educación.
34. SKF. (2016). Recuperado de www.mapro.skf.com

35. Vélez Moreno L.M. 2008. *Materiales industriales, teoría y aplicaciones*. Colombia: Textos Académicos.
36. Widman Internacional SRL (2016). *Mantenimiento proactivo*. Recuperado de <http://www.widman.biz/Seleccion/viscosidad.html>