**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**
**SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO BELGICA**

# ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TECNICO-ECONOMICO PARA MODIFICACION DE POSICION DEL MOTOREDUCTOR DEL AREA DE ALIMENTACION DE LA CALDERA N°4 EMPRESA NUEVA ENERGIA

Trabajo de Titulación para optar al Título Profesional de Ingeniería mecánica en mantenimiento industrial.

Alumno:
Rene Eduardo Zapata Basualto

Profesor Guía:
Mscs Víctor Valdebenito Cartes

**2021**

## DEDICATORIA

Mi proyecto de título se lo dedico con mucho amor y cariño a mi pareja e hijo, que son las personas más importantes en mi vida, que llenaron de energía mi proceso de estudios alegrando mis días de forma emocional, ya que a pesar de muchas veces dejarlos de lado por efectuar test, trabajos y certámenes, ellos en vez de criticarme me apoyaron incondicionalmente, otorgándome mucho más amor que generaron esas ganas de cumplir con este objetivo tan importante para mí, ellos crearon en mi la perseverancia y humildad con toda la paciencia y lealtad que me apoyaron para realizar mis actividades laborales y educacionales a cuestas de dejarlos solos la mayor parte del tiempo, sin embargo lo dieron todo para seguir siendo una familia unida ante cualquier adversidad, gracias a ellos por todos sus esfuerzos puedo decir que he logrado cada una de mis metas y en especial esta titulación que me ha costado mucho, pero que me ha entregado las herramientas necesarias para desempeñarme como profesional.

## AGRADECIMIENTOS

En especial para mi madre que fue la que me inculco la disciplina, respeto y responsabilidad, que fueron para mí personalmente la base para seguir luchando con cada una de mis metas, en especial para continuar enfocándome en mis estudios, ya que muchas veces cuando pequeño no quería estudiar, porque me costaba mucho ella se encargó de mantenerse firme y perseverante para que yo creyera en mis habilidades, gracias enormemente madre mía por gran hermosa enseñanza que me brindaste.

A mis compañeros que demostraron ser leales y guerreros para seguir en este camino juntos hasta el final, desempeñándonos y desenvolviéndonos en cada actividad grupal de la mejor manera posible.

A mis profesores que cumplen también una de las labores más importantes en este camino, que es encargarse de mi formación académica, para desempeñarme en un futuro como el mejor profesional que ellos crearon.

# RESUMEN

La planta a la cual está dirigido este proyecto es la empresa eléctrica nueva energía S.A. ubicada en parque escuadrón n°2, comuna de coronel, la cual se dedica a la generación eléctrica basados en energía renovables no convencionales, actualmente tiene en servicio una moderna central de cogeneración que opera con biomasa forestal para disminuir contaminación medio ambiental, con esto genera energía eléctrica para el sistema interconectado central y vapor para procesos industriales asociados, tales como, CMPC maderas, forestal, papeleras concepción S.A., CCU y CODELCO.

Es importante mencionar que los fabricantes de esta empresa solicitan la ejecución de un plan de mantenimiento para los equipos con el fin de poder hacer valido algún tipo de garantía de ellos, pero el personal de mantención de la planta eléctrica nueva energía S.A. no tan solo realiza estas mantenciones para lograr una garantía, sus prioridades están enfocadas en la seguridad de las personas y el resguardo de mantener la planta en un estado óptimo para la continuidad que necesita su proceso, es por aquello que ya existe un plan de mantenimiento que es ejecutado correctamente en las diferentes área de la compañía.

Los equipos trabajan de manera constante en esta compañía, de tal forma que su esfuerzo es mayor, por lo tanto, las piezas tienen más desgaste y por lo que existe la necesidad de hacer mejoras basadas en el plan de mantenimiento preventivo, para minimizar los riesgos de fallas en los equipos, para eso debemos comenzar con un mantenimiento minucioso desde la limpieza de las piezas de un equipo, hasta la reparación o instalación de un repuesto.

En la mejora de mantenimiento preventivo que realizaremos, se deberán tener en cuenta, no sólo los aspectos técnicos, sino también los relacionados a la gestión y organización, considerando factores económicos y de seguridad, La necesidad del mantenimiento preventivo se basa en que cualquier máquina o equipo sufre una serie de degradaciones a lo largo de su vida útil, que, si no se evitan o minimizan (eliminan), el objetivo para el que se crearon no se alcanza plenamente, el rendimiento disminuye y su vida útil se reduce, lo que a su vez conlleva a que se vean afectados los logros de los objetivos de esta organización.

**INDICE**

INDICE ..... 5
INDICE DE FIGURAS ..... 8
INDICE DE TABLA ..... 10
SIGLAS Y SIMBOLOGIA ..... 10
INTRODUCCIÓN ..... 1
OBJETIVOS ..... 2
OBJETIVO GENERAL ..... 2
OBJETIVOS ESPECIFICOS ..... 2
CAPITULO 1: MARCO TEORICO ..... 3
1.1. BASES DEL MANTENIMIENTO ..... 4
1.1.1. Historia del mantenimiento ..... 4
1.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO ..... 5
1.2.1. Estrategias de mantenimiento preventivo ..... 6
1.2.2. Estrategias de mantenimiento correctivo ..... 6
1.3. INDICADORES DE MANTENIMIENTO ..... 7
1.3.1. Disponibilidad mecánica ..... 7
1.3.3. Mantenibilidad ..... 8
1.3.4. Tiempo promedio para reparar (TMPR O MTTR) ..... 8
1.3.5. La frecuencia de las fallas ..... 8
1.4. HERRAMIENTAS PARA LA GESTION DEL MANTENIMIENTO ..... 9
1.4.1. Análisis causa raíz (ACR) ..... 9
1.4.1.1. Claves del análisis causa raíz ..... 10
1.4.1.2. Etapas de la metodología de análisis causa raíz ..... 10
1.5. DIAGRAMA DE ISHIKAWA O DIAGRAMA DE CAUSA EFECTO. ..... 13
1.6. DIAGRAMA DE PARETO ..... 15
1.7. SIX SIGMA ..... 17
1.8. UBICACIÓN DE LA EMPRESA ..... 18
1.9. CARACTERISTICA GENERAL DE LA CALDERA ..... 19
1.9.1. Tipo de caldera ..... 19
1.9.2. Descripción del proceso de la caldera ..... 20
1.9.3. LAYOUT del proceso ..... 21
1.9.4. Diagrama de flujo del proceso de producción ..... 21
1.9.5. Componentes principales de la caldera ..... 22
CAPITULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 39

2.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....40
2.2. ANTECEDENTES GENERALES DEL EQUIPO ANALIZADO.....40
2.2.1. Que es un motorreductor .....40
2.2.2. Seguridad.....41
2.2.3. Uso indicado.....42
2.2.4. funcionamiento.....42
2.2.5. Categoría de motorreductores sew .....43
2.2.7. Diseño y partes de reductores ejes paralelos que existen en ENESA .....46
2.2.8. Placa motorreductor engranaje cilíndrico .....47
2.2.9. Selección general de un motorreductor.....47
2.3. PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL MOTORREDUCTORES.....48
2.4. DIAGRAMA DE PARETO COSTOS DE MANTENCIÓN.....52
2.5. DIAGRAMA ISHIKAWA PARA MOTORREDUCTOR .....53
CAPITULO 3: SOLUCION AL PROBLEMA .....54
3.1. ARBOL DE SOLUCIONES .....55
3.1.2. Tabla de multicriterio utilizada para la selección de la mejor alternativa.....56
3.1.3. Análisis de árbol de soluciones y tabla de multicriterio.....56
3.2. PLAN DE ACCIÓN Y SOLUCIÓN RECOMENDADA.....57
3.3. DESCRIPCIÒN DEL EQUIPO A INTERVENIR.....58
3.3.2. Motorreductor.....59
3.4. IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA.....59
3.4.1. Desmontaje del equipo.....60
3.4.2. Indicaciones del desmontaje del eje de salida.....61
3.4.3. Forma correcta de traslado del motorreductor al taller .....62
3.4.4. Soporte fabricado para el montaje del motorreductor.....63
3.4.5. Montaje del motorreductor.....63
3.4.6. Modelo final de instalación implementación mejora .....65
3.5. PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA SOLUCIÓN PROPUESTA .....66
3.5.1. Diagrama de flujo del plan de mantenimiento .....67
3.5.2. Fallas funcionales del equipo(reductor) .....68
3.5.3. Intervalos de inspección y mantenimiento .....69
CAPITULO 4: FACTIBILIDAD ECONOMICA .....70
4.1. COSTO DE LA CALDERA EN CONDICIÓN DE FALLA.....71
4.1.2. Informe producción en condición normal caldera N°4 .....72
4.1.3. calculo generación por hora de trabajo .....72
4.1.4. Detalle pérdidas económicas.....73
4.2. COSTOS ASOCIADOS A LA MEJORA.....73
4.2.1. Kit de montaje y desmontaje sew.....73

4.2.2. Modelos kit de montaje y desmontaje según posición a utilizar.....74
4.2.3. Soporte de sujeción del motorreductor.....75
4.2.4. Viga laminada .....75
4.2.5. planchas de acero laminadas .....75
4.2.6. Pernos .....76
4.2.7. Detalle de costos implementación mejora.....76
4.3. BALANZA DE COSTOS Y BENEFICIOS .....77
CONCLUSIÓN .....78
BIBLIOGRAFÍA .....79
LINKOGRAFÍA .....80
ANEXO .....82

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1- 1 Mapa conceptual del mantenimiento .....5
Figura 1- 2 Diagrama Ishikawa .....15
Figura 1- 3 Diagrama de Pareto.....17
Figura 1- 4 Six sigma.....18
Figura 1- 5 Ubicación de la empresa .....18
Figura 1- 6 Características generales de la empresa.....19
Figura 1- 7 Esquema caldera tipo acuotubular .....20
Figura 1- 8 LAYOUT del proceso de la caldera.....21
Figura 1- 9 Diagrama de flujo de producción.....21
Figura 1- 10 Esquema de tratamiento de agua de la caldera .....22
Figura 1- 11 Tolva receptora .....23
Figura 1- 12 Cintas transportadoras de alimentación .....24
Figura 1- 13 Harnero disco .....24
Figura 1- 14 Silos de alimentación .....25
Figura 1- 15 Quemador encendido de la caldera .....26
Figura 1- 16 Lecho fluidizado .....27
Figura 1- 17 Hogar de la caldera .....27
Figura 1- 18 DOMO .....28
Figura 1- 19 Sobre calentado primario .....29
Figura 1- 20 Sobrecalentado secundario .....29
Figura 1- 21 Economizador .....30
Figura 1- 22 Precalentador de aire.....31
Figura 1- 23 Ventilador extractor .....32
Figura 1- 24 Precipitador electroestático.....33
Figura 1- 25 Chimenea autosoportante.....34
Figura 1- 26 Ventilador aire primario.....35
Figura 1- 27 Ventilador aire secundario .....36
Figura 1- 28 Sopladores de tubo.....37
Figura 1- 29 Extracción de ceniza .....38
Figura 2- 1 Motorreductor estándar.....43
Figura 2- 2 Servo motorreductores.....44
Figura 2- 3 Motorreductores velocidad variable .....44
Figura 2- 4 Motorreductores de acero inoxidable .....45
Figura 2- 5 Motorreductores antiexplosivo .....46
Figura 2- 6 Diseño y partes motorreductores ejes paralelos.....46

Figura 2- 7 Modelo placa motorreductor engranaje cilíndrico ..... 47
Figura 2- 8 Dependencias empresa nueva energía ..... 49
Figura 2- 9 Permiso de trabajo seguro ..... 50
Figura 2- 10 Ubicación del reten ..... 51
Figura 2- 11 Diagrama de Pareto costos de mantención ..... 52
Figura 2- 12 Diagrama de Ishikawa ..... 53
Figura 3- 1 Árbol de soluciones ..... 55
Figura 3- 2 Soporte motorreductor ..... 58
Figura 3- 3 Eje de salida ..... 59
Figura 3- 4 Kit de montaje ..... 61
Figura 3- 5 Eje de salida del reductor ..... 62
Figura 3- 6 Formas correctas de traslado ..... 62
Figura 3- 7 Modelo soporte a fabricar ..... 63
Figura 3- 8 Modelo para montaje del motorreductor ..... 64
Figura 3- 10 Modelo del apriete tornillo sujeción ..... 65
Figura 3- 11 Modelo final posición motorreductor ..... 66
Figura 3- 12 Diagrama de flujo del plan de mantenimiento ..... 67
Figura 4- 1 Informe diario de producción ..... 72
Figura 4- 2 Kit de montaje y desmontaje reductor ..... 74
Figura 4- 3 Viga laminada ..... 75
Figura 4- 4 Planchas de acero laminadas ..... 75
Figura 4- 5 pernos ..... 76

## INDICE DE TABLA

Tabla 3- 1 Tabla de multicriterio para selección de la mejora .....56
Tabla 3- 2 Aprietes sugeridos.....65
Tabla 3- 3 Fallas funcionales del reductor .....68
Tabla 3- 4 Plan de mantenimiento.....69
Tabla 3- 5 Calculo generación de energía.....72
Tabla 3- 6 Detalle pérdidas económicas .....73
Tabla 3- 7 Modelo de kit de desmontaje a utilizar.....74
Tabla 3- 8 Detalle costos de recursos humanos para implementación mejora.....76
Tabla 3- 9 Detalles costos de insumos para implementación mejora .....77
Tabla 3- 10 Balanza de costos y beneficios .....77

## SIGLAS Y SIMBOLOGIA

- TPM: Total Productive Maitenance
- ACR: Root Cause Analysis
- VTI: Ventilador Tiro Inducido
- OSMOSIS: Movimiento del agua
- $OC(N_2H_2)_2$: Carbohidrazida (compuesto químico)
- Lb/h: libras por hora
- VAC: Ventilador aire combustión
- FGR: Ventilador recirculación gases
- Nm: Newton Metros
- KWh: Kilovatio por hora
- MWh: Megavatio por hora

## INTRODUCCIÓN

Desde que se comenzó con el mantenimiento industrial en los siglos XIX aproximadamente había una manera muy drástica de observar este sistema, ya que se relacionaba con una pérdida de tiempo y gastos, por la simple razón que las empresas preferían parar los equipos para ejecutar la mantención correctiva. en esos momentos no se daban cuenta de la magnitud de los gastos que generaba una parada del proceso productivo, sin embargo a pesar de todos estos inconvenientes el mantenimiento fue evolucionando de tal manera que la mantención preventiva de los equipos fue incorporándose muy fuerte en el área de la mantención, lo que genero nuevas ideas para controlar los procesos de diferentes compañía, empezaron ejecutando una simple limpieza en los equipos como mantención preventiva lo que llamó la atención y genero una mejora en el mundo de las industrias, también se fueron creando nuevos sistemas de gestión para mantener un registro de las tareas realizadas en los equipos, fue tanto el avance que ya se crearon tipos de mantenimiento tales como correctivos, preventivos y predictivos que son unos de los más importante de las industrias, lo cual fue aumentando la confiabilidad de los procesos de cada planta, ya que en la actualidad un mantenimiento correctamente gestionado, basado en la confiabilidad, seguridad y calidad les permite a una empresa la seguridad de estar en el mercado de manera rentable y confiable para sus clientes.

En la actualidad la tecnología nos permite tener una gestión de mantenimiento correcto, ya que existen diferentes estrategias para el desarrollo de un plan de mantenimiento adecuado para cada equipo, lo cual es muy provechoso para todas las empresas en general, garantizando el funcionamiento óptimo de los equipos con un costo mínimo de mantención, es necesario mencionar que esta área esta más fuerte en el mercado teniendo inclusive toda la atención de las empresas, esta área ya no es visto como un gasto, ahora es una inversión que hace una compañía con la cual logra un estándar de confiabilidad en el mercado con respecto a sus clientes.

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la viabilidad de un nuevo diseño implementado a la modificación de posición motorreductor, planta eléctrica nueva energía S.A

## OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los requerimientos del sistema de mejora en el proceso de alimentación de la caldera.

- Diseñar un nuevo modelo de soporte para el motorreductor, acorde a la modificación de su posición correcta, que será anclado a la estructura de la cinta de alimentación.

- Evaluar el sistema mediante un estudio económico que permita cuantificar la posible implementación de la propuesta de mejora.

# CAPITULO 1: MARCO TEORICO

## 1.1. BASES DEL MANTENIMIENTO

Según la RAE (Real Academia Española, 2019) el significado más pertinente es: "Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente". A gran escala se define mantenimiento como todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

### 1.1.1. Historia del mantenimiento

Desde el principio de la humanidad y hasta fines del siglo xvii, la conservación y el mantenimiento que hacía el hombre a las máquinas que utilizaba en la elaboración del producto o servicio que vendía a sus clientes, no tuvieron un gran desarrollo debido a la poca importancia que se le tenía a la máquina con respecto a la mano de obra que se empleaba; hasta antes de 1880, se consideraba que el trabajo humano intervenía en 90% para hacer un producto y el 10% restante era el trabajo que realizaba la máquina. A partir de entonces, el cuidado que se le da a las máquinas para que éstas funcionen adecuadamente se le llama mantenimiento, concepto que a partir de aquí se escribirá entre comillas cuando nos refiramos a la acepción antigua y sin comillas cuando se hable del mantenimiento moderno. Con este orden de ideas, el "mantenimiento" que se proporcionaba a cualquier tipo de máquina, ya fuera como proveedores o como compradores, sólo consistía en arreglos para que éstas siguieran funcionando lo mejor posible, lo cual se realizaba en caso de paro o falla importante; es decir sólo se efectuaban acciones correctivas, y no preventivas, teniendo como objetivo sólo el arreglo de la máquina y no se pensaba en el servicio que ésta suministraba.

Conforme la industria fue evolucionando, las exigencias del mercado de mayores volúmenes, diversidad y calidad de productos aumentaron, razón por la cual las máquinas fueron cada vez más numerosas y complejas; este hecho suscitó que su importancia aumentara respecto a la relevancia que hasta entonces había tenido la mano de obra. Con el inicio de la Primera Guerra Mundial, en 1914, las máquinas trabajaron a toda su capacidad y sin interrupciones, no solamente las ocupadas en la industria común de los países beligerantes, sino también las que hacían armas, vehículos y artefactos bélicos, pues su funcionamiento era cuestión de vida o muerte para el usuario; por este motivo, la máquina tuvo cada vez mayor importancia y aumentaron en cuanto a número y funciones cada vez más complejas y exigiendo mejores operadores y cuidados.

De esta forma nació el concepto de “mantenimiento” preventivo, el cual en la década de 1920 se aceptó prácticamente como una labor que, aunque onerosa, era necesaria. Sin embargo, este procedimiento seguía guardando un enfoque máquina y las reparaciones que se le hacían eran con el criterio de que, si la máquina funcionaba bien, ésta daría el producto o servicio adecuado. En 1970, y con base en el surgimiento del nuevo concepto de “mantenimiento” productivo (PM, por sus siglas en inglés), el japonés Seichi Nakajima desarrolló el sistema Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés), el cual hace énfasis en la importancia que tiene involucrar al personal de producción y al de mantenimiento en labores de mantenimiento productivo; debido a que esta acción arroja buenos resultados, sobre todo en las industrias de punta.

Como ya se mencionó, hacia 1880 se consideraba que en la elaboración de un producto o servicio el trabajo humano intervenía en un 90% y el 10% restante era trabajo de la máquina. Sin embargo, en la actualidad esta relación se ha invertido, ya que en algunos casos las máquinas intervienen en más o menos 90% en la producción industrial y el 10% restante lo realiza la mano de obra.

## 1.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Los tipos de mantenimiento se clasifican en preventivos y correctivos, donde se encuentra como preventivo el “Mantenimiento predictivo” y el “Mantenimiento preventivo” como así en el otro grupo están el “Mantenimiento correctivo” y el “Mantenimiento detectivo” los cuales tienen como definición la siguiente:

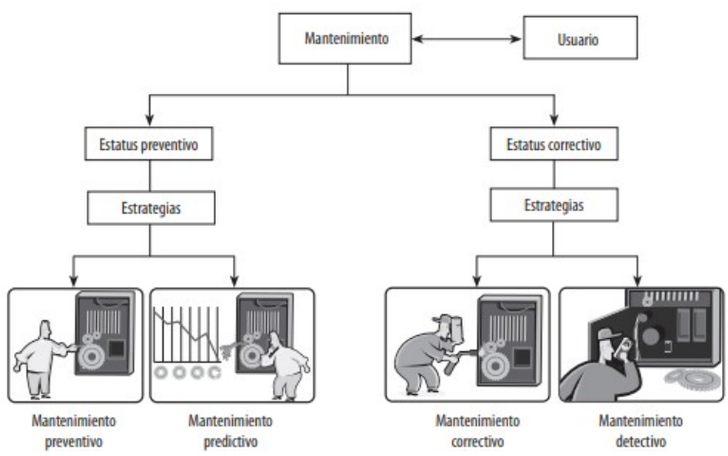



*Figura 1- 1 Mapa conceptual del mantenimiento*

Fuente: (Villanueva, 2014)

### 1.2.1. Estrategias de mantenimiento preventivo

Son labores documentadas, usadas para aplicar el mantenimiento preventivo y su división es la siguiente:

- Mantenimiento Preventivo: Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que un sistema pueda seguir funcionando adecuadamente y no llegue a la falla.
- Mantenimiento Predictivo: Servicios de seguimiento del desgaste de una o más piezas o componentes de equipos prioritarios (sistemas), a través de análisis de síntomas o estimación mediante evaluación estadística, supervisión del funcionamiento y determinación del punto exacto del cambio.

Se observa claramente que para permitir que un ítem continúe en estado de funcionamiento adecuado podemos conseguirlo de dos maneras, aplicando estrategias de:

1. Estrategia de mantenimiento preventivo: Restaurando o reemplazando el ítem o sus componentes en intervalos programados con la condición de no perder la calidad del satisfactorio que se está manufacturando.
2. Estrategia de mantenimiento predictivo: Comprobando estadísticamente, en general por medios electrónicos en ítems vitales, si algo muestra algún defecto con el fin de proceder de acuerdo con la condición encontrada.

### 1.2.2. Estrategias de mantenimiento correctivo

Son labores documentadas, usadas para aplicar el mantenimiento correctivo y su división es la siguiente:

- Mantenimiento Correctivo: Servicios de inspección, control, preservación y restauración de un ítem que opere como sistema abierto con la finalidad de prevenir, detectar o corregir fallas.
- Mantenimiento predictivo: Servicios de inspección, control, preservación y restauración de un ítem que opere como sistema cerrado con la finalidad de prevenir, detectar o corregir errores o defectos que provoquen fallas.

Existen muchas labores y combinaciones de éstas para pasar racionalmente un ítem de un estatus correctivo a uno preventivo. Al analizar tales labores desde el enfoque de cómo se presenta la falla.

## 1.3. INDICADORES DE MANTENIMIENTO

Considerando que uno de los objetivos de este trabajo del área de mantenimiento, es el de mejorar la capacidad de gestión de mantenimiento e implementar y adaptar herramientas que permitan recopilar la máxima información. Por esta razón es de suma importancia conocer las herramientas de gestión que permitirán controlar y analizar los indicadores de mantenimiento. Bajo este contexto se identifican los siguientes indicadores:

### 1.3.1. Disponibilidad mecánica

La disponibilidad es el principal parámetro asociado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción. Se define como la probabilidad de que una máquina esté preparada para producción en un período de tiempo determinado, o sea que no esté parada por averías o ajustes.

$$D = \frac{T_0}{T_0 + T_P}$$

$D$: Disponibilidad

$T_0$: Tiempo total de operación

$T_P$: Tiempo total de parada

### 1.3.2. Confiabilidad

Se entiende como la probabilidad de que un equipo pueda realizar su operación sin fallas durante un periodo de tiempo. Se relaciona directamente entre el tiempo medio entre falla y la suma del tiempo medio entre falla con el tiempo medio para reparar.

$$CONF = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR}$$

CONF: Confiabilidad

TMEF: Tiempo medio entre fallas

TMPR: Tiempo medio para reparar

1.3.3. Mantenibilidad

Es la probabilidad de que un equipo con falla pueda ser reparado a una condición especificada en un periodo de tiempo dado, y usando unos recursos determinados. Por tanto, la media de tiempos de reparación (TPPR) caracteriza la mantenibilidad del equipo.
Se calcula de la siguiente manera:

$$TPPR = \frac{TTF}{\sum NTFALLAS}$$

TTF: Tiempo total de fallas.
NTFALLAS: Numero de fallas detectadas

El tiempo promedio para reparación se relaciona entre el tiempo total de intervención correctiva y el número total de fallas detectadas, en el periodo observado. La relación existente entre el Tiempo Promedio Entre Fallas debe estar asociada con el cálculo del Tiempo Promedio Para la Reparación.

1.3.4. Tiempo promedio para reparar (TMPR O MTTR)

Se considera también un índice de suma importancia para el cálculo de la mantenibilidad de los equipos; y su concepto se define como el tiempo que se ocupa en cada intervención o reparación correctiva de los equipos.

$$TMPR = \frac{\sum HORAS\ DE\ REPARACION}{N°OTs\ CORRECTIVAS}$$

1.3.5. La frecuencia de las fallas

Se entiende como el tiempo que nos demande en reanudar el servicio.
Se calcula de la siguiente manera:

$$D = \frac{TPEF}{TPEF+TPPR}$$

D: Disponibilidad.
TPEF: Tiempo promedio entre fallas

TPPR: Tiempo medio para reparar

1.3.6. Tiempo medio entre falla (TMEF O MTBF)

Este es el índice clave para realizar el cálculo de mantenibilidad de los equipos y como su nombre lo dice se refiere al tiempo medio entre reparaciones de los equipos.
Se calcula de la siguiente manera:

$$TMEF = \frac{HORAS\ DE\ OPERACIÓN}{N°OTs\ CORRECTIVAS}$$

## 1.4. HERRAMIENTAS PARA LA GESTION DEL MANTENIMIENTO

Con la evolución de la industria, la tecnología y maquinaria en el último siglo las empresas sin importar su tipo de producción o servicio, hoy en día están enfocándose hacia el sistema de medir para controlar y controlar para mejorar utilizando diferentes métodos, estrategias, procedimientos, matrices entre otros, con base en indicadores de gestión que permitan identificar a tiempo problemas y oportunidades, entender los procesos y hacer un seguimiento y control definiendo responsabilidades y acciones preventivas que ayuden con el mejoramiento continuo de las empresas. Durante estos procesos de cambio y adicionando la alta competitividad local y global es de vital importancia tener un flujo de información en tiempo real de la organización bajo los pilares de la estructura organizacional, la misión y visión para que en cada una de las áreas que estas la componen, permitan evaluar de manera eficaz, aspectos administrativos, financieros y de gestión que se llevan a cabo en función del Cliente.

### 1.4.1. Análisis causa raíz (ACR)

Análisis de Causa Raíz (ACR o RCA en sus siglas en inglés) es un método para la resolución de problemas que intenta evitar la recurrencia de una incidencia o defecto a través de identificar sus causas. El análisis de causa raíz se utiliza para investigar cuáles son las causas que han originado un determinado problema o incidencia, poder actuar sobre ellas evitando así su recurrencia en el futuro. En todas las organizaciones se dan a diario no conformidades que tienen su origen en causas triviales, en las que el análisis de causas es automático, claro, fácil y, por ende, la acción correctiva es evidente. En estos casos no sería necesario el realizar un análisis de causas como tal, ni aplicar las herramientas que después analizaremos. Por otro lado, hay una parte de las no conformidades en las que no es fácil o trivial el determinar

las causas que las produjeron y, en estos casos, si es deseable el apoyarse en las llamadas herramientas RCA. Téngase en cuenta, que, dependiendo de su origen y carácter, estas incidencias pueden suponer pérdidas significativas de dinero, o de seguridad, siendo prioritario asegurar que el problema se resuelve correctamente y que no se repetirá en el futuro.

#### 1.4.1.1. Claves del análisis causa raíz

El análisis será tan bueno o malo como sea la calidad de la información recopilada.

- Los antecedentes y experiencia a veces pueden ser buenos, a veces malos para realizar un buen análisis de causa raíz.
- Se tiene que entender claramente qué sucedió, cual es el problema. Más tarde intentaremos entender el por qué sucedió.
- A veces, no se pueden resolver al 100% todos los problemas de desempeño o no conformidades, siendo positivo conformarse con llegar al 60%, siguiendo la máxima 10% de esfuerzo para conseguir el 60% de resultado.
- Todas las investigaciones no tienen que ser iguales, pero la estrategia o metodología para hacerlas si puede estar normalizada.

#### 1.4.1.2. Etapas de la metodología de análisis causa raíz

A continuación, se desarrollan las etapas de una Metodología de Análisis Causa Raíz (ACR) para identificar las acciones y/o recomendaciones que eliminen las causas de las no conformidades y que ofrezcan rentabilidad o añadan valor al proceso.

a) Conformación del Equipo de trabajo.

El equipo de trabajo puede ser multidisciplinar, dependiendo del alcance del problema, formado por personas de diferentes niveles de responsabilidad. Deberán tener conocimiento sobre el problema a tratar, en sus diferentes vertientes, así como de los efectos producidos, compuesto normalmente por personal interno de la empresa, apoyado en su caso, por profesionales externos.

Dentro del grupo tendrá que haber personal con conocimiento de:

- Gestión de reuniones.

• Herramientas de análisis y resolución de problemas.

b) Recopilación y Tratamiento de Datos.

Todo análisis de un problema se inicia con la recopilación de datos asociados a la no conformidad. La base de la información podrá devenir, según proceda y dependiendo del problema a tratar, de:

• Diagrama de flujo de procesos,

• Datos de frecuencia de la no conformidad, producción diferida, impacto en seguridad/ ambiente, etc.,

• Manuales de equipos,

• Manuales de operación,

• Condiciones operacionales/tendencias,

• Planes de mantenimiento,

• Información específica sobre la no conformidad: causas inmediatas, estudios previos, fotos, análisis de falla, análisis de laboratorio, entre otros.

c) Jerarquización de problemas.

El proceso de jerarquización requerirá determinar el impacto de cada no conformidad. Para ello, una de las técnicas más habituales es sumar los costes de reparación o deshecho de cada no conformidad y el coste de pérdida de oportunidad por la producción diferida.
También se puede calcular multiplicando la frecuencia de la no conformidad por la consecuencia de cada una de ellas. El diagrama de Pareto nos puede ayudar a organizar datos, ya que permite asignar un orden de prioridades, al mostrar gráficamente la existencia de muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes. Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal, sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos. El principal uso que tiene el elaborar este tipo de diagrama es el poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización.

d) Definición del problema.

En las sesiones de trabajo, el grupo se cuestionará:

• ¿Cuál es el problema? (enunciado)

- ¿Cómo ocurrió el problema?
- ¿Dónde ocurrió el problema? y ¿dónde no ocurrió?
- ¿Qué condiciones se presentaron antes de que ocurriera el problema?
- ¿Qué controles o protecciones pudieron prevenir que ocurriera el problema y no lo hicieron?
- ¿Cuál es el impacto del problema en seguridad, ambiente, producción y costos de mantenimiento?

Se debe describir una breve historia del problema, indicando, a ser posible, el día que iniciaron las operaciones, la fecha en que se detectó el problema, los eventos relevantes antes de esta fecha, como modificaciones del sistema, mantenimientos realizados, cambios en métodos y/o procedimientos, cambios de personal, etc.

e) Análisis Causa-Efecto.

Este método se basa en el hecho de que una no conformidad siempre tiene una causa, y que está a su vez tiene otra causa, convirtiéndose la primera en efecto de la segunda. Dicho de otra manera, una causa siempre se convierte en efecto de otra causa, formándose de este modo una cadena de causas y efectos, que puede continuar hasta llegar a la causa fundamental del problema. Las principales características del Análisis Causa-Efecto son:

- Se trata de buscar y encontrar las causas de lo que nos sucede, cuando se trata de un problema, pero también se puede plantear de un modo positivo: causas que influyen en la mejora que pretendemos conseguir.
- Una cosa son los síntomas y otra las causas de verdad.
- La pregunta ¿por qué?, en este caso es clave.
- Lleva tiempo.
- Existen causas diversas.
- Es importante que quede por escrito.
- Observar los resultados y llegar a un consenso.

f) Definición de Causas Raíces.

Podemos distinguir entre:

- Causas Raíces Físicas: Están relacionadas con errores o fallos de los equipos.

- Causas Raíces Humanas: Son el origen de las causas raíces físicas. Son ocasionadas por la intervención inapropiada del factor humano. Generalmente, se relacionan con: descuido, olvido o equivocación.
- Causas Raíces Latentes: Son el origen de las causas raíces humanas. Tienen que ver directamente con el sistema organizacional o de administración. Se refiere a la no utilización de procedimientos, fallo de programas, etc.

g) Planteamiento de soluciones.

Uno de los pasos más importantes, después de haberse realizado el Análisis Causa-Efecto, es determinar las soluciones que resolverán el problema de forma sustentable, de tal manera que éste no deba repetirse. Se deberán plantear las acciones necesarias para corregir las causas raíces físicas que provocan el fallo; así como para corregir las causas latentes, que hacen que las personas cometan errores y omisiones, así como la aparición de los problemas organizacionales. Es importante enfocarse a corregir las causas latentes y no llevar acciones punitivas con las personas.

h) Evaluación de soluciones.

Con el objeto de determinar si las soluciones propuestas son convenientes, es necesario realizar el Análisis Costo-Riesgo-Beneficio, que se refiere a comparar el costo de llevar a cabo las acciones contra el riesgo de seguir perdiendo el costo de las consecuencias si no se hace nada, considerando los beneficios al poner en marcha dichas acciones. Cualquier método de cálculo es válido.

## 1.5. DIAGRAMA DE ISHIKAWA O DIAGRAMA DE CAUSA EFECTO.

Una vez identificado el problema a estudiar, se requieren hallar las causas que han ocasionado la situación anormal. Independiente del problema o de la complejidad del mismo, éste es producido por factores que contribuyen en una mayor o menor proporción, pudiendo estar relacionadas entre sí. El diagrama de causa efecto tiene como objetivo encontrar la causa raíz del problema. Su principal ventaja operativa radica en que reúne cada una de los variables incidentes sobre el problema de una manera lógica y concisa estableciendo las relaciones mutuas, lo cual facilita su análisis. El diagrama de causa y efecto puede utilizarse como herramienta para la administración e ingeniería del mantenimiento para determinar las causas de:

- Poca eficiencia en la productividad de los trabajadores.
- Elevado tiempo muerto.
- Accidentes recurrentes.
- Trabajos mal elaborados.

- Excesivo ausentismo.
- Demoras en la ejecución de trabajos.
- Errores en el registro de datos.

Esta técnica tiene sus orígenes en 1953 por el doctor Ishikawa tras encontrarse trabajando con un grupo de ingenieros de Kawasaki Steel Works. Quien presentó el resumen del trabajo en un primer diagrama al que dio el nombre de diagrama de causa y efecto. Éste se popularizo al incrementarse su aplicación conociéndose hoy por hoy también con los nombres de diagrama de espina de pescado o diagrama de Ishikawa.

El Diagrama de Causa y Efecto es un gráfico compuesto por la siguiente información:

- El problema o fallo que se desea investigar.
- Las posibles causas que intervinieron en la situación que se analiza.
- Un eje principal llamado espina central o línea principal.
- En uno de los extremos del eje principal (generalmente extremo derecho) se ubica el tema central o problema que se investiga, el cual se sugiere encerrarse en un rectángulo.
- Líneas o flechas secundarias inclinadas que llegan al eje principal, las cuales representan las causas mayores o primarias en que se dividen las posibles causas del problema que se analiza.
- A las flechas inclinadas llegan otras de menor tamaño que representan las causas que afectan a cada una de las causas primarias. Estas se conocen como causas secundarias o sub causas.
- El Diagrama de Causa y Efecto debe llevar información complementaria que lo identifique como lo es el título, fecha de realización, área de la empresa, entre otras.

Para elaborar el diagrama de causa efecto se establecen los siguientes pasos:

- Definir la característica de calidad y el efecto a ser investigado. Siendo este frecuentemente el efecto que necesita ser mejorado y controlado.
- Escribir el problema raíz en la línea principal.
- Identificar los factores principales que pueden afectar la característica de calidad mediante flechas diagonales que apunten hacia la línea principal. Por lo general se usa:

➢ Métodos, máquinas, materiales y fuerza laboral.
➢ Lugar, procedimiento, personal y políticas.
➢ Ambiente, proveedores, sistema y destrezas.

- Máquinas, métodos, materiales, mediciones, personal, y medio ambiente.
- Equipo, procesos, personal, materiales, ambiente y administración.
- Escribir en cada flecha las causas directas y las sub-causas detalladas.
- Verificar la veracidad de las causas que pueden causar un efecto no deseado.

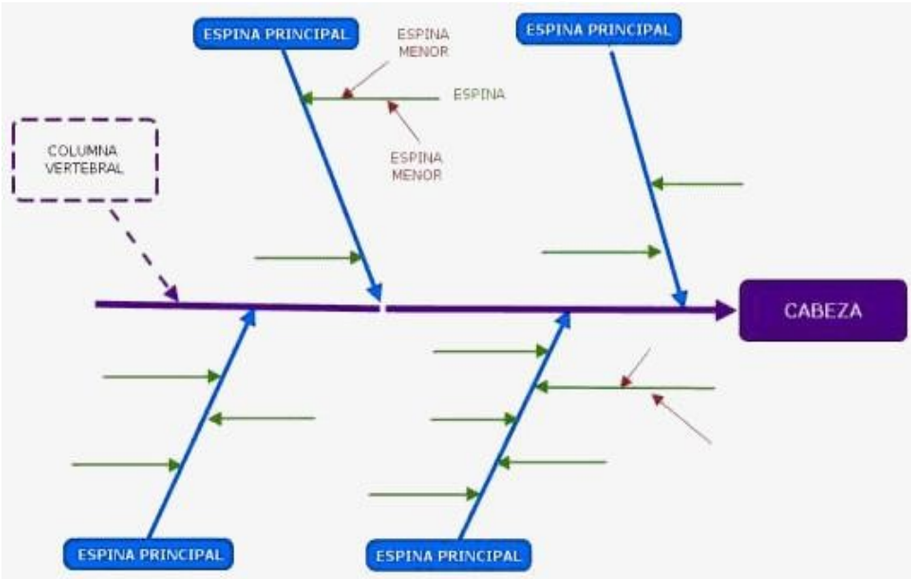



*Figura 1- 2 Diagrama Ishikawa*

*Fuente: https://www.pdcahome.com/diagrama-de-ishikawa-2/*

## 1.6. DIAGRAMA DE PARETO

Es una herramienta de gestión que se utiliza para priorizar los problemas o las causas que los generan. El nombre de Pareto fue dado por el Dr. Juran en honor del economista italiano VILFREDO PARETO (1848-1923) quien realizó un estudio sobre la distribución de la riqueza, en el cual descubrió que la minoría de la población poseía la mayor parte de la riqueza y la mayoría de la población poseía la menor parte de la riqueza. El Dr. Juran aplicó este concepto a la calidad, obteniéndose lo que hoy se conoce como la regla 80/20. Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, podemos decir que el 20% de las causas resuelven el 80 % del problema y el 80 % de las causas solo resuelven el 20 % del problema.

Se recomienda el uso del diagrama de Pareto:

- Para identificar oportunidades para mejorar
- Para identificar un producto o servicio para el análisis de mejora de la calidad.
- Cuando existe la necesidad de llamar la atención a los problemas o causas de una forma sistemática.
- Para analizar las diferentes agrupaciones de datos.

- Al buscar las causas principales de los problemas y establecer la prioridad de las soluciones
- Para evaluar los resultados de los cambios efectuados a un proceso comparando sucesivos diagramas obtenidos en momentos diferentes, (antes y después)
- Cuando los datos puedan clasificarse en categorías
- Cuando el rango de cada categoría es importante Para comunicar fácilmente a otros miembros de la organización las conclusiones sobre causas, efectos y costes de los errores.

Los propósitos generales del diagrama de Pareto:

- Analizar las causas
- Estudiar los resultados
- Planear una mejora continua

La Gráfica de Pareto es una herramienta sencilla pero poderosa al permitir identificar visualmente en una sola revisión las minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y de esta manera utilizar todos los recursos necesarios para llevar a cabo una acción de mejora sin malgastar esfuerzos ya que con el análisis descartamos las mayorías triviales.

Algunos ejemplos de tales minorías vitales serían:

- La minoría de clientes que representen la mayoría de las ventas.
- La minoría de productos, procesos, o características de la calidad causantes del grueso de desperdicio o de los costos de retrabajos.
- La minoría de rechazos que representa la mayoría de las quejas de los clientes.
- La minoría de vendedores que está vinculada a la mayoría de las partes rechazadas.
- La minoría de problemas causantes del grueso del retraso de un proceso.
- La minoría de productos que representan la mayoría de las ganancias obtenidas.

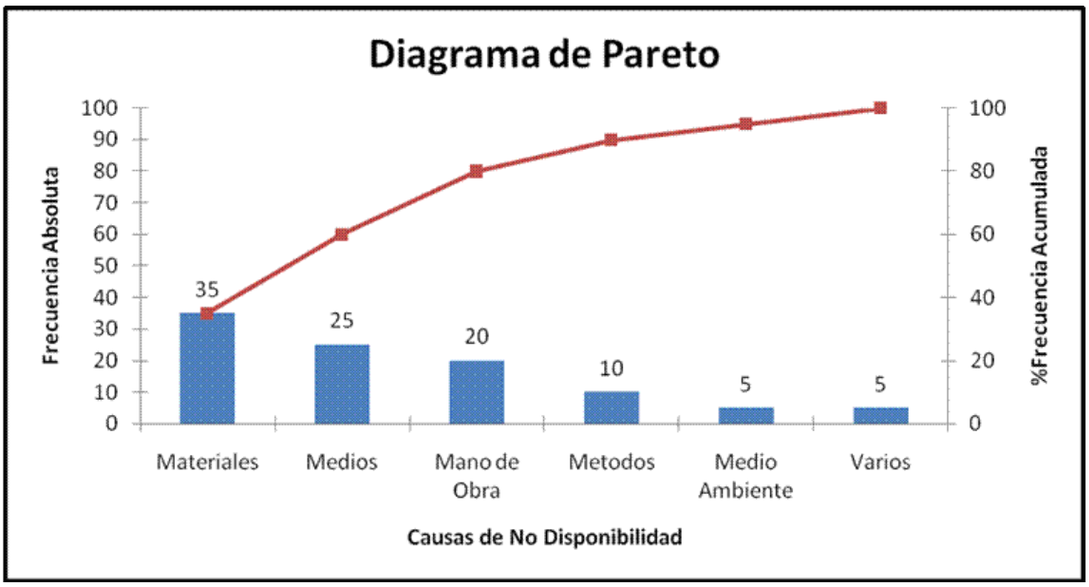



*Figura 1- 3 Diagrama de Pareto*

Fuente: https://www.problemsolving.pro/el-diagrama-de-pareto-que-es-y-como-se-construye/

## 1.7. SIX SIGMA

Six Sigma, es una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios, la cual se basa en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos y metodologías y diseños robustos, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3 o 4 defectos por millón.

El concepto de Six Sigma provee una medición común, así como objetivos comunes, a la vez que inculca una visión común y sobre todo promueve el trabajo en equipo. Han existido dos filosofías sobre la calidad, la primera de ellas la que llamaríamos la filosofía antigua, se basaba en cumplir con las especificaciones o requerimientos del cliente, un precursor de ello fue Crosby, con su teoría de que la “Calidad es Gratis” y la nueva filosofía la cual predica que las pérdidas de calidad están basadas en la desviación de la meta u objetivo de acuerdo a los requerimientos o especificaciones. Esto quiere decir que cualquier producto o servicio desviado del centro o meta, no cumple la norma de calidad, sobre ésta última es que se basa el concepto de Six Sigma. En el proceso de introducción del Six Sigma, uno de los conceptos que más se aplica, pues se trata de una modificación del Ciclo de Deming para la Mejora Continua de Planear, Hacer, Verificar y Actuar.

*Figura 1- 4 Six sigma*

Fuente: https://arrizabalagauriarte.com/dmaic-las-5-fases-del-proceso-implementacion-six-sigma/

## 1.8. UBICACIÓN DE LA EMPRESA

*Figura 1- 5 Ubicación de la empresa*

Fuente: Google maps

## 1.9. CARACTERISTICA GENERAL DE LA CALDERA

*Figura 1- 6 Características generales de la empresa*

Fuente: Elaboración propia

### 1.9.1. Tipo de caldera

Acuotubular: Estas calderas suministran vapor de alta calidad (desde vapor saturado seco hasta vapor sobrecalentado a alta temperatura) gracias al diseño de su intercambiador de calor y, además, pueden alcanzar presiones operativas muy elevadas. Son aptas para aplicaciones que requieren una producción de vapor elevada (hasta 80 t/h), vapor a alta presión (hasta 80 bar) o vapor sobrecalentado (hasta 550 °C).

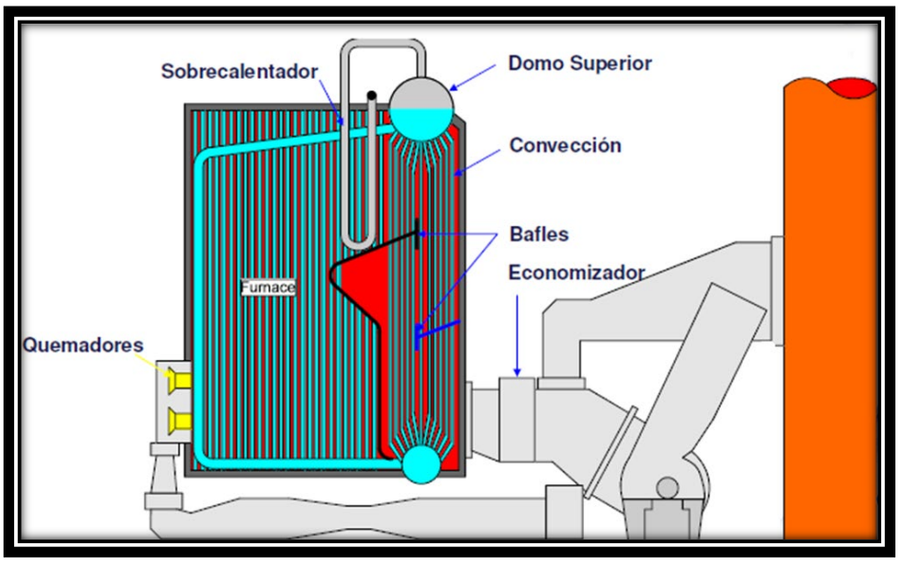



*Figura 1- 7 Esquema caldera tipo acuotubular*

*Fuente: Google Chrome*

## 1.9.2. Descripción del proceso de la caldera

El proceso comienza desde que llega el combustible de biomasa como por ejemplo corteza, aserrín, triturado, pin chip y viruta, a nuestros acopios de la planta, luego con un cargador frontal se llena la tolva receptora la cual se encarga de distribuir la mezcla de biomasa por las cintas transportadoras, el combustible antes de llegar a su destino pasa por un arnero disco para eliminar todos los palos, piedras etc. Posteriormente de eliminar todos los materiales sobre tamaño a través de las cintas transportadoras se lleva la mezcla de aserrín hacia los silos de almacenamientos de la caldera, el cual tiene como función principal a través de unos tornillos helicoidales ingresar el combustible hacia el lecho.

La caldera en la base del hogar está compuesta por un lecho fluidizado de arena granulométrica, en este proceso se debe elevar la temperatura del lecho a través de un quemador a petróleo, con este equipo logramos aumentar la temperatura a 80ºC app. Luego para producir la fluidización de la arena granulométrica ingresa el aire primario por debajo del lecho a través de unas boquillas diseñadas para hacer que el aire llegue precisamente a la base del lecho produciendo el burbujeo de la arena, en este momento al estar preparada la zona con fluidización y temperatura ingresa la biomasa para entrar en contacto con la superficie donde se Produce la combustión liberando todo su poder calorífico, este aire caliente es extraído por un ventilador tiro inducido que trabaja con presión negativa. este gas caliente al ser extraído por el VTI es transferido por todas las zonas de los tubos con agua produciendo de esta manera el vapor sobre calentado de altas temperaturas. Finalmente, este vapor es transferido a través de cañerías hacia nuestro cliente FPC y también se utiliza para generar energía eléctrica por medio de las turbinas de la planta.

## 1.9.3. LAYOUT del proceso

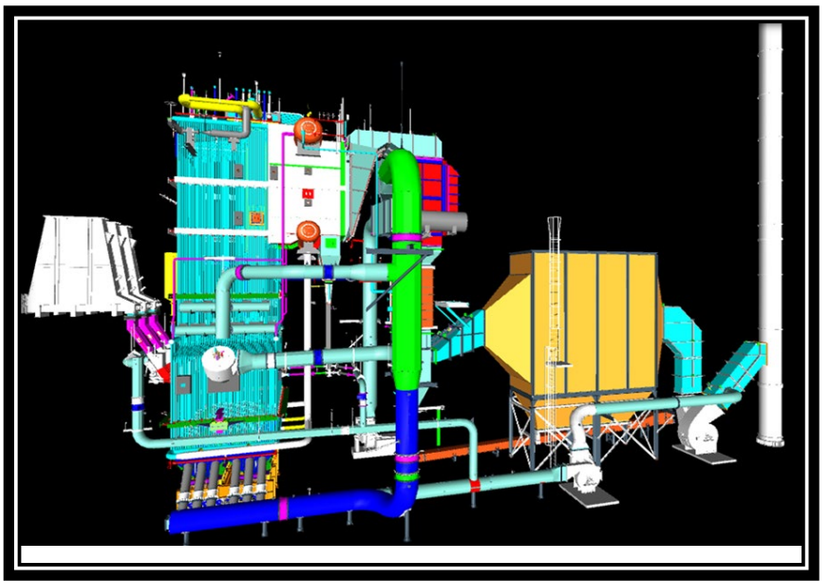


*Figura 1- 8 LAYOUT del proceso de la caldera*

Fuente: Nueva Energía

## 1.9.4. Diagrama de flujo del proceso de producción

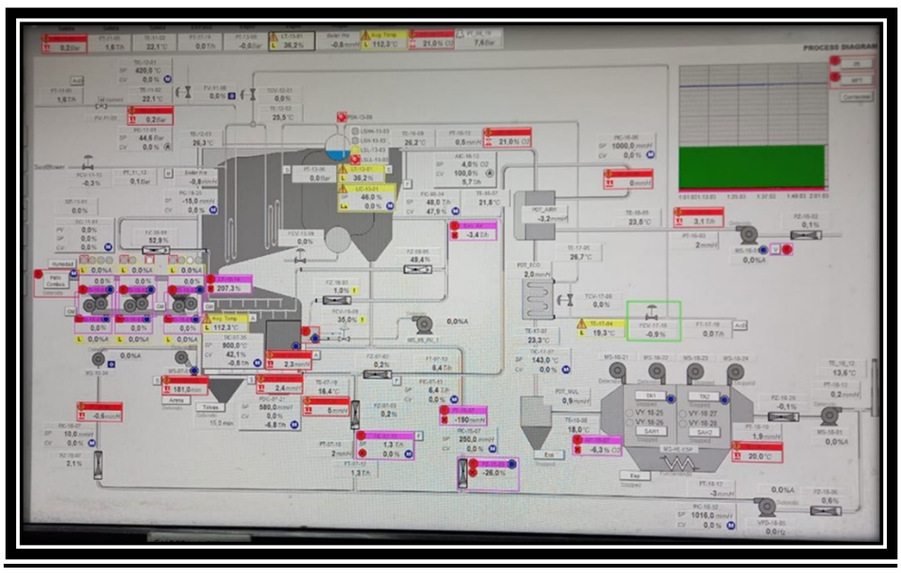


*Figura 1- 9 Diagrama de flujo de producción*

Fuente: Nueva Energía

1.9.5. Componentes principales de la caldera

1) Circuito de alimentación de agua

El agua de alimentación viene de una estación de tratamiento de aguas(pozos), esta unidad está compuesta por filtros de arena que retiene las partículas en suspensión, luego ingresa a una planta OSMOSIS que se encarga de des ionizar el agua esta se almacena en un estanque de agua desmineralizada, luego a través de bombas centrifugas se envían a un des aireador que se encarga de extraer y eliminar oxigeno del agua, esto se consigue calentando el agua de alimentación con vapor a baja presión (0.4 bar), posteriormente al no eliminar todo el oxígeno se efectúan tratamientos químicos con un inhibidor de oxígeno $OC(N_2H_2)_2$, este oxigeno es liberado por un ducto atmosférico, finalmente a través de una bomba centrifuga es impulsada hacia hacía caldera.

*Figura 1- 10 Esquema de tratamiento de agua de la caldera*

Fuente: Google Chrome

2) Tolva receptora

Las tolvas son equipos esenciales en las industrias de las calderas de biomasa, estas son utilizadas para recepcionar la mezcla de biomasa con la que se alimentan los silos, generalmente está compuesta de aserrín, viruta, astillas y corteza de pino, todo esto se unen para generar energía con el combustible proporcionado.

El material normalmente llega en camiones y es descargador directamente en la tolva, que en el fondo posee mecanismos de transmisión por cadenas, dosajes para abastecer de forma automática y estiba de transporte que llevaran la biomasa hacia las cintas transportadoras de forma regulada.

*Figura 1- 11 Tolva receptora*

Fuente: Elaboración propia

3) Cintas transportadoras de alimentación

El tambor de accionamiento se encarga de darle el movimiento al sistema en conjunto de otros mecanismos como el motorreductor de velocidad que se encarga de darle el movimiento al tambor de accionamiento, además existe el tambor de cola que se encuentra al extremo opuesto de este y se encarga de permitir el retorno de la banda una vez que termino su recorrido en el tramo portante.

La función principal de todo este sistema de transporte es llevar el combustible a un lugar específico hacia la caldera, con el propósito de alimentar el hogar de la caldera y generar el vapor.

*Figura 1- 12 Cintas transportadoras de alimentación*

Fuente: Elaboración propia

4) Harnero disco

Este equipo consiste en una estructura metálica donde sus principales componentes son el motor que realiza la transmisión de los discos que tiene en su interior a través de los ejes, con el fin de dar movimiento de tal manera que esto saque de la mezcla de combustible con la cual alimentamos la caldera todos los elementos sobre tamaños, por ejemplo, palos, piedras, fierro etc.

*Figura 1- 13 Harnero disco*

Fuente: Elaboración propia

5) Silos

Los silos permiten un almacenamiento mayor para los sistemas de biomasa, permitiendo alargar los intervalos de llenado de combustibles.

El combustible, biomasa normalmente, se introduce por la parte superior y se descarga para la alimentación de la caldera por la parte inferior, mediante un tornillo sinfín.

*Figura 1- 14 Silos de alimentación*

Fuente: Elaboración propia

6) Quemador

Es un quemador Credefeld duplex, equipado con un piloto de gas. El encendido de la caldera es automático controlado por un sistema de vigila llama. Los quemadores de petróleo diésel atomizan el combustible a fin de ofrecer la mayor superficie de contacto con el aire de combustión, que a la vez dispersa las partículas convenientemente dentro del hogar, para formar una mezcla aire/combustible de rápida ignición. Los procedimientos más difundidos son la atomización mecánica, con vapor o con aire. Para que la atomización sea la correcta, se debe reducir la viscosidad del combustible a valores convenientes, para lo que resulta necesario el calentamiento previo del mismo a 120°C

*Figura 1- 15 Quemador encendido de la caldera*

Fuente: Elaboración propia

7) Lecho fluidizado

Se basa en una combustión lenta a baja temperatura, mediante un material inerte caliente como la arena, que permite encender el combustible al quedar en contacto directo con dicho material, la condiciones para hacer que se cumpla la función principal del lecho es a través del aire que se incorpora en la parte inferior, cuando la velocidad del aire es baja, éste pasará a través de la masa de partículas sin dar lugar a ninguna distorsión en las mismas. Si se aumenta la velocidad del aire, llegará un momento en que la fuerza impulsora del aire sea próxima a la fuerza de la gravedad que mantiene juntas a las partículas en el fondo del cilindro, momento en el que comienzan éstas a moverse y se observa un aumento de la porosidad en el lecho. Al aumentar aún más la velocidad del aire, llega un momento en el que las partículas individuales se ven forzadas a un movimiento hacia arriba, viéndose suspendida en la corriente de aire y originando el denominado "lecho suspendido". Un aumento de la velocidad del aire originará una expansión del lecho, y permitirá el movimiento de las partículas en su interior, dando lugar a la fluidización.

*Figura 1- 16 Lecho fluidizado*

Fuente: Elaboración propia

8) Hogar

Es el espacio donde se quema el combustible. Se le conoce también con el nombre de "Cámara de Combustión", se construye de acuerdo a la capacidad requerida, a partir de tubos de membrana, lo cual implica un mínimo empleo de materiales refractarios, todo el perímetro del hogar está rodeado por una columna de tubos que conectan el domo con el colector de la caldera.

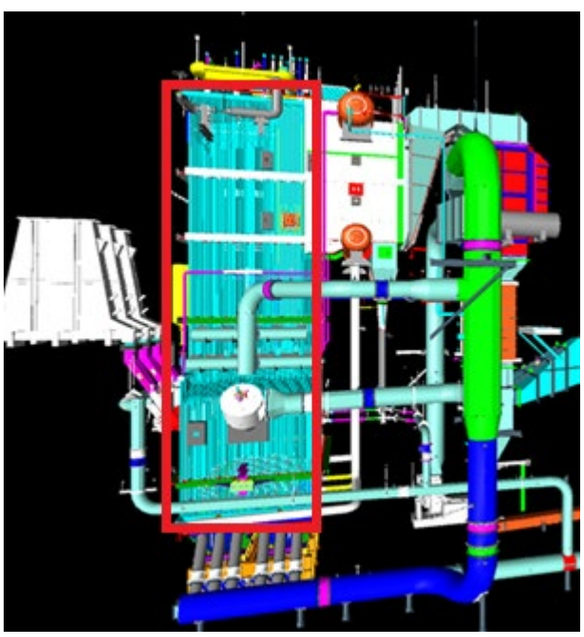


*Figura 1- 17 Hogar de la caldera*

Fuente: Elaboración propia

9) Tanque vapor (DOMO)

El tanque de vapor ser el recipiente de líquido/vapor que libera y recibe los flujos provocados por la circulación natural. Actúa también como recipiente pulmón de vapor y promueve, a través de construcciones y dispositivos adecuados, la separación de goticuelas de la fase vapor, antes del envió para los súper calentadores, este proyecto con los tubos de bajada sin calentamiento define una convención de buen desempeño.

*Figura 1- 18 DOMO*

Fuente: Elaboración propia

10) Sobrecalentado primario

Ubicado en el interior del hogar, compuesto por dos conjuntos de serpentinas, tiene como función elevar la temperatura de los gases.

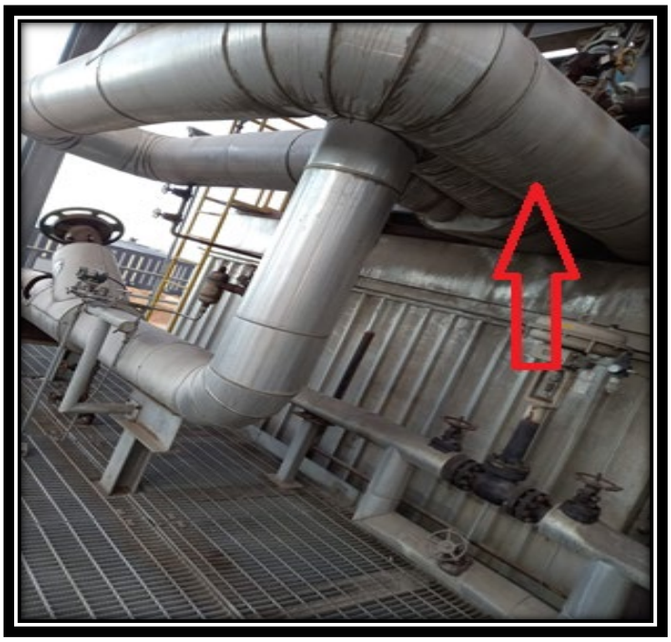


*Figura 1- 19 Sobre calentado primario*

Fuente: Elaboración propia

11) Sobrecalentado secundario

Sistema de control de la temperatura del vapor sobrecalentado, compuesto por válvulas controladoras que inyectan agua en la red de vapor que interconecta el primario con el secundario, controlando la temperatura del vapor en la salida para la turbina.

*Figura 1- 20 Sobrecalentado secundario*

Fuente: Elaboración propia

12) Economizador

Lugar donde se realiza el reaprovechamiento de las altas temperaturas de los gases que salen de la caldera, para el precalentamiento del agua de alimentación de la caldera consiguiéndose un mejor rendimiento combustible.

*Figura 1- 21 Economizador*

Fuente: Elaboración propia

13) Precalentador de aire

Equipo destinado a aprovechar la temperatura de los gases que salen economizador para el calentamiento del aire atmosférico que será inyectado a través del aire primario en la parte inferior del lecho de la caldera, para aumentar el rendimiento del sistema.

Los tubos del precalentador, con el tiempo, pueden adherir impurezas prevenientes de los gases de combustión, al observar que la temperatura del aire primario esta disminuyendo y la caldera está en el régimen normal de operación, de debe hacer una parada para inspeccionar y limpieza de los tubos del precalentador.

*Figura 1- 22 Precalentador de aire*

Fuente: Elaboración propia

14) Ventilador extractor (VTI)

Es un ventilador centrifugo, proyectado para ejecutar el tiraje de los gases de la caldera. Su flujo es controlado mediante un conversor de frecuencia, que responde a un sensor de presión del hogar que mantiene la presión constante, conforme al set-point en el momento del start-up.

*Figura 1- 23 Ventilador extractor*

Fuente: Elaboración propia

15) Precipitador electroestático

Los precipitadores o descontaminadores electrostáticos (o ESP por sus siglas en inglés) son dispositivos que se utilizan para atrapar partículas mediante su ionización, atrayéndolas por una carga electrostática inducida. Se emplean para reducir la contaminación atmosférica producida por humos y otros desechos industriales gaseosos, especialmente en las fábricas que funcionan con combustibles fósiles.

Los descontaminadores electrostáticos son dispositivos de filtración altamente eficientes, que mínimamente impiden el flujo de los gases a través del dispositivo, y pueden eliminar fácilmente finas partículas como polvo y humo de la corriente de aire.

*Figura 1- 24 Precipitador electroestático*

Fuente: Elaboración propia

16) Chimenea autosoportante

Es la parte final del sistema de extracción de gases y tiene por finalidad dispersar los gases de la combustión del hogar. Su sistema de fijación es autosoportante y exime el uso de cables de acero.

*Figura 1- 25 Chimenea autosoportante*

Fuente: Elaboración propia

17) Ventilador aire primario (VAC)

El ventilador primario es el responsable por la introducción de aire por debajo del lecho fluidizado efectuando la primera etapa de la combustión, el aire primario es distribuido a lo largo de toda la zona del lecho de la caldera, con un dámper el cual permite el regulado del aire entre 0 y 100% del flujo.

En esta área de la caldera existen perdidas de carga del aire, para asegurar la distribución homogénea del aire y para mantener la misma presión en todas las áreas del lecho, el aire introducido por este sistema pasa por proceso de calentamiento a través de un intercambiador de calor en contra corriente situado en el sistema de tiraje de los gases y en virtud de este calentamiento, parte de la energía que sería perdida con los gases es recuperada y reenviada al hogar, proporcionando una mayor eficiencia al equipo.

*Figura 1- 26 Ventilador aire primario*

Fuente: Elaboración propia

18) Ventilador aire secundario (FGR)

El ventilador aire secundario introduce aire a temperatura ambiente en el punto divisorio del hogar entre el área de gasificación y quema de sólidos y el área de combustión de volátiles. Por ser inyectado con una presión más elevada, el aire traspasa toda el área de combustión de volátiles, de esta forma garantiza la mezcla completa del aire de combustión con los volátiles, efectuando la quema completa de los mismos. El aire secundario también es utilizado como controlador del límite de temperatura de los gases de la combustión, a fin de evitar que se alcance la temperatura de fusión de las cenizas.

Este ventilador insufla el aire necesario para la quema, siendo insuflado encima del combustible a través de la llama. Un buen regulado del aire secundario asegura una reducción considerable de arrastre de material no quemado y elimina el humo negro en la chimenea.

*Figura 1- 27 Ventilador aire secundario*

Fuente: Elaboración propia

19) Sopladores de tubo

Tiene como finalidad, efectuar la limpieza del hollín de los tubos de los evaporadores, de los tubos de sobrecalentados y del economizador. Su acción se realiza por sopletes de vapor a presión, instalados en los lugares definidos en el proyecto, con la finalidad de evitar la obstrucción parcial o total del sistema de extracción de gases, en las regiones más críticas.

*Figura 1- 28 Sopladores de tubo*

Fuente: Elaboración propia

20) Extracción de cenizas

El flujo esperado de material proveniente del fondo de la caldera es de 706 lb/h, que corresponde al 30% del flujo total de ceniza generada por la combustión; 2353 lb/h (50% de contenido de humedad a 100% de MCR). El 70% restante de ceniza volante producida, equivalente a 1647 lb/h es recogida en el precipitador electrostático. Los sólidos del lecho son descargados por gravedad.

*Figura 1- 29 Extracción de ceniza*

Fuente: Elaboración propia

# CAPITULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 2.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El mantenimiento de los equipos de una caldera siempre se caracteriza como una actividad critica, debido a que es la principal fuente del proceso productivo, además las termoeléctricas del país trabajan tiempo completo, por lo tanto, genera un desgaste excesivo de los equipos, por este motivo la mantención es fundamental para esta empresa, es por aquello que debemos mejorar constantemente el plan de mantenimiento.

En la compañía eléctrica nueva energía S.A. se realizó una inspección en terreno de todos sus equipos, se llegó a la conclusión de una necesidad o preocupación de realizar una mejora preventiva en motorreductores de las cintas transportadoras de alimentación, ya que los motores eléctricos encargados del sistema de transmisión de este equipo está presentando una problemática constante de falla, esta se encuentra en el retén del reductor, debido a la posición inadecuada que se encuentra instalado, es necesario realizar un mantenimiento preventivo para evitar seguir generando una presión de aceite directo al sello de la caja reductora, la lubricación debe ser por salpicadura, no de forma directa, ya que provoca que esta comience a fugarse.

## 2.2. ANTECEDENTES GENERALES DEL EQUIPO ANALIZADO

### 2.2.1. Que es un motorreductor

Un motorreductor es una unidad compacta y homogénea formada por un reductor y un motor, que en la tecnología eléctrica de SEW-EURODRIVE, es siempre un motor eléctrico. La idea de "agregar" un motor a un reductor se remonta a la patente en Bruchsal del ingeniero de diseño y emprendedor Albert Obermoser en 1928: Él inventó el "Vorlegemotor" (motorreductor).

Desde entonces, el motorreductor se ha desarrollado cada vez más, y se han inventado nuevos tipos de reductor. En términos de motor, la tecnología de corriente continua ha perdido importancia, por ello en la actualidad, los reductores se combinan con mayor frecuencia con motores AC o servomotores.

2.2.2. Seguridad

motorreductores Peligro de muerte o peligro elevado de sufrir lesiones durante el funcionamiento de motores o debido a piezas bajo tensión, sin protección (en el caso de conectores / caja de bornas abiertos) y, en algunos casos, también piezas en movimiento o rotación.

Peligro de sufrir quemaduras por superficies calientes. Lesiones graves o fatales

- Cualquier trabajo relacionado con el transporte, almacenamiento, instalación, montaje, conexión, puesta en marcha, mantenimiento y reparación sólo debe ser realizado por especialistas cualificados.

- Para el transporte, almacenamiento, instalación, montaje, conexión, puesta en marcha, mantenimiento y reparación es obligatorio observar los siguientes documentos:

– Las señales de advertencia y de seguridad que se encuentran en el motor/ motorreductor

– Toda la demás documentación de planificación de proyecto, instrucciones de puesta en marcha y esquemas de conexiones pertenecientes al accionamiento

– Las especificaciones y los requisitos específicos del sistema

– La normativa nacional o regional de seguridad y prevención de accidentes.

- No instale nunca productos que presenten daños.

- En ningún caso está permitido tener en marcha o conectar a la tensión la unidad con las tapas protectoras o las carcasas necesarias desinstaladas.

- Sólo está permitido utilizar la unidad para el fin adecuado.

- Se debe prestar atención a que la instalación y su uso sean los correctos.

2.2.3. Uso indicado

Los reductores de las series R..7, F..7, K..7, K..9, S..7, SPIROPLAN® W están destinadas para instalaciones industriales.

Los reductores se deben utilizar sólo de conformidad con las indicaciones en la documentación técnica de SEW-EURODRIVE y los datos en la placa de características. Cumplen los estándares y las normativas aplicables.

En el caso de instalación en máquinas, queda terminantemente prohibida la puesta en marcha (concretamente el inicio del funcionamiento conforme a lo prescrito) hasta no constatar que la máquina cumple las leyes y directivas locales. En el ámbito de aplicación respectivo deben tenerse particularmente en cuenta la directiva sobre máquinas 2006/42/CE y la directiva de compatibilidad electromagnética 2004/108/CE. Se deben tener en cuenta las normativas de prueba CEM EN 61000-4-2, EN 61000-4-3, EN 61000-4-4, EN 61000-4-6 y EN 61000-6-2.

Está prohibida la aplicación en zonas con atmósfera potencialmente explosiva, a menos que se especifique expresamente lo contrario.

2.2.4. funcionamiento

El papel principal en un motorreductor lo desempeña el reductor y sus fases, los pares. Estas características transmiten la fuerza del motor del eje de entrada al eje de salida. Por lo tanto, el reductor funciona como un variador de velocidad y par.

En la mayor parte de aplicaciones, el reductor reduce la velocidad de giro transmitiendo simultáneamente pares significativamente más altos que los que el motor eléctrico por sí solo podría suministrar. Teniendo eso en cuenta el diseño del reductor determina si un motorreductor es adecuado para cargas ligeras, medias o pesadas y para tiempos de corta o larga duración.

Nos referimos a un índice de reducción o relación de transmisión basado en si un reductor reduce o aumenta la velocidad del motor (conocido como velocidad de entrada). La relación de velocidad i entre la velocidad de entrada y salida del reductor sirve para medir esto.

Otro valor de medición importante para un motorreductor es el par máximo en el lado de salida. Este par se indica en metros Newton (Nm) y es la medida de la fuerza del motorreductor y de la carga que éste puede mover con dicha fuerza.

### 2.2.5. Categoría de motorreductores sew

1. Motorreductores estándar

Los motorreductores estándar presentan una gran variedad de tipos, la graduación para multitud de tamaños y el mayor abanico de diseños. Eso hace de ellos un sistema de accionamiento especialmente indicado para producción y logística. Dependiendo del nivel de la unidad de graduación, pueden alcanzar pares altos de hasta 50,000 Nm.

*Figura 2- 1 Motorreductor estándar*

Fuente: Catalogo sew

2. Servo motorreductores

Potencia, velocidad y precisión. Éstas son las características clave de los motorreductores servo. También aquí nuestro sistema modular es la clave para la extensa variedad de combinaciones y hace posible la mayor y más diversa variedad de motores y reductores. Se puede crear el motorreductor ideal para cada necesidad.

Tanto si usted combina un reductor servo planetario PF.. o un reductor servo de engranajes cilíndricos BF.. con servomotores síncronos CMP, servomotores DRL.. asíncronos o

motores DR.. AC: la especial interacción entre motor y redactor le asegura en cada momento una respuesta personalizada a su aplicación y necesidades.

*Figura 2- 2 Servo motorreductores*

Fuente: Catalogo sew

3. Motorreductores de velocidad variable

Para aplicaciones en las que la velocidad del sistema de accionamiento debe ajustarse de manera impecable, entran en juego nuestros motorreductores de velocidad variable. Estos son los tipos de requisitos necesarios para cintas transportadoras sencillas o agitadores, por ejemplo, con niveles de velocidad que deben adaptarse constantemente a secuencias de diferentes procesos. La velocidad se puede adecuar eficientemente a través de manivela manual o de control remoto.

*Figura 2- 3 Motorreductores velocidad variable*

Fuente: Catalogo sew

4. Motores de acero inoxidable

Para aplicaciones en áreas de alta higiene y limpieza, el motorreductor debe soportar productos químicos y humedad. Nuestros motorreductores de acero inoxidable resistentes al ácido y alcalino, están diseñados exactamente para esto. Su superficie, optimizada para la limpieza y su diseño sin ventilador, aseguran que en sus ranuras no se aloje nada de suciedad. Y todo ello sin perder nada de potencia. Tanto si usted opta por motorreductor de engranajes cilíndricos RES., como por el motorreductor de grupo cónico de acero inoxidable KES..: estos motorreductores son especialmente robustos, duraderos y de fácil mantenimiento y especialmente el reductor de grupo cónico no ocupa mucho espacio.

*Figura 2- 4 Motorreductores de acero inoxidable*

Fuente: Catalogo sew

5. Motorreductores antiexplosivos

La mayor parte de nuestros motorreductores estándar y servo motorreductores están disponibles como antiexplosivos y cumplen con la normativa local correspondiente a través de todo el mundo. Son por lo tanto sistemas potentes y seguros que garantizan un alto rendimiento incluso en ambientes potencialmente explosivos con aire y gas o mezclas de aire y polvo.

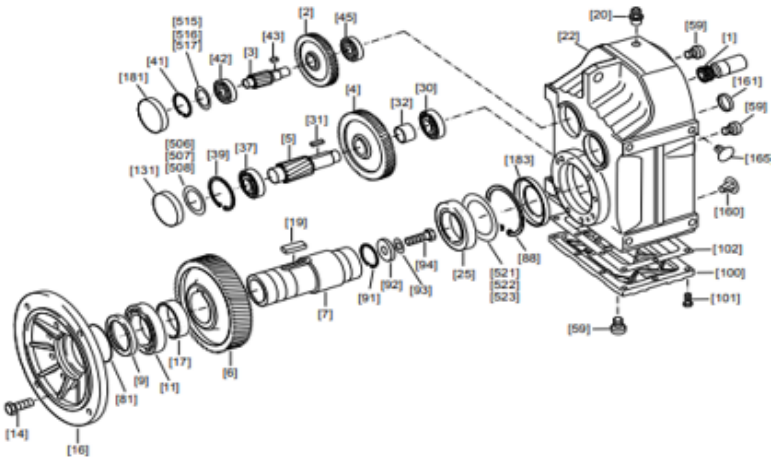
*Figura 2- 5 Motorreductores antiexplosivo*

Fuente: catalogo sew

## 2.2.6. Tipos de reductores industriales

- Reductores de engranajes cilíndricos
- Reductores de grupo cónico
- Reductores planeta

## 2.2.7. Diseño y partes de reductores ejes paralelos que existen en ENESA




| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [1] | Piñón | [22] | Carcasa | [91] | Circlip | [506] | Arandela de ajuste |
| [2] | Rueda | [25] | Rodamientos | [92] | Arandela | [507] | Arandela de ajuste |
| [3] | Árbol piñón | [30] | Rodamientos | [93] | Arandela de bloqueo | [508] | Arandela de ajuste |
| [4] | Rueda | [31] | Chaveta | [94] | Tornillo hexagonal | [515] | Arandela de ajuste |
| [5] | Árbol piñón | [32] | Distanciador | [100] | Tapa del reductor | [516] | Arandela de ajuste |
| [6] | Rueda | [37] | Rodamientos | [101] | Tornillo hexagonal | [517] | Arandela de ajuste |
| [7] | Eje hueco | [39] | Circlip | [102] | Junta | [521] | Arandela de ajuste |
| [9] | Retén | [41] | Circlip | [131] | Capuchón | [522] | Arandela de ajuste |
| [11] | Rodamientos | [42] | Rodamientos | [160] | Tapón de cierre | [523] | Arandela de ajuste |
| [14] | Tornillo hexagonal | [43] | Chaveta | [161] | Capuchón | | |
| [16] | Brida de salida | [45] | Rodamientos | [165] | Tapón de cierre | | |
| [17] | Distanciador | [59] | Tapón roscado | [181] | Capuchón | | |
| [19] | Chaveta | [81] | Junta de estanqueidad | [183] | Retén | | |
| [20] | Tapón de salida de gases | [88] | Circlip | | | | |

*Figura 2- 6 Diseño y partes motorreductores ejes paralelos*

Fuente: manual motorreductores sew

## 2.2.8. Placa motorreductor engranaje cilíndrico

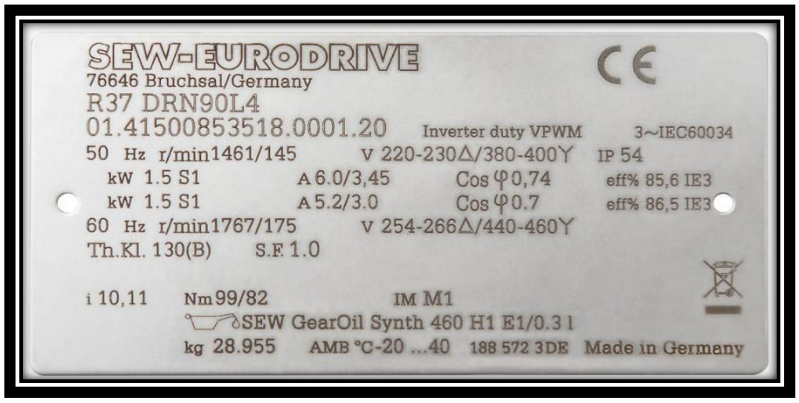



*Figura 2- 7 Modelo placa motorreductor engranaje cilíndrico*

Fuente: Manual motorreductores sew

## 2.2.9. Selección general de un motorreductor

Para determinar el motorreductor que vamos a utilizar tenemos que seguir los siguientes pasos:

1. Potencia de cálculo (Na): es la potencia teórica necesaria para el accionamiento mecánico, esta potencia la obtenemos a través de los datos que tiene la empresa sobre el equipo a implementar.
2. Potencia de entrada (Ne): esta es la potencia de cálculo determinada anteriormente que deberá ser afectada por el rendimiento del motorreductor, siendo el rendimiento un dato que lo brinda el fabricante.
3. Relación de transmisión (i): la determinamos con la preselección del motor.
4. Velocidad de entrada (ne)(r.p.m): la determinamos con los datos del motor preseleccionado.
5. Velocidad de salida (ns)(r.p.m): la determinamos con los datos del proyecto.
6. Factor de servicio (Fs): este depende de la maquina accionada, el tipo de motor de accionamiento, y la cantidad de horas de arranque por hora.
7. Potencia de mando (Nm): es la potencia de entrada, afectada por el factor de servicio (Fs).

8. Preselección: del catálogo seleccionamos el reductor.
9. Verificamos que la potencia nominal seleccionada del catálogo sea mayor a la potencia de entrada.

## 2.3. PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL MOTORREDUCTORES

En la empresa nueva energía en la actualidad se encuentra el departamento de mantención el cual se encarga de la gestión de mantenibilidad de los equipos de la planta, el jefe del departamento se encarga de la planificación que se encuentra en un plan unificado en toda la planta, pero separados por equipos rotatorios, estáticos, además se encuentran seleccionados por su criticidad y fallas, también existe un supervisor que se encarga de que la ejecución del trabajo que se realiza por los mecánicos sea de la mejor manera posible. Generalmente se trabaja con mantenimiento preventivo programado, pero por la magnitud de los eventos que se presentan en la empresa de igual forma existe mantenimiento correctivo, los cuales se ejecutan con personal externos y supervisado por mecánicos de la empresa.

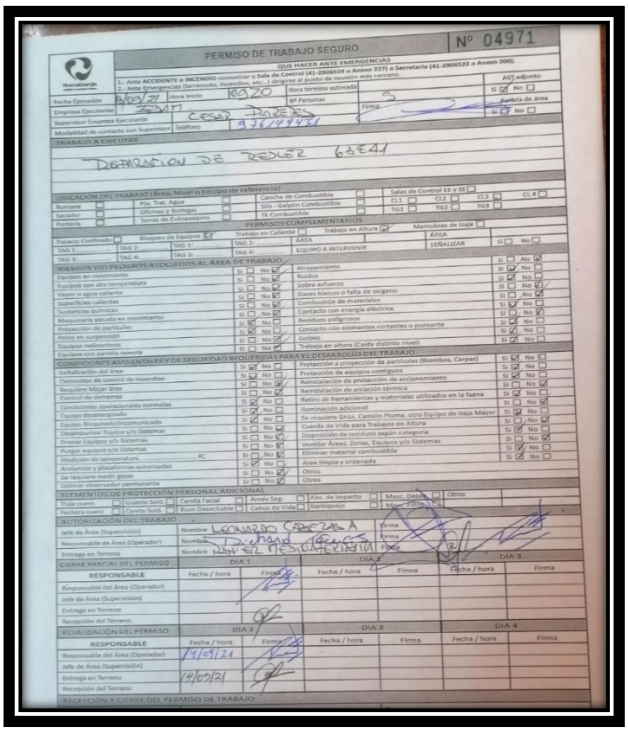
Los motorreductores se encuentran ubicados en el sistema de alimentación de la caldera 4 de ENESA, esta área es una de las más grandes de la planta, por lo tanto, se requieren operadores para monitorear los equipos constantemente y verificar que su funcionamiento está correcto. El operador tiene como función realizar las operaciones en terreno las cuales no se pueden realizar por sala de control, como por ejemplo el cierre de válvulas las cuales no son automáticas y poner en servicios equipos a distancia.

*Figura 2- 8 Dependencias empresa nueva energía*

Fuente: Elaboración propia

La siguiente función es mantener el correcto funcionamiento de los equipos sobre los cuales está a cargo, es por aquello que debe saber el cómo funcionan estos y conocerlos a detalle, por lo que debe realizar inspecciones rutinarias a estos equipos, observando y escuchando el correcto funcionamiento de estos.

Al encontrar una supuesta anomalía en las funciones del equipo se debe reportar al jefe de área, el cual realiza la solicitud para que el equipo de mantenimiento se dirija al lugar a revisar el problema. El supervisor de mecánica da a conocer a su equipo el problema y designa a un par de técnicos para ir a terreno, estos realizan una orden de trabajo analizando los posibles peligros a los cuales se pueden ver enfrentados, anotar el TAG del equipo, el área donde se realizarán los trabajos, esto debe ser firmado por el supervisor para así poder dirigirse al jefe de área y el poder realizar la orden de trabajo seguro, en donde se da conocer si debe bloquear equipos o tableros eléctricos.



PERMISO DE TRABAJO SEGURO

Nº 04971

QUE HACER ANTE EMERGENCIAS

1.- Ante ACCIDENTE o INCENDIO comunicar a Sala de Control (41-2906529 o Anexo 2271 o Secretaria (41-2906522 o Anexo 206).

2.- Ante Emergencias (Terremotos, Inundaciones, etc.) dirigirse al punto de reunión más cercano.

Fecha Ejecución: 9/03/21 | Hora Inicio: 8:20 | Hora término estimada: | Nº Personas: 5 | Firma | AST adjunto: Si ☑ No ☐ | Pareda de Área: Si ☐ No ☐

Empresa Ejecutora: ENESA

Supervisor Empresa Ejecutante: CESAR PEREZ

Modalidad de contacto con Supervisor: Teléfono: 976174421

TRABAJO A EJECUTAR

DESARMADO DE REDUCTOR 63E41

UBICACIÓN DEL TRABAJO (Área, Nivel o Equipo de referencia)

Bunsen ☐ | Pta. Trat. Agua ☐ | Cancha de Combustible ☐ | Salas de Control EE y SE ☐

Secador ☐ | Oficinas y Bodegas ☐ | Sito - Galpón Combustible ☐ | CL1 ☐ CL2 ☐ CL3 ☐ CL 4 ☐

Porteria ☐ | Torres de Enfriamiento ☐ | Tk Combustible ☐ | TG1 ☐ TG2 ☐ TG3 ☐

PERMISOS COMPLEMENTARIOS

Espacio Confinado ☐ | Bloqueo de Equipos ☑ | Trabajo en Caliente ☐ | Trabajo en Altura ☑ | Maniobras de Izaje ☐

TAG 1: | TAG 2: | TAG 3: | TAG 2: | ÁREA | EQUIPO A INTERVENIR | ÁREA | SEÑALIZAR | Si ☐ No ☐

TAG 3: | TAG 4: | TAG 3: | TAG 4:

PELIGROS Y/O PELIGROS ASOCIADOS AL ÁREA DE TRABAJO

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Equipos en movimiento | Si ☐ No ☑ | Atrapamiento | Si ☑ No ☐ | Atrapamiento | Si ☑ No ☐ |
| Equipos con alta temperatura | Si ☐ No ☑ | Ruido | Si ☑ No ☐ | Ruido | Si ☑ No ☐ |
| Vapor o agua caliente | Si ☐ No ☑ | Sobre esfuerzo | Si ☐ No ☑ | Sobre esfuerzo | Si ☐ No ☑ |
| Superficies calientes | Si ☐ No ☑ | Gases tóxicos o falta de oxigeno | Si ☐ No ☑ | Gases tóxicos o falta de oxigeno | Si ☐ No ☑ |
| Sustancias químicas | Si ☐ No ☑ | Combustión de materiales | Si ☑ No ☐ | Combustión de materiales | Si ☑ No ☐ |
| Maquinaria pesada en movimiento | Si ☐ No ☑ | Contacto con energía eléctrica | Si ☐ No ☑ | Contacto con energía eléctrica | Si ☐ No ☑ |
| Proyección de partículas | Si ☑ No ☐ | Residuos peligrosos | Si ☑ No ☐ | Residuos peligrosos | Si ☑ No ☐ |
| Polvo en suspensión | Si ☑ No ☐ | Contacto con elementos cortantes o punzante | Si ☑ No ☐ | Contacto con elementos cortantes o punzante | Si ☑ No ☐ |
| Equipos radiactivos | Si ☐ No ☑ | Golpeo | Si ☑ No ☐ | Golpeo | Si ☑ No ☐ |
| Equipos con partida remota | Si ☐ No ☑ | Trabajo en altura (Caída distinto nivel) | Si ☑ No ☐ | Trabajo en altura (Caída distinto nivel) | Si ☑ No ☐ |

CONDICIONES AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD REQUERIDAS PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO

| | | | |
|---|---|---|---|
| Señalización del área | Si ☑ No ☐ | Protección a proyección de partículas (Biombos, Carpas) | Si ☑ No ☐ |
| Elementos de control de incendios | Si ☐ No ☑ | Protección de equipos contiguos | Si ☑ No ☐ |
| Tequipo Mejor Área | Si ☐ No ☑ | Reinstalación de protección de acelerramiento | Si ☐ No ☑ |
| Control de derrames | Si ☐ No ☑ | Reinstalación de aislación térmica | Si ☐ No ☑ |
| Condiciones operacionales normales | Si ☑ No ☐ | Retiro de herramientas y materiales utilizados en la faena | Si ☐ No ☑ |
| Equipo desmagnetizado | Si ☑ No ☐ | Iluminación adicional | Si ☑ No ☐ |
| Equipos Bloqueado/Incomunicado | Si ☑ No ☐ | Se requiere Grúa, Camión Pluma, otro Equipo de Izaje Mayor | Si ☐ No ☑ |
| Desgasificar Equipo s/o Sistemas | Si ☐ No ☑ | Cuerda de Vida para Trabajos en Altura | Si ☑ No ☐ |
| Drenar Equipos s/o Sistemas | Si ☐ No ☑ | Disposición de residuos según categoría | Si ☑ No ☐ |
| Purgar equipos s/o Sistemas | Si ☐ No ☑ | Ventilar Áreas, Zonas, Equipos y/o Sistemas | Si ☐ No ☑ |
| Medición de temperatura RC | Si ☐ No ☑ | Eliminar material combustible | Si ☑ No ☐ |
| Andamios y plataformas autorizadas | Si ☑ No ☐ | Area limpia y ordenada | Si ☑ No ☐ |
| Se requiere medir gases | Si ☐ No ☑ | Otros | |
| Colocar observador permanente | Si ☐ No ☑ | Otros | |

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL ADICIONAL

Doble casco ☐ | Guante Sold. ☐ | Careta Facial ☐ | Arnés Seg. ☐ | Abs. de Impacto ☐ | Masc. Desch. ☐ | Otros

Pechera cuero ☐ | Careta Sold. ☐ | Buzo Desechable ☐ | Cabos de Vida ☐ | Barbiquejo ☐ | Masc. Filtro ☐

AUTORIZACIÓN DEL TRABAJO

Jefe de Área (Supervisión) | Nombre: LEONARDO CARRASCO A | Firma

Responsable de Área (Operador) | Nombre: DAMIAN TORRES | Firma

Entrega en Terreno | Nombre: MANFRED MESDAMEFRIAT | Firma

CIERRE PARCIAL DEL PERMISO

| RESPONSABLE | DIA 1 Fecha / hora | DIA 1 Firma | DIA 2 Fecha / hora | DIA 2 Firma | DIA 3 Fecha / hora | DIA 3 Firma |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Responsable del Área (Operador) | | | | | | |
| Jefe de Área (Supervisión) | | | | | | |
| Entrega en Terreno | | | | | | |
| Recepción del Terreno | | | | | | |

REVALIDACIÓN DEL PERMISO

| RESPONSABLE | DIA 2 Fecha / hora | DIA 2 Firma | DIA 3 Fecha / hora | DIA 3 Firma | DIA 4 Fecha / hora | DIA 4 Firma |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Responsable del Área (Operador) | 14/03/21 | | | | | |
| Jefe de Área (Supervisión) | | | | | | |
| Entrega en Terreno | 14/03/21 | | | | | |
| Recepción del Terreno | | | | | | |

FINALIZACIÓN Y CIERRE DEL PERMISO DE TRABAJO

*Figura 2- 9 Permiso de trabajo seguro*

Fuente: Documento interno ENESA

Luego de realizar lo anterior el equipo de trabajo del área de mecánica se dirige a terreno para realizar una inspección visual y auditiva si es necesario, para encontrar el problema que está presentando el motorreductor, en algunas ocasiones la falla que presenta es bajo nivel de aceite, lo cual a modo preventivo los encargados efectúan la reposición con la marca correspondiente según fabricante para evitar daños futuros como por ejemplo falla en los rodamientos, al no tener este problema se inspecciona el balanceo del eje de salida, ya que esta falla es más común en el equipo, al presentar este desperfecto los mecánicos avisan al jefe de área, para programar una detención y realizar intervención necesaria al equipo con sus respectivas herramientas de la mejor manera posible para hacer el ajuste de este componente, finalmente al momento de inspeccionar el motorreductor y presenta una fuga de aceite, se informa de inmediato al jefe de mantención para programar una parada general de la caldera, con el fin de desmontar el motorreductor y llevarlo a taller de mantenimiento y así revisar en la parte interior del equipo para identificar de donde proviene la fuga, generalmente las fugas que se están presentando son del retén del reductor.

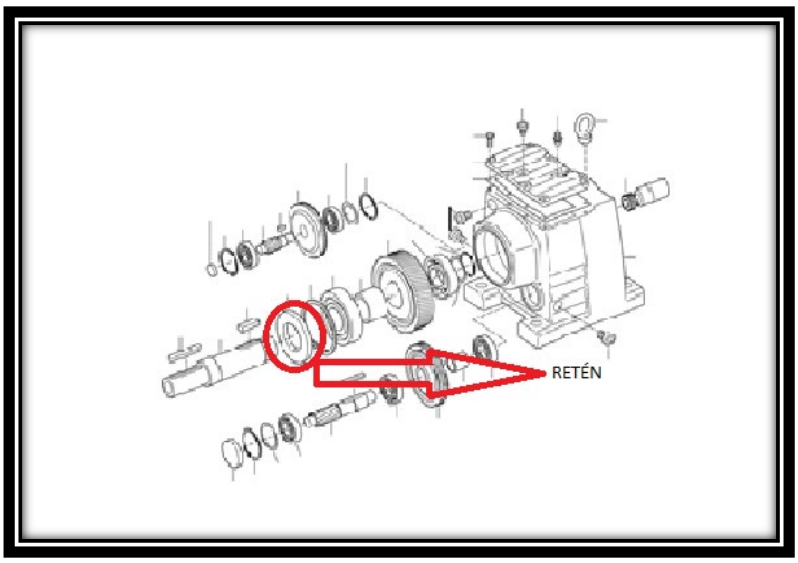



*Figura 2- 10 Ubicación del reten*

Fuente: Elaboración propia

En el caso de que se detectara la falla de fuga en el retén del reductor el jefe de mantención debe programar la detención total de la caldera n°4, ya que se debe dejar fuera de servicio para realizar la mantención del equipo debido a la criticidad que tiene, si el equipo permanece en funcionamiento podemos tener pérdida total del reductor lo cual nos provocaría tener más gastos para la empresa, por lo tanto es necesario realizar el mantenimiento a la brevedad, luego de autorizar la detención viene el traslado del equipo al taller mecánico, por su gran tamaño y peso se debe efectuar la maniobra con personal del área de transporte, generalmente el operador de maquinaria pesada con el volvo es el que se encarga de llevar el equipo al taller con las respectivas indicaciones del personal a cargo de la maniobra, una vez instalado el motorreductor en taller se debe realizar un análisis para verificar por qué se está provocando esta falla, luego de encontrar la falla en taller se realiza el desarme del equipo para solucionar el problema, si tienen el repuesto necesario en planta se ejecuta de inmediato la reparación, pero si no esta se debe mandar a pedir y realizar la mantención al llegar el repuesto.

Si la mantención se realiza de forma inmediata el equipo de mantención realiza una inspección a todos los componentes del reductor, en caso de que se encuentre otra anomalía se hacen las mantenciones correspondientes, pero si no se detecta nada de igual

forma se efectúa una mantención preventiva a los componentes críticos como por ejemplo los rodamientos, sellos, piñón etc. Es importante mencionar que si por falta de tiempo o personal se solicita apoyo de una empresa externa que le realiza mantenciones a la planta.

A continuación, se presentarán diagramas para evidenciar las fallas más comunes para los motorreductores en donde se analizó su problema y sus posibles causas.

## 2.4. DIAGRAMA DE PARETO COSTOS DE MANTENCIÓN

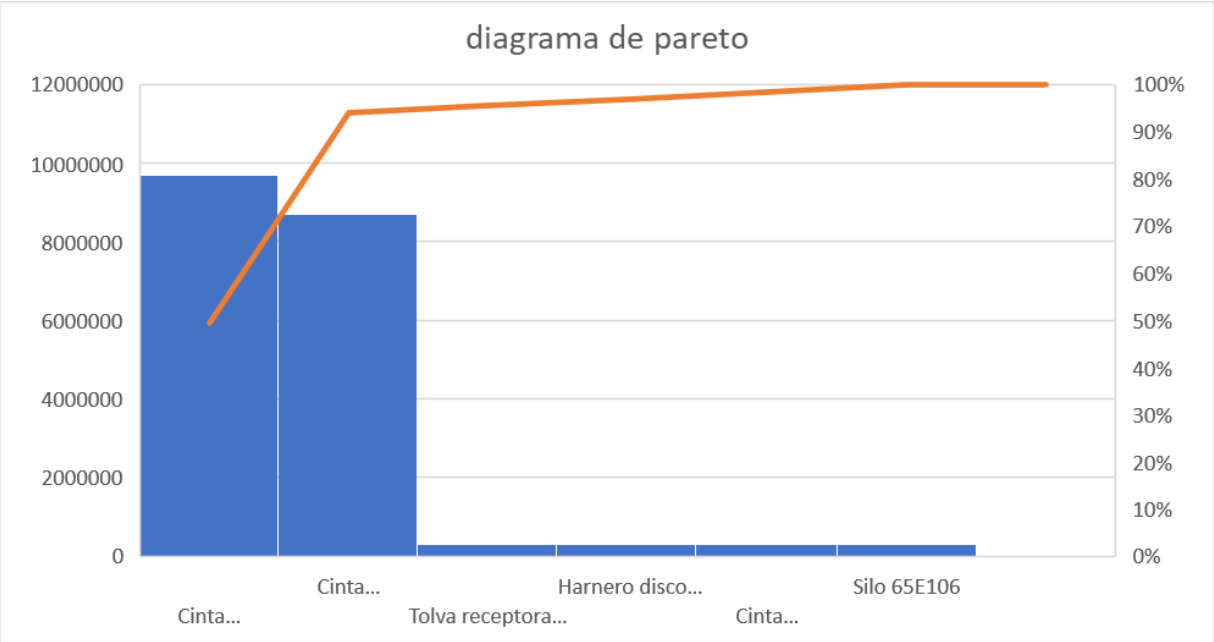



*Figura 2- 11 Diagrama de Pareto costos de mantención*

Fuente: Elaboración propia

En el presente análisis de Pareto se evidencia que las cintas transportadoras n°2 y 4 son las que representan el 80% de las mantenciones anuales más costosas del área de mantenimiento, por lo tanto, este diagrama es de mucha ayuda para determinar los equipos exactos que debemos atacar al momento de realizar una mejora.

## 2.5. DIAGRAMA ISHIKAWA PARA MOTORREDUCTOR

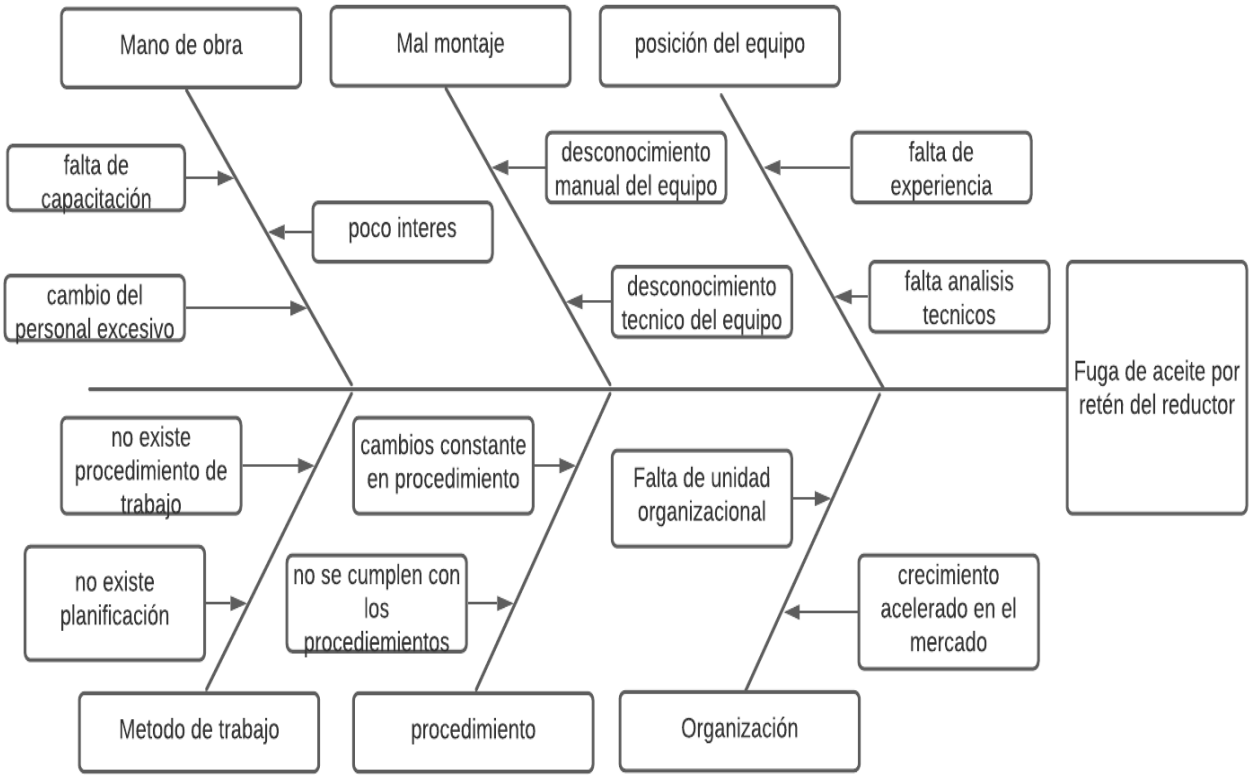



*Figura 2- 12 Diagrama de Ishikawa*

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de Ishikawa es de gran ayuda para encontrar el motivo real por el cual estamos obteniendo esta problemática en nuestra planta, al realizar este análisis nos podemos dar cuenta que la causa que nos provoca esta gran pérdida económica por detenciones no programadas en la caldera es por una ejecución del montaje incorrecto, ya que la empresa que realizo el montaje de nuestra caldera no tenía la organización adecuada y menos el personal con la capacitación, experiencia y conocimientos necesario en la ejecución del montaje.

# CAPITULO 3: SOLUCION AL PROBLEMA

## 3.1. ARBOL DE SOLUCIONES

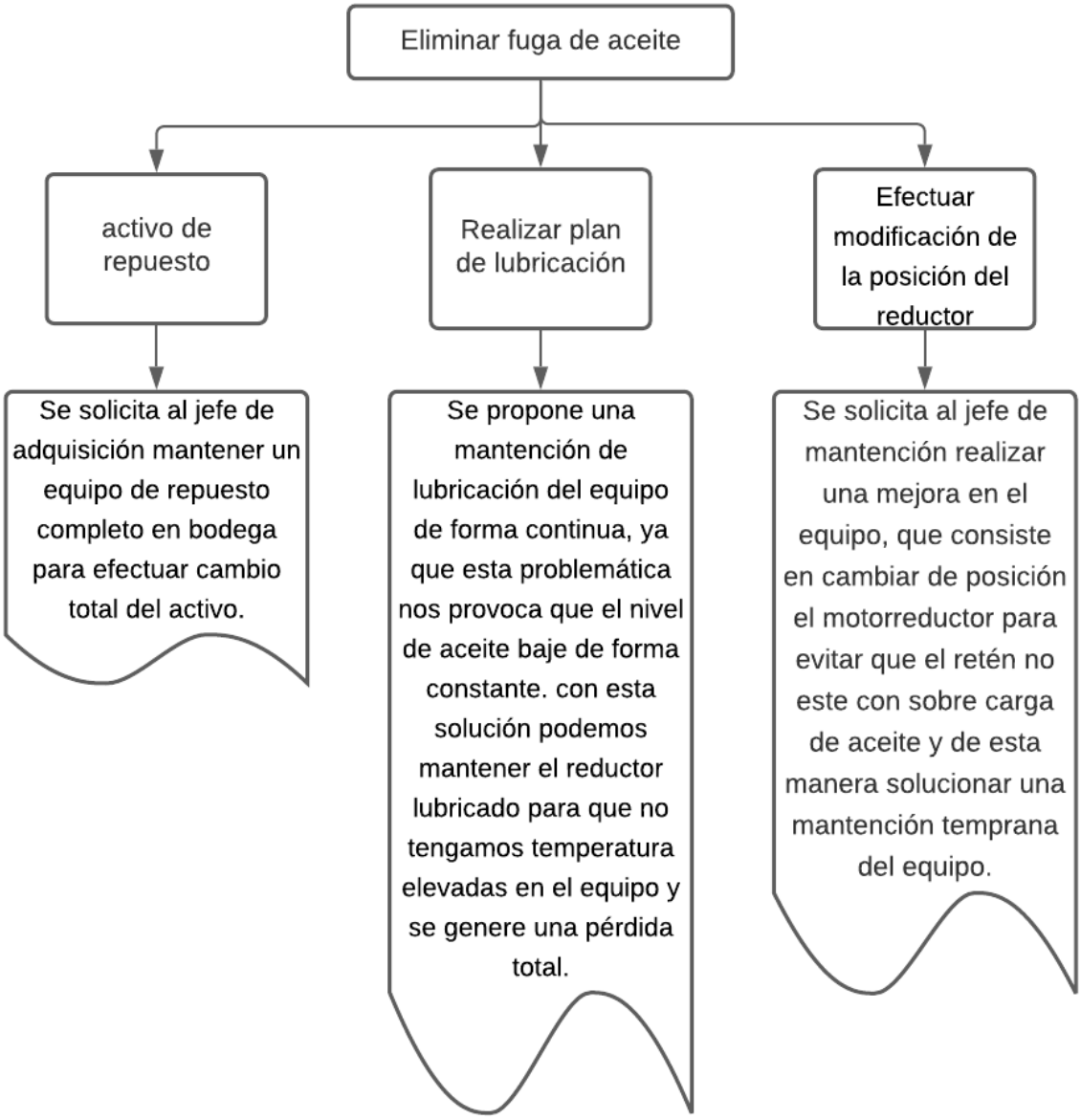



*Figura 3- 1 Árbol de soluciones*

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2. Tabla de multicriterio utilizada para la selección de la mejor alternativa

| Variable | porcentaje de importancia | activo de repuesto | | Realizar plan de lubricación | | Modificar posición del motorreductor | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Calificación | evaluación | Calificación | evaluación | Calificación | evaluación |
| Factibilidad | 30% | 5 | 1.5 | 3 | 0,5 | 7 | 1,4 |
| Tiempo de ejecución | 10% | 3 | 0.3 | 1 | 0,2 | 5 | 0,7 |
| Costo de inversión | 20% | 3 | 0.6 | 0 | 0.5 | 5 | 1,5 |
| Mantenibilidad | 20% | 5 | 1.0 | 1 | 0,2 | 7 | 1,4 |
| Confiabilidad | 20% | 3 | 0.6 | 3 | 0,6 | 5 | 1,0 |
| | 100% | | 4.0 | | 2.2 | | 6.0 |

| Escala de valorización | | |
|---|---|---|
| Escala | Definición | Explicación |
| 0 | inaceptable | pone en riesgo la ejecución del proyecto |
| 1 | Deficiente | afecta al proyecto |
| 3 | Intermedia | impacto regular en el proyecto |
| 5 | Suficiente | beneficia el proyecto |

| Criterios | |
|---|---|
| porcentaje de importancia | 0-100% |
| Calificación | 0 – 7 |
| Evaluación | importancia x calificación |

*Tabla 3- 1 Tabla de multicriterio para selección de la mejora*

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3. Análisis de árbol de soluciones y tabla de multicriterio

a) Activo de repuesto: no es 100% efectivo, debido a que tendremos que gastar en comprar un equipo nuevo en determinadas ocasiones para solucionar un problema momentáneamente, ya que la falla va a continuar apareciendo, por lo tanto, no eliminaremos el problema y seguiremos teniendo costos para la planta.

b) Plan de lubricación: al igual que la solución anterior tendríamos que solicitar más aceite lubricante, lo que nos provocaría un costo elevado para gestionar la compra de este insumo, además no mejoraríamos la disponibilidad del equipo y no se eliminaría la falla de raíz.

c) Modificar la posición del motorreductor: esta solución es la más adecuada, ya que se considera un costo de mantención bajo, debido a que se ejecutaría el trabajo con el personal del área de mecánica, si bien su tiempo de reparación es más elevado, la importancia que genera esta solución es que eliminaremos de raíz la falla, lo que significa que no deberíamos tener más problemas con estos equipos, además al realizar esta mejora se propone un nuevo plan de mantenimiento, con el fin de mantener el equipo operativo en su nivel más eficiente aumentando la disponibilidad y disminuyendo costos para la empresa.

## 3.2. PLAN DE ACCIÓN Y SOLUCIÓN RECOMENDADA

El motorreductor cumple una función muy importante en el sistema de alimentación de la caldera, por lo tanto, es necesario que esté en condiciones óptimas para el proceso de la planta ya que, de lo contrario al tener el equipo con alguna falla ocurrente, nos afecta la productividad y costos económicos.

El plan de acción para la problemática es establecer una posición adecuada a los motorreductores que han tenido fugas por desgaste o deterioro prematuro del retén, para esto tendremos que intervenir el equipo con el personal de mantención, donde se ejecutara el desmontaje del equipo, para llevarlo al taller con el propósito de analizar los cambios que se realizaran a la estructura de las cintas transportadoras y establecer la posición que corresponde, todo esto con los estudios ya antes realizados y con ayuda del manual sew.

## 3.3. DESCRIPCIÒN DEL EQUIPO A INTERVENIR

### 3.3.1. Estructura metálica cintas transportadoras

La cinta nº2 transportadora está ubicado en el patio de la planta y la cinta nª4 está llegando al piso número 5 de la caldera, estos equipos se componen por una banda de aproximadamente 30 metros app, la cual se considera como un sistema de transporte continuo que se mueve entre dos tambores.

Por lo general, la banda es arrastrada por la fricción de sus tambores, que a la vez este es accionado por un motorreductor. Esta fricción es la resultante de la aplicación de una tensión a la banda transportadora, habitualmente mediante un mecanismo tensor por husillo o tornillo tensor. El otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servir de retorno a la banda. La banda es soportada por rodillos entre los dos tambores. Denominados rodillos de soporte.

Debido al movimiento de la banda es posible depositar a través de una tolva de alimentación el combustible que utilizamos para alimentar los silos de la caldera para su respectiva distribución al lecho fluidizado. Con la respectiva ayuda del tambor de accionamiento para dirigirlo hacia el lugar indicado.

Todos estos componentes están ubicados en unas infraestructuras metálicas la cual está diseñada para soportar todos los elementos que contiene estas cintas de alimentación, por lo tanto, nosotros lo que necesitamos modificar es el soporte de cada una de las que están provocando la problemática.

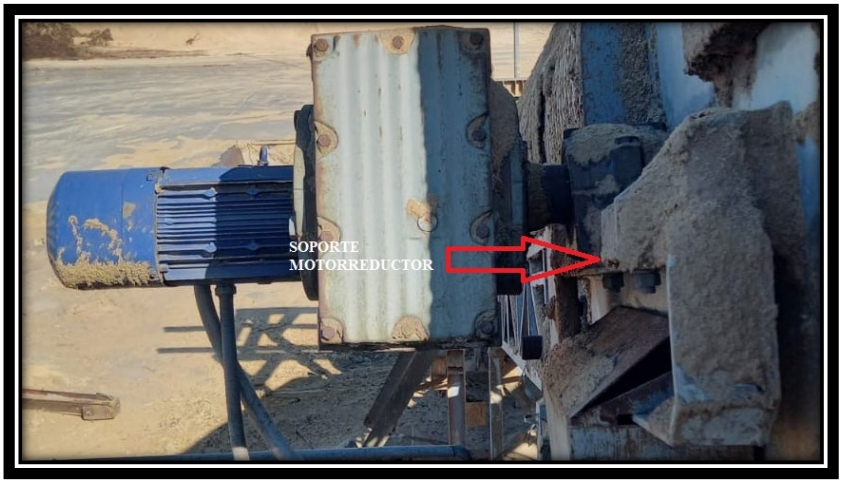



*Figura 3- 2 Soporte motorreductor*

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2. Motorreductor

Estos equipos están formados por varios engranajes, en su interior presentan un eje de entrada que recibe un movimiento, normalmente de un motor a una velocidad elevada, el movimiento se transmite a través de los engranajes internos, que finalmente es transferido a un eje de salida a la velocidad correcta.

El componente especifico que nosotros necesitamos intervenir es el eje de salida, esta pieza cilíndrica fabricada de acero inoxidable y su función principal es permitir la unión con el tambor motriz de la cinta transportadora. En la siguiente imagen se muestra el equipo que se debe intervenir.

*Figura 3- 3 Eje de salida*

Fuente: Elaboración propia

## 3.4. IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA

La mejora consiste en modificar la posición que tiene el motorreductor en las cintas transportadora 2 y 4 de la línea de alimentación, lo primero que debemos hacer para esta implementación es desmontar el motorreductor del tambor motriz, para llevarlo hacia taller y realizar una respectiva inspección, esto consiste principalmente en verificar el tapón de aireación con el propósito de ubicar la posición adecuada con respecto a la lubricación que se le efectúa al motorreductor, al ubicar el tapón de la salida de gases

vamos a determinar si tenemos que seguir desmontando el equipo, en el caso de que tengamos que seguir con el desmontaje de componente solo se desacopla el motor del reductor para adecuarlo a la manera correcta del diseño respecto a la lubricación que se realiza al equipo, luego de realizar lo anterior el equipo de mantención se dirige a terreno para evaluar e identificar un nuevo diseño de una estructura metálica para el soporte del sistema motriz, finalmente se llevara a cabo la construcción del soporte en el taller con su respectivos orificios para los pernos de anclaje y superficie para la sujeción del conjunto mecánico, posteriormente se llevara la estructura a terreno para ejecutar una presentación del modelo fabricado y si está construido correctamente con todos los detalles necesario para el montaje del motorreductor se procede al montaje del equipo, todo esto se realizara con la ayuda técnica del manual sew que corresponde al fabricante de nuestros motorreductores, a continuación se hará un paso a paso de la implementación.

### 3.4.1. Desmontaje del equipo

Herramientas y materiales necesarios

- Juego de llaves
- Si fuese preciso, llave dinamométrica para:
  - Anillos de contracción
  - Adaptador de motor AQH o EWH
  - Tapa del lado de entrada con pestaña de centraje
- Dispositivo de montaje
- Distanciadores y anillos separadores, en caso de que sean necesarios
- Dispositivos de fijación para los elementos de entrada y salida
- Lubricante (p. ej., fluido NOCO®)
- Compuesto para fijación de tornillos, por ejemplo, Loctite® 243 (para tapas de entrada con pestaña de centraje)
- Kit de montaje

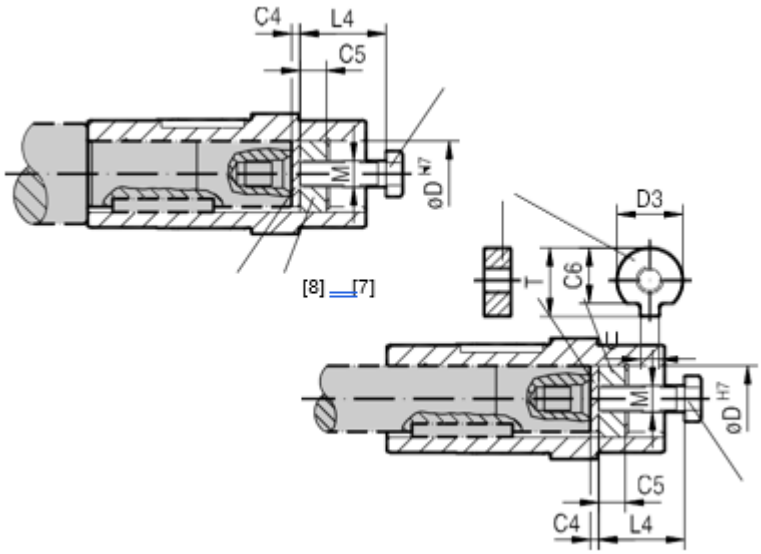



*Figura 3- 4 Kit de montaje*

Fuente: Manual motorreductores sew

[1] Tornillo de sujeción
[7] Tuerca de bloqueo para el desmontaje
[8] Arandela de extracción

## 3.4.2. Indicaciones del desmontaje del eje de salida

1) Afloje el tornillo de sujeción (1)
2) Retire las piezas de la (2) a la (4) y en caso de existir la (5)
3) Inserte la arandela de extracción [8] y la tuerca de bloqueo [7] del kit de montaje y desmontaje SEW-EURODRIVE entre el eje del cliente [6] y el circlip [4].
4) Vuelva a introducir el circlip [4].
5) Vuelva a enroscar el tornillo de sujeción [1]. Ahora es posible sacar el reductor del eje apretando el tornillo.

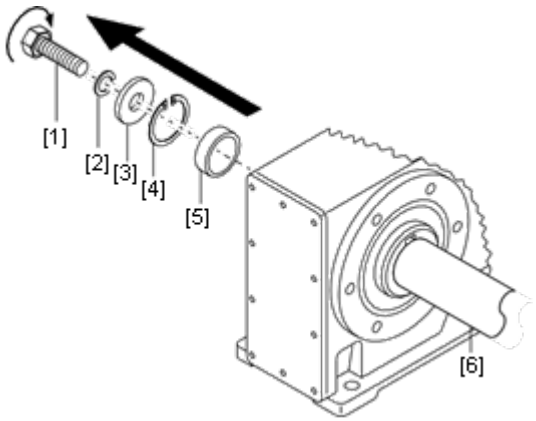



*Figura 3- 5 Eje de salida del reductor*

Fuente: Manual motorreductores sew

[1] Tornillo de sujeción
[2] Arandela elástica
[3] Arandela
[4] Circlip
[5] Distanciador
[6] Eje del cliente

## 3.4.3. Forma correcta de traslado del motorreductor al taller

En esta etapa se debe trasladar el equipo al taller mecánico para una inspección y mantención de componente en caso de alguna anomalía, el traslado es en conjunto con personal de transporte(volvo), el cual se encarga de llevar el equipo al lugar indicado, debido a su tamaño de debe realizar de esta manera.

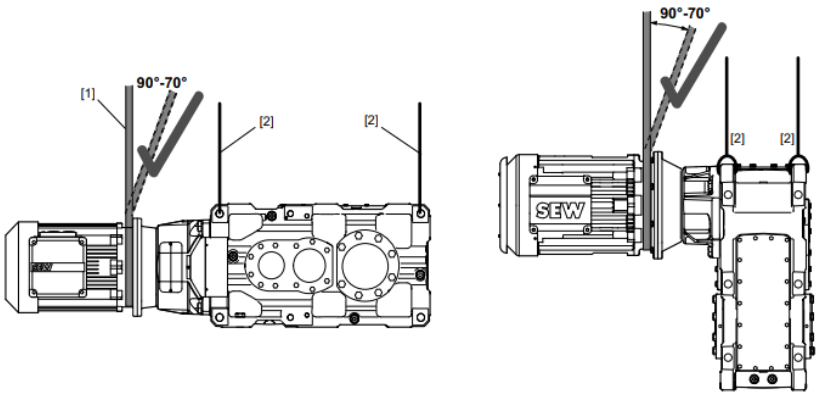



*Figura 3- 6 Formas correctas de traslado*

Fuente: Manual motorreductores sew

### 3.4.4. Soporte fabricado para el montaje del motorreductor

Este soporte tendrá la misión más importante para la modificación que se implementó en la empresa, ya que es el encargado de la sujeción del motorreductor a una posición horizontal con respecto a la cinta, además será el principal elemento que eliminara la falla prematura que estamos obteniendo con respecto a la falla por salpicadura hacia el retén, ya que al modificarlo a la posición correcta evitará que el retén tenga una sobre carga y por ello se rompa o averíe. Se modificará con respecto a los equipos que tenemos en planta en la posición correcta.

*Figura 3- 7 Modelo soporte a fabricar*

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.5. Montaje del motorreductor

Es importante mencionar que se debe trasladar el equipo con la seguridad correspondiente con la ayuda del área de transporte de la empresa, también con la maniobra estandarizada por el fabricante la cual se indica en la imagen que se encuentra más arriba.

1) Aplique NOCO®-Fluid y distribúyalo bien.
2) Monte el eje y fíjelo axialmente

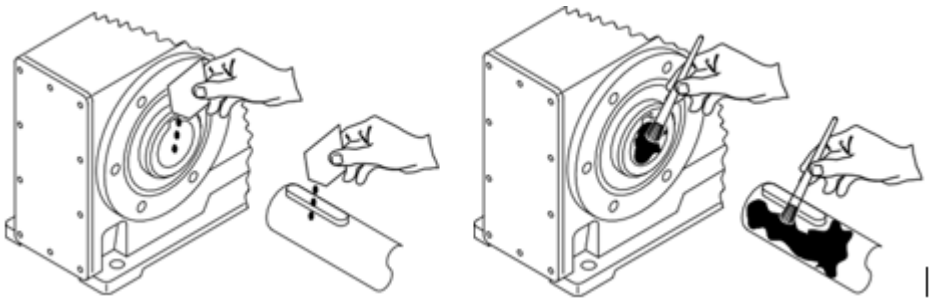


*Figura 3- 8 Modelo para montaje del motorreductor*

Fuente: Manual motorreductor sew

(la instalación resultará más sencilla si utiliza un dispositivo de montaje) A continuación se describen los 3 tipos de montaje:

- 2A: Contenido del suministro estándar
- 2B: Kit de montaje / desmontaje para eje del cliente con tope
- 2C: Kit de montaje / desmontaje para eje del cliente sin tope

2A: Montaje con los elementos incluidos en el contenido del suministro estándar

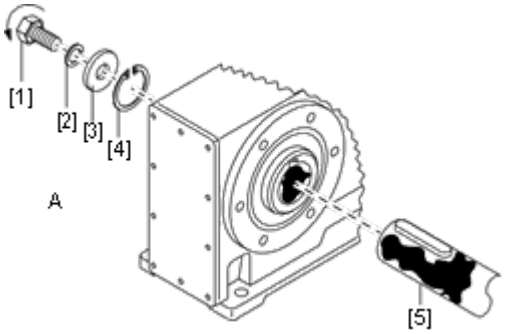



*Figura 3- 9 Modelo de ensamble en conjunto del eje hueco*

Fuente: Manual motorreductores sew

[1] Tornillo de sujeción corto (contenido del suministro estándar)
[2] Arandela elástica
[3] Arandela
[4] Circlip
[5] Eje del cliente

3) Apriete el tornillo de sujeción con el par correspondiente (véase la tabla).

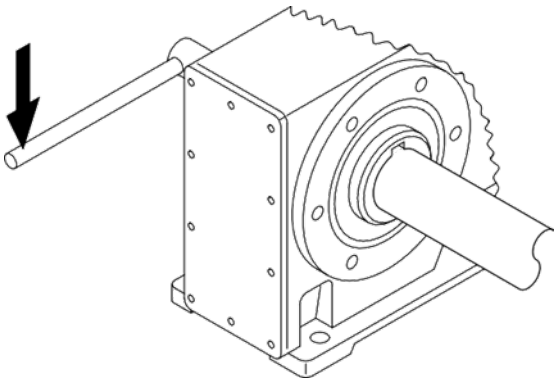


*Figura 3- 10 Modelo del apriete tornillo sujeción*

Fuente: Manual motorreductores sew

| Tornillo | Par de apriete [Nm] |
|---|---|
| M5 | 5 |
| M6 | 8 |
| M10/12 | 20 |
| M16 | 40 |
| M20 | 80 |
| M24 | 200 |

*Tabla 3- 2 Aprietes sugeridos*

Fuente: Manual motorreductor sew

## 3.4.6. Modelo final de instalación implementación mejora

El modelo que se muestra en la imagen siguiente es de un motorreductor de la misma caldera que no ha presentado ningún tipo de falla, por lo tanto, es importante describir que se utilizara la misma configuración para la mejora que se va implementar, debido a que este equipo si se encuentra en la posición correcta según la investigación en manual de motorreductores sew.

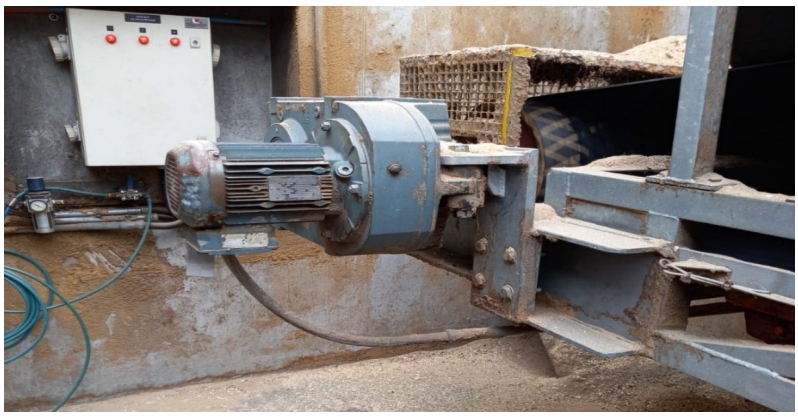


*Figura 3- 11 Modelo final posición motorreductor*

Fuente: Elaboración propia

## 3.5. PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Luego del análisis presentado en el capítulo 2 planteamiento del problema en donde se detalla el actual plan de mantenimiento con el que se cuenta para los motorreductores de la planta por parte del equipo de mantención, se logró la conclusión de que se constaba con graves falencias en el montaje del motorreductor por parte de la empresa contratista encargada de llevar a cabo este proyecto, las principales causas que provoco este problema fue la desorganización, personal sin la experiencia necesaria para realizar el trabajo y la falta de uso de manuales técnicos del equipo instalado. también se encuentra una falencia importante en la planta nueva energía, la cual consiste en la falta de personal de mantenimiento por lo cual no se puede realizar todas las actividades diarias las cuales son programadas luego de la charla de seguridad de cinco minutos durante la mañana a las cuales se podían agregar más durante el transcurso del día y de las cuales se les daría prioridad dependiendo de la importancia del equipo. Es por esto por lo que se desarrollara una propuesta para la mejora del plan actual para así optimizar el proceso con el cual se está trabajando dentro del taller de mantención y obtener un funcionamiento óptimo por parte del personal, ya que este plan de mantenimiento está enfocado al mantenimiento preventivo, inspección rutinaria básicamente, la principal propuesta que se hace es ejecutar el plan de mantenimiento adecuado señalado por parte del fabricante de nuestros equipos con problema.

## 3.5.1. Diagrama de flujo del plan de mantenimiento

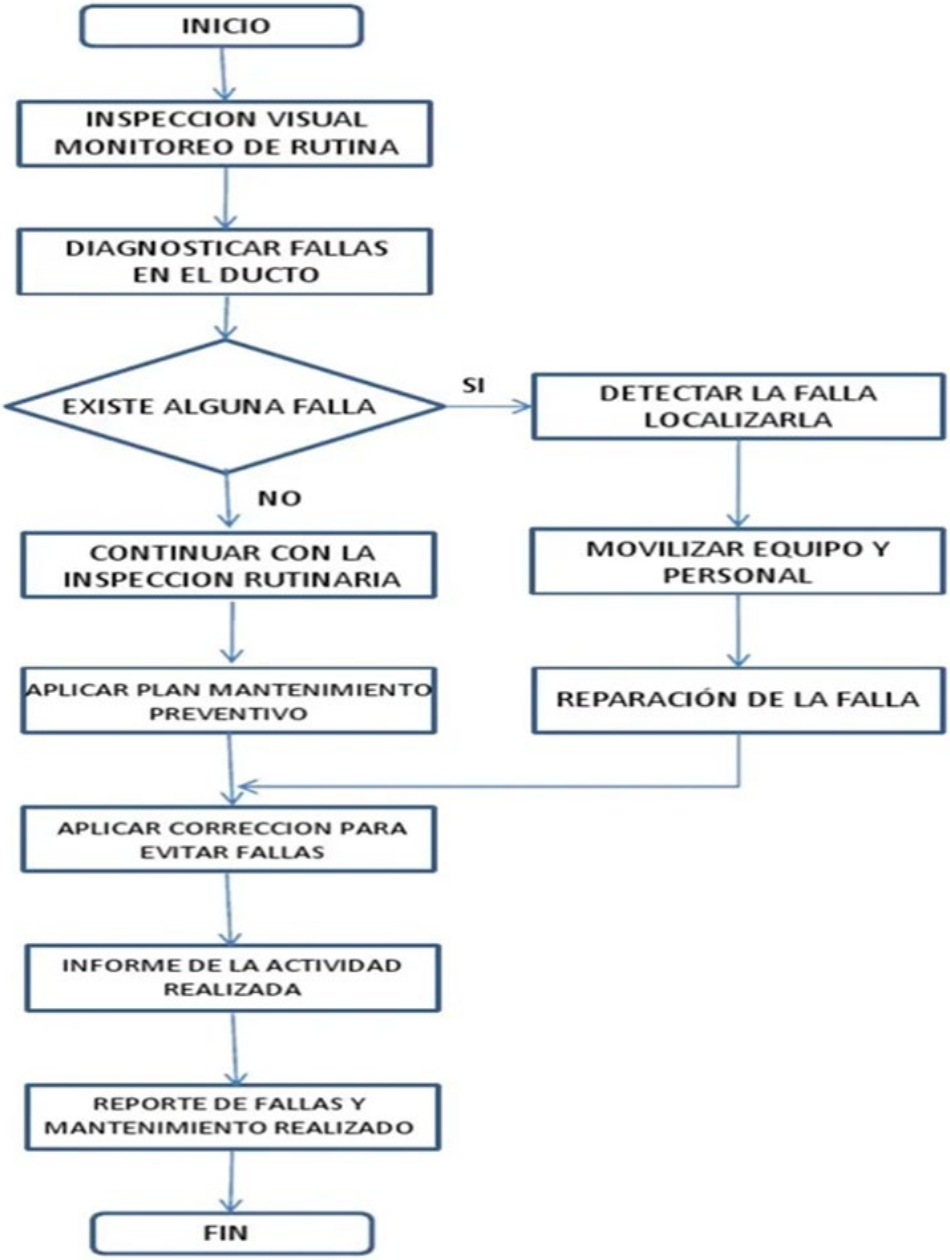



*Figura 3- 12 Diagrama de flujo del plan de mantenimiento*

Fuente: Google Chrome

### 3.5.2. Fallas funcionales del equipo(reductor)

Acá se indican las fallas funcionales del equipo, toda esta información es importante para el personal de mantención, ya que se facilita información de las fallas más comunes, con el fin de agilizar las mantenciones con sus posibles soluciones al momento de un fallo en el equipo.

| Fallo | Causa posible | Solución |
|---|---|---|
| Ruidos de funcionamiento inusuales y continuos. | Ruido de roces o chirridos: Rodamiento dañado | Compruebe el aceite → véase "Inspección y mantenimiento del reductor" (→ pág. 89), sustitución del rodamiento. |
| | Ruido de golpeteo: Irregularidad en los engranajes | Contacte con el servicio de atención al cliente. |
| Ruidos de funcionamiento inusuales y discontinuos. | Cuerpos extraños en el aceite. | • Compruebe el aceite → véase "Inspección y mantenimiento del reductor" (→ pág. 89),<br>• Pare el accionamiento, contacte con el servicio de atención al cliente. |
| Fuga de aceite<br>• por la tapa del reductor<br>• por la brida del motor<br>• por el retén del eje del motor<br>• por la brida del reductor<br>• en el retén del eje de salida[1)] | Junta de goma de la tapa del reductor no estanca. | Apriete de nuevo los tornillos de la tapa del reductor y vigílelo. Si continúan las fugas de aceite, contacte con el servicio de atención al cliente. |
| | Junta defectuosa. | Contacte con el servicio de atención al cliente. |
| | Reductor sin ventilación | Airee el reductor → véase "Posiciones de montaje" (→ pág. 104). |
| Película de humedad<br>• en el área del borde contra el polvo del retén<br>• con un pequeño goteo en el extremo inferior del retén en reductores nuevos dentro de la fase de rodaje[2)] | Fuga aparente condicionada por el funcionamiento | No existe ningún fallo.<br>Limpie con un paño suave, libre de fibras y continúe vigilando.<br>Si se produce una fuga de aceite tras 168 horas de funcionamiento, llame al servicio de atención al cliente |
| Formación de gotas y goteo incluso después de la fase de rodaje en el retén del eje de salida | Retén de eje de salida defectuoso. | Comprobación del sistema de estanqueidad[2)] Si fuese preciso, contacte con el servicio de atención al cliente. |

*Tabla 3- 3 Fallas funcionales del reductor*

Fuente: Manual motorreductor sew

### 3.5.3. Intervalos de inspección y mantenimiento

La siguiente tabla muestra los intervalos de tiempo que se deben respetar y las medidas correspondientes:

| Intervalo de tiempo | ¿Qué hacer? |
|---|---|
| • Cada 3.000 horas de servicio, como mínimo cada6 meses | • Comprobar el aceite y el nivel de aceite<br>• Comprobar el ruido de funcionamiento por siel rodamiento presentara daños<br>• Control visual de las juntas por si presentaranfugas<br>• En reductores con brazos de par: Comprobarel tope de goma y cambiarlo si es necesario |
| • En función de las condiciones de funcionamiento (véase el gráfico que figura más abajo), a lo sumocada 3 años<br>• De acuerdo con la temperatura del aceite | • Cambiar el aceite mineral |
| | • Sustituir la grasa para rodamientos (recomendación)<br>• Sustituir el retén (no montarlo de nuevo sobrela misma huella) |
| • En función de las condiciones de funcionamiento (véase el gráfico que figura más abajo), a lo sumocada 5 años<br>• De acuerdo con la temperatura del aceite | • Cambiar el aceite sintético |
| | • Sustituir la grasa para rodamientos (recomendación)<br>• Sustituir el retén (no montarlo de nuevo sobrela misma huella) |
| • Varios (en función de las influencias externas) | • Retocar y aplicar nuevamente la pintura anticorrosiva / de superficies |

*Tabla 3- 4 Plan de mantenimiento*

Fuente: Manual motorreductores sew

# CAPITULO 4: FACTIBILIDAD ECONOMICA

## 4.1. COSTO DE LA CALDERA EN CONDICIÓN DE FALLA

Para determinar este valor es necesario mencionar que se acudió al personal mecánico para obtener datos importantes para efectuar este análisis, además todas estas eventualidades se comenzó a presentar hace 3 años app, pero se realizara el estudio en el periodo del año 2019, ya que es el periodo donde comenzó a presentarse en dos equipos al mismo tiempo, con respecto a la primera falla de la caldera fue por el motorreductor de la cinta transportadora número 2, la cual presento un problema de fuga, su reparación duro alrededor de 8 horas, luego de 6 meses app se detectó otra fuga por el mismo motivo la cual se consideró una reparación de 7 horas app, para analizar el costo por detención del equipo se necesita considerar que en el mismo año como se mencionó anteriormente se generaron 2 detenciones por la misma falla en la cinta transportadora número 4. Por lo tanto, se hace un cálculo aproximado en las horas de reparación que se utilizaron en total, el valor que nos arrojo fue de un total de 30 horas por reparación que se relaciona con las horas de parada de la caldera. La venta de energía que realiza la empresa es por MW generados, por lo tanto, el valor promedio es de 120 dólares, para saber cuánto nos costó la parada de la caldera debemos hacer el siguiente calculo, las 30 horas de detención por los 4 MW que genera la caldera numero 4 por horas, resultando un valor estimado de 120 MW, finalmente se multiplica por el valor de venta del MW que tiene como promedio 120 dólares, dando un resultado estimado de 14.400 dólares, para llevarlo a pesos chilenos debemos multiplicar los 14.400 dólares por 800 pesos que es el valor del dólar en chile, todo esto nos arroja un resultado total de 11.520.000 pesos.

## 4.1.2. Informe producción en condición normal caldera N°4

**INFORME DIARIO DE PRODUCCIÓN**

| | Turno 00 - 08 | Turno 08 - 16 | Turno 16 - 24 |
|---|---|---|---|
| OPERADOR CALDERA N°2 | 0 | MAURICIO CERNA | MAURICIO CERNA |
| OPERADOR CALDERA N°3 Y CALDERA N°4 | EDUARDO ARROYO | ALEXANDER PUENTES | ALEXANDER PUENTES |

**DISPONIBILIDAD**

| UNIDAD | CALDERA N° 2 | CALDERA N° 3 | CALDERA N° 4 | TG1 | TG2 | TG3 | SECADOR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DISPONIBILIDAD | 0:00 | 24:00 | 24:00 | 24:00 | 24:00 | 24:00 | 24:00 |
| HORAS EN SERVICIO | 0:00 | 0:00 | 24:00 | 24:00 | 0:00 | 0:00 | 0:00 |

**GENERACIÓN DE VAPOR (Ton)**

| CALDERA N°1 (TON) | CALDERA N°2 | CALDERA N°3 | CALDERA N°4 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 895,2 |

**TOTAL VAPOR EXTRACCIÓN (TON.)**

| | |
|---|---|
| INICIO (0:00 HRS) | 49098,29 |
| FINAL (24:00 HRS) | 49453,21 |
| TOTAL VAPOR | 354,92 |

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

| ÍTEM | kWh | MWh |
|---|---|---|
| GENERACIÓN TG1 | 113.085 | 113,1 |
| GENERACIÓN TG2 | 0 | 0,0 |
| GENERACIÓN TG3 | 0 | 0,0 |
| AUTOCONSUMO CENTRAL | 30797,5 | 30,8 |
| GENERACIÓN NETA | 82.287 | 82,3 |
| CONSUMO FPC | 157583,04 | 157,6 |
| ENERGÍA EXPORTADA | 0 | 0,0 |
| ENERGÍA IMPORTADA | 279674,45 | 279,7 |

*Figura 4- 1 Informe diario de producción*

Fuente: documento interno ENESA

## 4.1.3. calculo generación por hora de trabajo

En la siguiente tabla se demuestra la energía que genera la caldera analizada por hora, donde dividimos la generación diaria por la disponibilidad que tiene la caldera. el valor que se usa en el cálculo de costos de la caldera en condición de falla es aproximado, ya que la generación diaria no es siempre la misma exactamente.

| | |
|---|---|
| Generación energía día | 113 MW/h |
| Disponibilidad | 24 horas |
| Total | 4.7 MW/h |

*Tabla 3- 5 Calculo generación de energía*

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Detalle pérdidas económicas

| Variable | Detalle | Dólar | Pesos chilenos |
|---|---|---|---|
| Perdida de producción | 30 horas caldera F/S | 14.400 | 11.520.000 |
| Recurso humano | Horas extras<br>Movilización | 2.000<br>131,25 | 1.600.000<br>105.000 |
| Mantenimiento | Retén<br>Lubricación | 100<br>62 | 80.000<br>50.000 |
| | Total | 16.693,25 | 13.355.000 |

*Tabla 3- 6 Detalle pérdidas económicas*

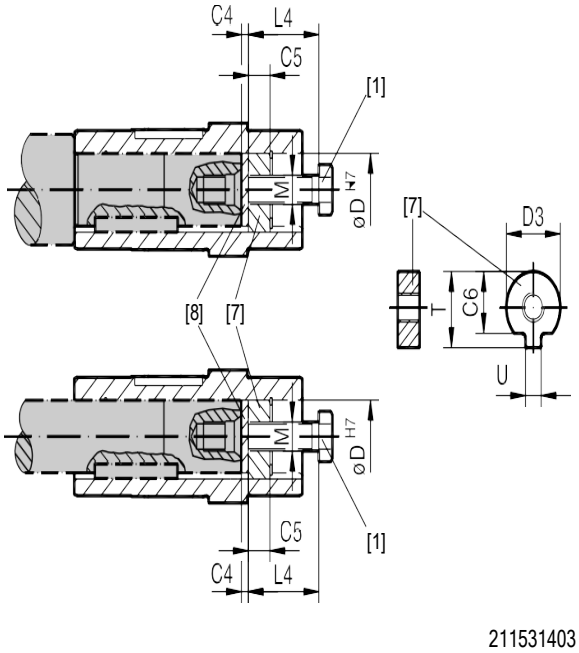
Fuente: Elaboración propia

## 4.2. COSTOS ASOCIADOS A LA MEJORA

Estos costos están relacionado a la modificación del motorreductor en terreno, ya que para esto necesitamos una herramienta específica para facilitar el desmontaje del equipo, además tenemos que realizar la nueva estructura de sujeción don estará montado el motorreductor, también se realizará la compra de un lubricante estandarizado por el fabricante.

### 4.2.1. Kit de montaje y desmontaje sew

El kit de montaje y desmontaje SEW-EURODRIVE se puede pedir indicando el número de referencia abajo señalado.




[1] Tornillo de sujeción
[7] Tuerca de bloqueo para el desmontaje
[8] Arandela de extracción

*Figura 4- 2 Kit de montaje y desmontaje reductor*

Fuente: Manual motorreductor sew

## 4.2.2. Modelos kit de montaje y desmontaje según posición a utilizar

| Modelo | $D^{H7}$ [mm] | 1)M | C4 [mm] | C5 [mm] | C6 [mm] | $U^{-0.5}$ [mm] | $T^{-0.5}$ [mm] | $D3^{-0.5}$ [mm] | L4 [mm] | Ref. de pieza del kit de montaje y desmontaje |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **WA..10** | 16 | M5 | 5 | 5 | 12 | 4,5 | 18 | 15,7 | 50 | 643 712 5 |
| **WA..20** | 18 | M6 | 5 | 6 | 13,5 | 5,5 | 20,5 | 17,7 | 25 | 643 682 X |
| **WA..20, WA..30, SA..37, WA..37, KA..19** | 20 | M6 | 5 | 6 | 15,5 | 5,5 | 22,5 | 19,7 | 25 | 643 683 8 |
| **FA..27, SA..47, WA..47, KA..29** | 25 | M10 | 5 | 10 | 20 | 7,5 | 28 | 24,7 | 35 | 643 684 6 |
| **FA..37, KA..37, SA..47, SA..57, WA..47, KA..29** | 30 | M10 | 5 | 10 | 25 | 7,5 | 33 | 29,7 | 35 | 643 685 4 |
| **FA..47, KA..47, SA..57** | 35 | M12 | 5 | 12 | 29 | 9,5 | 38 | 34,7 | 45 | 643 686 2 |
| **FA..57, KA..57, FA..67, KA..67, SA..67** | 40 | M16 | 5 | 12 | 34 | 11,5 | 41,9 | 39,7 | 50 | 643 687 0 |
| **SA..67** | 45 | M16 | 5 | 12 | 38,5 | 13,5 | 48,5 | 44,7 | 50 | 643 688 9 |
| **FA..77, KA..77, SA..77** | 50 | M16 | 5 | 12 | 43,5 | 13,5 | 53,5 | 49,7 | 50 | 643 689 7 |
| **FA..87, KA..87, SA..77, SA..87** | 60 | M20 | 5 | 16 | 56 | 17,5 | 64 | 59,7 | 60 | 643 690 0 |
| **FA..97, KA..97, SA..87, SA..97** | 70 | M20 | 5 | 16 | 65,5 | 19,5 | 74,5 | 69,7 | 60 | 643 691 9 |
| **FA..107, KA..107** | 80 | M20 | 5 | 20 | 75,5 | 21,5 | 85 | 79,7 | 70 | 106 8211 2 |
| **FA..107, KA..107, SA..97** | 90 | M24 | 5 | 20 | 80 | 24,5 | 95 | 89,7 | 70 | 643 692 7 |
| **FA..127, KA..127** | 100 | M24 | 5 | 20 | 89 | 27,5 | 106 | 99,7 | 70 | 643 693 5 |
| **FA..157, KA..157** | 120 | M24 | 5 | 20 | 107 | 31 | 127 | 119,7 | 70 | 643 694 3 |

*Tabla 3- 7 Modelo de kit de desmontaje a utilizar*

Fuente: Manual motorreductores sew

4.2.3. Soporte de sujeción del motorreductor

El circuito estará sobre un soporte de acero inoxidable, Siendo destinado a la sujeción del sistema en su totalidad. Éste estará inserto a la mitad del buzón de forma horizontal.

4.2.4. Viga laminada

*Figura 4- 3 Viga laminada*

Fuente: Catalogo prodalam

4.2.5. planchas de acero laminadas

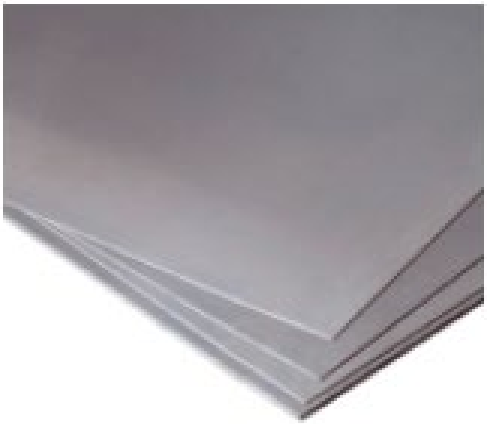


*Figura 4- 4 Planchas de acero laminadas*

Fuente: Catalogo prodalam

4.2.6. Pernos

*Figura 4- 5 pernos*

Fuente: Catalogo prodalam

4.2.7. Detalle de costos implementación mejora

| Costos implementación | | |
|---|---|---|
| Variable | Detalle | Pesos chilenos |
| Recurso humano | personal especializado | 800.000 |
| | Horas extras | 162.000 |
| | Otros | 200.000 |
| | Total | 1.162.000 |

*Tabla 3- 8 Detalle costos de recursos humanos para implementación mejora*

Fuente: Elaboración propia

| Costos implementación | | | |
|---|---|---|---|
| Variable | Detalle | unidad | Pesos chilenos |
| Insumos | Kit de montaje y desmontaje | 1 | 300.000 |
| | Viga laminada | 6 metros | 86.000 |
| | Lamina gruesa | 2 | 128.580 |
| | Pernos | 16 | 85.200 |
| | | Total | 599.780 |

*Tabla 3- 9 Detalles costos de insumos para implementación mejora*

Fuente: Elaboración propia

## 4.3. BALANZA DE COSTOS Y BENEFICIOS

Conforme a los datos observados anteriormente, se puede concordar que la propuesta de mejora genera grandes beneficios económicos, teniendo en cuenta que la falla presentada está propensa a ocurrir 2 veces en el año por cada equipo, con más o menos inconvenientes y pérdidas económicas dependiendo de su gravedad. En el estudio realizado, se evaluaron los costos asociados al año 2019 debido a que fue el periodo que comenzó a presentar con más frecuencia y en ambos equipos en la caldera y sin considerar de la misma falla que se genera en las otras calderas de la empresa.

| Análisis de costo final | |
|---|---|
| Costos de la falla | Costos de la mejora |
| 13.355.000 $ | 1.761.780 $ |

*Tabla 3- 10 Balanza de costos y beneficios*

Fuente: elaboración propia

Con respecto al análisis de costo final es importante mencionar que los valores son un 80% real debido a que los precios pueden variar de acuerdo a los insumos que se indicaron en el presente detalle, ya que se podrían preferir materiales de los proveedores de la empresa nueva energía y no los indicados en el cálculo.

## CONCLUSIONES

En el presente proyecto de título realizado en la planta nueva energía, se realiza el planteamiento de una mejora continua en los motorreductores que mas nos provocan paradas no programada, para ello se efectúa un estudio del equipo para determinar las causas y posibles soluciones con la finalidad de obtener un resultado favorable para la empresa, de la información entregada en este informe podemos mencionar que:

- ✓ Al realizar este proyecto de forma correcta evitaremos que los equipos sigan fallando de manera prematura, es decir antes que se ejecuten las mantenciones programadas de acuerdo con el plan de mantenimiento que se debe implementar, obteniendo beneficios importantes para la compañía en el ámbito de producción de vapor y energía eléctrica.

- ✓ La propuesta de mejora planteada es completamente viable para la compañía en el ámbito económico, ya que la perdida que provoca la falla es demasiado alta con respecto al costo que genera ejecutar la implementación de la mejora, esto nos arroja números altamente favorables para la empresa, también nos beneficia en la disminución de las fallas, productividad y confiabilidad de los equipos, todo esto nos indica excelentes expectativas para poder llevar a cabo el proyecto.

- ✓ En el ámbito laboral podemos disminuir bastante la carga de trabajo para el área de mantención, específicamente para los mecánicos de la compañía, ya que eliminaríamos las mantenciones constantes que se deben hacer al tener un equipo operativo con esta problemática, tales como, relleno de aceite, cambio de reten, rodamiento etc. Con esto bajaría el nivel de estrés, cansancio físico, psicológico, reduciendo significativamente los accidentes de trabajo.

**BIBLIOGRAFÍA**


- Manual interno caldera n°4 nueva energía
- Intranet nueva energía
- Informes internos nueva energía
- Documentación procedimientos internos nueva energía
- Trabajo de título Cristóbal Sanhueza Carrasco
- Trabajo de título Judith Contreras Flores

**LINKOGRAFÍA**

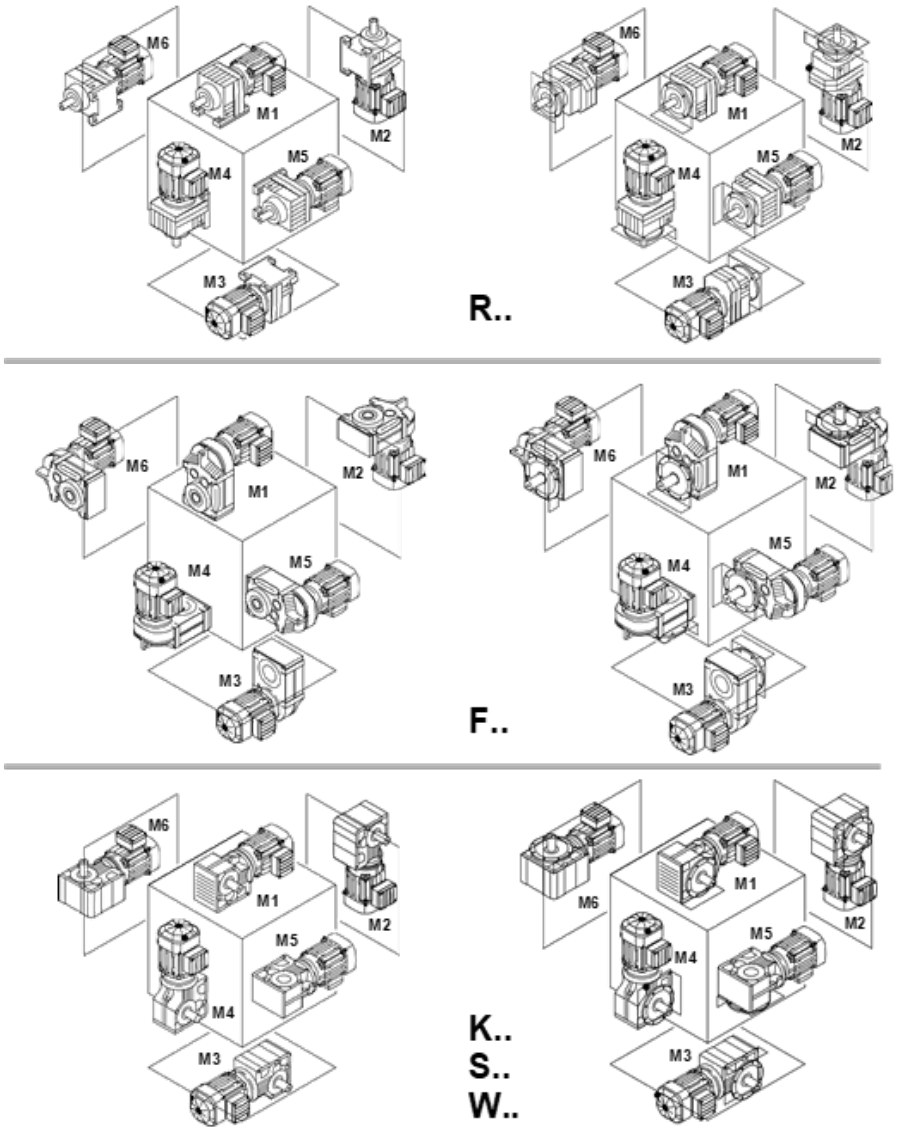

- https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/21932867.pdf
- https://www.sew-eurodrive.cl/inicio.html
- https://enesa.cl/
- https://www3.prodalam.cl/es_cl/catalogos/productos/

**ANEXO**

**DATOS TECNICOS MOTORREDUCTORES**

Denominación de las posiciones de montaje

Para los reductores, SEW distingue entre seis posiciones de montaje M1 – M6. La siguiente representación muestra la distribución espacial del motorreductor para las posiciones de montaje de M1 – M6.



Pérdidas por salpicaduras

En algunas posiciones de montaje se pueden dar unas elevadas pérdidas por salpicaduras. En el caso de las siguientes combinaciones, consulte a SEW- EURODRIVE:

| Posición de montaje | Tipo de reductor | Tamaño del reductor | Velocidad de entrada [r.p.m.] |
|---|---|---|---|
| **M2, M4** | R | 97 - 107 | > 2500 |
| | | > 107 | > 1500 |
| **M2, M3, M4, M5, M6** | F | 97 - 107 | > 2500 |
| | | > 107 | > 1500 |
| | K | 77 - 107 | > 2500 |
| | | > 107 | > 1500 |
| | S | 77 - 97 | > 2500 |

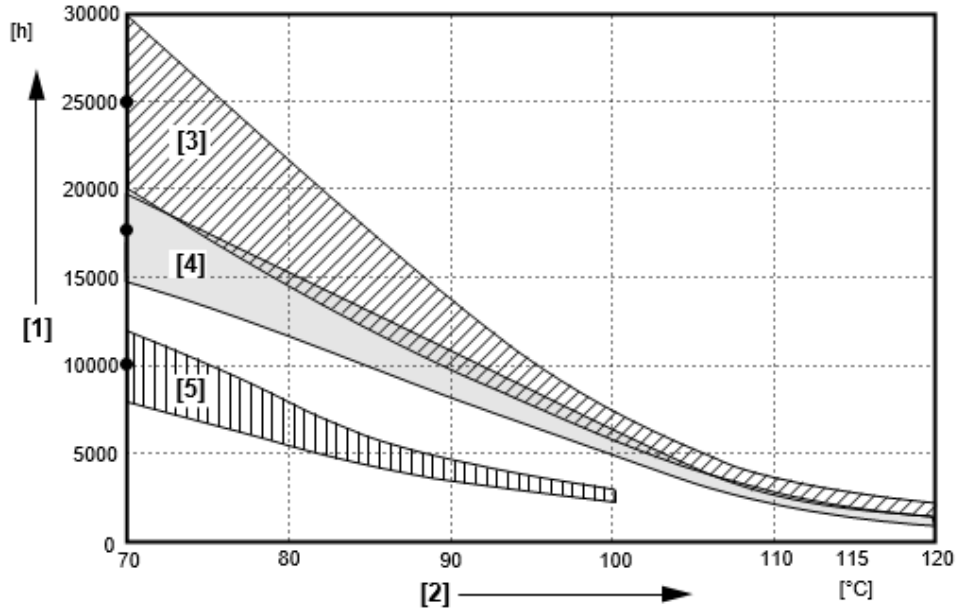
Condiciones de almacenamiento

Hasta el momento de la puesta en marcha, los reductores deberán permanecer cerrados herméticamente para impedir que el producto anticorrosivo VCI se evapore. Los reductores vienen de fábrica con un llenado de aceite listo para el funcionamiento conforme a la indicación de la posición de montaje (M1 – M6). Compruebe siempre el nivel de aceite antes de poner el reductor en funcionamiento.

| Zona climática | Embalaje[1)] | Lugar de almacenamiento[2)] | Tiempo de almacenamiento |
|---|---|---|---|
| **Moderada (Europa, EE.UU., Canadá, China y Rusia, a excepción de las áreas tropicales)** | Embalados en contenedores sellados con una película de plástico, y dotados de secante y de un indicador de humedad. | Cubiertos, protegidos frente a la lluvia y la nieve, y libres de vibraciones. | Máx. de 3 años efectuando controles periódicos del embalaje y del indicador de humedad (humedad rel. < 50 %). |
| | Abiertos | Cubiertos y cerrados con una temperatura y una humedad constantes (5 °C < â < 60 °C, < 50 % de humedad relativa). Sin cambios bruscos de temperatura y con una ventilación controlada con filtro (libre de suciedad y de polvo). Sin vapores agresivos ni vibraciones. | 2 o más años si se efectúa una inspección regularmente. En dicha inspección, se debe comprobar la limpieza y si existen daños mecánicos. Además, se comprobará si la protección anticorrosión está en buen estado. |
| **Tropical (Asia, África, América Central y del Sur, Australia, Nueva Zelanda, a excepción de las áreas de clima templado)** | Embalados en contenedores sellados con una película de plástico, y dotados de secante y de un indicador de humedad. Tratados químicamente para protegerlos contra los insectos y la formación de moho. | Cubiertos, protegidos frente a la lluvia, y libres de vibraciones. | Máx. de 3 años efectuando controles periódicos del embalaje y del indicador de humedad (humedad rel. < 50 %). |
| | Abiertos | Cubiertos y cerrados con una temperatura y una humedad constantes (5 °C < â < 50 °C, < 50 % de humedad relativa). Sin cambios bruscos de temperatura y con una ventilación controlada con filtro (libre de suciedad y de polvo). Sin vapores agresivos ni vibraciones. Protegidos contra los insectos. | 2 o más años si se efectúa una inspección regularmente. En dicha inspección, se debe comprobar la limpieza y si existen daños mecánicos. Además, se comprobará si la protección anticorrosión está en buen estado. |

Intervalos de cambio de lubricantes

La siguiente imagen muestra los intervalos de cambio de los reductores estándar en condiciones normales. Cambiar el aceite con mayor frecuencia cuando se utilicen versiones especiales sometidas a condiciones ambientales más duras.




1) Horas de servicio

2) Temperatura constante del baño de aceite

- Valor medio según el tipo de aceite a 70 °C

Grasas para rodamientos

Los rodamientos de los reductores y los motores incluyen de fábrica las grasas que se señalan a continuación.

| | Temperatura ambiente | Fabricante | Modelo |
|---|---|---|---|
| Rodamientos de reductores | -40 °C hasta +80 °C | Fuchs | Renolit CX-TOM 15 |
| | -40 °C hasta +80 °C | Klüber | Petamo GHY 133 N |
| | -40 °C hasta +40 °C | Castrol | Obeen FS 2 |
| | -20 °C hasta +40 °C | Fuchs | Plantogel 2S |

Tabla de lubricantes

| | 6) °C -50 0 +50 +100 | DIN (ISO) | ISO,NLGI | Mobil® | Shell | bp | | TEXACO | Castrol Tribol | Castrol Optimol | FUCHS | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R... K..37-187 (HK...) F... | Standard -15 +40 | CLP (CC) | VG 220 | Mobilgear 600 XP 220 | Shell Omala S2 G 220 | BP Energol GR-XP 220 | Klüberoil GEM 1-220 N | Meropa 220 | Tribol 1100/220 | Optigear BM 220 | Renolin CLP 220 | Carter EP 220 |
| | -20 +80 | CLP PG | VG 220 | Mobil Glygoyle 220 | Shell Omala S4 WE 220 | BP Enersyn SG-XP 220 | Klübersynth GH 6-220 | Synlube CLP 220 | Tribol 800/220 | Optiflex A 220 | Renolin PG 220 | Carter SY 220 |
| | -20 +60 | CLP HC | VG 220 | Mobil SHC 630 | Shell Omala S4 GX 220 | | Klübersynth GEM 4-220 N | Pinnacle EP 220 | Tribol 1510/220 | Optigear Synthetic X 220 | Renolin Unisyn CLP 220 | Carter SH 220 |
| | 4) -40 +40 | CLP HC | VG 150 | Mobil SHC 629 | Shell Omala S4 GX 150 | | Klübersynth GEM 4-150 N | Pinnacle EP 150 | | Optigear Synthetic X 150 | Renolin Unisyn CLP 150 | Carter SH 150 |
| | -20 +25 | CLP (CC) | VG 150 | Mobilgear 600 XP 150 | Shell Omala S2 G 150 | BP Energol GR-XP 150 | Klüberoil GEM 1-150 N | Meropa 150 | Tribol 1100/150 | Optigear BM 100 | Renolin CLP 150 | Carter EP 150 |
| | -40 +20 | CLP HC | VG 68 | Mobil SHC 626 | Shell Omala S4 GX 68 | | | | | | Renolin Unisyn CLP 68 | |
| | -40 +0 | CLP HC | VG 32 | Mobil SHC 624 | | | Klüber-Summit HySyn FG-32 | Cetus PAO 46 | | Optilieb HY 32 | Renolin Unisyn OL 32 | Dacnis SH 32 |
| K..19 - K..29 | Standard -20 +60 | CLP PG | VG 460 | | | | Klübersynth GH 6-460 | | | | | |
| | -20 +60 | H1 PG | VG 460 | | | | Klübersynth UH1 6-460 | | | | | |
| S...(HS...) | Standard 0 +40 | CLP (CC) | VG 680 | Mobilgear 600 XP 680 | Shell Omala S2 G 680 | BP Energol GR-XP 680 | Klüberoil GEM 1-680 N | Meropa 680 | Tribol 1100/680 | Optigear BM 680 | Renolin SEW 680 | Carter EP 680 |
| | 1) -20 +80 | CLP PG | VG 680 | Mobil Glygoyle 680 | Shell Omala S4 WE 680 | BP Enersyn SG-XP 680 | Klübersynth GH 6-680 | Synlube CLP 680 | Tribol 800/680 | Optiflex A 680 | Renolin PG 680 | |
| | -20 +60 | CLP HC | VG 460 | Mobil SHC 634 | Shell Omala S4 GX 460 | | Klübersynth GEM 4-460 N | Pinnacle EP 460 | | Optigear Synthetic X 460 | Renolin Unisyn CLP 460 | Carter SH 460 |
| | 4) -40 +30 | CLP HC | VG 150 | Mobil SHC 629 | Shell Omala S4 GX 150 | | Klübersynth GEM 4-150 N | Pinnacle EP 150 | | Optigear Synthetic X 150 | Renolin Unisyn CLP 150 | Carter SH 150 |
| | -20 +10 | CLP (CC) | VG 150 | Mobilgear 600 XP 150 | Shell Omala S2 G 150 | BP Energol GR-XP 150 | Klüberoil GEM 1-150 N | Meropa 150 | Tribol 1100/150 | Optigear BM 150 | Renolin CLP 150 | Carter EP 150 |
| | 1) -20 +40 | CLP PG | VG 220 | Mobil Glygoyle 220 | Shell Omala S4 WE 220 | BP Enersyn SG-XP 220 | Klübersynth GH 6-220 | Synlube CLP 220 | Tribol 800/220 | Optiflex A 220 | Renolin PG 220 | Carter SY 220 |
| | -40 +20 | CLP HC | VG 68 | Mobil SHC 626 | Shell Omala S4 GX 68 | | | | | | Renolin Unisyn CLP 68 | |
| | -40 0 | CLP HC | VG 32 | Mobil SHC 624 | | | Klüber-Summit HySyn FG-32 | Cetus PAO 46 | | Alphasyn T32 | Renolin Unisyn OL 32 | Dacnis SH 32 |
| R.. K..37-187 / HK.. F.. S.. / HS.. | -10 +40 | CLPHC NSF H1 | VG 460 | | | | Klüberoil 4UH1-460 N | | | Optileb GT 460 | Cassida Fluid GL 460 | |
| | -20 +30 | | VG 220 | | | | Klüberoil 4UH1-220 N | | | Optileb GT 220 | Cassida Fluid GL 220 | |
| | -40 0 | | VG 68 | | | | Klüberoil 4UH1-68 N | | | Optileb HY 68 | Cassida Fluid HF 68 | |
| | -20 +40 | E | VG 460 | | | | Klüberbio CA2-460 | | | | Plantogear 460 S | |

Cantidades de llenado de lubricante

Las cantidades de llenado indicadas son valores orientativos. Los valores exactos varían en función del número de etapas y de la relación de transmisión. Preste mucha atención al tapón de nivel de aceite que sirve de indicador para establecer la cantidad correcta de aceite.

La siguiente tabla muestra un valor orientativo para las cantidades de llenado de lubricantes en función de la posición de montaje M1 – M6. (Reductores de ejes paralelos)

F.., FA..B, FH..B, FV..B

| Reductor | Cantidad de llenado en litros | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
| **F..27** | 0,60 | 0,80 | 0,65 | 0,70 | 0,60 | 0,60 |
| **F..37** | 0,95 | 1,25 | 0,70 | 1,25 | 1,00 | 1,10 |
| **F..47** | 1,50 | 1,80 | 1,10 | 1,90 | 1,50 | 1,70 |
| **F..57** | 2,60 | 3,50 | 2,10 | 3,50 | 2,80 | 2,90 |
| **F..67** | 2,70 | 3,80 | 1,90 | 3,80 | 2,90 | 3,20 |
| **F..77** | 5,9 | 7,3 | 4,30 | 8,0 | 6,0 | 6,3 |
| **F..87** | 10,8 | 13,0 | 7,7 | 13,8 | 10,8 | 11,0 |
| **F..97** | 18,5 | 22,5 | 12,6 | 25,2 | 18,5 | 20,0 |
| **F..107** | 24,5 | 32,0 | 19,5 | 37,5 | 27,0 | 27,0 |
| **F..127** | 40,5 | 54,5 | 34,0 | 61,0 | 46,3 | 47,0 |
| **F..157** | 69,0 | 104,0 | 63,0 | 105,0 | 86,0 | 78,0 |

FF…

| Reductor | Cantidad de llenado en litros | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
| **FF27** | 0,60 | 0,80 | 0,65 | 0,70 | 0,60 | 0,60 |
| **FF37** | 1,00 | 1,25 | 0,70 | 1,30 | 1,00 | 1,10 |
| **FF47** | 1,60 | 1,85 | 1,10 | 1,90 | 1,50 | 1,70 |
| **FF57** | 2,80 | 3,50 | 2,10 | 3,70 | 2,90 | 3,00 |
| **FF67** | 2,70 | 3,80 | 1,90 | 3,80 | 2,90 | 3,20 |
| **FF77** | 5,9 | 7,3 | 4,30 | 8,1 | 6,0 | 6,3 |
| **FF87** | 10,8 | 13,2 | 7,8 | 14,1 | 11,0 | 11,2 |
| **FF97** | 19,0 | 22,5 | 12,6 | 25,6 | 18,9 | 20,5 |
| **FF107** | 25,5 | 32,0 | 19,5 | 38,5 | 27,5 | 28,0 |
| **FF127** | 41,5 | 55,5 | 34,0 | 63,0 | 46,3 | 49,0 |
| **FF157** | 72,0 | 105,0 | 64,0 | 106,0 | 87,0 | 79,0 |