

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE DE
CONCEPCIÓN – REY BALBUINO DE BÉLGICA

Propuesta de mejora al plan de mantenimiento actual de
rastra recuperadora de arenas
planta de energía Cholguán- Trupan complejo Arauco

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero en mantenimiento
industrial con licenciatura en
ingeniería.

Alumno:

Lisandro Alfonso Quilodrán Martínez.

Profesor Guía:

Guillermo Felipe Larson Muñoz.

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo se centra en el desarrollo de una mejora para el plan de mantenimiento del equipo “Rastra recuperadora de arenas”, la cual participa en el proceso productivo de la planta de energía Cholguán- Trupan. Abordando temas como la confiabilidad, la criticidad, los diferentes tipos de mantenimiento que existen hoy en día, las diferentes técnicas de evaluar las condiciones de un equipo, los tipos de plantas generadoras de energía eléctrica que existen y principalmente la brecha que existe entre lo que los fabricantes estipulan con respecto a la mantención de los equipos y lo que en muchas ocasiones dentro de las industrias se realiza o se subestima.

Del principal problema que se habla en este trabajo es la cantidad de tiempo que se mantiene el equipo trabajando sin ser intervenido para realizar alguna evaluación de sus condiciones o derechamente realizarle mantenimiento, lo cual ya es un conflicto con respecto al mantenimiento recomendado por parte del fabricante, por otro lado se debe entender que este equipo es muy importante para el proceso productivo de la planta de energía, por lo que si falla por algún motivo, genera la detención completa del proceso productivo de energía eléctrica, generando pérdidas económicas por la detención no prevista, estas pérdidas pueden aumentar considerablemente si el equipo se mantiene detenido por mucho tiempo. Bajo estas condiciones es por lo que se busca mejorar la estrategia de mantenimiento actual buscando aumentar la frecuencia del mantenimiento preventivo y la realización de mantenimiento predictivo cada cierto tiempo para ir conociendo las condiciones que está llevando el equipo, de esta forma se puede evitar una detención por falla del equipo y además se mantiene la vida útil de este.

En cuanto a la mejora de mantenimiento se realizó basándose en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), el cual busca el desarrollo de estrategias de mantenimiento casi personalizadas para cada equipo, para que así se obtenga como resultado un equipo confiable para la realización de sus tareas en los momentos que se necesite de este.

Principalmente se realizó un cuadro de jerarquización de todos los equipos que participan en el proceso productivo de la planta, para así determinar el nivel de criticidad que posee cada uno de estos, con esto, se obtuvo que la rastra recuperadora de arenas es un equipo crítico dentro del proceso en el que participa, luego se realizó un análisis del modo y efecto de fallas (AMEF), para determinar las funciones principales y secundarias que tiene este equipo, sus posibles fallas funcionales, sus modos de falla y las consecuencias que se obtiene si este equipo falla por diferentes razones, ya con todo esto constituido se elaboró la estrategia de mantenimiento, recomendando un plan de mantenimiento preventivo y predictivo, para asegurar el correcto funcionamiento de este equipo, además se realizó un listado de repuestos críticos del equipo, que es muy importante que se tengan inventariado, para que una vez falle este repuesto, se pueda reemplazar rápidamente.

Finalmente se realizó una evaluación económica de los costos actuales que se tienen con respecto al mantenimiento que se le realiza, los costos que tendría implementar esta mejora de mantenimiento y también se agregó las pérdidas que se pueden generar si este equipo falla y detiene el proceso productivo, así se sustenta porque es importante esta mejora de mantenimiento.

Índice

Resumen	2
Índice de figuras.	7
índice de tablas.	8
índice de Gráficos.	9
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	10
Sigla	10
Simbología	10
INTRODUCCIÓN.....	11
OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	12
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
Alcances.....	13
Limitaciones	13
Capítulo 1: “Planteamiento”	14
1.1 Planta de energía Cholguan-Trupan.	15
1.1.1 Lecho fluidizado burbujeante.	16
1.1.2 Plano caldera de poder.....	17
1.1.3 Sistema agua- vapor.....	18
1.1.4 Sistema de aire y gases.	19
1.1.5 Sistema de alimentación de corteza.....	20
1.1.2 Diagrama de flujo proceso productivo planta de energía.....	21
1.2 Situación actual en cuanto al mantenimiento.	22
1.2.1 Diagrama Ishikawa.....	23
1.3 Propuesta.....	24
1.3.1 Posibles fallos en la rastra recuperadora de arenas.	25
1.4 Resultados esperados.	26
Capítulo 2: “Marco teórico”	27
2.1 Planta de energía.	28
2.1.1 Central térmica.	28
2.1.2 Central nuclear.	29
2.1.3 Central hidroeléctrica.	29

2.1.4 Central eólica.....	30
2.1.5 Central solar.	30
2.1.6 Central geotérmica.	31
2.2 Mantenimiento.....	31
2.2.1 Mantenimiento correctivo.....	31
2.2.1.1 Mantenimiento correctivo planificado.....	32
2.2.1.2 Mantenimiento correctivo no planificado.....	32
2.2.2 Mantenimiento preventivo.....	32
2.2.2.1 Mantenimiento programado	32
2.2.2.2 Mantenimiento de oportunidad.....	33
2.2.3 Mantenimiento predictivo.....	33
2.2.4 Mantenimiento productivo total.	35
2.2.5 Mantenimiento centrado en la confiabilidad.	35
2.2.6 Criticidad de los equipos.	36
2.2.7 Confiabilidad y disponibilidad.	36
2.3 Rastra recuperadora de arenas enfriada por agua.	37
2.3.1 Representación visual de la rastra recuperadora de arenas.....	38
Capítulo 3: “PROPUESTA”.....	40
3.1 Estrategia de mantenimiento actual para rastra recuperadora de arenas.....	41
3.2 Análisis de criticidad.	41
3.2.1 Cuadro de jerarquización.	42
3.2.2 Cuadro de colores según jerarquización.....	43
3.2.3 Cuadro de criterio de jerarquización.	44
3.3 Estudio Mantenimiento centrado en la confiabilidad.	45
3.3.1 Tabla de diagnóstico del equipo recuperador de arena.	45
3.4 Propuesta estrategia de mantenimiento para rastra recuperadora de arenas.	48
3.4.1 Estrategia de mantenimiento preventivo para rastra recuperadora de arenas.	48
3.4.2 Estrategia de mantenimiento predictivo para rastra recuperadora de arenas.	50
3.4.3 Seguimiento del nuevo plan de mantenimiento.	51
3.4.4 Inventariado de repuestos críticos para la rastra recuperadora de arenas.	51
Capítulo 4: “Evaluación económica”	52
4.1 Costos asociados al mantenimiento actual del equipo.....	53
4.1.1 Tabla de costos actuales del mantenimiento para rastra recuperadora de arenas.	

4.2.	Costos atribuidos a implementar una mejora en la estrategia de mantenimiento actual.	55
4.2.1.	Tabla de costos para el mantenimiento preventivo y predictivo.	55
4.3.	Pérdidas generadas por la detencion del equipo.	57
4.4.	GRÁFICO COMPARATIVO DE LOS COSTOS Y PÉRDIDAS.....	58
	Conclusión.....	59
	Recomendaciones.	60
	Bibliografía.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1- 1: Planta de energía Cholguán - Trupan	15
Figura 1- 2: Tipos de fluidización.	16
Figura 1- 3: Caldera de poder.	17
Figura 1- 4: Sistema agua- vapor.....	18
Figura 1- 5: Sistema aire- gases.....	19
Figura 1- 6: Sistema alimentación de corteza.....	20
Figura 1- 7: Diagrama Ishikawa	23
Figura 1- 8: árbol de falla.	25
Figura 2- 1: lanta térmica.....	28
Figura 2- 2: Central nuclear.....	29
Figura 2- 3: Central hidroeléctrica.	29
Figura 2- 4: Generadores eólicos.....	30
Figura 2- 5: Paneles fotovoltaicos.	30
Figura 2- 6: Central geotérmica.....	31
Figura 2- 7: Termografía infrarroja.	33
Figura 2- 8: Análisis de vibraciones.	34
Figura 2- 9: Análisis de aceites.	34
Figura 2- 10: Ultrasonido.	35
Figura 2- 11: Vista perfil izquierdo del equipo.	38
Figura 2- 12: Reductor principal.	38
Figura 2- 13: Vista de elevación del equipo.	39
Figura 2- 14: Pantalla rotatoria y tornillo helicoidal.	39

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 3- 1: Cuadro de jerarquización. 42

Tabla 3- 2: Cuadro de colores..... 43

Tabla 3- 3: Cuadro de criterio de jerarquización. 44

Tabla 3- 4: Análisis AMEF. 47

Tabla 3- 5: Estrategia de mantenimiento preventivo..... 49

Tabla 3- 6: Estrategia de mantenimiento predictivo..... 50

Lista de costos 4- 1: Costos actuales del mantenimiento. 54

Lista de costos 4- 2: Costos para el mantenimiento preventivo y predictivo. 56

Lista de costos 4- 3: Perdidas aproximadas por detención..... 57

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 4- 1: Relación costo y perdida..... 58

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

AMEF	: Análisis de modo y efecto de falla.
TPM	: Mantenimiento productivo total.
RCM	: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
EPP	: Elementos de protección personal.

SIMBOLOGÍA

Bar	: Unidad de presión.
°C	: Grados Celsius.
KHz	: Kilohercio.
M	: Metro.
MHz	: Megahercio.
MW	: Mega watts.
MW/h	: Mega watts/ Hora.
NOx	: Óxido de nitrógeno.
Ton	: Tonelada.

INTRODUCCIÓN

A partir de mediados del siglo XVIII en Inglaterra, surgió la conocida revolución industrial, hito muy importante de la historia que cambio la forma generar productos y satisfacer necesidades mediante la utilización de maquinaria y procesos productivos un poco más complejos a los que se conocían en ese entonces. Dicho momento trajo consigo el crecimiento exponencial de industrias dedicadas a distintos tipos de operaciones, ya sea, madera, textil, automotriz, energía, etc.

De la mano con la industrialización surgió la necesidad de reparar los equipos a medida que estos fallaban durante la producción, de este modo nació lo que se conoce como mantenimiento, y consigo departamentos y equipos de trabajos dedicados únicamente a la reparación y mantención de los equipos dentro de las líneas de producción de estas fábricas. En ese entonces la única forma en que se aplicaba el mantenimiento era cuando un equipo fallaba durante su producción, lo que no significaba gran problema, dada la baja demanda que las industrias tenían en esos años. Pero a medida que las décadas fueron pasando la demanda de productos aumentaba exponencialmente, lo que obligo a las industrias a expandirse y mejorar sus procesos productivos, nuevos equipos y métodos de producción, pero también debieron invertir en mejorar sus formas de mantenimiento, para así poder evitar los tiempos muertos por fallas y poder cumplir con la demanda existente evitando así posibles retrasos en las entregas. Con todo esto el mantenimiento comenzó a evolucionar hasta el punto como se conoce hoy en día.

En el siguiente trabajo se propondrá la mejora en la estrategia de mantenimiento actual de un equipo utilizado en el proceso productivo de la planta de energías Cholguán- Trupan, basándose en el mantenimiento centrado en la confiabilidad, desarrollando un cuadro de jerarquización de los equipos y un análisis RCM. Por otra parte, se explicará el proceso productivo de la planta antes mencionada, lo que es el mantenimiento y sus beneficios, finalmente se realizará una evaluación económica de los costos actuales del mantenimiento para la rastra recuperadora de arenas y los costos que tendría implementar la mejora que será desarrollada en las siguientes páginas.

OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer una mejora al plan de mantenimiento para el equipo recuperador de arenas utilizado en planta de energía Trupan-Cholguán, complejo Arauco, centrándose en su confiabilidad y criticidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analizar el proceso productivo en donde está involucrada la rastra recuperadora de arenas, considerando la importancia de este equipo.
- ✓ Realizar un estudio del mantenimiento centrado en la confiabilidad para las condiciones internas o externas del equipo.
- ✓ Elaborar un cuadro de jerarquización para identificar el nivel de criticidad que posee el equipo recuperador de arenas.
- ✓ Hacer una evaluación económica sobre el actual costo de mantenimiento que tiene el equipo en comparación a los costos de implementación de una mejora.

ALCANCES

El desarrollo de este trabajo tiene como fin dar a conocer lo que es el mantenimiento, su importancia dentro de los procesos productivos a nivel industrial, que es la confiabilidad y criticidad de un equipo y la brecha que existe entre las recomendaciones de mantenimiento que dicta el fabricante de un equipo y cómo en la industria en muchas ocasiones se pasa por encima de estas acotaciones, muchas veces causando fallos inesperados o antes de tiempo. Además, describir a grandes rasgos el funcionamiento del equipo seleccionado y su importante participación en el proceso productivo de la planta de energía.

LIMITACIONES

En cuanto a las limitaciones en el desarrollo de este trabajo, solo será enfocado al desarrollo de una propuesta de mejora en el plan de mantenimiento y no a la ejecución de dicho programa, dado los costos asociados a una detención programada por mantenimiento.

CAPÍTULO 1: “PLANTEAMIENTO”

1.1 PLANTA DE ENERGÍA CHOLGUAN-TRUPAN.

La empresa abordada para la realización de este trabajo de título es la planta de energía Cholguán- Trupan, que tiene un poder de generación de 30MW y pertenece a la empresa ARAUCO, esta central se encuentra ubicada en el sector Cholguán, comuna de Yungay, región de Ñuble.

A grandes rasgos, ARAUCO, es una empresa dedicada al mundo forestal, celulosa, maderas, paneles, vigas laminadas y generación de energía por medio de la utilización de la biomasa (pino, eucaliptus, desechos forestales y desbroce de estos).

El proceso productivo de la planta de energías Cholguán- Trupan comienza en el acopio de la materia prima la cual es biomasa forestal o más conocida como corteza forestal, una vez acopiada en las canchas destinadas para ello, es trasladada hasta un galpón de para así evitar que se humedezca, luego es subida a través de una cinta transportadora hasta el silo 1 y silo 2, que tienen la función de preparar el material antes de ser ingresado en la caldera por medio de otras dos cintas transportadoras, una vez la biomasa ingresa en el hogar de la caldera de lecho fluidizado burbujeante, cuyo lecho se encuentra a una temperatura de 1200°C, se procede a inyectar arena con aire caliente para mejorar su combustión y sacar una mayor eficiencia a esta, este proceso es conocido como fluidización y su objetivo es obtener una combustión más eficiente y controlada, para así lograr una mejor transferencia de calor y reducir las emisiones contaminantes. Es en este punto en donde participa el equipo recuperador de arenas. Una vez obtenida la combustión deseada se procede a evacuar los gases, los cuales pasan por un sobre calentador y dos economizadores, es en estos lugares donde a medida que va pasando los gases calientes se va introduciendo agua fría que va adquiriendo calor hasta alcanzar su punto de ebullición y de esta forma entrar al sobre calentador y eleva aún más su temperatura, para así llegar al domo generador de vapor a unos 480°C, convirtiéndose de vapor húmedo a vapor seco (sobrecalentado). De esta forma ya está apto para ser enviado a la turbina y poder aprovechar el giro de esta para mover un generador de energía eléctrica. Queda mencionar que gracias a dos ventiladores de enfriamiento los mismos gases de escapes son reintroducidos en la caldera con el fin de mantener el calor y enfriar en caso de un aumento de temperatura.



Figura 1- 1: Planta de energía Cholguán - Trupan

Fuente: www.Huelladecarbono.cl

1.1.1 Lecho fluidizado burbujeante.

El lecho fluidizado es un método utilizado para la obtención de una combustión estable y eficiente, y con menor grado de generación de gases tóxicos al obtener una mezcla homogénea de combustible y aire, pudiendo quemar hasta combustibles de bajo poder calorífico. Su principio se basa directamente en la inyección de arena y aire caliente lo que hace subir y bajar la arena para que se balla consumiendo el combustible según el grado que se necesite, logrando obtener mantener el hogar de la caldera a 1200°C.

Existen cuatro tipos de lechos fluidizados:

1. Fijo: En donde la arena se queda estática haciendo una cama en la parrilla del lecho y dejando entrar aire a una presión menor,
2. Burbujeante: La arena es inyectada junto con aire caliente asiéndola subir y bajar hasta 1m de altura.
3. Turbulento: La arena entra junto con el aire caliente a una mayor presión y genera un efecto turbulento dentro del lecho.
4. Circulante: Este tipo mantiene la arena internamente y va circulando dentro del lecho de la caldera al ir inyectando aire caliente, sube y baja por un costado, vuelve a subir y así sucesivamente.

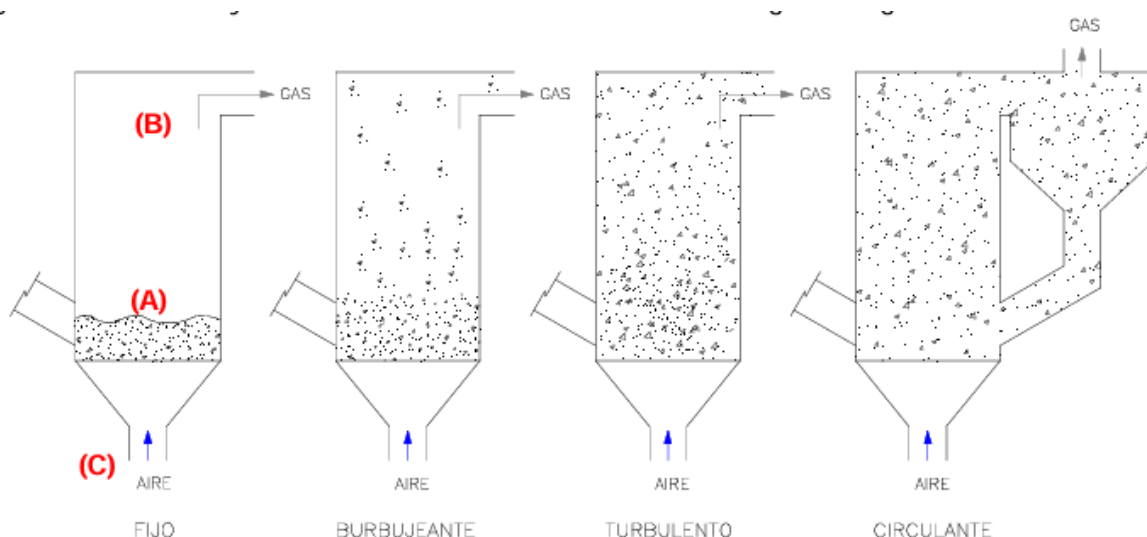


Figura 1- 2: Tipos de fluidización.

Fuente: Manual caldera de poder Cholgúan- Trupan.

1.1.2 Plano caldera de poder.

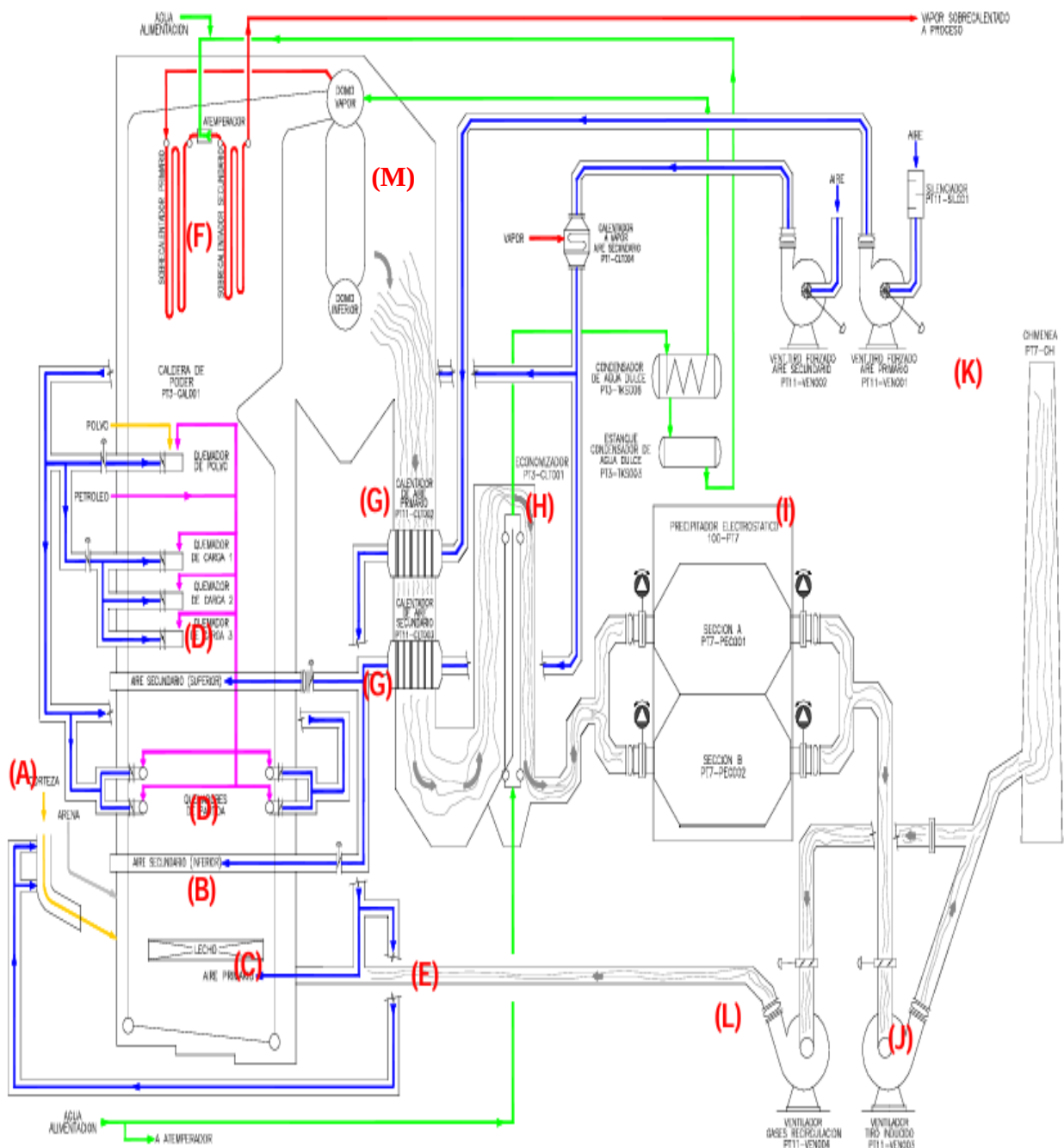


Figura 1- 3: Caldera de poder.

Fuente: Manual caldera de poder Cholguán- Trupan.

- A: Ingreso de corteza.

B: Parte superior del lecho.

C: Aire primario.

D: Aire secundario.

E: Recirculación de gas.

F: Sobre calentadores primario y secundario.
- G: Aire primario y secundario.

H: Economizador 1 y 2.

I: Precipitador electroestático.

J: Ventilador de tiro inducido.

K: Chimenea.

L: Ventilador de gases de recirculación.

M: Domo de vapor.

1.1.3 Sistema agua- vapor

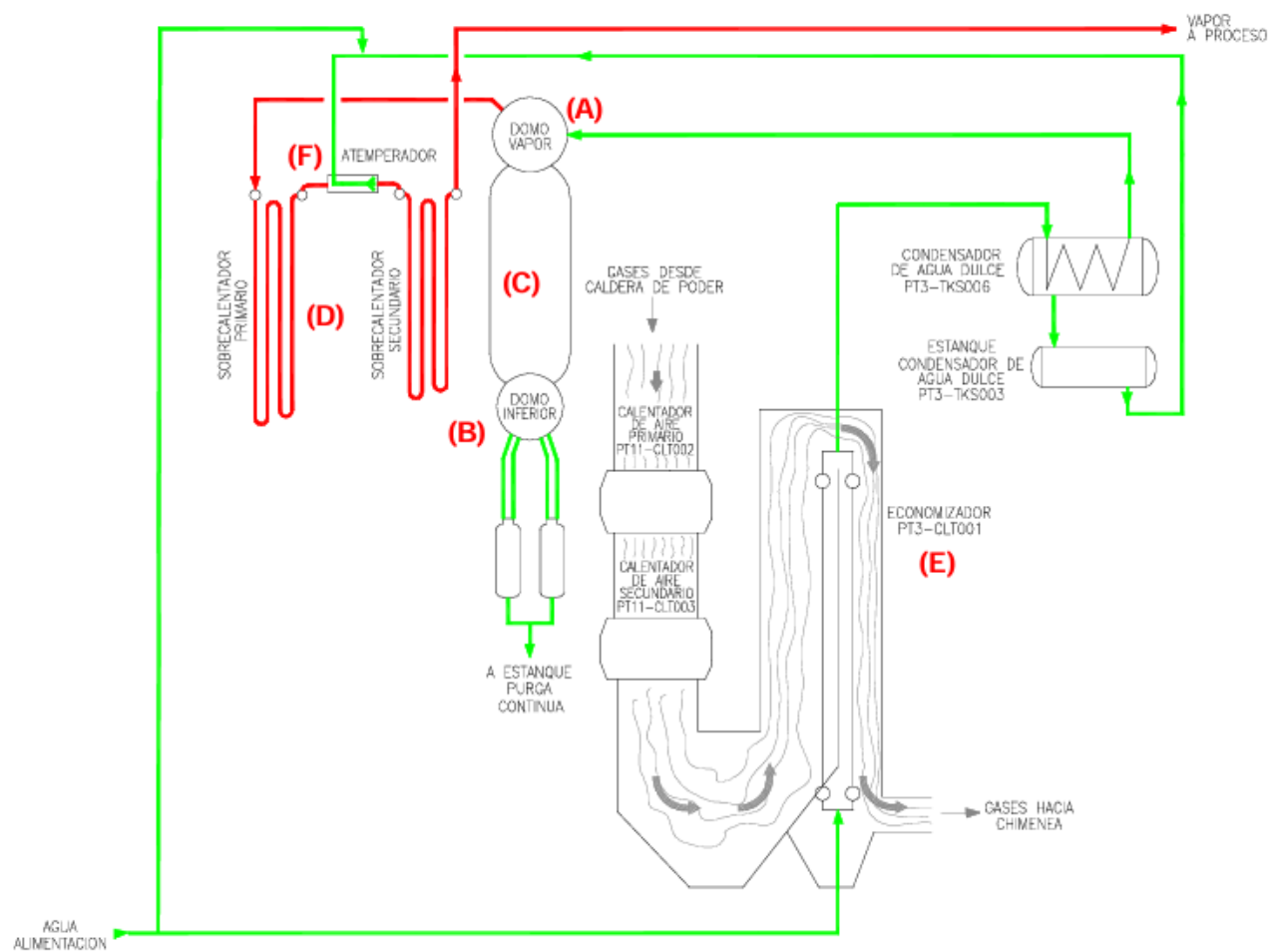


Figura 1- 4: Sistema agua- vapor.

Fuente: Manual caldera de poder Cholguán- Trupan.

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------|
| A: Domo de vapor. | D: Sobre calentadores 1 y 2. |
| B: Domo de agua. | E: Economizador. |
| C: Tubos conectores de ambos domos. | F: Atemperador. |

1.1.4 Sistema de aire y gases.

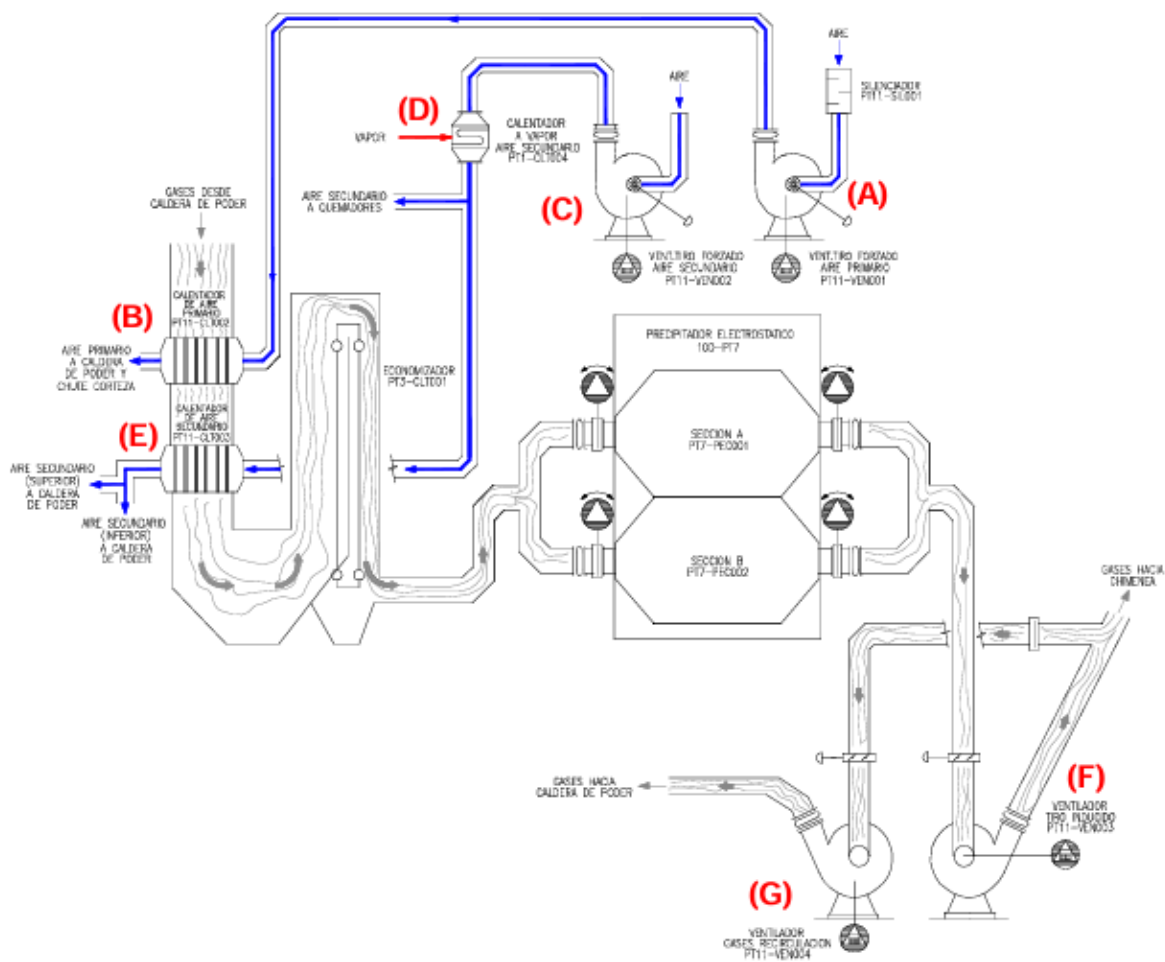


Figura 1- 5: Sistema aire- gases.

Fuente: Manual caldera de poder Cholguán- Trupan.

- | | |
|--|---|
| A: Ventilador tiro forzado primario. | E: Calentador de aire secundario a gas. |
| B: Calentador de aire primario. | F: Ventilador de tiro inducido. |
| C: Ventilador tiro forzado secundario. | G: Ventilador de recirculación de gas. |
| D: Calentador de aire secundario. | |

1.1.5 Sistema de alimentación de corteza.

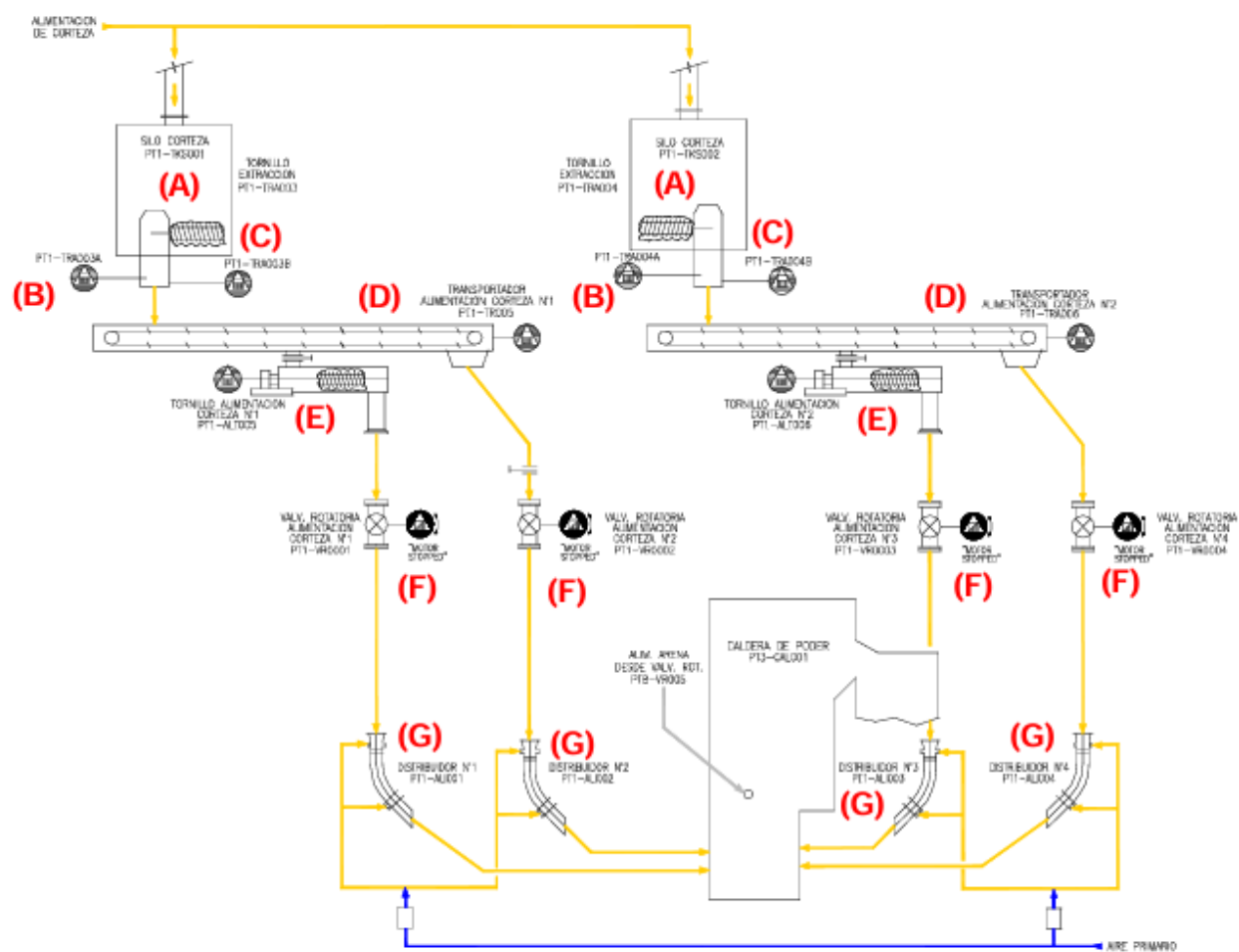


Figura 1- 6: Sistema alimentación de corteza.

Fuente: Manual caldera de poder Cholgúan- Trupan.

- | | |
|--|---|
| A: Silos de corteza 1 y 2. | E: Tornillos de alimentación 1 y 2. |
| B: Tornillo de extracción. | F: Válvulas rotatorias de alimentación 1-4. |
| C: Tornillo de extracción. | G: Distribuidores de alimentación 1-4. |
| D: Transportadores de alimentación 1y 2. | |

1.1.2 Diagrama de flujo proceso productivo planta de energía.

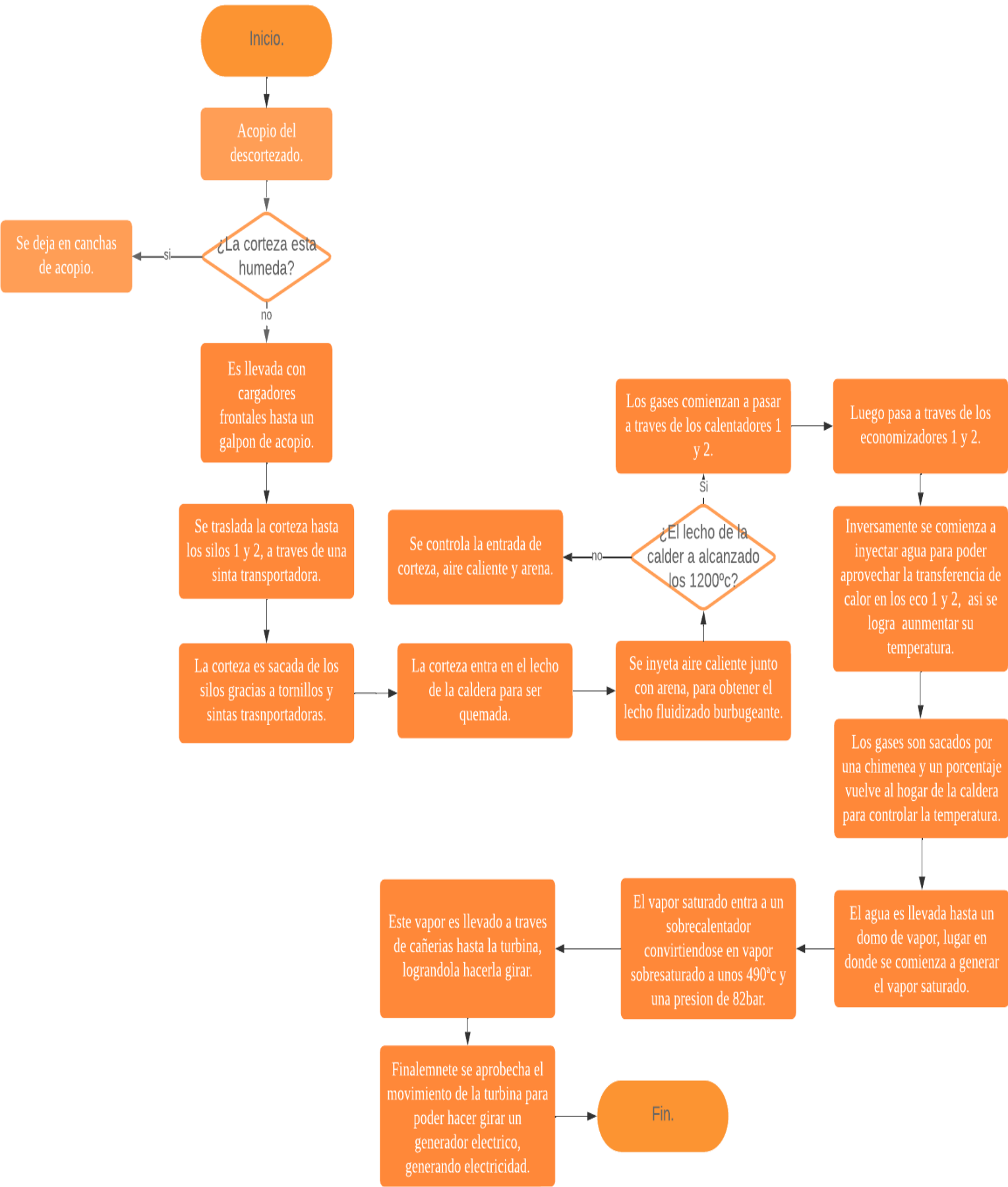


Diagrama 1: Proceso productivo generación de energía.

Fuente: Diseñado por Lisandro Q.

1.2 SITUACIÓN ACTUAL EN CUANTO AL MANTENIMIENTO.

Actualmente las estrategias de mantenimiento para los equipos dentro de la planta de energía tienen algunas falencias sobre la frecuencia y tipo de mantenimiento que se está realizando a los equipos, estando muy alejada a lo que estipula el fabricante. Estas situaciones pueden generar algunos inconvenientes en los equipos, tales como;

1. Disminución de la vida útil del equipo.
2. Frecuencia de fallas más alta.
3. Incremento de costos operativos.
4. Mayor riesgo a la seguridad.
5. Interrupción en el proceso productivo.
6. Pérdida de eficiencia.
7. Costos por mantenimiento más elevados.
8. Entre otros.

Todas esas acciones que limitan el mantenimiento en los equipos, a la larga traen consecuencias para estos.

Uno de los equipos que está pasando por esta situación es la rastra recuperadora de arenas, que actualmente su plan de mantenimiento consiste en una estrategia preventiva, en donde cada un año de servicio se realiza el cambio de algunos repuestos críticos, tales como; reductor principal, reductor de tornillo helicoidal, válvulas, empaquetaduras, cambio de lubricantes, entre otros. Siendo esta estrategia de mantenimiento muy alejada de lo que recomienda el fabricante de este equipo, el cual indica cierto mantenimiento preventivo para algunos componentes del equipo cada tres meses, seis meses y un año, entre ellos pantalla rotatoria, transportador neumático, válvula tipo bóveda, válvula de llenado, cadena de arrastre, reductores, entre otros.

1.2.1 Diagrama Ishikawa.

Con el fin de visualizar gráficamente las posibles causas que están trayendo consigo el problema de que la estrategia de mantenimiento de la rastra recuperadora de arenas enfrida por agua está teniendo esta situación de un mantenimiento no tan frecuente como lo estipula su fabricante RAUMASTER, se desarrolló un diagrama de causa-raíz para logran entender el fenómeno que causa dicha situación.

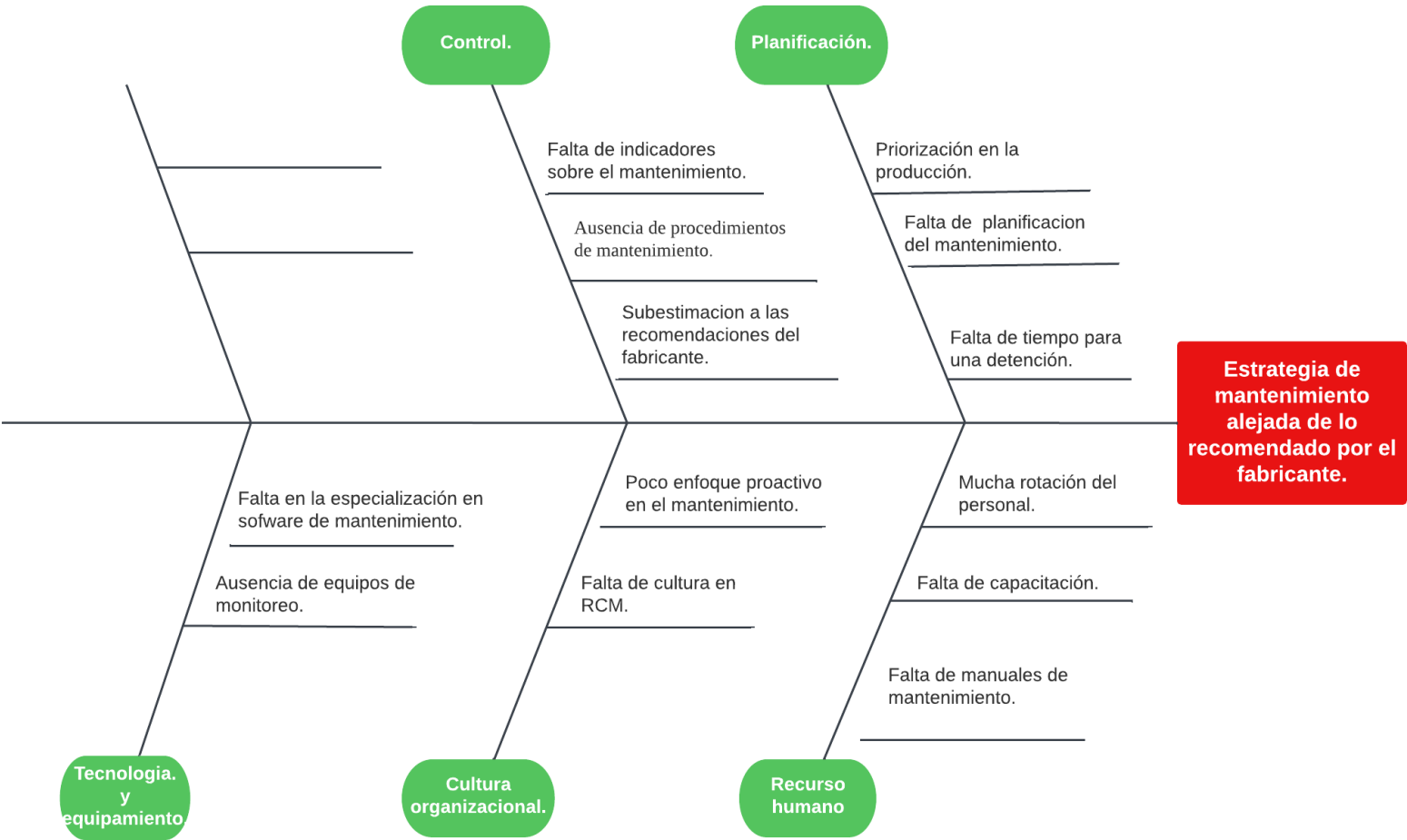


Figura 1- 7: Diagrama Ishikawa
Fuente: Diseñado por Lisandro Q.

1.3 **PROPUESTA.**

El propósito de este proyecto tiene como fin la propuesta de mejora en el plan de mantenimiento actual del equipo rastra recuperadora de arenas teniendo en consideración el largo tiempo que el equipo se mantiene trabajando sin una intervención para chequear como sigue funcionando o si existe algún indicio de problemas menores que podrían pasar a ser más relevantes y generen una detención no programada, lo que afectaría directamente la producción de energía, generando detenciones no deseadas.

El objetivo es realizar una propuesta de mejora en el plan de mantenimiento actual, proponiendo el acercamiento a las recomendaciones del fabricante e implementado una estrategia de mantenimiento predictivo en el análisis de espesores por lo abrasiva que es la arena y la detección de posibles fisuras dado los esfuerzos que está sometido el equipo. También complementar esta propuesta con un análisis de criticidad del equipo determinando el nivel de jerarquía que tiene dentro del proceso productivo en el que participa y la importancia del mantenimiento centrado en la confiabilidad para la obtención de un equipo confiable.

Además, verificar si se encuentran inventariados repuestos críticos del equipo en caso de alguna falla de estos se pueda reemplazar rápidamente y no tener que esperar la compra y llegada de estos, lo que genera pérdida de tiempo, detenciones más extensas y mayores pérdidas de ganancias por la detención del proceso productivo.

1.3.1 Posibles fallos en la rastra recuperadora de arenas.

Hasta el momento la rastra recuperadora de arenas no ha presentado alguna falla repentina, a pesar del largo tiempo que se mantiene operando sin ser intervenida para realizarle mantención y prevenir alguna falla inesperada. Dada esta situación se realizó un árbol de falla para poder visualizar y contextualizar los posibles escenarios que puede presentar este equipo, y ver así lo importante que es realizar una estrategia de mantenimiento más cercana a lo que estipula el fabricante y también agregar un poco más en lo que sería el mantenimiento predictivo.

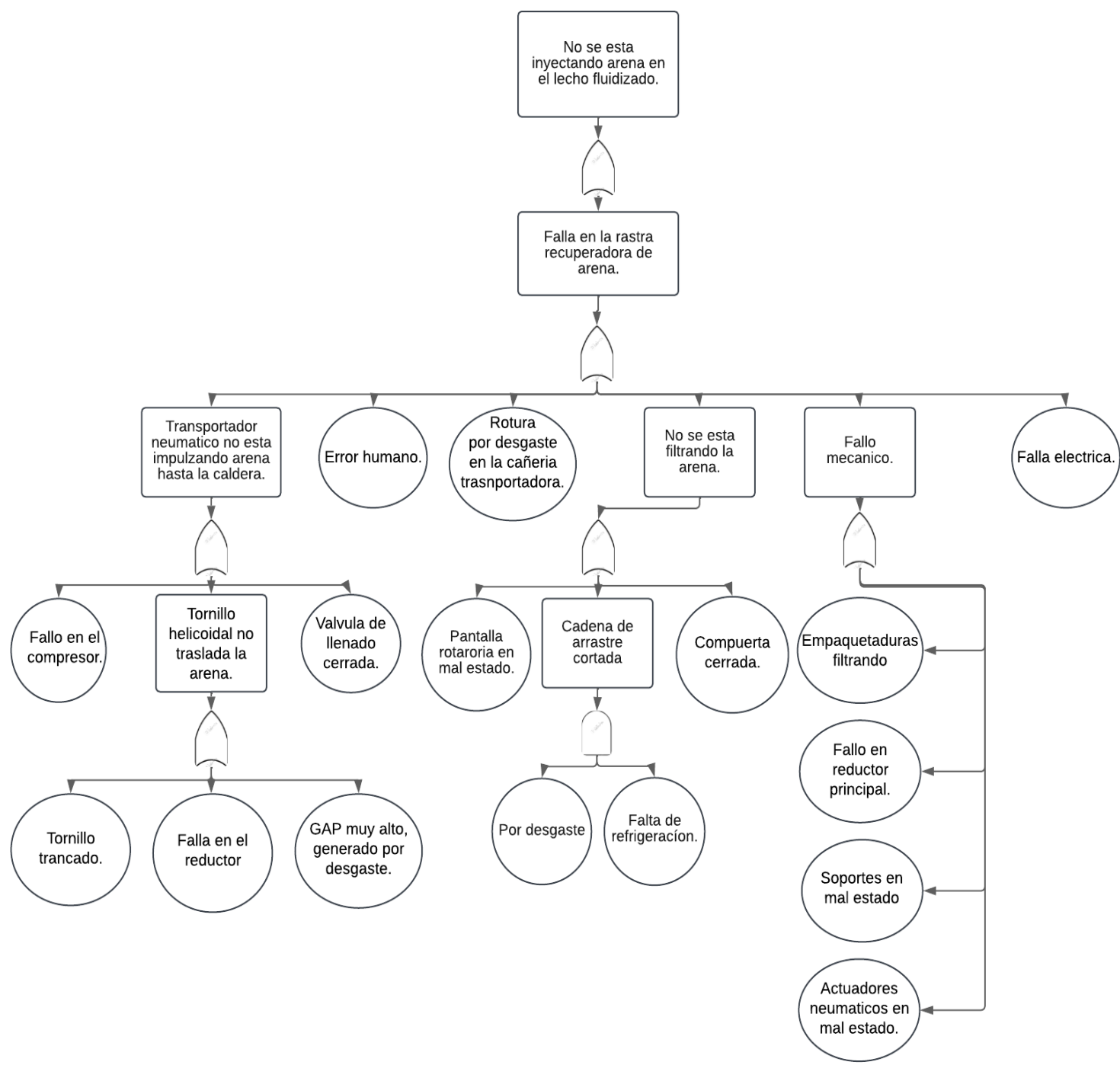


Figura 1- 8: árbol de falla.

Fuente: Diseñado por Lisandro Q.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS.

Este proyecto busca cubrir la necesidad de contar con un plan de mantenimiento más cercano a lo que estipula el fabricante mirando la gran brecha que existe entre lo que se debe hacer y lo que se está haciendo en torno al mantenimiento de los equipos. Además, se busca acortar los tiempos medios entre mantenimientos y así evitar una detención no programada por causa de una falla, que puede ser prevenida o anticipada haciendo caso a los manuales de mantenimiento y quizás aportando un poco más en la conservación de los equipos.

Si la estrategia de mantenimiento para la rastra recuperadora de arenas, es planificada y ejecutada de manera eficiente, se logra obtener la reducción de costos por detenciones no programadas y pérdidas generadas por estas mismas, por otra parte el departamento de mantenimiento cuenta con un plan de mantenimiento a seguir para el chequeo periódico de los componentes de este equipo y en cuanto al departamento de producción obtiene la confiabilidad de que el equipo cumplirá con las tareas para el cual fue diseñado, en los momentos en los que se estime conveniente. Por otra parte, se obtendrán menores tiempos de reparación, reducción en los tiempos de detención, conservación de la vida útil del equipo y reducción de costos por mantenimiento.

CAPÍTULO 2: “MARCO TEÓRICO”

2.1 PLANTA DE ENERGÍA.

El objetivo principal de una central generadora de energía es producir energía eléctrica para el sustento de hogares e industrias, a partir de diferentes fuentes de energía primaria, tales como; combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), biomasa (forestal o agrícola), energía nuclear, energía solar, energía eólica, energía hidráulica y energía geotérmica.

Básicamente el funcionamiento de una central eléctrica comienza en la obtención de una fuente de energía inicial, como las mencionadas anteriormente, seguido de la transformación de esta fuente de energía a través de un proceso físico o químico, convirtiéndola en energía mecánica o térmica, y a través de un generador es transformada en energía eléctrica para posteriormente ser distribuida.

Algunos tipos de centrales eléctricas son:

2.1.1 Central térmica.

Las centrales térmicas utilizan la combustión para lograr calentar agua hasta obtener vapor saturado y poder así mover una turbina que mediante su movimiento hace girar un generador eléctrico, logrando la obtención de energía eléctrica. Los tipos de combustibles utilizados para este proceso varían entre carbón, petróleo, gas, bio masa forestal y biomasa agrícola.



Figura 2- 1: Planta térmica.

Fuente: www.okidiario.com

2.1.2 Central nuclear.

Este tipo de centrales utiliza la fisión nuclear de átomos de uranio para poder calentar agua y evaporizarla, cumpliendo el resto del proceso de igual forma que una central térmica.

Es muy importante el uso de enfriadores para el núcleo de estas centrales, para así poder evitar un desastre por sobrecalentamiento de los reactores nucleares.



Figura 2- 2: Central nuclear.

Fuente: comofuncionaque.cl

2.1.3 Central hidroeléctrica.

Mediante el aprovechamiento de la energía potencial proporcionada por el flujo del agua en los ríos, estas centrales aprovechan la energía cinética y son capaces de mover las turbinas, logrando así la obtención de energía eléctrica.



Figura 2- 3: Central hidroeléctrica.

Fuente: Techitute.com

2.1.4 Central eólica.

Los parques eólicos aprovechan la energía cinética del viento para así poder mover las grandes aspas de los aerogeneradores, que con el movimiento de estos se alimenta una caja multiplicadora que es capaz de hacer girar una turbina eólica y así mover un generador.



Figura 2- 4: Generadores eólicos.

Fuente: Foronuclear.org

2.1.5 Central solar.

Con el uso de paneles solares conformados de celdas policristalinas o monocristalinas de silicio, que una vez entran en contacto con la radiación solar estos reaccionan de manera que logran generar corriente eléctrica continua que fluye a través del circuito conectado a la celda siendo convertida en corriente alterna gracias a un transformador y almacenada en baterías para su uso posteriormente.



Figura 2- 5: Paneles fotovoltaicos.

Fuente: Energiatoday.com

2.1.6 Central geotérmica.

Estas centrales son capaces de aprovechar el calor interno de la tierra para la generación de vapor y post movimiento de turbina y obtención de energía eléctrica gracias al generador.



Figura 2- 6: Central geotérmica.

Fuente: Diariopetroleo.com

2.2 MANTENIMIENTO.

El mantenimiento es el proceso encargado de mantener los equipos en óptimas condiciones y con un rendimiento eficiente para la ejecución de sus tareas. En otras palabras, el mantenimiento básicamente es la realización de distintas actividades que conforme su ejecución busca mantener la vida productiva de los activos.

Existen diferentes tipos de mantenimiento que al pasar de los años se ha ido mejorando, entre ellos:

2.2.1 Mantenimiento correctivo.

Con la industrialización nació de la mano la necesidad de mantener los equipos operativos para así poder cumplir con los procesos productivos necesarios para la industria. En ese entonces los departamentos de mantenimiento no existían dentro de las empresas, ya que, no existía necesidad de cumplimiento de alta demanda, a los equipos no se les practicaba ningún proceso de mantención, más allá del conocido mantenimiento correctivo, cuyo tipo de mantenimiento estaba centrado en corregir las fallas a medida que estas iban apareciendo en los equipos, es decir, falla el equipo y se procede a reparar.

Este tipo de mantenimiento es el más riesgoso dentro de un plan de mantenimiento, siempre y cuando se tenga en cuenta la importancia del equipo dentro del proceso productivo, porque, si es un equipo de baja criticidad, si se puede aplicar mantenimiento correctivo, de esta forma se puede disminuir el uso del presupuesto para el mantenimiento. Pero si el equipo es crítico

y juega un rol importante dentro del proceso productivo, no se puede ser temerario y esperar el fallo de este arriesgando el crecimiento en las pérdidas por la detención de la producción.

Existen dos técnicas de mantenimiento correctivo, tales como;

2.2.1.1 Mantenimiento correctivo planificado.

Esta técnica consiste en la detección temprana de una posible falla en el equipo, mediante la realización de evaluaciones previas y monitoreo del comportamiento del equipo. De esta manera se puede anticipar a la falla y tener listo el recambio o plan de acción al momento de la falla, para así poder evitar tiempos extensos de detención por reparación.

Utilizar este método puede ser beneficioso en cuanto a la reducción de costos, siempre y cuando se invierta en la evaluación y monitoreo de los equipos, por lo contrario, no es recomendable aplicarlo en un plan de mantenimiento.

2.2.1.2 Mantenimiento correctivo no planificado.

Esta técnica es la más costosa para las industrias, dado que las fallas surgen de repente, esto genera detenciones prolongadas en la producción lo que puede generar pérdidas de ganancias según el tiempo que se demore en reparar la falla. Es por esa misma razón que muchas veces se debe recurrir a reparaciones a la rápida o los conocidos “parches”, métodos no muy recomendados que hacen que el equipo vuelva a estar en funcionamiento, pero con lo justo, hasta que se pueda ejecutar un mantenimiento programado y así poder solucionar definitivamente el problema.

2.2.2 Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo es una estrategia del mantenimiento que consiste en la realización de ciertas intervenciones programadas en los equipos de forma periódica, dando lugar a la sustitución de piezas del activo estén fallando o no, además se realizan tareas de limpieza e inspección, de esta manera prevenir futuras anomalías en el funcionamiento de los equipos.

Entre los tipos de mantenimiento preventivo resaltan dos, los cuales dependen de su criterio específico de realización, estos son:

2.2.2.1 Mantenimiento programado.

Este tipo de mantenimiento consiste en la programación de un hito o límite fijado por el fabricante o por el planificador del mantenimiento, en donde se indica en qué momento realizar una serie de acciones preventivas al equipo. Ejemplo; A las 30.000 horas de trabajo, se debe cambiar un rodamiento en específico.

2.2.2.2 Mantenimiento de oportunidad.

A diferencia del mantenimiento programado el de oportunidad consiste en el aprovechamiento de instancias en donde el equipo se encuentra detenido para realizar labores preventivas.

2.2.3 Mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo es uno de los más eficaces dentro de un plan de mantenimiento, si el objetivo es asegurar la confiabilidad y disponibilidad del equipo. Con esta estrategia de mantenimiento se disminuye la probabilidad de que un equipo falle durante el proceso productivo, no a cero posibilidades, pero si una estadística razonable.

Esta estrategia nace de la necesidad de reducir la pérdida de tiempo y gastos innecesarios que se generaban con la sustitución de piezas periódicamente como se realizaba con el mantenimiento preventivo. Y consiste en la recolección de datos a través de sensores y softwares, sobre los componentes de un equipo para que así se puedan tomar mejores decisiones sobre el mantenimiento a realizar.

Algunas técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo son:

- ✓ Termografía infrarroja: Con la utilización de una cámara infrarroja se pueden detectar puntos de alta temperatura en el equipo, ya sea; en sus componentes eléctricos, rodamientos, partes desgastadas, ejes, etc.

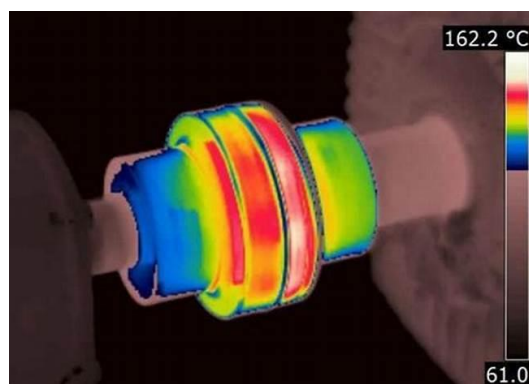


Figura 2- 7: Termografía infrarroja.

Fuente: Frando.cl

- ✓ Análisis de vibraciones: Esta técnica ayuda a identificar, predecir y prevenir fallas en los equipos. Con la ayuda de un acelerómetro se puede analizar las vibraciones y saber si está funcionando en condiciones óptimas o si está comenzando a fallar, dado que sus niveles de oscilación comienzan a aumentar.



Figura 2- 8: Análisis de vibraciones.

Fuente: comparasoftware.com

- ✓ Análisis de aceites: Esta práctica periódica tiene como fin examinar la condición del aceite, analizando si está desgastado, quemado, o si ha perdido sus propiedades, para así asegurar una buena lubricación de los componentes del equipo y evitar el desgaste por roce.



Figura 2- 9: Análisis de aceites.

Fuente: Terotecnic.com

- ✓ Ultrasonido: Esta prueba no destructiva es utilizada en la industria para la detección de posibles fisuras en la soldadura o en el cuerpo mismo del equipo, o también para medir desgastes generados por el roce, algún fluido, corrosión, etc.

Todo esto es posible ya que el equipo utilizado transmite una frecuencia no captada por el oído humano de 500 KHz a 20MHz, la cual viaja a través del componente mecánico hasta encontrar un espacio de separación (fisura o término de la pieza).



Figura 2- 10: Ultrasonido.

Fuente: Aeisa.com

2.2.4 Mantenimiento productivo total.

El TPM, se basa en que cada trabajador debe participar en el mantenimiento de su entorno de trabajo. En otras palabras, su enfoque apunta a que cada persona sin importar su nivel de gestión debe ser participe en las inspecciones periódicas, mantenimientos preventivos y sistemas de revisión de cualquiera sea el equipo utilizado en el proceso. También busca la utilización de nuevas prácticas o métodos para la detección de posibles problemas, la interacción de datos y nuevas tendencias para la ejecución de mantenimiento predictivo.

Tina Kanti Agustiady y Elizabeth A. Cudney, describen el TMP como; *“El mantenimiento productivo total (TPM) es un enfoque holístico del mantenimiento de equipos, que aspira a lograr procesos de producción casi perfectos”*. (Mantenimiento productivo total, 2023)

2.2.5 Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

El RCM, es una estrategia de mantenimiento relativamente nueva, la cual está enfocada en realizar una estrategia de mantenimiento casi personalizada para cada equipo según las condiciones internas o externas de este mismo, garantizando la disponibilidad del equipo y la disminución de costos asociados al mantenimiento.

Para la realización de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad se deben seguir los siguientes pasos:

1. Identificar las funciones: Se deben identificar las funciones primarias y/o secundarias que tiene el equipo.
2. Fallos funcionales: A través de un análisis causa y efecto se deben determinar los posibles fallos funcionales que puede presentar el equipo, es decir se identifican las causas por las que el equipo no está cumpliendo con sus funciones.
3. Modos de falla: Con la misma técnica de análisis de causa y efecto se determinan los modos de fallo que están causando que el equipo no cumpla con sus funciones. El modo de fallo es la forma en que puede fallar el equipo.
4. Evaluación de consecuencias: Se analizan los impactos que pueden tener los fallos en la seguridad, el medio ambiente, la operación y los costos. Esto permite priorizar las acciones.
5. Análisis de criticidad: Se determina la importancia del equipo dentro del proceso productivo y las consecuencias que suceden si ese equipo falla por alguna razón.
6. Estrategia de mantenimiento: Se define una estrategia de mantenimiento según las condiciones y necesidades del equipo.
7. Monitoreo: Se realiza un seguimiento del comportamiento del equipo y se verifica si es necesario realizar algún cambio en la estrategia de mantenimiento implementada.

2.2.6 Criticidad de los equipos.

La criticidad es el nivel de impacto e importancia que tiene un equipo dentro de un proceso productivo, este grado de importancia ayuda a determinar la intensidad y frecuencia de mantenimiento que este debe recibir para mantenerse operando y otorgar una confiabilidad de acuerdo con las necesidades de la producción.

Para poder jerarquizar los equipos se debe tener en cuenta la frecuencia de fallo más la consecuencia de este en términos de seguridad, medio ambiente, producción, costos (operacionales y mantenimiento) y tiempo promedio de reparación.

2.2.7 Confiabilidad y disponibilidad.

Es la probabilidad de que un equipo o sistema funcione correctamente por un determinado tiempo, bajo condiciones normales. En cuanto a la disponibilidad es la probabilidad de que un equipo se encuentre disponible para funciones operativas considerando su tiempo de funcionamiento y sus periodos de mantenimiento.

2.3 Rastra recuperadora de arenas enfriada por agua.

Para la obtención de una combustión eficiente, controlada, con buena transferencia de calor y reducción de las emisiones, es muy importante la inyección de arena en el lecho de la caldera, y este objetivo se logra gracias al equipo rastra recuperadora de arenas, que tiene el fin de inyectar arena en la caldera y reutilizar esta arena filtrándola de piedras que ingresan en la caldera siendo arrastradas junto con la biomasa.

El proceso de este equipo comienza inicialmente en la entrada de arena ya utilizada previamente en la caldera, la cual baja por un ducto de descarga hasta la base de la rastra, una vez ahí, es arrastrada por una cadena conformada por placas de arrastre hasta llegar a una tobera, en donde la arena baja hasta entrar en una pantalla rotatoria, que tiene el fin de filtrar la arena separarla de las piedras que vienen integradas. Esta pantalla rotatoria internamente cuenta con tres enmallados que separan estas piedras y las dejar salir por un ducto de descarga hasta un carro de arrastre que una vez lleno es retirado y vaciado en una cancha de acopio. Por otro lado, la arena limpia baja hasta un tornillo helicoidal en donde es movido hasta un transportador neumático que una vez se llena cierra el paso de la arena gracias a una válvula de llenado y es presurizado a una presión de 5,5 bar, para así poder subir la arena a través de una cañería, que llega hasta una válvula tipo bóveda que, gracias a un actuador neumático, que una vez sea necesaria deja ingresar la arena al lecho de la caldera.

Los equipos que conforman esta rastra recuperadora de arenas son:

1. Motorreductor principal: Encargado de accionar y mover la rastra para que la arena suba hasta la tobera.
2. Cadena de arrastre: Mediante unas placas integradas en ella es capaz de arrastrar la arena.
3. Motorreductor de la pantalla rotatoria: Encargado de hacer girar la pantalla rotatoria.
4. Pantalla rotatoria: Es la encargada de filtrar la arena por medio de mallas de diferente apertura, logrando así limpiar la arena para poder ser inyectada en la caldera.
5. Motorreductor de tornillo: Encargado de hacer girar el tornillo helicoidal que se encuentra a continuación de la pantalla rotatoria.
6. Tornillo helicoidal: A través del movimiento va desplazando la arena que fue previamente filtrada, hasta llegar a la válvula de llenado.
7. Válvula de llenado: Deja entrar o no arena al transportador neumático, una vez este se llena la válvula se cierra automáticamente.
8. Transportador neumático: Al presurizarse a una presión de 5,5 bar, es capaz de impulsar la arena a través de cañerías que suben hasta el hogar de la caldera.
9. Válvula tipo bóveda: A través de un actuador neumático esta es la válvula que permite el ingreso de la arena al hogar de la caldera, logrando así comenzar la mezcla con aire caliente y biomasa, generando la combustión.

2.3.1 Representación visual de la rastra recuperadora de arenas.



Figura 2- 11: Vista perfil izquierdo del equipo.

Fuente: Lisandro Quilodrán.

- | | |
|------------------------------|---------------------------------------|
| A: Cadena de arrastre. | F: Acumulador neumático. |
| B: Tobera descarga de arena. | G: Cañería de alimentación a caldera. |
| D: Tornillo helicoidal. | H: Tobera de la caída de arena. |
| E: Transportador neumático. | |



Figura 2- 12: Reductor principal.

Fuente: Lisandro Quilodrán.



Figura 2- 13: Vista de elevación del equipo.

Fuente: Lisandro Quilodrán.

- | | |
|------------------------------|--|
| B: Tobera descarga de arena. | E: Transportador neumático. |
| C: Pantalla rotatoria. | G: Cañería de alimentación a la caldera. |
| D: Tornillo helicoidal. | I: Carro de diseños no utilizables. |



Figura 2- 14: Pantalla rotatoria y tornillo helicoidal.

Fuente: Lisandro Quilodrán.

CAPÍTULO 3: “PROPUESTA”.

3.1 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ACTUAL PARA RASTRA RECUPERADORA DE ARENAS.

La estrategia actual de mantenimiento para el equipo rastra recuperadora de arenas que participa en el proceso productivo de la planta de energías Cholguán- Trupan. Está diseñada para la realización de mantenimiento preventivo para el equipo antes mencionado, con una frecuencia de cada 355 días, se realiza el cambio de los componentes estipulados. Dicha intervención consta de:

1. Reemplazo cadena de arrastre: Se procede a extraer la cadena encargada de arrastrar la arena y colocar un reemplazo nuevo. La cadena vieja es enviada a reparación para estar disponible en la siguiente detención.
2. Cambio de sus reductores: Se realiza el reemplazo del reductor principal, del reductor de la pantalla rotatoria y del tornillo helicoidal.
3. Cambio de enmallado de la pantalla rotatoria: Se extrae y reemplaza el juego de mallas, las mallas viejas son recicladas.
4. Inspección tornillo helicoidal: Se realiza análisis de espesores y GAP, del tornillo helicoidal, para verificar desgastes.
5. Mantenión de válvulas del transportador neumático: Se realiza preventiva de las válvulas involucradas en el transportador neumático, reemplazando sellos, anillos ring, etc.
6. Cambio de válvula tipo bóveda: Se realiza el cambio de la válvula tipo bóveda dado el desgaste que se genera en el actuador neumático.
7. Inspección visual: Se realiza una inspección visual de la carcasa del equipo y estructura que lo soporta para descartar posibles fisuras y desgastes.
8. Cambio de empaquetaduras: Se hace el cambio de todas las empaquetaduras presentes en las diferentes tapas del equipo.
9. Cambio de rodamientos y descansos: Se realiza el cambio de todos los rodamientos y descansos presentes en el equipo.

3.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

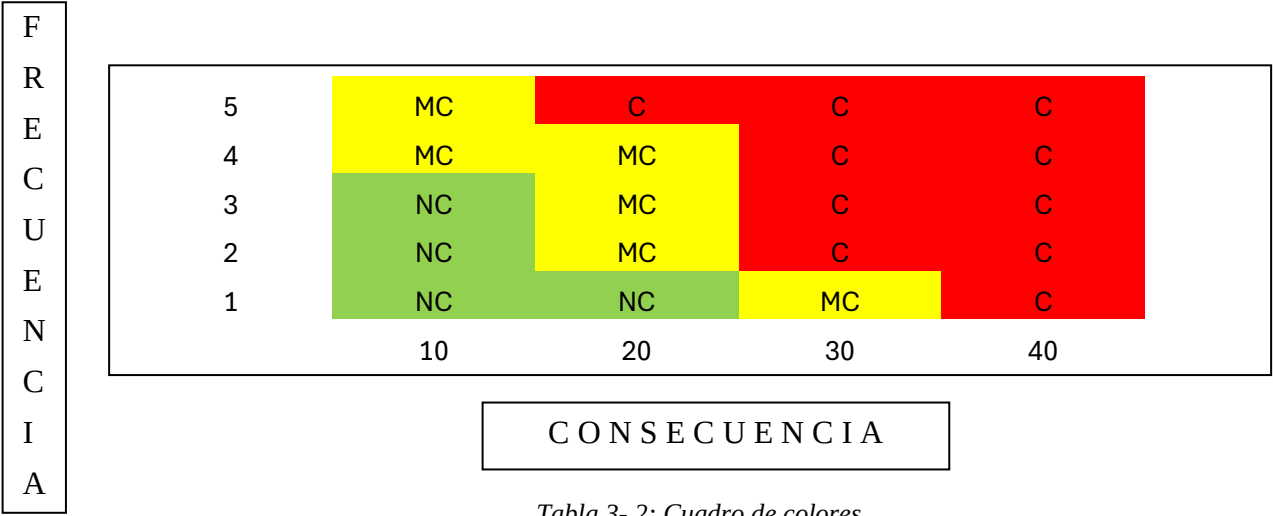
Para poder realizar el análisis de criticidad y poder determinar el nivel de jerarquía que posee la rastra recuperadora de arenas, es importante realizar un cuadro de jerarquización de todos los equipos que participan dentro del proceso productivo de la planta de energía, considerando desde la cinta transportadora hasta el mismo generador.

3.2.1 Cuadro de jerarquización.

Frecuencia de falla:		Costo de mantenimiento:	
Parámetro 13-15 fallas/año	5	Rango \$100Mill- \$81Mill	5
Parámetro 10-12 fallas/año	4	Rango \$80Mill-\$51Mill	4
Parámetro 7-9 fallas/año	3	Rango \$50Mill-\$31Mill	3
Parámetro 4-6 fallas/año	2	Rango \$30Mill-\$11Mill	2
Parámetro 1-3 fallas/año	1	Rango \$10Mill- \$1Mill	1
Impacto Operacional:		Impct seguridad y medio ambiente:	
Detención completa del proceso productivo.	6	Causa impacto en la seguridad y en el medio ambiente.	4
Parada general de toda la línea de producción.	5	No causa impacto en la seguridad, pero si en el medio ambiente	3
Aumento de costes operacionales.	4	Causa impacto en la seguridad, pero no en el medio ambiente.	2
Reducción en la producción.	3	No causa impacto a la seguridad ni al medio ambiente.	1
Repercusiones operacionales mínimas.	2		
No hay repercusiones operacionales.	1		
Flexibilidad operacional:			
No existe forma de reparación.	5		
No existe forma de reparación inmediata y no admite detención.	4		
Existe forma de reparación, pero no inmediata, admite detención.	3		
No existe forma de reparación inmediata, pero sí admite detención (Equipo en paralelo).	2		
Existe forma de reparación inmediata, y admite detención.	1		

Tabla 3- 1: Cuadro de jerarquización.

3.2.2 Cuadro de colores según jerarquización.



3.2.3 Cuadro de criterio de jerarquización.

Equipo	Frec falla	Imp Operl	Flexibilidad Operacional	Costo de MTTO.	Impacto S y A	Consecuencia	Riesgo	Jerarquización.
Cint transp 1ra	2	6	4	3	2	29	58	Crítico.
Silo corteza 1	1	3	2	2	1	9	9	No crítico.
Silo corteza 2	2	3	2	2	1	9	18	Medianamente crítico.
Cinta transp 1	2	3	1	1	1	5	10	No crítico.
Cinta transp 2	3	3	1	1	1	5	15	No crítico.
Tornillo alim 1	2	3	2	1	1	8	16	No crítico.
Tornillo alim 2	1	3	2	1	1	8	8	No crítico.
Rastra recup A	2	6	4	4	4	32	64	Crítico.
Sobre calentad	1	4	4	3	3	22	22	No crítico.
Eco 1	2	3	2	2	1	9	18	No crítico.
Eco 2	3	3	2	2	1	9	27	No crítico.
Domo vapor	3	6	4	3	3	30	90	Crítico.
Vent forzado 1	4	2	1	3	2	7	28	Medianamente crítico.
Vent forzado 2	3	2	1	3	2	7	21	No crítico.
Vent enfriado 1	3	2	1	3	2	7	21	No crítico.
Vent enfriado 2	3	2	1	3	2	7	21	No crítico.
Bomba 1	3	2	1	1	1	4	12	No crítico.
Bomba 2	2	2	1	1	1	4	8	No crítico.
Bomba E	1	1	1	1	1	3	3	No crítico.
Estanque 1	2	2	2	2	2	8	16	No crítico.
Estanque 2	1	2	2	2	2	8	8	No crítico.
Turbina	3	6	4	5	4	33	99	Crítico.
Generador	3	6	4	5	2	31	93	Crítico.

Tabla 3- 3: Cuadro de criterio de jerarquización.

Fuente: Diseñado por Lisandro Q.

Con la aplicación de esta herramienta de jerarquización, se obtuvo como resultado que la rastra recuperadora de arenas es un equipo de carácter crítico, lo que conlleva una serie de acciones para asegurar su confiabilidad, entre ellas:

La realización de un plan de mantenimiento más cercano a lo que estipula el fabricante.

- ✓ Plan de mantenimiento preventivo, fechado y con la ruta a realizarse.
- ✓ Implementar una estrategia de mantenimiento predictivo.
 - Tintas penetrantes
 - Ultrasonido
 - Análisis de vibraciones
 - Análisis de aceite.
- ✓ Verificar la existencia de repuestos en planta del equipo y que sean con reposición automática una vez sea utilizado el repuesto.

3.3 ESTUDIO MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.

Para el desarrollo e implementación de una estrategia de mantenimiento centrada en la confiabilidad es necesario realizar un estudio de las condiciones internas o externas a las que se ve enfrentada la rastra recuperadora de arenas, para que de esta forma se logre dar forma a una estrategia de mantenimiento eficiente para dicho equipo.

Con el desarrollo del cuadro de jerarquización, se logró identificar que el equipo; rastra recuperadora de arenas enfriada por agua, es de carácter crítico, quizás no por poseer una alta tasa de fallas durante un año de servicio, pero si por su alta consecuencia en caso de detención por avería. Es por lo que se realizó una estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para asegurar el correcto funcionamiento del equipo bajo las condiciones óptimas de trabajo.

3.3.1 Tabla de diagnóstico del equipo recuperador de arena.

Apoyado con el árbol de fallas mostrado anteriormente se realizó el siguiente análisis del modo y efecto de fallas, AMEF.

Funciones primarias Y secundarias.	Falla funcional.	Modos de falla.	Consecuencias.
Reutilizar 3 ton/día de arena provenientes del lecho fluidizado.	No se están reutilizando la cantidad de kilos de arena necesaria, teniendo que suministrar más arena nueva.	1. Pantalla rotatoria en mal estado, dejando pasar la arena al carro de desecho.	Riesgo de daño ambiental, dado la acumulación excesiva de arena en las canchas de acopio.
		2. La cadena de arrastre no está subiendo toda la arena hasta la tobera.	Riesgo en la producción, dado por un posible atochamiento en la descarga de la arena.
		3. Reductor principal no está haciendo avanzar la cadena de arrastre.	Riesgo en la producción, dado por un posible atochamiento en la descarga de la arena.
		4. Corte del suministro eléctrico del equipo.	Detención completa del proceso productivo y riesgo ambiental, dado por la falta de arena en la caldera, aumenta los niveles de NOx
Inyectar 180 kilos/h de arena al lecho de la caldera.	No se está inyectando arena en el lecho de la caldera.	1. Transportador neumático no está funcionando.	Riesgo en la producción y el medio ambiente dada la falta de arena en el lecho de la caldera.
		2. Error humano.	Problemas en la producción.
		3. Val. Tipo bóveda despresurizada.	Riesgo al medio ambiente dada la falta de arena.
		4. Sistemas neumáticos despresurizados.	Aumento en la perdida de producción
		5. Falla en la válvula de llenado.	Atraso en la inyección de arena, lo que genera perdida de producción y eficiencia.
	El transportador neumático es incapaz de hacer llegar la arena hasta la válvula tipo bóveda.	1. Fuga en los sellos del transportador neumático.	Perdida de presión en el sistema, lo que genera una caída en la eficiencia del equipo.
		2. Fuga en las uniones de los flanches.	Empaquetaduras rotas, generando perdida de material. Riesgo al medio ambiente y a la seguridad dada la temperatura de la arena.
		3. Perdida de presión generada por fisura en el transportador neumático.	Riesgo en la producción dado el tiempo que se tomaría reparar esta fisura.

		4. Flujo de aire al acumulador cortada.	Posible error humano, generando consecuencias en la producción.
	Tornillo helicoidal no transporta arena hasta el transportador neumático.	1. Motor y/o reductor averiado.	Consecuencias para la producción.
		2. Objeto extraño atascado en el tornillo.	Consecuencias en la seguridad y en el funcionamiento del equipo.
		3. Rodamientos dañados.	Consecuencias para la producción y funcionamiento del equipo.
	La pantalla rotatoria no arranca o se ha detenido.	1. Avería en el suministro eléctrico.	Consecuencias en la producción.
		2. Objeto extraño entre las mallas de la pantalla rotatoria.	Consecuencias para la seguridad y medioambiente.
		3. Rodamientos en mal estado.	Consecuencias para la producción y funcionamiento del equipo.
		4. Malla de la pantalla rotatoria está rota.	Consecuencias para el resto de los componentes del equipo, riesgo de que entre un objeto de mayor tamaño al admisible.
		5. Dispositivo de limpieza con poca presión para poder limpiar.	Consecuencia a la producción.
	Error en el transportador neumático.	1. La presión de trabajo está por debajo de lo necesario.	Consecuencia en la producción y medio ambiente dada la falta de arena.
		2. Válvula de llenado mal cerrada.	Consecuencias en la producción.
Refrigerar la cadena de arrastre.	La cadena de arrastre no está siendo refrigerada.	1. Falla en las bombas de agua.	Consecuencias en seguridad, producción y medioambiente. Debido al aumento de temperatura en el equipo.
		2. Objeto obstruye las cañerías de agua.	Consecuencias a la seguridad.
		3. Fuga en las uniones de los flanches.	Consecuencias a la seguridad.

Fuente: Diseñado por Lisandro Q.
 Tabla 3- 4: Análisis AMEF.

3.4 **PROPUESTA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA RASTRA RECUPERADORA DE ARENAS.**

Con el desarrollo del cuadro de jerarquización de los equipos que participan en el proceso productivo de la planta de energía Cholguán- Trupan, acompañado de un análisis AMEF, se sugirió un plan de mantenimiento preventivo aumentando su frecuencia y a la vez una estrategia de mantenimiento predictivo, para así obtener una mayor confiabilidad del equipo. Siempre buscando posibles mejoras a través del seguimiento de estas estrategias de mantenimiento.

3.4.1 Estrategia de mantenimiento preventivo para rastra recuperadora de arenas.

Ítem.	Componente del equipo.	Actividad por realizar.	Frecuencia.
1	Lubricantes.	A. Comprobar nivel de aceite en los reductores.	3 meses.
		B. Engrasar rodamientos de los soportes de reductor, cadena, tornillo, pantalla rotatoria.	3 meses.
		C. Engrasar los rodamientos de los motores eléctrico.	6 meses.
		D. Cambiar aceite de los reductores.	12 meses.
2	Reductores.	A. Cambio de reductores.	12 meses.
3	Rodamientos.	A. Cambio de rodamientos.	6 meses.
4	Carcasa del equipo.	A. Chequear posibles soldaduras mecánicas y reapretar de ser encontradas.	6 meses.
		B. Limpieza exterior del equipo.	3 meses.
		C. Cambio de empaquetaduras.	12 meses.
5	Cadena de arrastre.	A. Comprobar tensión de la cadena	3 mes.
		B. Chequear que los eslabones no se encuentren torcidos o falten.	3 mes.
		C. Comprobar estado del riel de cadena.	3 mes.
		D. Reemplazar cadena.	12 meses.
6	Pantalla rotatoria.	A. Cambio de mallas.	6 meses.
		B. Cambio de empaquetaduras.	6 meses.
		C. Chequeo de presión de trabajo.	3 meses.
		D. Cambio de rodamientos	6 meses.

7	Tornillo helicoidal.	E. Cambio de bujes.	6 meses.
		A. Cambio de rodamientos.	6 meses.
		B. Cambio de bujes.	6 meses.
		C. Cambio de tornillo.	18 meses.
8	Transportador neumático.	A. Vaciar y limpiar filtro de aire.	1 mes.
		B. Reemplazar filtro de aire.	6 meses.
		C. Cambio de sellos en val. De llenado.	6 meses.
		D. Comprobar funcionamiento de los actuadores, sensores y válvulas.	1 meses.
9	Válvula tipo bóveda.	A. Cambio de filtros.	1 mes.
		B. Limpieza.	1 mes.
		C. Cambio de sellos de la válvula.	6 meses.
		D. Cambio de sellos de la bóveda.	6 meses.

Tabla 3- 5: Estrategia de mantenimiento preventivo.

Fuente: Diseñado por Lisandro Q.

Observaciones: El reemplazo de algunos componentes del equipo recuperador de arenas, pueden ser adelantados o pospuestos dependiendo de los resultados obtenidos a través del análisis predictivo.

3.4.2 Estrategia de mantenimiento predictivo para rastra recuperadora de arenas.

ítem.	Componente del equipo.	Actividad por realizar.	Frecuencia
1	Rodamientos	A. Chequear temperatura y vibraciones.	3 meses.
2	Motores eléctricos.	A. Chequear temperatura, vibraciones y posibles ruidos.	3 meses.
3	Reductores (principal, tornillo y pantalla rotatoria)	A. Chequear temperatura, vibraciones, posibles ruidos y fugas.	3 meses
4	Carcasa del equipo.	B. Realizar análisis de lubricantes.	6 meses
		A. Realizar análisis de espesores en los puntos de mayor abrasión.	6 meses
		B. Realizar tintas penetrantes en las uniones soldadas.	6 mese.
		A. Realizar análisis de espesores en diferentes puntos del tramo de cañería, pero sobre todo en las curvas existentes.	6 meses
5	Cañerías inyección de arena.		
6	Cadena de arrastre.	A. Realizar análisis de espesores en diferentes puntos del tramo de cadena y placas de arrastre. También chequear las guías de la cadena.	6 meses
7	Mayas de la pantalla rotatoria.	A. Realizar medición de espesores y chequeo visual.	6 meses.
8	Transportador neumático.	A. Realizar medición de espesores.	12 meses.
		B. Realizar tintas penetrantes en uniones soldadas.	6 meses.
9	Serpentín de la carcasa.	A. Chequear presión	Diario.
10	Tornillo helicoidal.	A. Medición de espesores de las aspas del tornillo.	6 meses.
		B. Medición de espesores de la carcasa del tornillo.	6 meses.
11	Acumulador neumático.	A. Realizar medición de espesor.	12 meses.

Tabla 3- 6: Estrategia de mantenimiento predictivo.

Fuente: Diseñado por Lisandro Q.

3.4.3 Seguimiento del nuevo plan de mantenimiento.

Es muy importante el seguimiento y la realización de una bitácora del equipo, para poder analizar periódicamente si la estrategia de mantenimiento recomendada está siendo eficiente, también para visualizar posibles mejoras que se le puedan implementar, para lograr generar una estrategia de mantenimiento lo suficientemente sustentable y equilibrada entre la producción, confiabilidad y mantenimiento.

3.4.4 Inventariado de repuestos críticos para la rastra recuperadora de arenas.

Dado que el equipo recuperador de arenas es un equipo crítico dentro del proceso productivo de la planta de energías es muy importante que se comience a priorizar el inventariado de repuestos críticos de este equipo, tales como; juego de mallas de la pantalla rotatoria, curvas de la cañería transportadora, válvula tipo bóveda y válvula de llenado.

De esta manera si alguno de estos componentes presenta fallas durante el proceso productivo, se contará con el repuesto inmediatamente para ser reemplazada, así se acortará el tiempo medio entre reparación y disminuirán las pérdidas de ganancias por detenciones menos extensas.

CAPÍTULO 4: “EVALUACIÓN ECONOMICA”

4.1 **COSTOS ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO ACTUAL DEL EQUIPO.**

Descripción del mantenimiento y alcance técnico
Planta de energía Cholguán- Trupan. El mantenimiento preventivo para realizar en el equipo “Rastra recuperadora de arenas”, está sujeto a licitación para empresas contratistas de la zona. Base Técnica. 1. Se contempla el reemplazo de ciertos componentes críticos del equipo antes mencionado. 2. Los turnos de trabajo son de 12 horas por 10 días consecutivos. 3. La empresa que licita debe contemplar a lo menos 1 supervisor, 1 prevencionista, 4 maestros mecánicos, 2 soldadores, 2 eléctricos y un especialista en neumática. 4. La empresa mandante proporcionara el apoyo logístico, insumos de limpieza, etc.

4.1.1 Tabla de costos actuales del mantenimiento para rastra recuperadora de arenas.

ítem	Descripción	Cantidad	Cantidad de horas.	Valor HH	Total
A. Personal contratista.					
1.	Supervisor	1	120	\$14.000	\$1.680.000
2.	Prevencionista.	1	120	\$10.00	\$1.200.000
3.	Maestros mecánicos.	4	120	\$7.000	\$3.360.000
4.	Soldadores.	2	120	\$8.000	\$1.920.000
5.	Eléctricos.	2	48	\$7.000	\$672.000
6.	Especialistas.	1	60	\$16.000	\$960.000
				Sub Total.	\$9.792.000
B. Apoyo Logístico.					
1.	Grúa.	1	24	\$30.000	\$720.000
2.	Pluma.	1	84	\$70.000	\$5.880.000
3.	Cama baja.	1	24	\$50.000	\$1.200.000
				Sub Total.	\$7.800.000
ítem.	Descripción.	Cantidad.	Valor unitario.	Total.	
A. Repuestos					
1.	Juego de piñones princ.	1	\$298.000		\$298.000
2.	Juego de soportes princ.	1	\$750.000		\$750.000
3.	Cadena de arrastre.	1	\$4.890.000		\$4.890.000
4.	Guías de la cadena	4	\$102.000		\$408.000
5.	Juego de piñones sec.	1	\$298.000		\$298.000
6.	Juego de soportes sec.	1	\$750.000		\$750.000
7.	Reductor principal.	1	\$2.500.000		\$2.500.000
8.	Motor eléctrico princ.	1	\$1.258.000		\$1.258.000
9.	Juego de mallas pant. Rot.	1	\$960.000		\$960.000
10.	Juego soportes pant.	1	\$330.000		\$330.000
11.	Motorreductor pant rot.	1	\$700.000		\$700.000
12.	Juego de soportes tornillo	1	\$330.000		\$330.000
13.	Motorreductor tornillo.	1	\$700.000		\$700.000
14.	Válvula de llenado.	1	\$250.000		\$250.000
15.	Válvula tipo bóveda.	1	\$580.000		\$580.000
				Sub Total	\$15.002.000
B. Reparaciones otras.					
1.	Reemplazo de curvas.	3	\$190.000		\$570.000
2.	Limpieza.				\$600.000
3.	Otros.				\$1.000.000
				Sub Total	\$2.170.000
				Total.	\$34.764.000

Lista de costos 4- 1: Costos actuales del mantenimiento.

Fuente: Diseñado por Lisandro Q.

4.2.**COSTOS ATRIBUIDOS A IMPLEMENTAR UNA MEJORA EN LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ACTUAL.**

Descripción del mantenimiento y alcance técnico
Planta de energía Cholguán- Trupan. El mantenimiento preventivo para realizar en el equipo “Rastra recuperadora de arenas”, en parte se encuentra sujeto a licitación para empresas contratistas de la zona, en cuanto a tareas de lubricación, limpieza, medición de fluidos, cambio de sellos en las válvulas, reapriete, tensión de la cadena y posibles fallas extraordinarias que puedan suceder es netamente responsabilidad del personal de planta. Por otra parte, todo lo que sea mantenimiento predictivo está sujeto a licitación para empresas contratistas. Base técnica. 1. Se contempla el reemplazo de ciertos componentes del equipo cada 3, 6 y 12 meses. 2. La constante toma de mediciones tales como; análisis de espesores, tintas penetrantes, vibraciones, termografía y análisis de aceite. Para así lograr obtener un informe completo de las condiciones que va teniendo el equipo. 3. Los turnos de trabajo son de 8 horas en cada sesión. 4. La empresa mandante proporcionara el apoyo logístico, insumos de limpieza, etc. 5. En costos unitarios se contempla todo el gasto que se requiere.

4.2.1. Tabla de costos para el mantenimiento preventivo y predictivo.

ítem.	Descripción.	Cantidad por año	Costo unitario	Sub Total.
1	Análisis de vibraciones en rodamientos, motores eléctricos, reductores y pantalla rotatoria.	4	\$700.000	\$2.800.000
2	Medición de temperatura en rodamientos, motores eléctricos y reductores.	4	\$520.000	\$2.080.000
3	Análisis de aceite.	2	\$430.000	\$860.000
4	Análisis de espesores en carcasa del equipo, curvas, cañerías, transportador neumático, tornillo helicoidal, pantalla rotatoria, entre otros.	2	\$2.200.000	\$4.400.000
5	Tintas penetrantes en uniones soldadas del equipo, estructura que lo sostiene y costuras en las cañerías y flanches.	2	\$2.000.000	\$4.000.000
6	Lubricación de los componentes del equipo.	4	\$60.000	\$240.000

7	Ajuste de los componentes del equipo, además se debe tensar la cadena.	4	\$60.000	\$240.000
8	Cambio de todos los rodamientos presentes en el equipo.	2	\$2.760.000	\$5.520.000
9	Cambio de re reductores	1	\$5.758.000	\$5.758.000
10	Cambio de cadena	1	\$6.190.000	\$6.190.000
11	Cambio de los sellos en válvulas y transportador neumático.	2	\$380.000	\$760.000
12	Cambio de tornillo	Cada 18 meses	\$1.200.000	\$1.200.000
	Cambio de mallas de la pantalla rotatoria.	2	\$1.460.000	\$2.920.000
13	Cambio de piñones primarios y secundarios.	1	\$896.000	\$896.000
14	Insumos de limpieza			\$2.300.000
15	Otros			\$2.000.000
			Total	\$42.164.000

Lista de costos 4- 2: Costos para el mantenimiento preventivo y predictivo.

Fuente: Diseñado por Lisandro Q.

4.3.**PÉRDIDAS GENERADAS POR LA DETENCION DEL EQUIPO.**

Dado que el equipo “Rastra recuperadora de arenas” es un equipo crítico para el proceso productivo de la planta de energías, es muy importante evitar que este falle y detenga la producción. Es por lo que, si se invierte mayor planificación y recursos en asegurar la confiabilidad de este equipo, disminuye la probabilidad de aumentar las perdidas por una detención no deseada.

En Chile en el año 2024 no se tiene un dato exacto del valor promedio para generar energía eléctrica con una planta térmica que utilice biomasa en su caldera de poder, pero aproximadamente el valor de generación de 1MW/h es de \$61.320.

Dado este valor las pérdidas que se podrían generar si la rastra recuperadora tiene una falla, en donde permanezca mucho tiempo detenida serian:

Valor por MW/h en el año 2024.	Capacidad de generación MW/h planta de energías Cholguán- Trupan.	Perdida de ganancias en una hora de detención.	Pérdida de ganancias en 1 día completo de detención.
\$61.320	30MW/h	\$1.839.600	\$44.150.400

Lista de costos 4- 3: Perdidas aproximadas por detención.

Fuente: Diseñado por Lisandro Q.

4.4.**GRÁFICO COMPARATIVO DE LOS COSTOS Y PÉRDIDAS.**

Para poder visualizar la relación entre los costos actuales del mantenimiento de la rastra recuperadora de arenas, los costos que sería implementar una mejora en el plan de mantenimiento y las pérdidas que se pueden generar si es que se llega a detener la rastra recuperadora de arenas por alguna falla imprevista.

Queda mencionar que implementar esta mejora, aumenta los costos del mantenimiento en el equipo, pero a la vez aumenta la confiabilidad y disminuye el riesgo de una detención no deseada causada por una falla que pudo a ver sido prevista gracias a las técnicas de mantenimiento predictivo.



Gráfico 4- 1: Relación costo y perdida.

Fuente: Diseñado por Lisandro Q.

CONCLUSIÓN

Al realizar mantenimiento a los activos, aseguramos el buen funcionamiento de estos y mantenemos su vida útil, pero nunca evitamos al cien por ciento las fallas, es por ello que nos queda realizar estrategias de mantenimiento según las condiciones internas o externas de cada equipo para obtener un equipo confiable y saber actuar ante posibles fallas que se puedan presentar.

En el desarrollo de este trabajo se fue abordando los diferentes tipos de mantenimientos existentes, las técnicas utilizadas para diagnosticar las condiciones de un equipo, los diferentes tipos de plantas de energía eléctrica que existen, se describió el proceso productivo tanto de la planta de energía como del equipo recuperador de arenas, todo esto para contextualizar y poder dar forma al desarrollo de la nueva estrategia de mantenimiento, la cual se basa en el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Dando así forma a una estrategia de mantenimiento preventiva y predictiva para disminuir el largo tiempo que estaba sin mantenimiento el equipo antes mencionado, en donde se espera disminuir las probabilidades de que presente una falla que afecte el proceso productivo, la seguridad o le medioambiente.

No se asegura que el equipo no va a fallar si se implementa esta mejora, pero si se otorga una herramienta para poder planificar el mantenimiento y se demuestra que la confiabilidad es muy importante dentro de una industria, pero hoy en día aun es un término poco común.

RECOMENDACIONES.

El mantenimiento hace que los equipos que participan en los procesos productivos se mantengan en condiciones y funcionales, pero no segura que estos no fallen. Es por ello que, se recomienda siempre estar realizando seguimiento a las estrategias de mantenimiento integradas para cada activo, con el fin de proponer nuevas mejoras y optimizarlos.

Además, se recomienda hacer más uso del mantenimiento centrado en la confiabilidad, ya que, actualmente en las industrias chilenas es un tema poco utilizado siendo una opción confiable para mantener los equipos.

Por otro lado, se recomienda apegarse de igual forma a las recomendaciones de los fabricantes, dado que muchas veces pasa que son ignoradas o subestimadas como se pudo ver en el análisis causa-raíz del porque suceden estas situaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- (5 de Julio de 2021). Obtenido de Economipedia.com:
<https://economipedia.com/definiciones/industria.html>
- Alianza B@UNAM.* (18 de Febrero de 2024). Obtenido de
<https://alianza.bunam.unam.mx/enp/tipos-de-plantas-generadoras-de-electricidad-y-su-transmision/>
- Fracttal.* (2024). Obtenido de <https://www.fracttal.com/es/guias-mantenimiento/que-es-el-tpm-mantenimiento-productivo-total-y-como-implementarlo>
- Lifeder.com.* (03 de Diciembre de 2019). Obtenido de <https://www.lifeder.com/evolucion-mantenimiento-industrial/>
- Ltda., J. R. (2 de Noviembre de 2003). Caldera de poder, estrategias y secuencia de operacion. .
- Mancuzo, G. (17 de Septiembre de 2020). Obtenido de
<https://blog.comparasoftware.com/evolucion-del-mantenimiento/>
- Mantenimiento productivo total.* (18 de Diciembre de 2023). Obtenido de
<https://www.fracttal.com/es/guias-mantenimiento/que-es-el-tpm-mantenimiento-productivo-total-y-como-implementarlo>
- Ministerio de energia .* (2022). Obtenido de <https://energia.gob.cl/h2/Qu%C3%A9-es-el-hidr%C3%B3geno-verde>
- Misiones.* (8 de Marzo de 2021). Obtenido de <https://mcgg.misiones.gob.ar/en-puerto-piray-el-gobernador-inauguro-la-nueva-caldera-en-la-planta-de-arauco-y-entrego-subsidios-a-empresas-y-productores/>
- MTTO. (Octubre de 2022). *IBM.* Obtenido de <https://www.ibm.com/es-es/topics/predictive-maintenance>
- ORI Alnitak.* (2023). Obtenido de <https://orialnitak.es/caldera-de-lecho-fluidizado-circulante/>
- Predictiva.* (23 de Septiembre de 2021). Obtenido de <https://predictiva21.com/evolucion-mantenimiento/#:~:text=El%20mantenimiento%20nace%20con%20la%20primera%20revoluci%C3%B3n%20industrial,Europa%20occidental.%20Posteriormente%20C%20se%20extendi%C3%B3%20a%20Am%C3%A9rica%20anglosajona.>
- Raumaster. (Abril de 2022). Manual de mantenimiento y servicio.
- Raumaster.* (2 de Octubre de 2024). Obtenido de <https://www.raumaster.fi/>

