

**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSÉ SIMEÓN CAÑAS
UNIVERSIDAD DON BOSCO**



**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE RCM EN SISTEMA
DE SEPARACIÓN Y REINYECCIÓN DE AGUA EN UNA
CENTRAL GEOTÉRMICA DE EL SALVADOR**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREPARADO PARA EL DECANATO DE
POSTGRADOS UCA. Y FACULTAD DE INGENIERÍAS UDB**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
MAESTRO EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

POR:

**OSCAR RAFAEL FIGUEROA CÓBAR
JOSÉ ALBERTO FLORES SOTO
JAIME MIGUEL VARGAS MIRANDA**

ASESOR: DR. MARC GARDELLA GONZÁLEZ

**ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, C.A.
AGOSTO 2020**

Página intencionalmente en blanco

RECTORES:

**ANDREU OLIVA DE LA ESPERANZA, S.J.
MARIO RAFAEL OLMOS ARGUETA, SDB.**

SECRETARIAS GENERALES:

**SILVIA ELINOR AZUCENA DE FERNÁNDEZ
YESENIA XIOMARA MARTÍNEZ OVIEDO**

DECANA DE POSTGRADO UCA:

NELLY ARELY CHÉVEZ REYNOSA

VICERRECTOR DE POSTGRADO:

HERBERT HUMBERTO BELLOSO FUNES

**DIRECTORES DE LA MAESTRÍA EN GERENCIA DE
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL:**

**LAURA ORELLANA UCA
JOSÉ LUIS MARTÍNEZ UDB**

Agradecimientos

A mí amada madre Evelyn Claribel Soto, por el inmenso amor que me ha dado siempre, por el apoyo que me ha brindado en cada etapa de mi vida hasta el día de hoy, por tener palabras de aliento y siempre creer en mí.

A mis queridas tías Irma Angélica Soto y Ana del Carmen Soto que han estado conmigo desde siempre, con plena confianza en que lograría alcanzar mis metas, con palabras de aliento a cada momento y su incondicional cariño.

Al Dr. Carlos Rodríguez Soto, hermano y amigo que ha sido mi consejero y guía durante tantos años.

A la Inga. Lucy Tejada, por cada palabra y consejo durante el desarrollo académico y metas propuestas.

A mis compañeros de este trabajo y amigos Ing. Oscar Figueroa e Ing. Jaime Vargas, por confiar en que seríamos un equipo donde fortaleceríamos tanto los lazos de amistad como aprendizaje.

Al Dr. Marc Gardella, asesor incansable durante largas jornadas, sin sus consejos y guía no hubiese sido posible la culminación de este estudio. Excelente profesional con vasta experiencia y conocimientos que no escatimó en ningún momento compartirlos con nuestro equipo.

Y a la vida misma, por la serie de acontecimientos que me han permitido llegar a este punto de aprendizaje y desarrollo personal.

“Tienes poder en tu mente, no fuera. Sé consciente de esto y encontrarás la fuerza”

Marco Aurelio

José Alberto Flores Soto

A mi amada esposa, Adriana, ejemplo de amistad y dedicación, que con todo tu amor y apoyo me das las fuerzas para permanecer constante y superar cada uno de los retos que surgen en la vida.

A mi madre, profesional dedicado a su familia, con tu guía constante, esfuerzo y consejos has logrado formar las bases sobre las que edifico mi futuro.

A mis hermanas y abuelos que con sus palabras de ánimo y compañía me recuerdan del cariño que entre nosotros existe.

A mis compañeros de tesis, Oscar y Alberto, ejemplos de profesionalismo y perseverancia, por su amistad y esfuerzo al desarrollar este documento.

Al Dr. Gardella, profesional de vastos conocimientos y experiencia, por su paciencia e increíble esfuerzo para contestar todas nuestras dudas de manera oportuna.

A Luis y Lourdes, por valiosas e instruidas opiniones que ayudaron a dar forma a este documento.

A Kendall, Court, Laura, Melissa y todos los miembros de la Iglesia Presbiteriana de Myers Park, voluntarios con los que he tenido el placer de compartir arduas jornadas de trabajo, amigos a través de la distancia que demuestran su cariño y apoyo.

A todos mis amigos, nacionales e internacionales, por estar siempre conmigo en los buenos y malos momentos.

A mi padre, Jaime Nicolás, por dar tu vida para formar mi futuro. Siempre te llevo en mis recuerdos.

A todos,
Muchas gracias.

Jaime Miguel Vargas Miranda

Me gustaría extender un sincero agradecimiento a:

Dios, María Santísima Auxiliadora y Don Bosco, por colocar en mi camino a las personas correctas que me animaron y acompañaron en este caminar.

A mi familia, José Rafael Figueroa y Ana María Cobar de Figueroa mis padres, y a mis hermanas Ana Cristina y Ana María que siempre estuvieron allí para ayudarme y que nunca desistieron en el ánimo que transmitieron a largo de este tiempo.

A mis compañeros de trabajo, Jaime Vargas y Alberto Soto, que considero parte de mi familia

Al Dr. Gardella, que a pesar de la distancia que nos separaba siempre estuvo muy cerca de nuestras dudas y avances; y principalmente porque no dudo en ningún momento en entregar su conocimiento y experiencia en pro de este documento.

Y a todas las demás personas que de una u otra forma me apoyaron y/o animaron a seguir adelante en este proceso que culmina con la presentación de este documento.

De corazón muchas gracias.

Oscar Rafael Figueroa Cobar

Resumen

Como parte del proceso de generación eléctrica a base de recursos geotérmicos, el agua resultante debe ser evacuada de la Central Geotérmica para ser dispuesta en un campo de reinyección. Este proceso es conocido como reinyección de agua geotérmica y contribuye a la sostenibilidad del reservorio geotérmico.

El sistema de reinyección estudiado consta de más de 600 equipos con características y criticidades diferentes. En este documento se evaluaron estos dispositivos para determinar cuáles son los más críticos en la reinyección y el resultado fue de cuatro bombas centrifugas horizontales con diseño operativo idéntico. El análisis de plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) fue aplicado a una bomba centrífuga y dividido en cuatro secciones principales: plan de mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo por inspección, mantenimiento preventivo por actuación planificada y rediseño/mejora.

El costo del plan de mantenimiento actual para el sistema de bombeo en estudio asciende a una cantidad de \$560,999.86 por año. La implementación del plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM propuesta en este documento, tendría un costo anual de \$404,911.02 que equivale a 27.8% menos en comparación con el plan actual; además, tiene un total de ahorro estimado de \$147,462.54, posterior a la implementación del plan.

Abstract

As part of the power generation process based on geothermal resources, the resulting water must be evacuated from the Geothermal Power Plant to be disposed in a reinjection field. This process is known as geothermal water reinjection and contribute to the sustainability of the geothermal reservoir.

The studied reinjection system has over 600 pieces of equipment with different characteristics and criticality ratings. This document evaluates these devices to determine which the most important ones in the reinjection process are; the results are the four horizontal centrifugal pumps that have identical operational design. One pump was analyzed using Reliability Centered Maintenance (RCM) and a plan was created, dividing it in four main sections: predictive maintenance, inspection focused preventive maintenance, preventive maintenance by scheduled tasks and redesign/improvement.

The current maintenance costs for the pumping system are of \$560,999.86 every year. The RCM based maintenance plan proposed in this document would cost \$404,911.02 annually that corresponds to a reduction of 27.8% when compared to the current plan. In addition, this plan includes other savings of about \$147,462.54 after the implementation of the new plan.

Índice de Contenido

Introducción	16
Estado actual del problema.....	17
Justificación.....	18
Objetivos	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos.....	19
1. Marco Teórico	20
1.1. Generación de Energía Eléctrica a base de Recursos Geotérmicos.....	20
1.2. Funcionamiento de Central Geotérmica.....	22
1.2.1. Reinyección de agua geotérmica	24
1.2.2. Sistema de reinyección de agua geotérmica	25
1.3. Conceptos RCM	27
1.3.1. Desarrollo histórico	27
1.3.2. Conceptos básicos de RCM.....	28
Funciones y parámetros funcionales	29
Fallas funcionales.....	29
Modos de falla.....	29
Efectos de la falla	29
Consecuencias de la falla	29
Técnicas del manejo de fallas.....	30
Tareas proactivas.....	30
Acciones a falta de	32
Proceso de selección de tareas.....	32
1.3.3. Conceptos de trabajo	33
AMFEC	33
Modelo de evaluación de riesgos	33
Costos de mantenimiento	33
2. Metodología de Investigación.....	34
2.1. Investigación de campo	34
2.2. Recopilación y análisis de información.....	35
3. Resultados.....	36
3.1. Priorización de equipos y modos de fallas	36
3.1.1. Análisis de Criticidad de Equipos e Instrumentos.....	36
Frecuencia de Fallos.....	36

Consecuencias	36
Impacto de seguridad y salud	36
Impacto de medio ambiente	36
Impacto producción y/o costo de mantenimiento.....	37
3.1.2. AMFEC de equipos e instrumentos críticos.....	42
Clasificación de valoración de riesgo.....	42
Gravedad	42
Frecuencia de fallos.....	43
Detectabilidad.....	43
Cálculo de Número de Ponderación de Riesgo	44
3.2. Creación de planes de mantenimiento	46
3.2.1. Tareas de mantenimiento.....	46
Tareas de mantenimiento correctivo	46
Tareas de mantenimiento preventivo	46
Tareas de mantenimiento basado en condición.....	46
3.2.2. Matriz de decisiones de mantenimiento	47
3.2.3. Planes de Mantenimiento	49
Plan de Mantenimiento Predictivo	49
Plan de Mantenimiento Preventivo por Inspección.....	51
Plan de Mantenimiento Preventivo por Actuación Planificada.....	53
Rediseño / Mejora	55
3.3. Cálculo de costos asociados.	56
3.3.1. Costos de mano de obra.....	56
3.3.2. Costos de planes de mantenimiento	57
Costo de plan de Mantenimiento Predictivo	57
Costo de plan de Mantenimiento Preventivo por Inspección.....	62
Costo de plan de Mantenimiento Preventivo por Acción Planificada.....	67
Costo Rediseño / Mejora	73
3.3.3. Costo total de la implementación	75
4. Beneficios esperados	77
4.1. Beneficios económicos.....	77
4.1.1. Costo de plan de mantenimiento actual.....	77
4.1.2. Reducción de costos	80
4.1.3. Ahorros en mantenimiento	80
4.1.4. Indicador de Costes: Costes de Indisponibilidad por Fallos (CIF).....	81
4.2. Reducción del riesgo operacional.....	83
4.2.1. Estudio de caso falla catastrófica	83

5.	Conclusiones.....	85
6.	Recomendaciones	87
7.	Referencias	88
8.	Bibliografía.....	89
9.	Anexos.....	90
9.1.	Anexo 1: AMFEC	91
9.2.	Anexo 2: Matriz de decisiones	98
9.3.	Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo.....	104
9.4.	Anexo 4: Cronograma de mantenimiento predictivo	108
9.5.	Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección.....	111
9.6.	Anexo 6: Cronograma de mantenimiento preventivo por inspección	116
9.7.	Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada.....	119
9.8.	Anexo 8: Cronograma de mantenimiento preventivo por acción planificada	132
9.9.	Anexo 9: Costo Administrativo de creación de plan RCM.....	137
9.10.	Anexo 10: Costo de plan de rediseño/mejora.....	138
9.11.	Anexo 11: Plan de mantenimiento actual.....	139
9.12.	Anexo 12: Calculo de CIF.....	141

Índice de Figuras

Figura 1: Separador ciclónico en pozo productor (DiPippo, 2016).....	20
Figura 2: Tuberías de acarreo en campo (GNS Science, 2015).....	21
Figura 3: Diagrama esquemático de Central Geotérmica “Double Flash” (Clarke & McLeskey Jr, 2013)	22
Figura 4: Elementos que constituyen el sistema de reinyección (Figuroa, Soto, & Vargas, 2019).....	25
Figura 5: Imagen de referencia de un diseño preliminar para una estación de bombeo circa 2004 (Figuroa, Soto, & Vargas, 2019).....	26
Figura 6: Árbol de decisiones RCM (Moubray, 2004).....	28
Figura 7: Patrones de falla RCM (Moubray, 2004).....	30

Índice de tablas

Tabla 1. Modos de falla (Moubray, 2004).....	31
Tabla 2. Parámetros de evaluación criticidad.....	38
Tabla 3: Extracto de volumen de equipos (Figuroa, Soto, & Vargas, 2019).....	38
Tabla 4: Análisis de criticidad de equipos involucrados en la reinyección de agua en la Central Geotérmica	40
Tabla 5. Extracto de evaluación de criticidad.	41
Tabla 6. Clasificación de gravedad según valoración de riesgo (Gardella, 2011)	42
Tabla 7. Clasificación de frecuencia de fallos según valoración de riesgo (Gardella, 2011).....	43
Tabla 8. Clasificación de detectabilidad según valoración de riesgo (Gardella, 2011).....	43
Tabla 9. Hoja AMFEC (Gardella, 2019).....	44
Tabla 10. Clasificación de AMFEC para función contener agua geotérmica en la bomba centrífuga (Anexo 1: AMFEC).....	45
Tabla 11. Clasificación completa de AMFEC (Anexo 1: AMFEC).....	45
Tabla 12. Extracto de Matriz de decisiones para equipo crítico (motor-bomba) (Anexo 2: Matriz de decisiones).....	47
Tabla 13. Matriz de decisiones para dos modos de fallos similares con diferentes NPR (Anexo 2: Matriz de decisiones).....	48
Tabla 14. Técnicas de mantenimiento predictivo a utilizar (Figuroa, Soto, & Vargas, 2019)	49
Tabla 15. Extracto de plan de mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)	49
Tabla 16. Técnicas de mantenimiento preventivo por inspección a utilizar (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)	51
Tabla 17. Extracto de plan de mantenimiento preventivo por inspección (Anexo 6: Cronograma de mantenimiento preventivo por inspección)	51
Tabla 18: Técnicas de Mantenimiento Preventivo por Actuación Planificada (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada).....	53
Tabla 19: Extracto de plan de mantenimiento preventivo por actuación planificada (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)	54
Tabla 20: Matriz de decisiones para rediseño/mejora (Anexo 2: Matriz de decisiones).....	55

Tabla 21. Costo de mano de obra en Central Geotérmica *	56
Tabla 22. Técnicas a utilizar en el mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)	57
Tabla 23. Tiempo estimado de aplicación de técnica predictiva “medición de aislamiento de devanado” (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)	57
Tabla 24. Resumen de costos de mano de obra de cada técnica de mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)	58
Tabla 25. Costo de utilización de instrumento para medición de aislamiento de devanado (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)	59
Tabla 26. Costo de utilización de instrumento (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)	59
Tabla 27. Costo de realización de las técnicas de mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)	60
Tabla 28. Extracto de plan de mantenimiento predictivo (Anexo 4: Cronograma de mantenimiento predictivo)	60
Tabla 29. Resumen de costo anual de implementación de plan de mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)	61
Tabla 30. Técnicas a utilizar en el mantenimiento preventivo por inspección (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)	62
Tabla 31. Tiempo estimado de aplicación de técnica preventivo por inspección “medición de aislamiento de devanado” (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)	62
Tabla 32. Resumen de costos de mano de obra de cada técnica de mantenimiento preventivo por inspección (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)	63
Tabla 33. Costo de utilización de instrumento para medición de corriente de fases (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)	64
Tabla 34. Costo de utilización de instrumento (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)	64
Tabla 35. Costo de realización de las técnicas de mantenimiento preventivo por inspección (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)	65
Tabla 36. Extracto de plan de mantenimiento predictivo (Anexo 6: Cronograma de mantenimiento preventivo por inspección)	65
Tabla 37. Resumen de costo anual de implementación de plan de mantenimiento preventivo (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)	65
Tabla 38: Herramientas a usar en el Mantenimiento por Acción Planificada (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)	67

Tabla 39: Tiempo estimado de aplicación de técnica preventiva por actuación planificada “Cambio de aspas” (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)	68
Tabla 40: Resumen de costos de mano de obra de cada técnica de mantenimiento preventivo por inspección (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)	69
Tabla 41: Costo de implementación de técnica preventiva “cambio de aspas” (Anexo 8: Cronograma de mantenimiento preventivo por acción planificada)	70
Tabla 42: Costo de repuestos (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada).....	70
Tabla 43: Resumen de costo anual de implementación de plan de mantenimiento preventivo (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)	71
Tabla 44. Extracto de costos de rediseño/mejora (Anexo 10: Costo de plan de rediseño/mejora)	73
Tabla 45: Costo plan RCM (Figuerola, Soto, & Vargas, 2019)	75
Tabla 46. Extracto de plan de mantenimiento actual (Anexo 11: Plan de mantenimiento actual).....	77
Tabla 47. Costo de mantenimiento actual según categoría y porcentaje esperado de mejora (Anexo 11: Plan de mantenimiento actual)	78
Tabla 48. Ahorro energético por mejora de alineación (Anexo 11: Plan de mantenimiento actual).....	78
Tabla 49: Proyección de ahorros de plan de Mantenimiento	80
Tabla 50: Extracto de análisis de indicador CIF para fallas funcionales con NPR mayor a 100 (Anexo 12: Calculo de CIF)	82
Tabla 51: Costos de falla (Figuerola, Soto, & Vargas, 2019).....	83
Tabla 52: Descripción de costos de falla (Figuerola, Soto, & Vargas, 2019)	84
Tabla 53. Resultados del análisis de criticidad.....	85

Siglas

AMFEC	Análisis de Modos de Fallos Efectos y Consecuencias
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)
CG	Central Geotérmica
CD – CDM	Costos directos de corrección por fallos por hora = \$/hora (incluye los costes de materiales y mano de obra)
CP – CPE	Costes penalización por hora = \$/ hora (incluye los costes de oportunidad provocados por los eventos de fallos)
CIF	Costes de indisponibilidad por fallos, unidad: dinero/tiempo
ISSS	Instituto Salvadoreño del Seguro Social
FF	Frecuencia de fallos = fallos/mes, fallos/año, etc.
MP	Mantenimiento Preventivo
MDT	Tiempo promedio fuera de servicio = horas/falla
NPR	Número de Ponderación del Riesgo
NPSH	<i>Net Positive Suction Head</i> (Altura Neta Positiva en la Aspiración)
PZP	Pozos Productores de Vapor Geotérmico
PZR	Pozos Reinyectores agua geotérmica
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)
RT	Reinyección Total
SB	Sistema de Bombeo

Glosario de Términos

Confiability	Es la probabilidad de que un equipo cumpla la misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un periodo determinado.
Flashers	Es un equipo que tiene como propósito separar las fases de un fluido geotérmico en vapor y agua. Convencionalmente utilizado en el “Doble Flasheo” para aprovechar el agua resultante de la primera separación.
Fútil	Que carece de importancia o interés por su falta de fundamento.
Iteración	Repetir varias veces un proceso con la intención de alcanzar una meta deseada, objetivo o resultado.
Matriz de criticidad	Es una herramienta que ayuda a las empresas y sus centrales a evaluar el nivel de criticidad de un determinado riesgo. A menudo resulta de una voluntad de controlar los fallos potenciales, anticiparlos y eliminarlos.
Merma	Bajar o disminuirse una cosa, o consumirse naturalmente una parte de ella.
Reservorio Geotérmico	Acuífero confinado (depósito de agua) almacenado y limitado por una capa sello, impermeable, que conserva el calor y la presión.

Introducción

Como parte del proceso de generación de energía eléctrica a base de recursos geotérmicos, la disposición de las aguas resultantes es un elemento de suma importancia operativa, tanto para la central geotérmica como para la sostenibilidad del reservorio geotérmico.

El sistema de reinyección de agua geotérmica tiene como objetivo principal disponer el agua resultante del proceso de generación de energía eléctrica en el subsuelo y a la vez contribuir a la sostenibilidad del reservorio geotérmico. En el sistema están involucradas una cantidad cercana a 700 equipos.

Inicialmente se desarrolló un análisis de criticidad para identificar los equipos más críticos en el sistema y comenzar el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para ellos, seguido de un Análisis de Modos de Fallos Efectos y Consecuencias (AMFEC) y una Matriz de Decisiones, elementos fundamentales para la estructuración del plan de mantenimiento (RCM).

Posteriormente las acciones a tomar se dividen en 4 apartados; “Mantenimiento Predictivo”, “Mantenimiento Preventivo por Inspección”, “Mantenimiento Preventivo Planificado” y “Rediseño y Mejoras”. Cada uno desarrollado con el propósito de prevenir las fallas funcionales de los equipos catalogados con “Muy Alta Criticidad”, resultando un cronograma de aplicación de técnicas de mantenimiento. Para cada uno de estos apartados se estimaron los costos correspondientes a la implementación con base en hipótesis y experiencias de industrias con rubros similares, desarrollando así, el costo total de la implementación del plan de mantenimiento RCM, que contribuya a aumentar la disponibilidad del sistema y que reduzca la frecuencia de fallas.

Seguido de una estimación del costo total actual de mantenimiento para los equipos con más alta criticidad, los ahorros esperados posterior a la implementación del RCM y la evaluación de un escenario que involucre una evaluación de riesgos.

Finalmente, conclusiones referentes al estudio de sistema de reinyección y las recomendaciones correspondientes se encuentran al final del documento.

Estado actual del problema

Las características operativas en una Central Geotérmica (CG) dependen mayormente del comportamiento termodinámico y la capacidad del campo, por lo tanto, cambios climáticos como las épocas lluviosa o seca no representan una afectación directa a la generación. La operación de una CG convencionalmente es de 24 horas al día los 365 días del año, excepto en mantenimientos mayores programados y no programados, por lo anterior, el factor de planta es considerablemente alto, mayor al 95%, en comparación a otras fuentes de energía eléctrica a base de recursos renovables.

Lo descrito anteriormente muestra la continuidad del trabajo que tiene los equipos de la CG, lo que provoca desgaste y aumenta las probabilidades de fallas; por lo tanto, uno de los propósitos es determinar la situación operativa actual del sistema de reinyección, encargado de disponer toda el agua resultante de la CG y desarrollar una propuesta que contribuya a mantener la funcionalidad del sistema. La primera afirmación de este apartado se refiere a que el sistema de reinyección trabajará en sintonía con la generación de la Central Geotérmica.

Justificación

Convencionalmente en una CG, el enfoque de prioridad va dirigido hacia los equipos encargados directamente en generar energía a base del vapor geotérmico, sin embargo, en este estudio, el enfoque es dirigido a los equipos encargados en reinyectar el agua resultante de la separación de las fases (liquido-vapor) por las siguientes razones:

- Si la funcionalidad de reinyectar el agua geotérmica resultante se perdiera, la generación de la central geotérmica podría, potencialmente, verse comprometida llegando a bajar carga (generar menos energía) o si es el caso, dejar de generar totalmente hasta que la funcionalidad se restablezca.
- Contribuir a la sostenibilidad del campo geotérmico, reutilizando el agua que anteriormente se desechaba, reinyectándola al subsuelo.
- Contribuir al mejoramiento de políticas medio ambientales, reduciendo (eliminando) las descargas de agua geotérmica al mar.

El sistema de reinyección de agua geotérmica es el encargado de transportar y regresar al subsuelo el agua sobrante (y/o resultante) del proceso de generación de electricidad hacia pozos reinyectores, en donde es depositada para disponer de ella.

Al reinyectar el agua de regreso al suelo se cumple dos objetivos, el primero, es eliminar la necesidad de desechar el agua al ambiente y el segundo, es garantizar la sostenibilidad del campo geotérmico.

Debido a que el sistema depende del funcionamiento de un conjunto de bombas y accesorios, es importante evaluar la criticidad de estos equipos.

Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar una propuesta de mantenimiento basado en confiabilidad para el sistema de reinyección de agua en una central geotérmica

Objetivos Específicos

- Determinar y clasificar todos los equipos involucrados en el sistema de reinyección de agua geotérmica según su criticidad
- Desarrollar un análisis de criticidad según parámetros establecidos para identificar en el volumen de equipos, aquellos que puedan comprometer la operación de la central geotérmica.
- Evaluar los equipos con criticidad más alta según un análisis de modos de fallos efectos y consecuencias (AMFEC)
- Desarrollar una matriz de decisiones que permita evaluar cada falla funcional y establecer medidas para evitar su incidencia, además de proporcionar un valor de ponderación de riesgos.
- Desarrollar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad que contemple el mantenimiento predictivo, preventivo por inspección, preventivo planificado y mejoras.
- Analizar económicamente el costo de la implementación del plan de mantenimiento.

1. Marco Teórico

1.1. Generación de Energía Eléctrica a base de Recursos Geotérmicos

El proceso de generación de energía en una Central Geotérmica inicia en el campo, específicamente en los pozos productores cuyo principal elemento es el separador ciclónico. Convencionalmente se instala cerca de los pozos productores (Figura 1), lo cual contribuye a reducir la caída de presión hacia la turbina. La presión del separador será similar a la presión de salida del pozo, que se traduce como una relación de evaporación más baja, por lo tanto, se obtiene más vapor y más agua geotérmica resultante para disponer. (Henríquez & Aguirre, 2011).

Las características del campo geotérmico en EL Salvador indican que el reservorio es de líquido dominante, es decir, existe un mayor porcentaje de agua en relación al vapor. Por lo tanto, es necesario utilizar un elemento conocido como Separador Ciclónico (SC) que contribuye a la separación de las fases. Los separadores ciclónicos en el campo de estudio son fabricados convencionalmente de acero al carbón (ASTM 953 grado B), el principio de funcionamiento es por colisión y rotación, no tiene partes móviles y la calidad de vapor a la salida es cercana a 99.995% (DiPippo, 2016).



Figura 1: Separador ciclónico en pozo productor (DiPippo, 2016)

Las fases separadas (líquido-vapor) viajan hacia la CG en distintas tuberías de acarreo, una de vapor y otra de agua. En su diseño se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Las características del fluido a transportar, incluido el caudal y la pérdida de carga permitida.
- La ubicación de las tuberías: su origen y destino y el terreno sobre el que pasará, la ubicación de la estación separadora y la central eléctrica
- El código de diseño a seguir
- El material a utilizar

Los factores importantes a considerar son el flujo másico, la presión, la temperatura, el índice de saturación y la pérdida de carga permitida a lo largo de la longitud de la tubería. (Henríquez & Aguirre, 2011). La Figura 2 es una muestra de las tuberías de acarreo para abastecer una Central Geotérmica en Islandia; convencionalmente se revisan las características topográficas del terreno con el propósito de evitar la mayor caída de presión posible.



Figura 2: Tuberías de acarreo en campo (GNS Science, 2015)

El vapor llega hacia la central geotérmica y el primer equipo que interviene es el colector de presión, cuyo propósito es homogenizar las presiones de vapor entrantes de los diferentes pozos productores, posteriormente viaja hacia a un separador de humedad para garantizar la mayor calidad posible del vapor; que entrará posteriormente a la turbina, para transformar la energía cinética en energía eléctrica.

1.2. Funcionamiento de Central Geotérmica

La Central Geotérmica en estudio cuenta con 3 unidades de generación de energía, dos de ellas de “Simple Flash” y una de ellas de “Double Flash”.

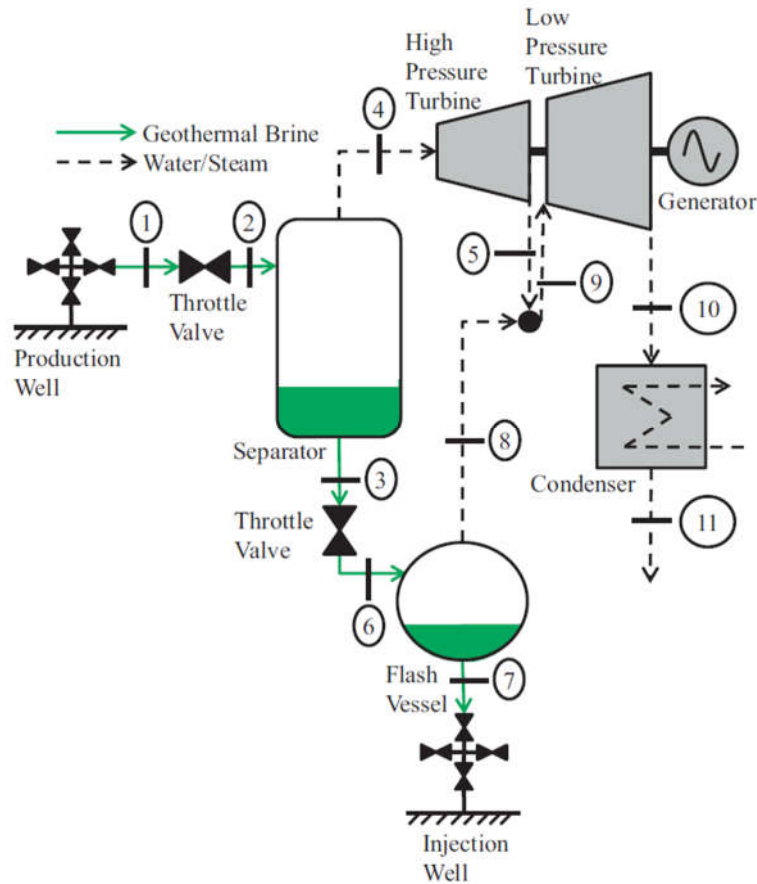


Figura 3: Diagrama esquemático de Central Geotérmica “Double Flash” (Clarke & McLeskey Jr, 2013)

Un diagrama esquemático de una central geotérmica a “Double Flash” se representa gráficamente en la Figura 3. El fluido geotérmico bifásico (líquido-vapor) es extraído del reservorio desde los pozos productores (1), el líquido saturado cuya presión es mayor que la atmosférica, se encuentra con una válvula de mariposa (2) posteriormente las fases son separadas (separador ciclónico) y el vapor es enviado hacia la turbina de alta presión (4) mientras que el líquido saturado (3) es sometido a un segundo proceso de estrangulamiento antes de ingresar a los recipientes de evaporización instantánea (*Flashers*) (6); el vapor resultante, denominado de baja presión (8), es enviado a la turbina para combinarse con la salida de la turbina de alta presión (5) antes de entrar a la parte de baja presión (9). La potencia mecánica de ambas turbinas se utiliza para generar energía eléctrica a través de un generador. El vapor resultante luego de hacer girar a la turbina (10) se condensa con un equipo conocido como “condensador” (11), mientras que el líquido saturado que sale del “Flasher” (7) se reinyecta en el reservorio geotérmico a través de pozos reinyectores. (Clarke & McLeskey Jr, 2013)

El principio de funcionamiento de una unidad de “Simple Flash” es idéntico al descrito anteriormente exceptuando que el agua resultante en la primera separación (3) es reinyectado al reservorio geotérmico inmediatamente.

Este “Double Flash” es una mejora del proceso convencional (Simple Flash) y puede contribuir a aumentar la producción entre el 15 – 20% (DiPippo, 2016), siendo transportado hacia una turbina mecánicamente diseñada para trabajar con dos presiones de distinta magnitud. La CG de estudio cuenta con 3 Flasher diseñados idénticamente.

Idealmente la disposición de agua geotérmica resultante (7) se realiza por gravedad hasta el campo de reinyección, sin embargo, en la CG en estudio, es necesario la utilización de una estación de bombeo para garantizar que la totalidad del agua sea reinyectada al reservorio geotérmico.

Con esto se pretende extender la vida útil del proyecto e incluso incrementar la sostenibilidad y estabilidad a largo plazo. Sin embargo, a menos que se pueda encontrar alguna parte del campo que tenga suficiente permeabilidad y que no esté en comunicación directa con las áreas productoras, puede que no haya suficiente capacidad de reinyección para permitir la operación completa de la planta de energía. En realidad, una vez que la reinyección se hace más común, a menudo los pozos fallidos que se habían perforado para la producción, se utilizan como pozos de reinyección independientemente de su ubicación, siempre y cuando tengan suficiente permeabilidad. (DiPippo, 2016).

1.2.1. Reinyección de agua geotérmica

Esto implica devolver una parte, o incluso la totalidad del agua producida desde un reservorio geotérmico, con retorno al mismo sistema geotérmico, después de algún proceso en el cual se haya realizado algún intercambio de trabajo y/o calor. (Axelsson, 2012). La reinyección se presenta como una solución adecuada a los problemas de contaminación ambiental, permitiendo disminuir las posibilidades de asentamientos del terreno por efectos de la explotación y complementar la recarga natural de los acuíferos. (OLADE, 1980).

Se cree que las investigaciones con propósito de reinyectar agua geotérmica iniciaron en la década de 1960. La primera prueba conocida de reinyección de agua geotérmica a alta temperatura se realizó en el Campo Geotérmico de Ahuachapán en 1969 (Stefánsson, 1997).

Existen dos objetivos principales que se busca cumplir con las estrategias de reinyección en los campos geotérmicos: el primero es la correcta disposición de los fluidos geotérmicos, que han finalizado el proceso de extracción de energía a través del sistema de la CG; el segundo es la posibilidad de recarga del reservorio y/o la presión del mismo. (DiPippo, 2016).

Los tipos de fluidos que se manejan en la reinyección dependen del tipo de campo que se desarrolle, por ejemplo:

- **Reservorios Vapor Dominante:** solo hay una pequeña fracción de la masa de vapor producido que termina convirtiéndose en condensado líquido que podría ser reinyectado, aproximadamente 10-15%. Por lo tanto, se ganaría poco al devolver esto al reservorio, incluso suponiendo que pueda devolverse en una ubicación óptima. (DiPippo, 2016).
- **Reservorios Líquido Dominante:** una fracción mucho mayor del fluido producido está disponible para reinyección, hasta un 80-85% para plantas con flasheo y un 100% para plantas binarias. (DiPippo, 2016).

1.2.2. Sistema de reinyección de agua geotérmica

El sistema de reinyección de agua geotérmica operativo en la central geotérmica en estudio cuenta con las siguientes características:

- Estación de bombeo (Bombas centrífugas con capacidad de Caudal Másico nominal de 220 kg/s, potencia eléctrica de 300 kW y un NPSH de 94 m. Denominadas: B1, B2, B3 y B4)
- Dos líneas de acarreo de agua geotérmica con un diámetro de 24" de 4.5 km de longitud aproximadamente, hacia el campo de reinyección.
- Acumulador de agua geotérmica con su propia estación de bombeo (Bombas M1 y M2).
- Seis pozos reinyectores (Pozo1, Pozo2, Pozo3, Pozo4, Pozo5, Pozo6).

Los fluidos geotérmicos generalmente poseen una gran cantidad de especies minerales disueltas como cloruro de sodio (NaCl), de potasio (KCl) y de calcio (CaCl₂), así como sílice en forma de ácido silícico (Si(OH)₄). Así mismo, los principales óxidos de silicio presentes en sistemas geotérmicos son el cuarzo, la calcedonia y la sílice amorfa, además de algunos minerales secundarios como los aluminosilicatos. Dado que la sílice siempre se encuentra presente en los fluidos geotérmicos, la formación de incrustaciones generadas por este mineral es común en fluidos que han sufrido procesos de evaporación o enfriamiento.

El agua geotérmica a reinyectar presenta un rango de temperatura de entre 110 a 115 °C, que viaja hacia el sistema de bombeo para ser dispuesta hacia los pozos reinyectores. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de distribución esquemática de los componentes básicos del sistema de reinyección.

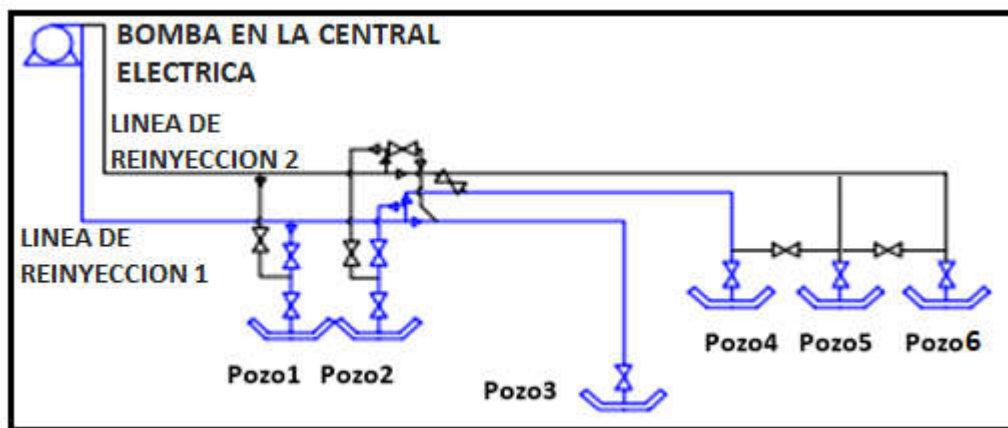


Figura 4: Elementos que constituyen el sistema de reinyección (Figueroa, Soto, & Vargas, 2019)

Con base en pruebas en la CG en estudio, se ha determinado que un porcentaje poco mayor al 55% del agua geotérmica total resultante puede ser dispuesta por la presión de la salida de la doble vaporización (1.8 Bar aproximadamente); sin embargo, es necesario un sistema de bombeo para asegurar que el flujo másico total sea reinyectado, además de disminuir el tiempo de residencia del agua, pues entre más tiempo tarde en ser transportado, aumenta la probabilidad de precipitación de incrustaciones. Los parámetros operativos más relevantes en el sistema de bombeo son:

- Flujo másico total: 673 kg/s
- Presión de bombeo: 9 Bar
- Temperatura agua = 115 a 116 °C
- Capacidad total de bombear por el sistema de reinyección 880 kg/s

El sistema de bombeo tiene como propósito principal elevar la presión del agua geotérmica resultante para ser dispuesta en campo de reinyección.

Está compuesto por 4 bombas centrífugas de eje horizontal. La Figura 5 es una imagen de referencia que muestra la disposición de las bombas en el sistema de reinyección de agua geotérmica. Capacidad total de bombear por el sistema de reinyección 880 kg/s aproximadamente, considerando el flujo másico actual (673 kg/s), es decir, el sistema de reinyección está trabajando una carga aproximada del 76.5%.

Debido a las condiciones del fluido en aplicación, cuya química puede afectar a los componentes eléctricos, la mayor cantidad de fallos que se han reportado se debe a la instrumentación referente a los equipos y eventualmente a los motores. Fallas eléctricas que implican reemplazo de motor, cambio de acoples mecánicos, alineación, entre otros.

Actualmente el sistema de bombeo está operando con 4 bombas, una de ellas considerada como “reserva” a espera de entrar en funcionamiento cuando una de las 3 pueda fallar. Operativamente están siendo alternadas para evitar sobre cargas o sobre esfuerzos.

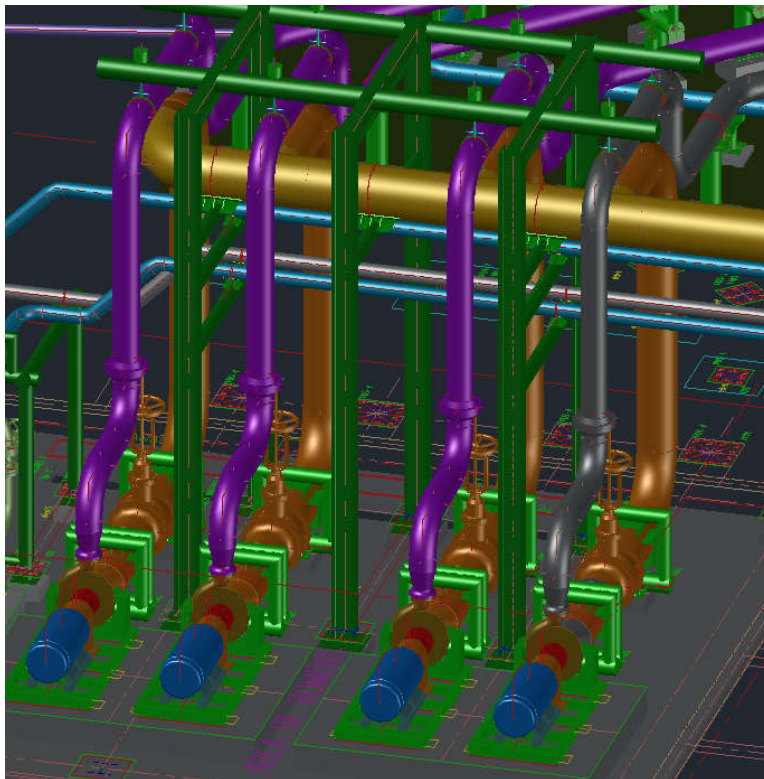


Figura 5: Imagen de referencia de un diseño preliminar para una estación de bombeo circa 2004 (Figuroa, Soto, & Vargas, 2019)

1.3. Conceptos RCM

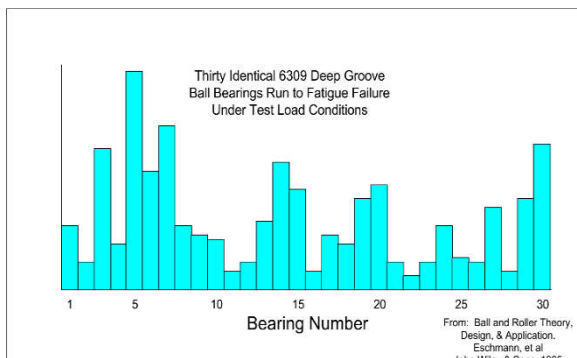
1.3.1. Desarrollo histórico

Los conceptos básicos de RCM fueron establecidos en los años 1960 - 1970 debido a la evolución de la industria aeronáutica, en donde los costos de falla son inaceptables por frecuentemente incluir la pérdida de la vida humana.

Las primeras investigaciones de RCM realizadas en aeronáutica demostraron que las tasas de fallas de los componentes, que tradicionalmente se pensaba que aumentaban con la edad de estos, realmente no tenían relación con este parámetro.

Durante esa época, el modo de mantenimiento más usado era el Mantenimiento Preventivo (MP) y era aplicado de manera muy generalizada en la industria. Una de las prácticas más comunes del MP era el reemplazo de partes después de un determinado tiempo en servicio. Estas acciones, al presentarse el cambio de los motores de hélices a los aviones con turbina en la evolución de la aeronáutica mencionada anteriormente, fueron demostradas fútiles.

Un ejemplo de posibles problemas con los cambios programados por vida útil es el siguiente estudio de la vida útil de un balero 6309 (Eschmann, 1985):



Gráfica 1: Resultados de evaluación de vida útil de baleros.

En dicho estudio, se colocaron muestras idénticas de los baleros en máquinas especializadas para determinar su vida útil y en los resultados se determina que el punto de falla no está relacionado al tiempo de falla. Los resultados se representan en la Gráfica 1.

Este hallazgo es una firme evidencia de lo inadecuado que puede resultar un plan de mantenimiento basado en tiempo de uso sobre la reducción de fallas del equipo.

A partir de estos hallazgos, los nuevos planes de mantenimiento toman en cuenta las condiciones de operación y la evaluación de los modos de falla para determinar posibles síntomas de falla y formas de detección. Cabe añadir, que los planes de mantenimiento programado siguen siendo válidos en aquellas situaciones en donde los componentes operan en ambientes hostiles o en condiciones fuera de su diseño nominal.

La finalidad del RCM es la aplicación ideal del mantenimiento con tal de asegurar la confiabilidad de la función del activo junto a la reducción de costos de mantenimiento al mejorar la eficacia de aplicación.

1.3.2. Conceptos básicos de RCM

La aplicación de RCM se basa en las respuestas a las siguientes siete preguntas, también conocido como árbol de decisiones (Figura 6), que son básicas para la ejecución adecuada de estos planes de mantenimiento.

- ¿Cuáles son las funciones y parámetros funcionales asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer esas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Al considerar estas preguntas se puede establecer el siguiente árbol de decisiones para la aplicación de RCM:

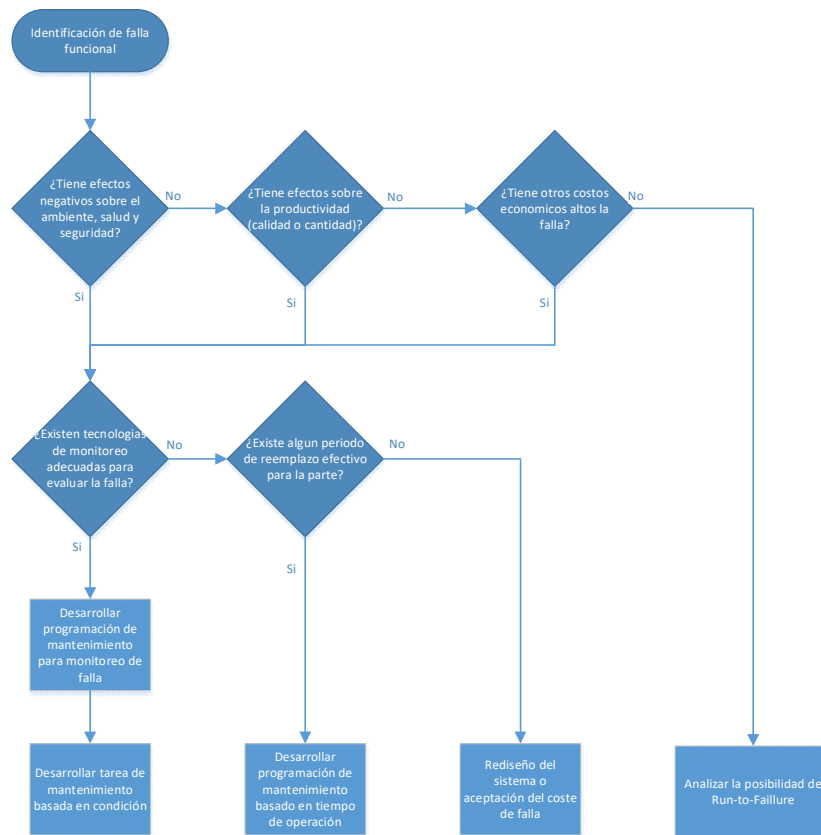


Figura 6: Árbol de decisiones RCM (Moubray, 2004)

Las preguntas anteriores dan lugar a la definición de los siguientes conceptos:

Funciones y parámetros funcionales

Es la identificación de las necesidades que se espera que el activo cumpla, es decir, cuáles son las actividades que causaron la compra o adquisición de dicho objeto.

Las funciones se pueden dividir en:

- Funciones primarias
- Funciones secundarias

Las funciones primarias son aquellas relacionadas directamente con la productividad del activo y las secundarias son todas aquellas otras expectativas que se esperan del funcionamiento normal (seguridad, control, confort, entre otras)

Fallas funcionales

Una vez definidas las funciones y sus parámetros, es importante determinar en qué situaciones se puede considerar que el activo ya no está cumpliendo su función y cuáles son las características ambientales y de operación que han llevado a esta situación.

También se consideran como fallas funcionales aquellos momentos en los que el activo opera en condiciones inaceptables para la empresa.

Modos de falla

Son aquellas condiciones que se estima con cierta certeza que han sido parte del origen de las fallas.

Estos modos de falla deben incluir todos aquellos causados por el deterioro normal de las partes (desgaste), errores de operación y los errores de diseño para que sean de la mayor utilidad posible en el plan de RCM.

Efectos de la falla

Se obtienen los efectos que determinan la existencia y las características de los modos de falla.

- ¿Existe evidencia de la falla? ¿Cuál es esta evidencia?
- ¿Se afecta la seguridad o el medio ambiente? ¿De qué manera?
- ¿Afecta a la producción? ¿De qué manera?
- ¿Qué daños físicos puede provocar la falla?
- ¿Cuáles son los pasos a seguir para reparar la falla?

Consecuencias de la falla

Como especifica Moubray en su libro, RCM II, uno de los puntos más fuertes de RCM es que la técnica toma en cuenta las consecuencias de la falla y asigna prioridad a aquellos modos que tienen mayores consecuencias.

La clasificación de las consecuencias, según RCM, es la siguiente:

- Consecuencias de fallas ocultas: No tienen efectos directos, pero exponen a la organización a consecuencias serias y desastres.
- Consecuencias ambientales y de seguridad: Pueden causar la muerte de una persona o daños a su integridad física y dependiendo de los códigos legales locales pueden acarrear multas y/o sanciones en caso de ocasionar daños al medio ambiente.

- Consecuencias operacionales: Afectan la producción de manera directa y por tanto elevan los costes inmediatamente.
- Consecuencias no operacionales: Estas no afectan la producción, pero sí los costes de mantenimiento.

Técnicas del manejo de fallas

En el enfoque RCM todas las fallas deben ser solucionadas y para esto se ocupan las siguientes dos categorías de técnicas de manejo de fallas:

- ✓ Tareas Proactivas: Se clasifican todas las tareas que se usan antes de que ocurra la falla con tal de prevenirla.
- ✓ Acciones a falta de: En esta categoría están todas las actividades que lidian con la falla, es decir, las actividades correctivas y de rediseño.

Tareas proactivas

Como se ha discutido, tradicionalmente existía la creencia que todas las fallas tenían un carácter periódico, dependiente del uso de la parte.

En RCM, los patrones de falla cambian al clasificarse en 6 tipos diferentes, cada uno correspondiente a los diferentes comportamientos observados en la práctica (Figura 7).

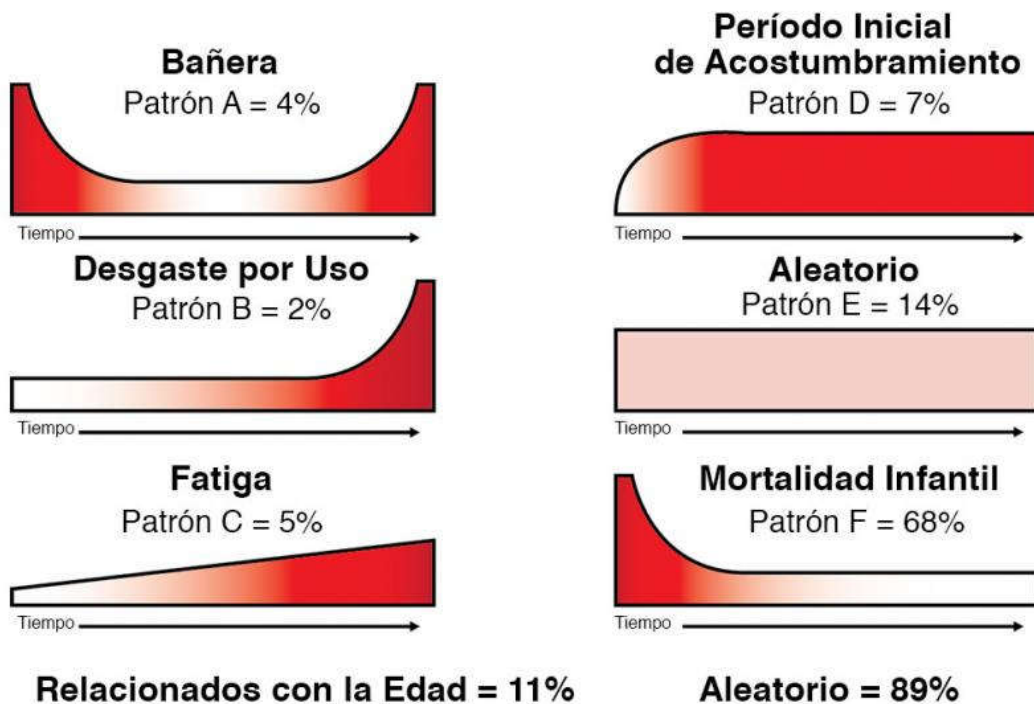
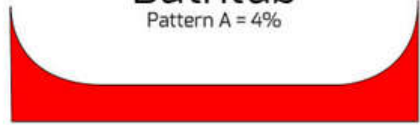
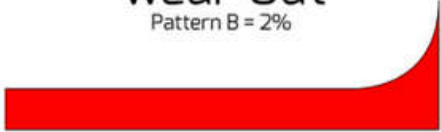
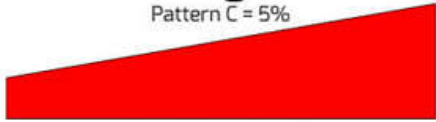


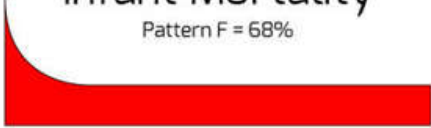


Figura 7: Patrones de falla RCM (Moubray, 2004)

Tabla 1. Modos de falla (Moubray, 2004)

Tipo de patrón de falla	Curva representativa	Descripción
Bañera	<p style="text-align: center;">Bathtub Pattern A = 4%</p> 	<p>La presencia de una alta probabilidad de falla al inicio de la vida útil, seguida de un periodo de estabilización y el incremento de las fallas a medida se acerca el fin de la vida útil. Corresponden al 4 % de las fallas reportadas.</p>
Desgaste	<p style="text-align: center;">Wear Out Pattern B = 2%</p> 	<p>El patrón inicia con una cantidad reducida de fallas aleatorias que se incrementan al comenzar a ser evidente el desgaste de la pieza. Representan el 2 % de los patrones de falla.</p>
Fatiga	<p style="text-align: center;">Fatigue Pattern C = 5%</p>  <p style="text-align: center;">Age Related = 11%</p>	<p>Estos equipos muestran un proceso lento de incremento de falla en toda su vida útil. Corresponden al 5 % de las fallas.</p>
Periodo de adaptación inicial	<p style="text-align: center;">Initial break-in period Pattern D = 7%</p> 	<p>Estos equipos poseen muy pocas fallas durante el inicio de su periodo útil, seguido de un aumento constante de los índices de falla que terminan en un periodo de estabilización. Corresponden al 7 % de las fallas</p>
Aleatorio	<p style="text-align: center;">Random Pattern E = 14%</p> 	<p>Este patrón representa equipos que muestran fallas de manera aleatoria durante toda su vida útil. Representan el 14 % de las fallas.</p>
Mortalidad infantil	<p style="text-align: center;">Infant Mortality Pattern F = 68%</p>  <p style="text-align: center;">Age Related = 89%</p>	<p>Las fallas son comunes en el inicio de operación del activo, con el paso del tiempo estas disminuyen hasta estabilizarse. Este es el patrón de fallas más común en la industria. El 68 % de las fallas está asociada a este patrón de falla.</p>

Las tareas proactivas aprovechan estos patrones para definir las periodicidades adecuadas para cada componente que está expuesto a una falla (Tabla 1).

Acciones a falta de

Estas, son aquellas actividades que se han de realizar en caso de que no existieran tareas proactivas adecuadas para la falla.

Existen tres clasificaciones propuestas por el RCM:

- **Búsqueda de fallas:** Son todas aquellas acciones que buscan identificar modos de fallas ocultos y determina si ya ocurrieron.
- **Rediseño:** Evalúan las acciones de modificación de las capacidades iniciales del equipo, incluyen cambios a procedimientos.
- **Ningún mantenimiento programado:** Estas acciones son aplicadas cuando se determina que los riesgos de falla son lo suficientemente bajos como para no justificar la aplicación de una rutina o acción específica.

Proceso de selección de tareas

Uno de los principales pilares del RCM es la identificación de los potenciales riesgos y costos de la falla con el fin de asegurar la eficiencia del uso de los recursos de mantenimiento.

El proceso de selección se basa en las siguientes características:

- **Para fallas ocultas:** Considerando el costo de las tareas proactivas, estas deben ser justificadas en su aplicación y en el caso de fallas ocultas, las acciones deben contribuir a reducir significativamente el riesgo de fallas múltiples. Caso contrario, se usarán tareas de búsqueda de falla para identificar todos los modos de fallo relevantes. Como última opción, se plantea el rediseño de los equipos para eliminar dichos modos.
- **Para riesgos ambientales o de seguridad:** Dado el alto costo de este tipo de falla, las tareas a implementar deben eliminar el riesgo de ocurrencia de la falla, si no lo logran, la decisión adecuada es el rediseño.
- **Para fallas operacionales:** El costo de las actividades proactivas debe ser menor que el costo de oportunidad que se obtiene de prevenir las fallas. Si los costos lo permiten, la acción ideal es utilizar el activo hasta la falla, de no permitirlo, la solución es el rediseño.
- **Para fallas no operacionales:** Aplican los mismos requerimientos de costo que determinan a las fallas operacionales, con la salvedad que, de no justificarse las acciones, la acción ideal es el mantenimiento preventivo. De igual manera, si los costos de falla son muy elevados, la solución será el rediseño.

1.3.3. Conceptos de trabajo

AMFEC

Al analizar la operación de los activos, se hacen evidentes todos los modos de fallos que estos sufren. Sin embargo, para el análisis de RCM, hay que clasificar estos según el impacto que estos tengan en seguridad y medio ambiente, calidad, producción y mantenimiento (Gardella, 2011)

Este análisis debes ser realizado para cada uno de los modos de falla y por tanto puede resultar complicado, pero es de vital importancia para adecuar el plan de mantenimiento RCM

Modelo de evaluación de riesgos

Al determinar las respectivas acciones y frecuencias de aplicación de estas en los distintos modos de fallas de la planta, es importante jerarquizarlos. (Gardella, Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos, 2011)

Parra propone hacerlo en función de las frecuencias de falla y de las consecuencias de esta. (Parra C. , 1996) su resultado es la matriz de criticidad que delimita la aplicación del RCM.

Costos de mantenimiento

Los costos totales de mantenimiento están compuestos por dos clases: Costos directos de mantenimiento (C.D.M) y costos por parada de equipo (C.P.E). (Botero G, 1995)

Los costos directos de mantenimiento se definen como el valor del conjunto de bienes y servicios que se consumen para adelantar una tares de mantenimiento. Se encuentran conformados por los costos de suministros y los costos de mano de obra que incluyen los costos de operación. (Botero G, 1995)

Los costos de parada del equipo son cuando al hallarse una máquina o equipo en estado improductivo se incurrirá en unos costos debido a la tarifa horaria que tenga la máquina. (Botero G, 1995)

2. Metodología de Investigación

Esta investigación fue realizada bajo un enfoque que busca recopilar datos de la situación actual del sistema de reinyección y analizarlos. Por esta razón, el desarrollo que resulta en el presente documento es el siguiente:



Gráfica 2: Proceso de Investigación

2.1. Investigación de campo

Se realizaron varias visitas a las instalaciones de la CG para evaluar el estado del proceso productivo y además para realizar entrevistas a personal de mantenimiento para obtener la información pertinente al estado actual del mantenimiento.

Durante estas visitas se realizaron observaciones del estado de la infraestructura y procesos relacionados a la operación de la planta. Es en este momento que se hace evidente que las bombas del sistema de reinyección de agua geotérmica poseen una criticidad mayor, debido al rol que estas desempeñan.

Al definir las bombas, el análisis se realizó haciendo especial énfasis en determinar los posibles modos de fallas que estas tienen para determinar las actividades de mantenimiento necesarias.

2.2. Recopilación y análisis de información

Al tener toda la información sobre el proceso, el siguiente paso fue obtener el inventario de equipos sobre los cuales se realizó la aplicación de RCM. Cabe añadir que este listado no puede ser publicado por razones de confidencialidad.

Posteriormente, se identifican los equipos críticos para el proceso y se realiza el análisis de los modos de fallos.

Seguido, se propuso una planificación de mantenimiento que abarca actividades específicas y frecuencias de ejecución para garantizar el funcionamiento pleno del proceso de bombeo.

El análisis de todos los modos de falla en los sistemas será simplificado de tal manera de reducir la carga computacional del estudio sin sacrificar su exactitud.

Por último, se realizan estimados económicos para estudiar la efectividad del plan y justificar su implementación dentro de las actividades de la planta.

3. Resultados

3.1. Priorización de equipos y modos de fallas

3.1.1. Análisis de Criticidad de Equipos e Instrumentos

Cada uno de los equipos ha sido evaluado con la intención de ponderar de una forma certera el fallo y obtener un número que proporcione un valor cuantificable. A continuación, se describen según el orden planteado (Parra & Crespo, 2012):

Frecuencia de Fallos

- 1 Sumamente improbable: menos de 1 evento en 5 años.
- 2 Improbable: 1 evento en 5 años.
- 3 Posible: 1 evento en 3 años.
- 4 Probable: entre 1 y 3 eventos al año.
- 5 Frecuente: más de 3 eventos al año.

En la evaluación de la frecuencia de fallos se consideraron datos con base a históricos y registros operativos de la CG. Han sido tomados en cuenta los casos más representativos, desde lo que se considera más frecuente, hasta lo que es poco probable su incidencia, pero que, aun teniendo un porcentaje pequeño dentro de las posibilidades, debe ser considerado.

Consecuencias

Impacto de seguridad y salud

- 5 Evento catastrófico: Pérdidas de vidas humanas.
- 4 Evento que genera: lesión incapacitante o efectos a la salud de por vida.
- 3 Evento que genera: lesión incapacitante o efectos a la salud de forma temporal.
- 2 Evento que genera: lesión o efectos a la salud menores (no incapacita al trabajador).
- 1 No genera ningún impacto en la seguridad y salud.

En el contexto de la seguridad ocurre un caso similar; se han evaluado posibles causas de eventos, de las cuales se han elegido las cinco que se consideran más apegadas al proceso operativo de una CG. Al igual que en la anterior la idea es poder recorrer varios eventos que pueden ocurrir desde el más leve que es: “No generar ningún impacto en la seguridad y salud” hasta el más grave que es: “Evento catastrófico: Pérdidas de vidas humanas”.

Impacto de medio ambiente

- 5 Afectación catastrófica al ambiente (cierre total de operaciones).
- 4 Afectación sensible al ambiente (daños ambientales recuperables a largo plazo, multas e indemnizaciones).
- 3 Afectación moderada al ambiente (daños ambientales recuperables a corto plazo, multas e indemnizaciones).
- 2 Incidente ambiental controlable (no genera daños ambientales, costos directos menores).
- 1 No genera ningún impacto ambiental.

Como parte de un grupo de mejora continua y de adaptación constante a los cambios que las industrias y el mundo globalizado incorporan día a día, el impacto o la huella que se deja en el medio ambiente debe ser considerado para las actividades operativas de la CG.

Dentro del estudio realizado en este documento se encuentra una proyección inicial de las posibles consecuencias de una falla catastrófica con afectación ambiental (Ver 4.2) para poder establecer un nivel base y definir un contexto la naturaleza de la importancia del plan de mantenimiento.

Impacto producción y/o costo de mantenimiento

- | | |
|---|--|
| 5 | Pérdidas de producción superiores al 75%, costos de reposición mayores a \$10,540.00 / h. |
| 4 | Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%, costo de reposición entre \$7,026.00 y \$10,539.00 /h. |
| 3 | Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%, costo de reposición entre \$3,513.00 y \$7,025.00 /h. |
| 2 | Pérdidas de producción entre el 5% y el 24%, costo de reposición entre \$702.00 y \$3,372.00 /h. |
| 1 | Pérdidas de producción menores al 5%, costos de reposición menores a \$702.00 /h. |

Por último, la evaluación económica esta balanceada en cinco posibles facetas de fallos que podrían ocurrir. Probablemente puede ser considerado uno de los aspectos más importantes porque afecta las sumas de capital, o a los accionistas, o las ventas en general de la empresa; sin embargo, se detalla una valoración integral de la problemática general.

Como en los casos anteriores, se han considerados cinco alternativas en las que se concentra un extracto de todo lo que posiblemente podría ocurrir. Las valoraciones monetarias han sido tomadas de un promedio de los datos entregados por los reportes que genera la Unidad de Transacciones, llamados Boletín Estadístico.

Cabe mencionar que esta información se considera reservada, por lo tanto, se evalúan datos que ya han sido publicados para no comprometer la confidencialidad de las instituciones involucradas.

Teniendo claro todos los puntos que serán evaluados para cada situación de falla y sus ponderaciones, se procede a recopilar la información necesaria para desarrollar la matriz de criticidad y establecer la base del documento.

Para el cálculo del “Impacto producción” y/o “costo de reposición” se analizó el resultado mensual de los “Boletines Estadísticos de la Unidad de Transacciones” (UT, 2018). Un promedio anual para el año 2018 reveló que el costo de MWh asciende a \$112.88. Se ha contemplado que la pérdida total en la funcionalidad de reinyectar el agua geotérmica podría, en el peor de los casos, repercutir en la generación de la CG de alrededor de 83 MWh. El total se calcula por medio de la Ecuación (1).

$$P\acute{e}rdida = Capacidad\ Nominal\ de\ Generaci3n\ El\acute{e}ctrica \times Costo\ de\ MWh \quad (1)$$

$$P\acute{e}rdida = 83\ MWh \times \$112.88/MWh = \$9,369.04$$

Tomando en cuenta la importancia del sistema de reinyecci3n para la CG y debido a pol3ticas de confidencialidad operativa, se considera utilizar un factor de seguridad de 1.5 (Parra & Crespo, 2012), lo que asigna un mayor costo operativo a los equipos que al momento podr3an comprometer la generaci3n de energ3a el\acute{e}ctrica de la CG.

$$Total\ x\ FS = \$9,369.04 \times 1.5 = \$14,053.56 \quad (2)$$

$$Redondeado\ Total\ (FS) = \$14,054$$

Los par\ametros descritos previamente permiten sentar las bases necesarias para evaluar la criticidad de todos los equipos involucrados en el sistema de reinyecci3n. El resultado de cada equipo se catalogar\a en las cuatro criticidades expuestas en la Tabla 2.

Tabla 2. Par\ametros de evaluaci3n criticidad

Criticidad Baja	Menores a 2	
Criticidad Media	Mayor que 2 y menor que 5	
Criticidad Alta	Mayor que 5 y menor que 6	
Criticidad Muy Alta	Mayor que 7	

Para la elaboraci3n del plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para el sistema de reinyecci3n de agua geot\termica, se utiliz3 como volumen de control los equipos e instrumentos que est\an relacionados en el proceso, con el prop3sito de determinar la criticidad de cada uno.

El inventario de equipos fue clasificado entre los equipos existentes en los Pozos Productores, equipos en Flashers, equipos en las l3neas de acarreo, equipos en el Sistema de Bombeo y equipos en los Pozos Reinyectores.

El volumen de control utilizado involucra una cantidad de equipos cercana a los 700 que han sido clasificados seg\un su \e1rea, cantidad, tipo, descripci3n y c3digo. Un extracto del volumen puede ser observado en la Tabla 3

Tabla 3: Extracto de volumen de equipos (Figueroa, Soto, & Vargas, 2019)

Área	Cant. Equipos	Tipo	Descripción	Código
Pozo Productor #1	1	Separador Ciclonico		SC1-001
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	Compuerta, 10", Flageada, WCB, Clase 300.	SC1-VM001
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	Compuerta, 10", Flageada, WCB, Clase 300.	SC1-VM002
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	Compuerta, 10", Flageada, WCB, Clase 300.	SC1-VM003
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	Compuerta, 4", Flageada, WCB, Clase 300.	SC1-VM004
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	Compuerta, 2", a roscar, Clase 800.	SC1-VM005
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	Compuerta, 2", Flageada, Clase 300.	SC1-VM006
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	Compuerta, 2", a Soldar, Clase 800.	SC1-VM007
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	Compuerta, 2", a Soldar, Clase 800.	SC1-VM008
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	Compuerta, 2", a Soldar, Clase 800.	SC1-VM009
Pozo Productor #1	1	Transmisor de presión	Marca: Rosemount, conexión de 1/2.	SC1-TP001
Pozo Productor #1	1	Transmisor de temperatura	Marca: Yokogawa, conexión de 1/2.	SC1-TT001
Pozo Productor #1	1	Manómetro	Marca: Reotemp, de 0 - 40 kg/cm2.	SC1-M001
Pozo Productor #1	1	Termómetro	Marca: Fima, de 0 - 200 grados C, rosca de 1/2.	SC1-T001
Pozo Productor #1	1	Caudalimetro	Marca: Krone	SC1-C001

* Debido a políticas de confidencialidad el volumen de equipos no puede ser publicado en su totalidad.

Es importante el orden, la clasificación y la nomenclatura para poder hacer un análisis objetivo del riesgo de cada uno de los equipos involucrados en el sistema de reinyección de agua geotérmica. Esta matriz de criticidad (Parra & Crespo, 2012) se basa en la estimación del riesgo, ponderando algunas afirmaciones que se encuentran directamente relacionadas al proceso de mantenimiento como tal; para ello se utilizó la Ecuación (3).

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia de Fallos} \times \text{Consecuencias} \quad (3)$$

Donde:

- Frecuencia de Fallos: Numero de fallos en un tiempo determinado.
- Consecuencias: (Impacto de seguridad y salud x Impacto de medio ambiente x Impacto producción y/o costo de mantenimiento).
 - Impacto de seguridad y salud x 0.25
 - Impacto de medio ambiente x 0.25
 - Impacto producción y/o costo de mantenimiento x 0.50

Todos estos ítems se evalúan contestando hipótesis para el análisis y se detallan a continuación.

Por ser una técnica aplicada en ámbitos de mantenimiento y de producción, es posible estimar los porcentajes como se consideren convenientes según el tipo de maquinaria e industria a la que se le esté aplicando.

Dadas las características de los equipos que se están evaluando, se ha contemplado colocar los siguientes factores: 0.25, 0.25 y 0.50; en ese orden, pues se considera la mejor opción al momento de evaluar los temas: “salud y seguridad”, “medio ambiente” y “costos producción/mantenimiento”. La Ecuación (3), consta de dos partes que son “frecuencia de fallos” y “consecuencias” y ambas son tomadas como individuales; es por ello que independientemente de los porcentajes que se asignen o de la cantidad de literales que contenga el apartado de “consecuencias”, esta suma algebraica será igual a 100 (o a 1).

La Tabla 5 es un extracto de la evaluación independiente donde el resultado representa la criticidad del equipo catalogada en criticidad baja, media, alta y muy alta. Cada uno de los equipos fue evaluado según los parámetros, con el objetivo de determinar la jerarquización.

Tabla 5. Extracto de evaluación de criticidad.

Área	Cant. Equipos	Tipo	Descripción	Código	Factores de frecuencia de fallos [F-Fallo]	Impacto seguridad y salud [I-Sa]	Impacto medio ambiente [I-Amb]	Impacto producción / costos de Mantto. [C-Mant]	F [F-Fallo]	I [I-Sa]	I [I-Amb]	C [C-Mant]	Frecuencia	Consecuencia	TOTALS	Jerarquización
Pozo Productor #1	1	Separador Cíclico		0 SC1-001	1	2	2	2	1	0.5	0.5	1	1	2	2	Baja
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	CompueRT, 10", Flageada, WCB, Clase 300.	SC1-VM001	2	2	1	2	2	0.5	0.25	1	2	1.75	3.5	Media
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	CompueRT, 10", Flageada, WCB, Clase 300.	SC1-VM002	2	2	1	2	2	0.5	0.25	1	2	1.75	3.5	Media
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	CompueRT, 10", Flageada, WCB, Clase 300.	SC1-VM003	2	2	1	2	2	0.5	0.25	1	2	1.75	3.5	Media
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	CompueRT, 4", Flageada, WCB, Clase 300.	SC1-VM004	2	2	1	2	2	0.5	0.25	1	2	1.75	3.5	Media
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	CompueRT, 2", a rosca, Clase 800.	SC1-VM005	2	2	1	2	2	0.5	0.25	1	2	1.75	3.5	Media
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	CompueRT, 2", Flageada, Clase 300.	SC1-VM006	2	2	1	2	2	0.5	0.25	1	2	1.75	3.5	Media
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	CompueRT, 2", a Soldar, Clase 800.	SC1-VM007	2	2	1	2	2	0.5	0.25	1	2	1.75	3.5	Media
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	CompueRT, 10", a Soldar, Clase 800.	SC1-VM008	2	2	1	2	2	0.5	0.25	1	2	1.75	3.5	Media
Pozo Productor #1	1	Válvula Mecánica	CompueRT, 2", a Soldar, Clase 800.	SC1-VM009	2	2	1	2	2	0.5	0.25	1	2	1.75	3.5	Media
Pozo Productor #1	1	Transmisor de presión	Marca: Rosemount, conexión de 1/2.	SC1-TP001	1	1	1	1	1	0.25	0.25	0.5	1	1	1	Baja
Pozo Productor #1	1	Transmisor de temperatura	Marca: Yokogawa, conexión de 1/2.	SC1-TT001	1	1	1	1	1	0.25	0.25	0.5	1	1	1	Baja
Pozo Productor #1	1	Mandómetro	Marca: Rotemp, de 0 - 40 kg/cm2.	SC1-MD01	1	1	1	1	1	0.25	0.25	0.5	1	1	1	Baja
Pozo Productor #1	1	Termómetro	Marca: Fima, de 0 - 200 grados C, rosca de 1/2.	SC1-T001	1	1	1	1	1	0.25	0.25	0.5	1	1	1	Baja
Pozo Productor #1	1	Caudalímetro	Marca: Krone	SC1-C001	1	1	1	1	1	0.25	0.25	0.5	1	1	1	Baja
Pozo Productor #2	1	Separador Cíclico		0 SC2-001	1	2	2	2	1	0.5	0.5	1	1	2	2	Baja

Una vez obtenidos todos los riesgos con base en la jerarquía, es posible tabular un resumen de datos (de forma general) de los equipos que se estudiaron. La Gráfica 3 detalla los porcentajes del resultado, indicando que el mayor, con un 64.87% de los equipos involucrados en el sistema de reinyección de agua geotérmica están catalogados como criticidad “Media”, seguido de la criticidad “Baja” con un 34.55%. En análisis de los equipos reveló que ninguno de los equipos puede ser considerado con “criticidad alta” por lo tanto representa un 0.0%. Los equipos con criticidad “Muy Alta” son 4, las bombas centrífugas, con un porcentaje del 0.58%.

Es posible concluir que, de los más de 650 equipos involucrados en el sistema de reinyección, los que representan la mayor criticidad son únicamente 4. La Tabla 4 es una representación gráfica del resultado del análisis de criticidad. En la esquina superior derecha de la tabla pueden encontrarse las cuatro bombas centrífugas (compuestas por motor-acople mecánico) del sistema, tienen las características operativas idénticas, por lo tanto, **analizar una de ellas equivale a analizar a las cuatro, por tanto, el análisis de modos de fallo y costos se hace a una sola bomba, considerando que todas son idénticas.**

3.1.2. AMFEC de equipos e instrumentos críticos.

El Análisis de Modos de Fallos Efectos y Criticidad tiene como objetivo identificar aquellos modos de fallos que sean posibles causantes de una falla funcional, y determinar los efectos de falla asociados con cada modo de falla (Moubray, 2004). La aportación principal del AMFEC es la de determinar el Número de Ponderación de Riesgos (NPR), por lo que se consigue analizar todas las causas que provocan un daño en una máquina o instalación

Respondiendo a las siete preguntas básicas de la ejecución del RCM (Moubray, 2004) se llevó a cabo el análisis de la criticidad del sistema. Dicho análisis reveló que los equipos con alta criticidad en el sistema de reinyección de agua en la CG son las cuatro bombas centrífugas (bomba – motor), operativas en el sistema de bombeo; por lo tanto, el AMFEC debe ser aplicado para ellas, sin embargo, considerando que las cuatro son idénticas en diseño y operación, es posible realizar el AMFEC solo a una de ellas y replicar con las otras tres.

Por último, en el AMFEC, la valoración de riesgo se clasifica según “gravedad”, “frecuencia de fallos” y “detectabilidad”.

Clasificación de valoración de riesgo

Como resultado de la valoración de fallo se determina un Número de Ponderación de Riesgo (NPR) que conducirá al analista en la selección adecuada de métodos de predicción, prevención o detección de fallos y también las necesidades de mejora. Es la típica valoración de un AMFEC, tanto de proceso como de diseño, aunque en el caso de RCM está orientado hacia el control de fallos y/o sus consecuencias (Gardella, 2011).

Gravedad

La “Matriz de decisiones” es el elemento central del plan de mantenimiento y como tal es importante definir cada uno de los componentes del NPR, dado que este valor es el que permite asignar la criticidad adecuada a cada equipo (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación de gravedad según valoración de riesgo (Gardella, 2011)

VALOR	DESCRIPCIÓN
1	<i>Las consecuencias del fallo son despreciables</i>
2 Y 3	<i>No hay consecuencias para seguridad y afines, producción y calidad</i>
4, 5 O 6	<i>Los efectos tienen consecuencia importante en los costes directos del mantenimiento y una pequeña influencia adversa en la producción y/o calidad, pudiendo causar paradas cortas no programadas, ciertas mermas o rechazo de calidad</i>
7 Y 8	<i>Importante impacto del efecto de fallo en la producción y/o calidad y/o elevados costes directos de mantenimiento</i>
9 Y 10	<i>Se trata de graves consecuencias para seguridad y afines</i>

Frecuencia de fallos

La frecuencia de fallos es la cantidad de eventos de falla que el equipo ha tenido en un periodo determinado de tiempo (Tabla 7).

Tabla 7. Clasificación de frecuencia de fallos según valoración de riesgo (Gardella, 2011)

VALOR	TASA DE FALLOS
1	<i>Menos de 1 en más de 10 años.</i>
2	<i>Entre 1 y 3 en más de 10 años.</i>
3	<i>Entre 1 y 3 en 10 años.</i>
4	<i>Entre 1 y 3 en 5 años.</i>
5	<i>Entre 1 y 3 en 2 años.</i>
6	<i>Entre 1 y 3 por año.</i>
7	<i>Entre 1 y 3 cada seis meses.</i>
8	<i>Entre 1 y 3 cada dos meses.</i>
9	<i>Entre 1 y 3 cada semana.</i>
10	<i>Entre 1 y 3 por día.</i>

La frecuencia de fallos ha sido determinada con la ayuda de un software de mantenimiento implementados en la CG como Máximo ® y Registro de fallas; sin embargo, su histórico es relativamente reciente, menor a tres años, por lo tanto, como describe Gardella en su tesis doctoral, en algunos casos se aplicó la estimación por experiencia.

Detectabilidad

La detectabilidad se refiere a la dificultad que posee el asociar un suceso ocurrido, a una causa o modo de fallo (Gardella, 2019). Esto para algunos modos de fallos es considerado algo fácil de lograr; pero en otros la situación es completamente diferente, dado que un modo de fallo puede englobar más de un proceso, maquina, acción y es aquí donde radica el problema al momento de definirlo, ya que se llega a una pregunta: ¿En dónde ocurrió?

Para lograr identificarlo de una manera más sencilla, se puede emplear la Tabla 8, en donde se ofrece una descripción que ayuda en esta clasificación.

Tabla 8. Clasificación de detectabilidad según valoración de riesgo (Gardella, 2011)

VALOR	DESCRIPCIÓN
1	<i>No hay ninguna duda de que el fallo será detectado de inmediato, por cualquier persona y sin ambigüedad</i>
2	<i>La detección es prácticamente certera Probablemente habrá que verla algún técnico u operario especializado</i>
3, 4 Y 5	<i>La detección es razonablemente fiable. Hay que aplicar algún método, técnica o instrumento y/o tardar algún tiempo en diagnosticar definitivamente</i>
6, 7 Y 8	<i>La detección entraña riesgos de no acertar, se necesitan medios y tiempo relativamente largo para diagnosticar el fallo</i>
9 Y 10	<i>La detección es extremadamente difícil, o prácticamente inviable en las condiciones tecnológicas actuales</i>

Cálculo de Número de Ponderación de Riesgo

El NPR es utilizado para cuantificar el riesgo que conlleva un fallo en una maquina o instalación. Está determinado por la siguiente Ecuación:

$$NPR = G \times F \times D \quad (4)$$

Donde:

- NPR: Numero de ponderación de riesgo de un modo de fallos de clasificaciones.
- G: Gravedad
- F: Frecuencia de fallos
- D: Detectabilidad

Debido a los rangos de clasificación el valor de NPR puede estar entre un rango de 0 a 1,000; según Moubray es posible catalogarlo en los siguientes rangos:

< 200	Poco importante
200 a 700	Normal
700 a 1000	Critico

Sin embargo, para el análisis de la moto-bomba para el sistema de reinyección de agua geotérmica, los valores de NPR se encuentran en el rango de 12 – 168; esto no quiere decir que las fallas deban clasificarse como no importante, considerando que el equipo en cuestión ha sido uno de los más críticos sobre más de 650 equipos evaluados; por lo tanto, cada falla debe analizarse independientemente. El rango del NPR ayudará al analista a determinar frecuencia de intervención de técnicas de mantenimiento para evitar mal funcionamiento en el sistema, se verá más adelante esta afirmación.

La Tabla 9 muestra una tabla del Análisis de Modos de Fallos Efectos y Criticidad en blanco, que debe ser llenada en función al equipo de alta criticidad que se desea analizar; la tabla está catalogada según la función o proceso, los fallos funcionales, los modos de fallos funcionales con su respectiva clasificación, el efecto de fallo, las consecuencias de fallo y la valoración de ponderación de riesgo.

Tabla 9. Hoja AMFEC (Gardella, 2019)

AMFEC		Centro Industrial: Sección/Planta/Código: Instalación / Activo: Criticidad Primer Nivel:		Subsistema: Código: Criticidad Segundo Nivel:		N° Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Revisado por: Autorizado por:			Fecha elaboración: (versión): 1 HOJA: 1 de 4								
Activo: BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN/ PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO:		Código:		Criticidad Tercer Nivel:													
FUNCIÓN / PROCESO	PARAMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO			EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACION DE RIESGO					
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	N.P.R.		

Para el equipo que se analiza (motor-bomba) las funciones detalladas en la Tabla 10, fueron consideradas como “transportar agua resultante del proceso de transformación energética en una central geotérmica”, “mantener presión de trabajo”, “mantener caudal de trabajo” y “contener agua geotérmica”. Para cada una de las funciones se identificó las fallas funcionales “la bomba centrífuga no gira”, “la bomba centrífuga gira”, “presión mayor y menor” “caudal menor y mayor” y “fuga de agua respectivamente”.

Tabla 10. Clasificación de AMFEC para función contener agua geotérmica en la bomba centrífuga (Anexo 1: AMFEC)

FUNCIÓN / PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		
CONTENER GEOTÉRMICA	AGUA AGUA GEOTÉRMICA A 110-115 °C	FUGA DE AGUA	FALLO DE SELLO MECÁNICO	FALLOS DE OPERACIÓN	OPERACIÓN FUERA DE PARÁMETROS NORMALES	PERSONAL MAL CAPACITADO	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	
					OPERACIÓN A EXCESIVA BAJA VELOCIDAD	FALLO DE INSTRUMENTACIÓN	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	
					OPERACIÓN EN SECO		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	
				FALLAS MECÁNICAS	MAL COLOCACIÓN DE SELLO	PERSONAL MAL CAPACITADO	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	
					EJES DESALINEADOS		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	
					ASPAS DE IMPULSOR DESBALANCEADAS	ACUMULACIÓN DE SÍLICE	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	
				FALLAS DE LOS COMPONENTES DEL SELLO	DESGASTE NORMAL		RUIDOS Y FUGA EXCESIVA DE AGUA	
					INCOMPATIBILIDAD DE MATERIALES DEL SELLO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL	RUIDOS Y FUGA EXCESIVA DE AGUA	
						ERROR DE PROVEEDOR	RUIDOS Y FUGA EXCESIVA DE AGUA	
				FALLO DE CONEXIONES DE ENTRADA Y SALIDA DE AGUA	FALLO DE ACOPLÉS	RUPTURA DE FLANGES DE CONEXIÓN	PERSONAL MAL CAPACITADO	FUGA DE AGUA
					FALLO DE EMPAQUES	RUPTURA DE EMPAQUES	FATIGA DE MATERIAL DE FLANGES	FUGA DE AGUA

En relación a la función y a los fallos funcionales descritos previamente, se establecieron cuatro clasificaciones de modos y el efecto correspondiente; posteriormente las consecuencias de cada efecto de fallo fueron clasificadas según las siguientes características, la Tabla 11 es resultado de esta clasificación.

- Fallo oculto
- Seguridad y medio ambiente
- Producción
- Mantenimiento
- Calidad

Tabla 11. Clasificación completa de AMFEC (Anexo 1: AMFEC)

Hoja RCM / AMFEC		Centro Industrial: Geotermia Sección/Planta/Código: Instalación / Activo: Criticidad Primer Nivel: Muy Alta Código:		Subsistema: Código: Criticidad Segundo Nivel: ALTA Criticidad Tercer Nivel: BAJA		N° Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:		Fecha elaboración: 21/11/2019 (versión): 1 HOJA: 1 de 4									
Breve Descripción de la Función / Proceso donde interviene el activo en el contexto operativo: Circulación de agua geotérmica Bombas centrífuga de eje horizontal de 400 hp																	
FUNCIÓN / PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE				
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	CONSERVACIÓN DE EQUIPOS Y RECURSOS	RIESGO DE FALLAS	DETECTABILIDAD	N.P.R.	
CONTENER AGUA GEOTÉRMICA	AGUA GEOTÉRMICA A 110-115 °C	FUGA DE AGUA	FALLO DE SELLO MECÁNICO	FALLOS DE OPERACIÓN	OPERACIÓN FUERA DE PARÁMETROS NORMALES	PERSONAL MAL CAPACITADO	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	SI	SI	NO	NO	2	6	2	24	
					OPERACIÓN A EXCESIVA BAJA VELOCIDAD	FALLO DE INSTRUMENTACIÓN	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	SI	SI	NO	SI	3	6	4	72	
					OPERACIÓN EN SECO		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	SI	SI	NO	SI	6	2	2	24	
				FALLAS MECÁNICAS	MAL COLOCACIÓN DE SELLO	PERSONAL MAL CAPACITADO	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	SI	NO	SI	NO	3	3	5	45	
					EJES DESALINEADOS		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	SI	NO	SI	NO	4	5	6	120	
					ASPAS DE IMPULSOR DESBALANCEADAS	ACUMULACIÓN DE SÍLICE	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	SI	NO	SI	NO	5	4	6	120	
				FALLAS DE LOS COMPONENTES DEL SELLO	DESGASTE NORMAL		RUIDOS Y FUGA EXCESIVA DE AGUA	NO	SI	NO	NO	NO	3	3	6	54	
					INCOMPATIBILIDAD DE MATERIALES DEL SELLO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL	RUIDOS Y FUGA EXCESIVA DE AGUA	NO	SI	NO	SI	NO	3	2	6	36	
						ERROR DE PROVEEDOR	RUIDOS Y FUGA EXCESIVA DE AGUA	NO	SI	NO	SI	NO	3	2	6	36	
				FALLO DE CONEXIONES DE ENTRADA Y SALIDA DE AGUA	FALLO DE ACOPLÉS	RUPTURA DE FLANGES DE CONEXIÓN	PERSONAL MAL CAPACITADO	FUGA DE AGUA	NO	SI	NO	SI	NO	3	4	2	24
							FATIGA DE MATERIAL DE FLANGES	FUGA DE AGUA	NO	SI	NO	NO	NO	3	4	4	48
					FALLO DE EMPAQUES	RUPTURA DE EMPAQUES	FUGA DE AGUA	NO	SI	NO	NO	NO	3	6	3	54	

3.2. Creación de planes de mantenimiento

3.2.1. Tareas de mantenimiento

El departamento de mantenimiento debe cuantificar y separar cada una de las actividades que realiza para garantizar un control adecuado de sus recursos. Esta separación debe tomar en cuenta cuales son los objetivos y necesidades detrás de cada acción.

Las tareas de mantenimiento tienden a compartir características que permiten que sean agrupadas en las siguientes categorías:

Tareas de mantenimiento correctivo

Estas son las acciones que suceden solamente al ocurrir la falla, es decir, son aquellas tareas que no tienen una periodicidad establecida y son de naturaleza reactiva.

El principal obstáculo que el departamento tiene al considerar tareas de tipo correctivo es que, al depender de la falla, puede considerarse que son aleatorias y por tanto los riesgos de falla y los costos de esta pueden ser elevados.

Por esta razón, las tareas correctivas se recomiendan para aquellas actividades que no presentan un alto riesgo de consecuencias de la falla o el costo de implementar otros tipos de mantenimiento es excesivamente alto, como, por ejemplo, luminarias o elementos cuyo aporte al proceso productivo es poco.

Tareas de mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo está basado en realizar actividades en periodos específicos de la vida útil del equipo con tal de prevenir fallas catastróficas y se apoyan de los tiempos de paradas programados en la producción para ser efectuados.

Dicho esto, se tiene el caso que la programación de las actividades pasa a ser una de las prioridades del plan y como tal, es su principal debilidad.

Algunos estudios (Eschmann, 1985) (Moubray, 2004) hablan de las frecuencias de las fallas y como la mayoría de estas son de carácter aleatorio, por tanto, al planificar el reemplazo o la intervención en un equipo, existe la posibilidad de que no sea el momento idóneo para dicha intervención.

Las limitaciones de estas acciones son aceptables si los costos de diagnóstico de falla requeridos en el mantenimiento basado en condición no son demasiado altos.

Tareas de mantenimiento basado en condición

En el funcionamiento del equipo o sistema se pueden identificar aquellos problemas de funcionamiento o diseño que causan la falla y una vez determinadas, es posible deducir cuáles son los parámetros de operación que indican la presencia de una falla.

La medición de estos parámetros es de mucha importancia para las tareas de mantenimiento basadas en condición, porque éstas buscan factores como vibraciones, puntos calientes, aparición de partículas en lubricantes entre otros y los relacionan con modos de fallas específicos.

Con los avances tecnológicos actuales, es posible afirmar que hay una variedad grande de formas y tecnologías de medición de parámetros, el principal obstáculo que existe es el costo de estas, que puede llegar a ser muy alto para modos de falla complejos.

Por tanto, lograr un buen balance de diagnóstico de falla y costos aceptables es importante para garantizar los resultados económicos de la empresa.

3.2.2. Matriz de decisiones de mantenimiento

La matriz de decisiones es el siguiente paso funcional en el plan de mantenimiento. Aquí se agrupan las fallas según han sido determinadas en el AMFEC y se propone una acción para cada una.

Estas acciones pueden ser de tipo preventivo o predictivo según la criticidad del modo de falla y además se propone la periodicidad adecuada para estas.

Es necesario aclarar que esta propuesta de plan no pretende ser final, sino que un punto de partida para implementar una mejora a los planes actuales. Es importante recordar que la metodología RCM incluye pasos de verificación de la efectividad que permiten mejorar cada el desempeño del plan de mantenimiento, iterando en el diagnóstico de fallas y en las acciones usadas para remediarlas.

En la Tabla 12 se pueden observar las columnas que corresponden a cada uno de los efectos de fallo y desglosan estos en diferentes clasificaciones, cada una más detallada que la anterior y cuáles serán las acciones preventivas y/o predictivas de cada una.

Tabla 12. Extracto de Matriz de decisiones para equipo critico (motor-bomba) (Anexo 2: Matriz de decisiones)

EFECTOS DE FALLO	NPR.	MODO DE FALLO				MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN		MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR ACTUACIÓN PLANIFICADA		REDISEÑO / MEJORA			
		CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FRECUENCIA	INSPECCIÓN / DETECCIÓN		RECAMBIO / MATERIAL		DESCRIPCIÓN	FREC REFERENCIA		
									OPERACIÓN	FRECUENCIA	OPERACIÓN (incluirlubricación)	FRECUENCIA				
ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	43	EL MOTOR FUNCIONA SOLO CON DOS FASES	FALLO DEVANADO DEL MOTOR	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DE DEVANADO											
ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	43			SOBRECARGA DE MOTOR					MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	1M						
ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	43			FALLO CONEXIONES EN EL MOTOR	CONEXIÓN ELÉCTRICA INADECUADA					INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES	6M					
ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	43				DAÑOS POR CORROSIÓN					INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES	6M					
CALENTAMIENTO DEL MOTOR Y SE QUEMA EL DEVANADO	133	FALLO MOTOR	FALLO VENTILACIÓN	OBTURACIÓN REJILLA FILTRO	MAL MANTENIMIENTO				LIMPIEZA	1M						
CALENTAMIENTO DEL MOTOR Y SE QUEMA EL DEVANADO	75			ROTURA DEL VENTILADOR	FATIGA EN ASPAS					INSPECCIÓN VISUAL	3M	CAMBIO DE ASPAS	1A			
CALENTAMIENTO DEL MOTOR Y SE QUEMA EL DEVANADO	90				INGRESO DE MATERIAL A LAS ASPAS					INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA	3M					
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	90				FALLO DE RETENEDOR							INSPECCIÓN Y CAMBIO DE PIEZA	6M			
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	39	RODAMIENTOS ATASCADOS	RODAMIENTOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	ANÁLISIS DE VIBRACIONES	CARCARSA DE MOTOR/SECCIÓN DE RODAMIENTOS									
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	90			FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	ANÁLISIS FRECUENCIAL	CARCARSA DE MOTOR/SECCIÓN DE RODAMIENTOS					CAMBIAR ACEITE ENGRASAR	3M			
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	88			DESALINEACIÓN CONJUNTO		ANÁLISIS DE VIBRACIONES	CARCARSA DE MOTOR/SECCIÓN DE RODAMIENTOS									
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	80			MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO										CAPACITAR A PERSONAL	
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	80			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS												

La matriz de decisiones ayuda a catalogar las técnicas de mantenimiento tanto predictivo como preventivo, para evitar que los posibles fallos surjan. Las medidas pueden contemplar equipos, complejidad y presión, más que todo en el mantenimiento predictivo, así como medidas de monitoreo y actividades menos complejas pero necesarias en el mantenimiento preventivo por inspección y planificado; por último, la matriz de decisiones contempla la posibilidad de rediseño y/o mejora para algunas actividades que representen una repetición cuantiosa o bien una medida de cambio completo.

La frecuencia de la intervención de las actividades está relacionada directamente al NPR, dependerá de él la cantidad de veces al año que se considere aplicar; como ejemplo para el caso de la bomba centrífuga (Tabla 13) con modo de fallo clasificación A “FALLO DE MOTOR”, en ambas fallas la razón es “RODAMIENTOS ATASCADOS”, sin embargo, en las clasificaciones posteriores la razón es diferente. Evaluando lo anterior se consideró que una medida para evitar que la falla aparezca es aplicar un análisis de vibraciones, sin embargo, la frecuencia de aplicación es diferente, una cada mes y la otra aplicación cada 6 meses, esto se debe a que los NPR son distintos, con 120 puntos de diferencia exactamente.

Con la anterior idea, se concluye que, aunque los modos de fallos sean similares y las medidas para evitarlos idénticos, la frecuencia dependerá del número de ponderación de riesgos evaluado previamente en el AMFEC.

Tabla 13. Matriz de decisiones para dos modos de fallos similares con diferentes NPR (Anexo 2: Matriz de decisiones)

EFECTOS DE FALLO	NPR	MODO DE FALLO				MANTENIMIENTO PREDICTIVO		
		CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FRECUENCIA
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	30	FALLO MOTOR	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	ANÁLISIS DE VIBRACIONES	CARCASA DE MOTOR/SECCIÓN DE RODAMIENTOS	6M
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	150			DESALINEACIÓN CONJUNTO		ANÁLISIS DE VIBRACIONES	CARCASA DE MOTOR/SECCIÓN DE RODAMIENTOS	1M

3.2.3. Planes de Mantenimiento

Plan de Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento basado en confiabilidad a la medida, tiene como propósito anticipar una anomalía funcional, por lo tanto, una vez se identifiquen las fallas más probables y la frecuencia de ellas, se puede realizar un plan detallado. Durante la elaboración del “AMFEC” se determina el “Numero de Ponderación de Riesgos” (NPR), expuesto al extremo derecho de la Tabla 12, cuyo objetivo es facilitar la identificación de los puntos más críticos en base a riesgo operativo y frecuencia de fallos. La implementación considera un avance tecnológico con el aprovechamiento de técnicas de mantenimiento predictivo, como se detalla en la Tabla 14.

Tabla 14. Técnicas de mantenimiento predictivo a utilizar (Figuroa, Soto, & Vargas, 2019)

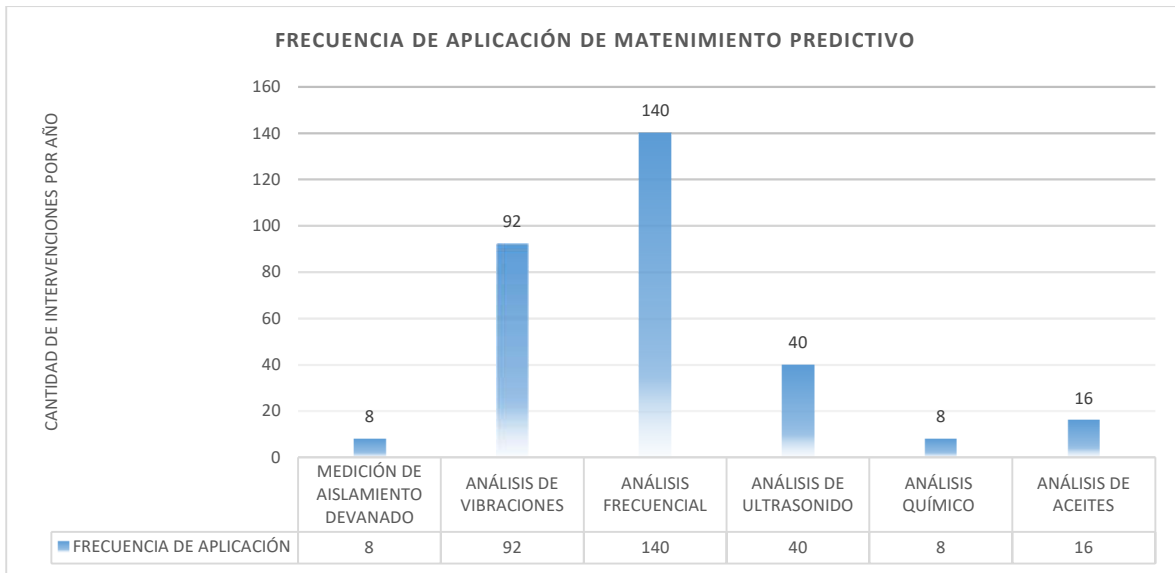
NOMENCLATURA	TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
PD-01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DEVANADO
PD-02	ANÁLISIS DE VIBRACIONES
PD-03	ANÁLISIS FRECUENCIAL
PD-04	ANÁLISIS DE ULTRASONIDO
PD-05	ANÁLISIS QUÍMICO
PD-06	ANÁLISIS DE ACEITES

Una vez se han identificado las técnicas de mantenimiento necesarias para conocer los parámetros operativos de los equipos y apoyándose en el NPR, es posible desarrollar un plan de mantenimiento detallado y conciso, que involucre la frecuencia de implementación. La Tabla 15 muestra un extracto del plan de mantenimiento predictivo.

Tabla 15. Extracto de plan de mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO											
CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FALLO MOTOR	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR	8											
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	9		PD-02					PD-02				
		FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	10			PD-03			PD-03			PD-03		PD-03
		DESALINEACIÓN CONJUNTO		11	PD-02	PD-02	PD-02	PD-02	PD-02	PD-02	PD-02	PD-02	PD-02	PD-02	PD-02
		MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO	12											
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	13											

La Gráfica 4 muestra la frecuencia por año en que deberá aplicarse la respectiva técnica de mantenimiento predictivo, considerando las cuatro bombas, para conocer el comportamiento operativo en comparación al patrón de diseño. La técnica de mantenimiento predictivo que deberá ser aplicada con una frecuencia total del 140 veces al año es el “análisis frecuencial”, mientras que la menor aplicada será la medición de aislamiento de devanado y el análisis químico con 8 veces al año.



Gráfica 4. Frecuencia de aplicación de técnicas predictivas (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

Plan de Mantenimiento Preventivo por Inspección

Durante la elaboración de la “Matriz de Decisiones” se consideran los efectos de fallos según la clasificación resultante en el “AMFEC”; algunas de esas fallas pueden ser prevenidas con inspecciones. Las técnicas de mantenimiento preventivo por inspección a implementar son ocho y se detallan en la Tabla 16, la frecuencia de utilización depende directamente del NPR resultante previamente.

Tabla 16. Técnicas de mantenimiento preventivo por inspección a utilizar (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

NOMENCLATURA	TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
PDI-01	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES
PDI-02	INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES
PDI-03	INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA
PDI-04	INSPECCIÓN ESTROBOSCÓPICA
PDI-05	INSPECCIÓN VISUAL
PDI-06	MEDICIÓN DE RPM
PDI-07	MEDICIÓN DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN
PDI-08	INSPECCIÓN VISUAL CON MAGNIFICACIÓN

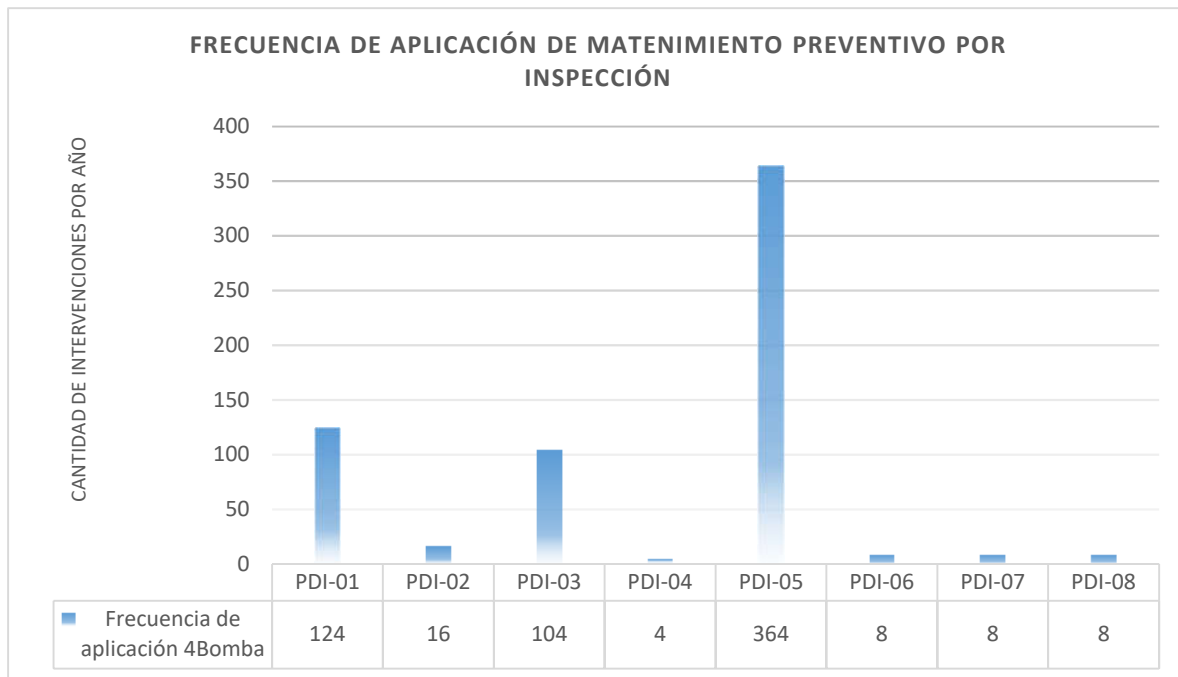
Con base en la falla funcional correspondiente y el NPR se elaboró el plan de mantenimiento preventivo por inspección, donde las técnicas son relativamente más sencillas de aplicar en comparación al mantenimiento predictivo, los equipos necesarios son menos sofisticados y el costo relativamente menor; sin embargo, la frecuencia de aplicación aumentó en la misma comparativa. La Tabla 17 representa un extracto del plan de mantenimiento anual, la nomenclatura detallada en la tabla representa la aplicación de la respectiva técnica según la frecuencia.

Tabla 17. Extracto de plan de mantenimiento preventivo por inspección (Anexo 6: Cronograma de mantenimiento preventivo por inspección)

MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO													
CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
FALLO MOTOR	EL MOTOR FUNCIONA SÓLO CON DOS FASES	FALLO DEVANADO DEL MOTOR	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO	1													
			SOBRECARGA DE MOTOR	2	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	
		FALLO CONEXIONES EN EL MOTOR	CONEXIÓN ELÉCTRICA INADECUADA	3	PDI-02							PDI-02					
			DANOS POR CORROSIÓN	4			PDI-02							PDI-02			
	FALLO VENTILACIÓN	OBTURACIÓN REJILLA FILTRO	MAL MANTENIMIENTO	5	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	
			FATIGA EN ASPAS	6	PDI-05			PDI-05			PDI-05			PDI-05			
		ROTURA DEL VENTILADOR	INGRESO DE MATERIAL A LAS ASPAS	7		PDI-03			PDI-03			PDI-03				PDI-03	
	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR	8													
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	9													
		FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	10													
			DESALINEACIÓN CONJUNTO	11													
		MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO	12													
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	13													

La Gráfica 5 muestra la frecuencia por año con que deberían aplicarse las respectivas técnicas preventivas por inspección, considerando las cuatro bombas. La técnica de preventiva que deberá ser aplicada con mayor frecuencia es la “Inspección Visual” con una cantidad de 364 veces durante el año, seguido de “medición

de corriente en fases” con una cantidad de 124 veces durante el año; el resto de técnicas deberán ser aplicadas con menor frecuencia.



Gráfica 5. Frecuencia de aplicación de técnicas en preventivas por inspección (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

Plan de Mantenimiento Preventivo por Actuación Planificada

Las fallas funcionales determinadas en el “AMFEC” para la bomba centrífuga, se espera puedan ser evitadas aplicando técnicas de mantenimiento preventivo, sin embargo, en esta sección el enfoque va dirigido a una actuación planificada, es decir, acciones preventivas que están determinadas por el tiempo de operación y no necesariamente por un resultado de diagnóstico. En la práctica se recomienda la evaluación de cada actividad y discusión con responsables para cambiar la frecuencia de ser necesario.

Las técnicas de mantenimiento preventivo por inspección a implementar son 22 y se detallan en la Tabla 18, la frecuencia de utilización depende directamente del NPR resultante en la “Matriz de decisiones”.

Tabla 18: Técnicas de Mantenimiento Preventivo por Actuación Planificada (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)

NOMENCLATURA	TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
PDP-01	CAMBIO DE ASPAS
PDP-02	INSPECCIÓN Y CAMBIO DE PIEZA
PDP-03	CAMBIAR ACEITE ENGRASAR
PDP-04	CAMBIO DE CLAVIJA EN LA REPARACIÓN
PDP-05	CAMBIO DE ELEMENTO ELÁSTICO
PDP-06	CAMBIO DE ANILLO DE SEGURIDAD
PDP-07	CAMBIO DE PARAMETRIZACIÓN
PDP-08	CAMBIO DE PLACA ELECTRÓNICA
PDP-09	CAMBIO DE BATERÍAS INTERNA
PDP-10	REAPRIETE DE PERNOS
PDP-11	REVISIÓN DE SEÑALIZACIÓN
PDP-12	REEMPLAZO DE VÁLVULA
PDP-13	MANTENIMIENTO DE VÁLVULA
PDP-14	RECALIBRACIÓN
PDP-15	MANTENIMIENTO TUBERÍAS
PDP-16	LIMPIEZA TUBERÍAS
PDP-17	REEMPLAZO SELLO DE VÁLVULA
PDP-18	LIMPIEZA FILTRO
PDP-19	CALIBRACIÓN INSTRUMENTACIÓN
PDP-20	LIMPIEZA DE ASPAS
PDP-21	REEMPLAZO SELLO MECÁNICO
PDP-22	REEMPLAZO DE EMPAQUES

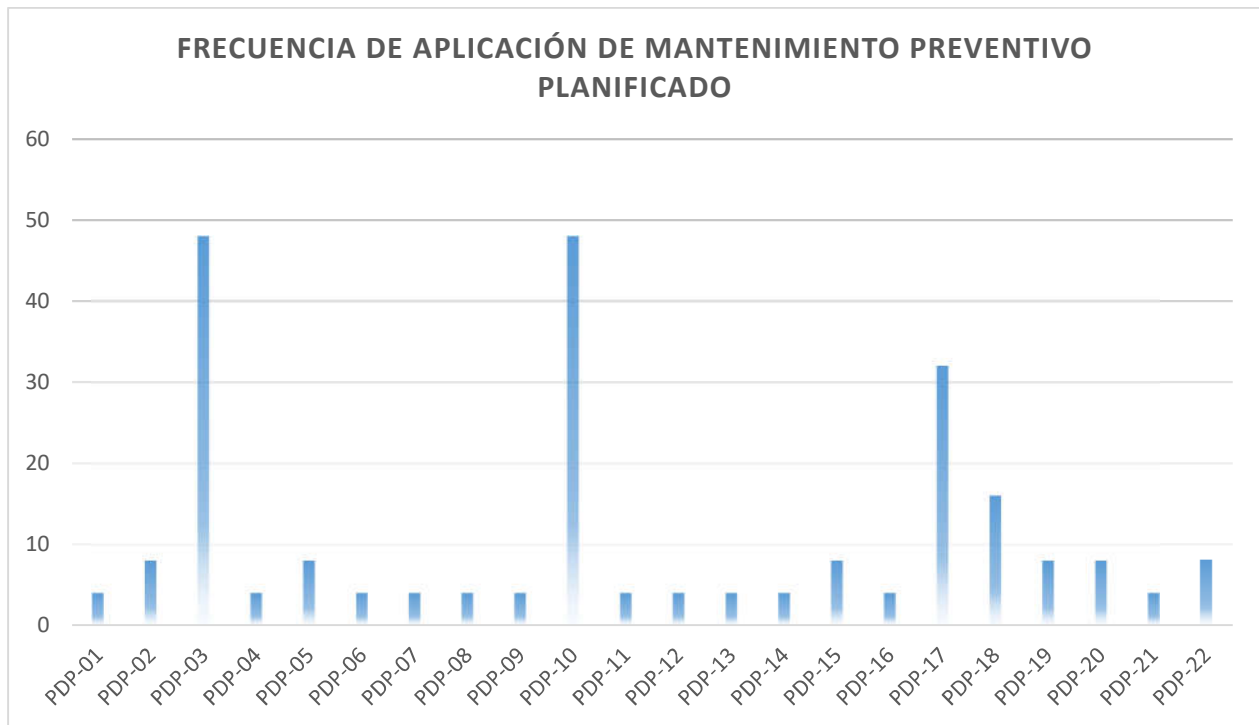
El plan de mantenimiento preventivo por actuación planificada contempla una mayor cantidad de técnicas en comparación con el predictivo (6 técnicas) y el preventivo por inspección (8 técnicas), sin embargo, la frecuencia de aplicación es menor entre ellas en comparación con los planes mencionados. Las técnicas son relativamente más sencillas de aplicar en comparación al mantenimiento predictivo, los equipos necesarios menos sofisticados y el costo relativamente menor.

La Tabla 19 representa un extracto del plan de mantenimiento preventivo por actuación planificada, la nomenclatura indica la aplicación de la respectiva técnica según la frecuencia.

Tabla 19: Extracto de plan de mantenimiento preventivo por actuación planificada (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)

FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO												
	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
LA BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA	FALLO MOTOR	EL MOTOR FUNCIONA SOLO CON DOS FASES	FALLO DEVANADO DEL MOTOR	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO	1												
				SOBRECARGA DE MOTOR	2												
			FALLO CONEXIONES EN EL MOTOR	CONEXION ELECTRICA INADECUADA	3												
			FALLO VENTILACION		DANOS POR CORROSION	4											
				OBTURACION REJILLA FILTRO	5												
				ROTURA DEL VENTILADOR	6						PDP-01						
			RODAMIENTOS ATASCADOS		INGRESO DE MATERIAL A LAS ASPAS	7											
				ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	8						PDP-02					PDP-02	
				FALLO DE RETENEDOR	9												
				MALA SELECCION DE RODAMIENTOS	10												
				FALLO DE ENGRASE	11						PDP-03					PDP-03	
				DESALINEACION CONJUNTO	12												
				MAL MONTAJE	13												
		PERSONAL MAL CAPACITADO	14														
		MALA SELECCION DE RODAMIENTOS	15														

La Gráfica 6: Frecuencia de aplicación de muestra la frecuencia por año en que deberán aplicarse las respectivas técnicas preventivas por inspección, considerando las cuatro bombas. Las técnicas preventivas por actuación planificada con mayor frecuencia son “cambiar aceite/engrasar” y “reapriete de tornillos” con 48 veces al año mientras que la menos frecuente es “cambio de aspas” con 4 veces al año (una por cada bomba).



Gráfica 6: Frecuencia de aplicación de técnicas de mantenimiento preventivo planificado (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)

Rediseño / Mejora

Durante la elaboración de la “Matriz de Decisiones” una cantidad considerable de fallas funcionales se debían a errores de selección de equipos, instalaciones inadecuadas, entre otros (Tabla 20), por lo tanto, uno de los métodos para evitar la recurrencia de estas fallas era la capacitación al personal que está involucrado en el mantenimiento del sistema de bombeo.

Tabla 20: Matriz de decisiones para rediseño/mejora (Anexo 2: Matriz de decisiones)

EFECTOS DE FALLO	R.F. N°	DETECCIÓN FALLO POTENCIAL OCULTO	MODO DE FALLO				REDISEÑO / MEJORA			
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	DESCRIPCIÓN	FREC	REFERENCIA	
PARO DE GIRO DE BOMBA	125		FALLO ACOPLAMIENTO	ROTURA CLAVIJA	FATIGA CLAVIJA	MATERIAL INADECUADO DE CLAVIJA	14	CAPACITAR A PERSONAL		
PARO DE GIRO DE BOMBA	30				INSTALACIÓN INADECUADA	PERSONAL MAL CAPACITADO	15			
PARO DE GIRO DE BOMBA	40				MALA SELECCIÓN DE CLAVIJA	16				
PARO DE GIRO DE BOMBA	80			FALLO FIJACIÓN	DESAPRIETE PERNOS	TORQUE INADECUADO DE INSTALACIÓN	17			
PARO DE GIRO DE BOMBA	60					FALTA DE PEGAMENTO PARA PERNOS	18			
PARO DE GIRO DE BOMBA	100				RUPTURA DE PERNOS	MALA SELECCIÓN DE PERNOS	19	CAPACITAR A PERSONAL		
PARO DE GIRO DE BOMBA	120			FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FATIGA DE ELEMENTO ELÁSTICO		20			
PARO DE GIRO DE BOMBA	40				MATERIAL INADECUADO DE ELEMENTO ELÁSTICO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL	21	CAPACITAR A PERSONAL		
PARO DE GIRO DE BOMBA	30				ERROR DE PROVEEDOR	22				

La mayoría de las medidas para evitar las fallas funcionales pueden ser evitadas con un adecuado plan de capacitaciones permanentes, recomendablemente las capacitaciones deberán ir enfocadas al personal técnicos, sin embargo, considerar a puesto jerárquicos más altos es una medida que puede beneficiar generalmente.

Otras fallas funcionales pueden ser evitadas específicamente con una auditoría al proveedor y reuniones con fabricantes.

3.3. Cálculo de costos asociados.

3.3.1. Costos de mano de obra

El plan de mantenimiento involucra la realización de las actividades con personal capacitado y experiencia, que sustente la aplicación de las técnicas especializadas y de práctica común. Con el objetivo de validar el costo durante la implementación del plan, se estimaron los costos de mano de obra según la Central Geotérmica (Tabla 21)

Tabla 21. Costo de mano de obra en Central Geotérmica *

COSTOS DE MANO DE OBRA							
Puesto	Salario trabajador	Colaboraciones Patronales			Costo para Empresa	Costo de Hora	Horas laborales
		Seguro Social (ISSS)	AFP				
Encargado	\$ 2,800.00	\$ 238.00	\$ 217.00	\$ 3,255.00	\$ 18.49	8 horas/día	
Supervisor	\$ 1,800.00	\$ 135.00	\$ 139.50	\$ 2,074.50	\$ 11.79	44 horas/semana	
Técnico 1	\$ 1,000.00	\$ 75.00	\$ 77.50	\$ 1,152.50	\$ 6.55	4 semanas/mes	
Técnico 2	\$ 900.00	\$ 67.50	\$ 69.75	\$ 1,037.25	\$ 5.89	176 horas/mes	
Auxiliar 1	\$ 700.00	\$ 52.50	\$ 54.25	\$ 806.75	\$ 4.58		
Auxiliar 2	\$ 500.00	\$ 37.50	\$ 38.75	\$ 576.25	\$ 3.27		
(ISSS) Instituto Salvadoreño del Seguro Social							
(AFP) Administración de Fondos de Pensiones							

El costo de mano de obra no deberá ser estimado por lo que el trabajador percibe mensualmente, sino por el costo que representa para la empresa el desembolso mensual. En El Salvador la colaboración patronal representa cerca del 15% del salario del empleado (2019) divididos en contribución por el ISSS, que representa entre el 8.5 y 7.5% del salario, y por la Administración de Fondos de Pensiones (AFP) que equivale al 7.75% con base en el salario del trabajador (Gobierno de El Salvador, 2010).

* Los montos descritos en la Tabla 21 son un estimado general de los salarios de personal técnico que se dedica a actividades similares; no son un reflejo de los salarios reales.

3.3.2. Costos de planes de mantenimiento

Costo de plan de Mantenimiento Predictivo

Las técnicas de mantenimiento predictivo evaluadas en la matriz de decisiones que serán utilizadas en la bomba centrífuga son 6, descritas con su respectivo instrumento a utilizar en la Tabla 22. A continuación, se detallan los costos separados en costos de mano de obra y costos de utilización del instrumento.

Tabla 22. Técnicas a utilizar en el mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO			
Código	Técnica Predictiva	Instrumento	Instrumento (real)
PD-01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DE VANADO	Megaohmetro (MEGGER)	Medidor de aislamiento Fluke 1555 FC 10 kV
PD-02	ANÁLISIS DE VIBRACIONES	Analizador de vibraciones	Analizador de vibraciones Fluke 810
PD-03	ANÁLISIS FRECUENCIAL	Analizador frecuencial de vibraciones	Analizador frecuencial de vibraciones PCE-HAV-100
PD-04	ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	Analizador de Ruido Ultrasónico	Analizador Ultrasónico SONAPHONE III
PD-05	ANÁLISIS QUÍMICO	Fotómetro	Hanna instruments HI 96705
PD-06	ANÁLISIS DE ACEITES	Analizador de Aceite	Analizador de Aceite KLEENOIL ICC

Para cada técnica de mantenimiento detallada en la Tabla 22 debe realizarse un plan del tiempo estimado, es decir, cuántas horas se requieren para cumplir con la técnica, deberá ser lo más cercano posible a lo que se espera. La Tabla 23 detalla el tiempo estimado que tardará cada persona involucrada en el proceso de “MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DE VANADO” (PD-01), la suma de las horas ha sido multiplicada por el costo por hora detallado en la Tabla 13. El costo total de la realización de la técnica predictiva asciende a un monto de \$258.53 cada vez que se haga.

Tabla 23. Tiempo estimado de aplicación de técnica predictiva “medición de aislamiento de devanado” (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

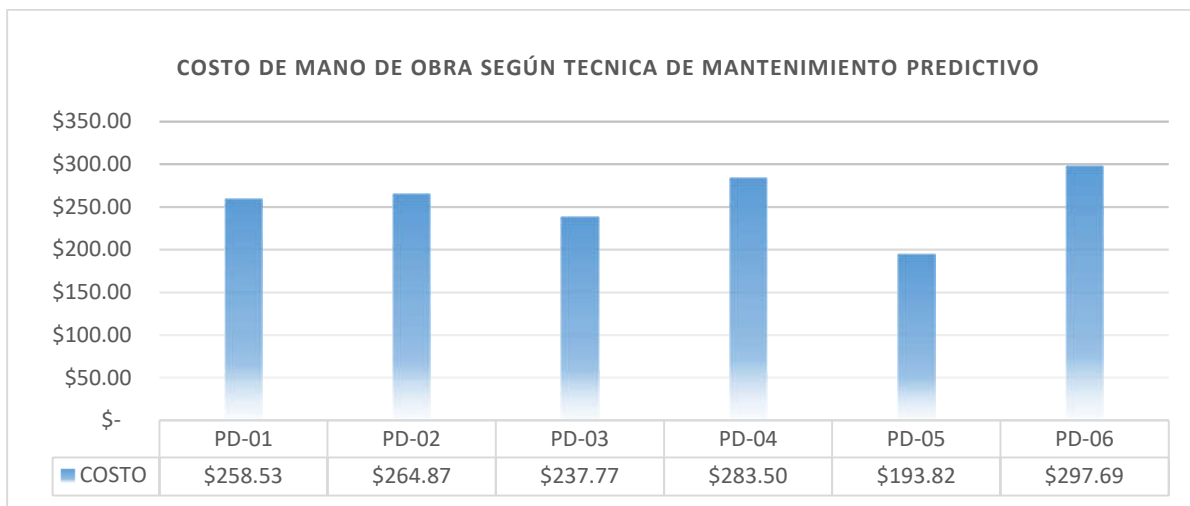
PD-01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DE VANADO	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		1.5
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5			1.5	0.4	4.9
	1.3 Análisis información	1	1			1		3
	1.4 Diseño plan ejecución						2	2
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1	0.3		2.3
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	1	1	2	2		0.6	6.6
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	0.5	0.5			3
4	Proceso de medición	1	1					2
5	Análisis de resultados			1	1	0.4	0.3	2.7
6	Normalizar equipo a operación convencional	0.4	0.4	0.5	0.5			1.8
7	Emisión informe	1	1			0.4		2.4
8	Comunicación de recomendaciones a responsables	0.5	0.5	2	2			5
Total	Horas	7.9	7.9	7	7	4.1	3.3	37.2
Total	Costos	\$ 36.21	\$ 25.87	\$ 45.84	\$ 41.25	\$ 48.33	\$ 61.03	\$ 258.53

De la misma manera el costo de las 6 técnicas de mantenimiento predictivo ha sido resumido en la Tabla 24 y la Gráfica 7 representa el costo de las técnicas; es posible apreciar que el tiempo estimado de la realización es similar en todas ellas por lo tanto el costo de mano de obra es similar con un promedio calculado de \$256.03

Tabla 24. Resumen de costos de mano de obra de cada técnica de mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

NOMENCLATURA	TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	COSTO
PD-01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DE VANADO	\$ 258.53
PD-02	ANÁLISIS DE VIBRACIONES	\$ 264.87
PD-03	ANÁLISIS FRECUENCIAL	\$ 237.77
PD-04	ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	\$ 283.50
PD-05	ANÁLISIS QUÍMICO	\$ 193.82
PD-06	ANÁLISIS DE ACEITES	\$ 297.69

Una observación que se considera en el caso del mantenimiento predictivo, es la subcontratación del análisis de aceite debido a los requerimientos que dicho procedimiento tiene, específicamente, la realización del estudio bajo estándares internacionales (Organización Internacional para la Estandarización (ISO), 2005) demanda costes e instalaciones que considerando la magnitud del plan de mantenimiento, no se consideran suficientes como para implementar dicho sistema de gestión de calidad en las instalaciones locales de laboratorio.



Gráfica 7. Costos de mano de obra de la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

Se considera que la CG cuenta con todos los equipos necesarios para aplicar las técnicas de mantenimiento predictivo, además del personal con experiencia y capacitado, a excepción del análisis de aceite que se ha considerado tercerizar, por lo tanto, se plantean las siguientes hipótesis: Tomar como referencia el costo del instrumento como compra nueva, incluyendo los costos por gastos de envío y demás impuestos. Una vida útil de 10 años y su respectivo cálculo dividido en años, meses, semanas y días.

Técnicamente no es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera establecer como hipótesis un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual. La Tabla 25 muestra un valor de adquisición nueva de \$30,000 por lo tanto el costo anual sería de \$3,000 y el 1% del costo anual sería de \$30; este último será el costo que se considera como “costo de utilización”.

Tabla 25. Costo de utilización de instrumento para medición de aislamiento de devanado (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

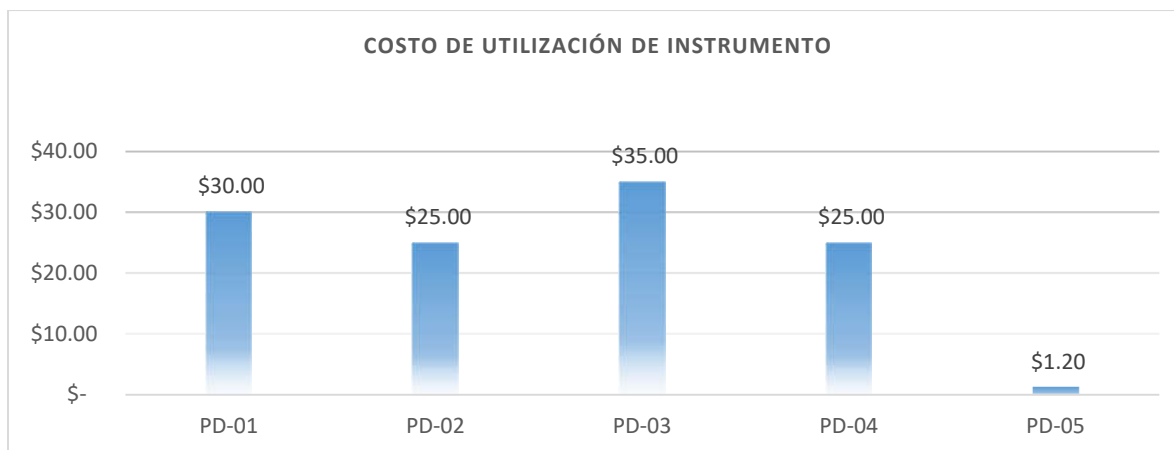
PD-01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DEVANADO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Costo Compra Nueva			
				Anual	Mensual	Semanal	Diario
1	Megaohmetro (MEGGER)	\$ 30,000.00	10	\$ 3,000.00	\$ 250.00	\$ 57.69	\$ 8.33

PD-01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DEVANADO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Equipo existente			
				Anual	Mensual	Semanal	Diario
1	Megaohmetro (MEGGER)				\$ 30.00		

Tabla 26. Costo de utilización de instrumento (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

NOMENCLATURA	TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	COSTO
PD-01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DEVANADO	\$ 30.00
PD-02	ANÁLISIS DE VIBRACIONES	\$ 25.00
PD-03	ANÁLISIS FRECUENCIAL	\$ 35.00
PD-04	ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	\$ 25.00
PD-05	ANÁLISIS QUÍMICO	\$ 1.20

La Tabla 26 muestra el resumen del costo de utilización de los equipos necesario para las primeras 5 técnicas, mientras que el análisis de aceite se ha considerado la subcontratación de una empresa especialista en el área cuyo costo por cada prueba será de \$400.00, dicho monto incluirá el costo de mano de obra y utilización del equipo. La Tabla 26 representa los costos de utilización de cada instrumento por cada vez que se haga la respectiva técnica de mantenimiento predictivo.



Gráfica 8: Costo de utilización de instrumento según técnica de mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

En la Tabla 27 muestra un resumen de los costos totales (mano de obra y costo de instrumentos) de las técnicas de mantenimiento; sin embargo, para determinar el costo total del plan de mantenimiento preventivo, es necesario tomar en cuenta la frecuencia de intervención. En la Tabla 28 se describe un extracto del plan de mantenimiento

Tabla 27. Costo de realización de las técnicas de mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	Nomenclatura	TOTAL	Costos	
			Mano de Obra	Instrumentos
MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DEVANADO	PD-01	\$ 288.53	\$ 258.53	\$ 30.00
ANÁLISIS DE VIBRACIONES	PD-02	\$ 289.87	\$ 264.87	\$ 25.00
ANÁLISIS FRECUENCIAL	PD-03	\$ 272.77	\$ 237.77	\$ 35.00
ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	PD-04	\$ 491.83	\$ 283.50	\$ 208.33
ANÁLISIS QUÍMICO	PD-05	\$ 195.02	\$ 193.82	\$ 1.20
ANÁLISIS DE ACEITES	PD-06	\$ 400.00	\$ -	\$ -

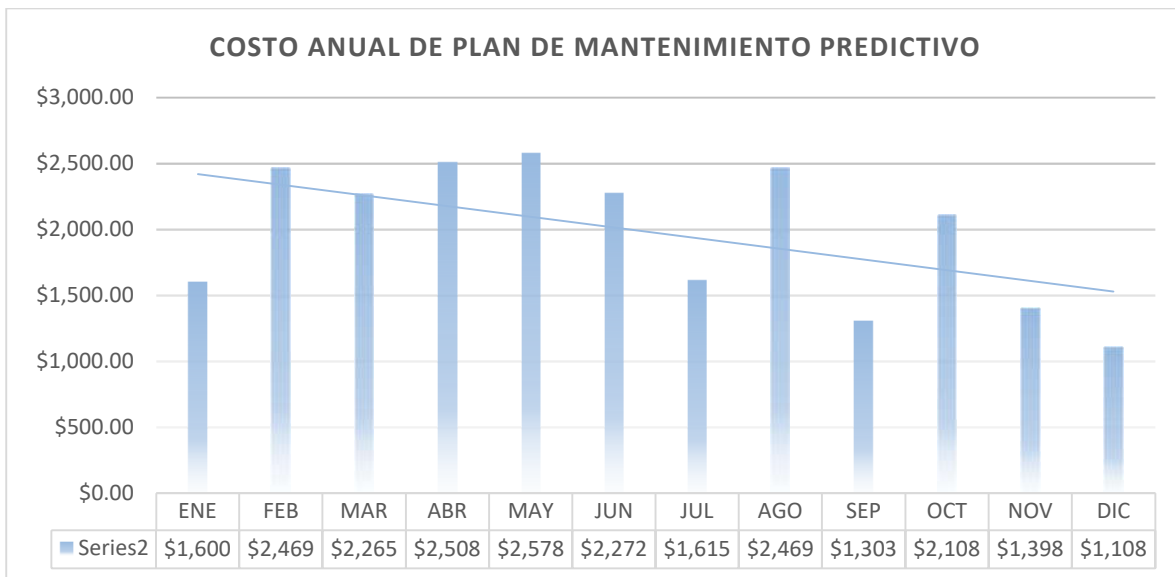
Tabla 28. Extracto de plan de mantenimiento predictivo (Anexo 4: Cronograma de mantenimiento predictivo)

MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO												
CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
FALLO MOTOR	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR	8												
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	9												
		FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE	10												
		DESALINEACIÓN CONJUNTO	PERSONAL MAL CAPACITADO	11												
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	12												
	MAL MONTAJE			13												

La Tabla 29 es un resumen de los costos por mes para implementar los planes de mantenimiento y la Gráfica 9 es una representación de los costos de la implementación del plan de mantenimiento predictivo donde el mes que representa mayor costo económicamente es mayo y el menor es septiembre. El costo total asciende a **\$23,699.46** dólares al año.

Tabla 29. Resumen de costo anual de implementación de plan de mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

FALLOS FUNCIONALES	PLAN DE MANTENIMIENTO												TOTALES ANUALES
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
LA BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA	\$1,054.47	\$852.51	\$562.64	\$1,344.34	\$289.87	\$562.64	\$1,343.00	\$852.51	\$562.64	\$1,344.34	\$289.87	\$562.64	\$9,621.49
LA BOMBA CENTRIFUGA GIRA	\$545.55	\$835.42	\$1,303.21	\$272.77	\$1,106.85	\$818.32	\$272.77	\$835.42	\$740.57	\$272.77	\$818.32	\$545.55	\$8,367.51
PRESIÓN MAYOR	\$0.00	\$491.83	\$0.00	\$491.83	\$0.00	\$491.83	\$0.00	\$491.83	\$0.00	\$491.83	\$0.00	\$0.00	\$2,459.15
CAUDAL MENOR	\$0.00	\$289.87	\$400.00	\$400.00	\$689.87	\$400.00	\$0.00	\$289.87	\$0.00	\$0.00	\$289.87	\$0.00	\$2,759.48
CAUDAL MAYOR	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$491.83	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$491.83
FUGA DE AGUA	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$491.83	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$491.83
TOTALES MENSUALES	\$1,600.02	\$2,469.63	\$2,265.85	\$2,508.95	\$2,578.42	\$2,272.79	\$1,615.77	\$2,469.63	\$1,303.21	\$2,108.95	\$1,398.06	\$1,108.19	\$23,699.46



Gráfica 9. Costo anual de plan de mantenimiento predictivo (Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo)

Costo de plan de Mantenimiento Preventivo por Inspección

Las técnicas de mantenimiento preventivo por inspección, evaluadas en la matriz de decisiones que serán utilizadas en las bombas centrífugas son 8, descritas a mayor detalle con su respectivo instrumento en la Tabla 30. A continuación, se detallan los costos separados en “costos de mano de obra” y “costos de utilización del instrumento”. Para cada técnica de mantenimiento debe realizarse un plan del tiempo estimado, es decir, cuentas horas se requieren para cumplir con la técnica, deberá ser lo más cercano posible a la aplicación real.

Tabla 30. Técnicas a utilizar en el mantenimiento preventivo por inspección (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN			
Código	Técnica Preventiva	Instrumento	Instrumento (real)
PDI-01	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	Amperímetro	Fluke 376 FC
PDI-02	INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES	Accesorios visuales	Thrunite TH30
PDI-03	INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA	Accesorios visuales y de limpieza	Thrunite TH30 + Kit de Limpieza
PDI-04	INSPECCIÓN ESTROBOSCÓPICA	Estroboscopio	Extech 461830-NIST
PDI-05	INSPECCIÓN VISUAL	Accesorios visuales	Thrunite TH30
PDI-06	MEDICIÓN DE RPM	Tacómetro	Extech RPM33
PDI-07	MEDICIÓN DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	Multímetro	Fluke 87V
PDI-08	INSPECCIÓN VISUAL CON MAGNIFICACIÓN	Accesorios visuales	Thrunite TH30 + BAUSCH & LOMB 81-61-31

La Tabla 31 detalla el tiempo estimado que tardará cada persona involucrada en el proceso de “MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES” (PDI-01), la suma de las horas ha sido multiplicada por el costo por hora detallado en la Tabla 13. El costo total de la realización de la técnica predictiva asciende a un monto de \$ 213.46 cada vez que se haga.

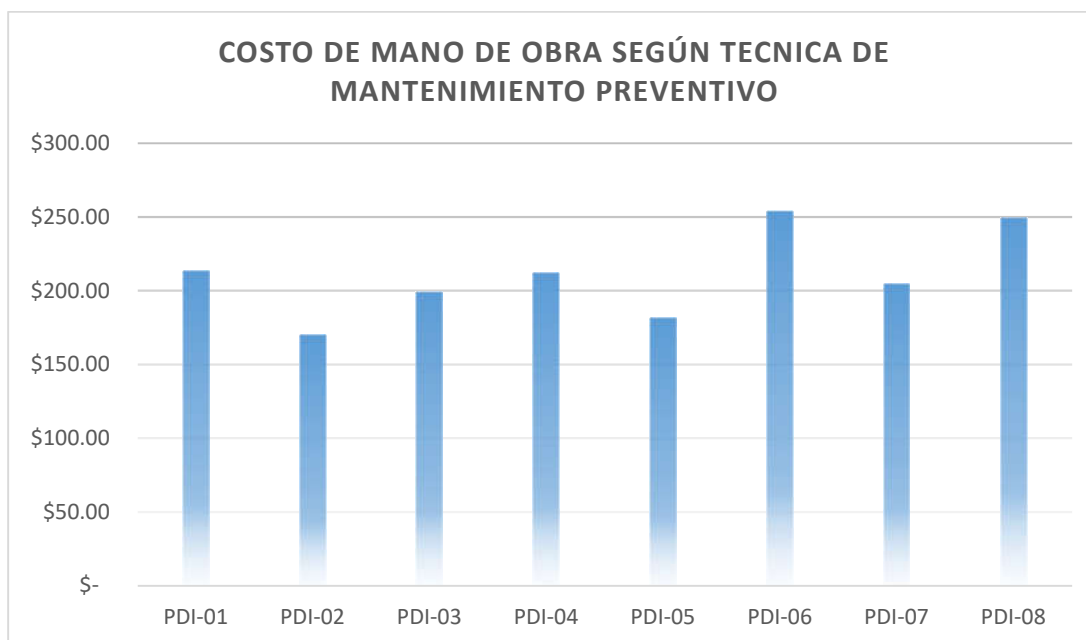
Tabla 31. Tiempo estimado de aplicación de técnica preventivo por inspección “medición de aislamiento de devanado” (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

PDI-01	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		1.5
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5			2	1	6
	1.3 Análisis información	1	1			0.5		2.5
	1.4 Diseño plan ejecución						1	1
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			0.5	0.5	0.5		1.5
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	0.5		0.5			2	3
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5		0.5				1
4	Proceso de medición	0.5						0.5
5	Análisis de resultados			1		1		2
6	Normalizar equipo a operación convencional							0
7	Emisión informe			1		1		2
8	Comunicación de recomendaciones a responsables			1		1		2
Total	Horas	4.5	3	4.5	0.5	6.5	4	23
Total	Costos	\$ 20.63	\$ 9.82	\$ 29.47	\$ 2.95	\$ 76.62	\$ 73.98	\$ 213.46

El costo de las ocho técnicas ha sido resumido en la Tabla 32 y la Gráfica 10 representa el costo general; es posible apreciar que el tiempo estimado de la realización es similar en ellas, por lo tanto el costo de mano de obra es similar con un promedio calculado de \$210.29

Tabla 32. Resumen de costos de mano de obra de cada técnica de mantenimiento preventivo por inspección (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

Código	Técnica Preventiva		
PDI-01	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	\$	213.46
PDI-02	INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES	\$	169.92
PDI-03	INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA	\$	198.81
PDI-04	INSPECCIÓN ESTROBOSCÓPICA	\$	211.66
PDI-05	INSPECCIÓN VISUAL	\$	181.75
PDI-06	MEDICIÓN DE RPM	\$	253.56
PDI-07	MEDICIÓN DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	\$	204.34
PDI-08	INSPECCIÓN VISUAL CON MAGNIFICACIÓN	\$	248.87



Gráfica 10. Costos de mano de obra de la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

La Central Geotérmica cuenta con los equipos necesarios para aplicar las técnicas de mantenimiento preventivo detalladas anteriormente, además del personal con experiencia y capacitado; para ninguna de estas técnicas se ha considerado que necesite la subcontratación, por lo tanto, se plantean las siguientes hipótesis:

- Considerar como referencia el costo del instrumento como compra nueva, incluyendo los costos por gastos de envío y demás impuestos.
- Una vida útil de 10 años y su respectivo cálculo dividido en años, meses, semanas y días.

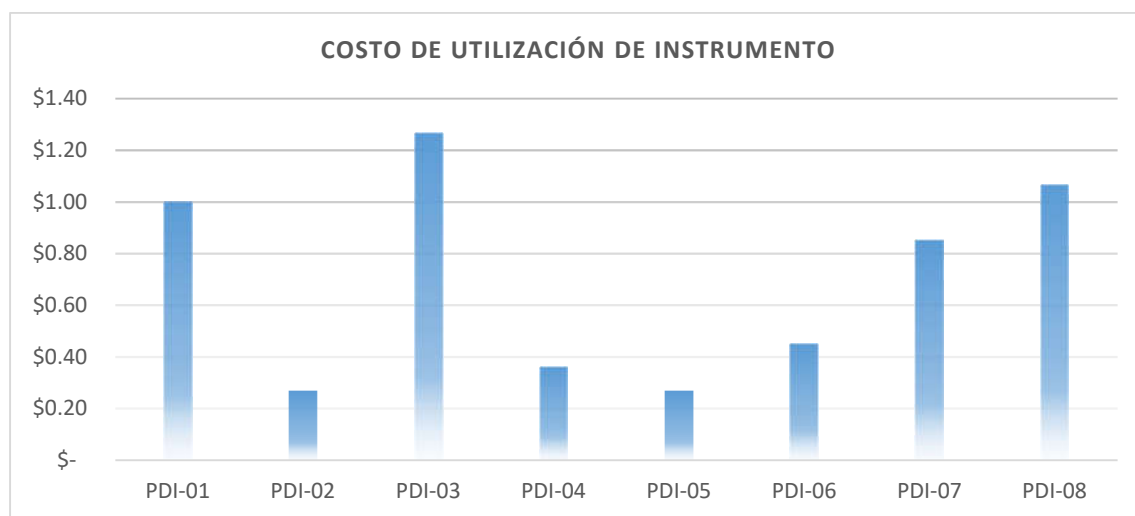
Tabla 33. Costo de utilización de instrumento para medición de corriente de fases (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

PDI-01	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Tenaza Amperimétrica	\$ 1,000.00	10	\$ 100.00	\$ 8.33	\$ 1.92	\$ 0.28	\$ 1,000.00
Equipo existente								
PD-01	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Tenaza Amperimétrica				\$ 1.00			

Tabla 34. Costo de utilización de instrumento (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

Código	Técnica Preventiva		
PDI-01	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	\$	1.00
PDI-02	INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES	\$	0.27
PDI-03	INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA	\$	1.27
PDI-04	INSPECCIÓN ESTROBOSCÓPICA	\$	0.36
PDI-05	INSPECCIÓN VISUAL	\$	0.27
PDI-06	MEDICIÓN DE RPM	\$	0.45
PDI-07	MEDICIÓN DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	\$	0.85
PDI-08	INSPECCIÓN VISUAL CON MAGNIFICACIÓN	\$	1.07

La Tabla 34 muestra el resumen del costo de utilización de los equipos necesario para las técnicas preventivas por inspección, mientras que la Gráfica 11 detalla los costos por utilización de las técnicas; con el mayor de \$1.27 y el menor de \$0.27.



Gráfica 11. Costo de utilización de instrumento según técnica de mantenimiento preventivo por inspección (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

En la Tabla 35 es un resumen de los costos totales (mano de obra y costo de instrumentos) de las técnicas de mantenimiento; sin embargo, para determinar el costo total del plan de mantenimiento preventivo es necesario tomar en cuenta la frecuencia de intervención que ha sido establecida gracias al NPR en la Matriz de decisiones. En la Tabla 36 se describe un extracto del plan de mantenimiento

Tabla 35. Costo de realización de las técnicas de mantenimiento preventivo por inspección (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

MANTENIMIENTO PREDICTIVO	Nomenclatura	TOTAL	Mano de Obra	Instrumentos
MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	PDI-01	\$ 214.46	\$ 213.46	\$ 1.00
INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES	PDI-02	\$ 170.19	\$ 169.92	\$ 0.27
INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA	PDI-03	\$ 200.08	\$ 198.81	\$ 1.27
INSPECCIÓN ESTROBOSCÓPICA	PDI-04	\$ 212.02	\$ 211.66	\$ 0.36
INSPECCIÓN VISUAL	PDI-05	\$ 182.01	\$ 181.75	\$ 0.27
MEDICIÓN DE RPM	PDI-06	\$ 254.01	\$ 253.56	\$ 0.45
MEDICIÓN DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	PDI-07	\$ 205.19	\$ 204.34	\$ 0.85
INSPECCIÓN VISUAL CON MAGNIFICACIÓN	PDI-08	\$ 249.93	\$ 248.87	\$ 1.07

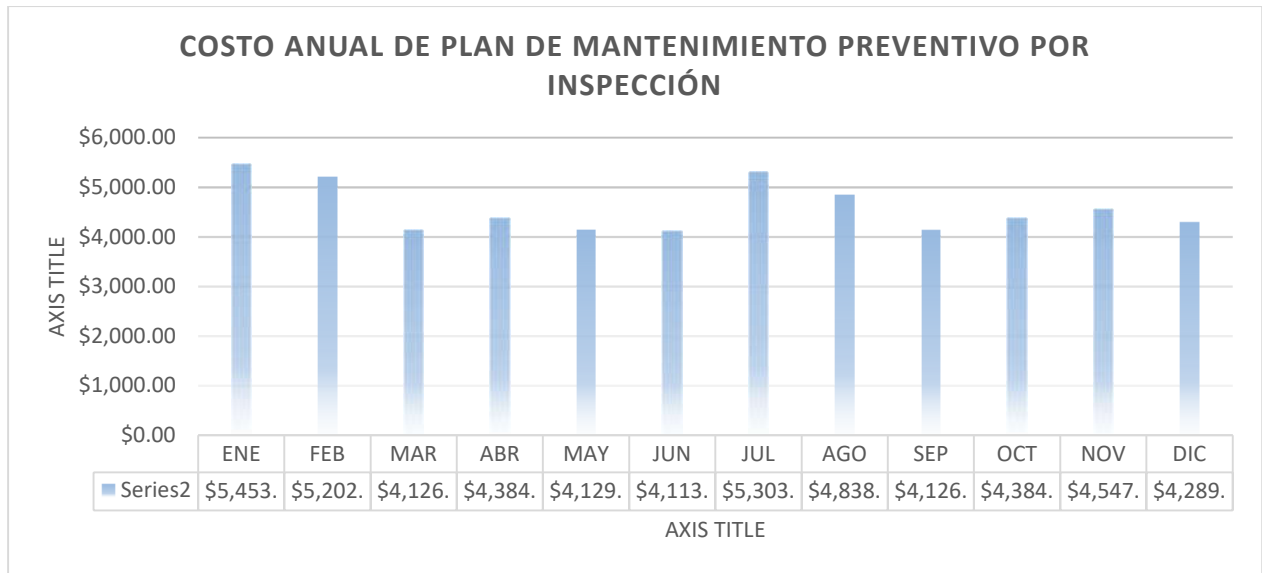
Tabla 36. Extracto de plan de mantenimiento predictivo (Anexo 6: Cronograma de mantenimiento preventivo por inspección)

MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO												
CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
FALLO MOTOR	EL MOTOR FUNCIONA SOLO CON DOS FASES	FALLO DEL MOTOR DEVANADO	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO	1												
			SOBRECARGA DE MOTOR	2	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	PDI-01	
		FALLO DE CONEXIONES EN EL MOTOR	CONEXIÓN ELÉCTRICA INADECUADA	3	PDI-02							PDI-02				
			DANOS POR CORROSIÓN	4			PDI-02						PDI-02			
	FALLO DE VENTILACIÓN	OBTURACIÓN DE REJILLA FILTRO	MAL MANTENIMIENTO	5	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03	PDI-03
			FATIGA EN ASPAS	6	PDI-05			PDI-05				PDI-05			PDI-05	
		ROTURA DEL VENTILADOR	INGRESO DE MATERIAL A LAS ASPAS	7		PDI-03			PDI-03			PDI-03			PDI-03	
	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR	8												
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	9												
		FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	10												
			DESALINEACIÓN CONJUNTO	11												
		MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO	12												
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	13												

Con base en el AMFEC el plan de mantenimiento está separado según los posibles fallos funcionales, por lo tanto, los costos totales de realización de cada técnica de mantenimiento dependerán de la frecuencia necesaria de aplicación. La Tabla 37 es un resumen de los costos por mes y la Gráfica 12 es una representación de los costos de la implementación del plan de mantenimiento preventivo por inspección donde el mes económicamente con más costos es julio y el menor es marzo. El costo total asciende a \$54,898.11 dólares americanos al año.

Tabla 37. Resumen de costo anual de implementación de plan de mantenimiento preventivo (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

FALLOS FUNCIONALES	PLAN DE MANTENIMIENTO												TOTALES ANUALES
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
LA BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA	\$1,527.23	\$1,411.24	\$1,559.67	\$1,539.05	\$1,411.24	\$1,387.05	\$1,527.23	\$1,411.24	\$1,559.67	\$1,539.05	\$1,611.31	\$1,375.10	\$17,859.06
LA BOMBA CENTRIFUGA GIRA	\$2,651.74	\$2,516.83	\$2,203.04	\$2,117.53	\$1,625.69	\$2,362.00	\$2,651.74	\$2,516.83	\$2,203.04	\$2,117.53	\$2,025.85	\$2,550.13	\$27,541.96
PRESIÓN MAYOR	\$728.05	\$364.02	\$0.00	\$364.02	\$728.05	\$0.00	\$578.48	\$364.02	\$0.00	\$364.02	\$546.04	\$0.00	\$4,036.72
PRESIÓN MENOR	\$0.00	\$546.04	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$182.01	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$728.05
CAUDAL MENOR	\$546.04	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$546.04	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$4,732.32
CAUDAL MAYOR	\$5,453.05	\$5,202.16	\$4,126.73	\$4,384.63	\$4,129.00	\$4,113.07	\$5,303.49	\$4,838.13	\$4,126.73	\$4,384.63	\$4,547.22	\$4,289.26	\$54,898.11
FUGA DE AGUA	\$546.04	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$546.04	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$364.02	\$4,732.32
TOTALES MENSUALES	\$5,453.05	\$5,202.16	\$4,126.73	\$4,384.63	\$4,129.00	\$4,113.07	\$5,303.49	\$4,838.13	\$4,126.73	\$4,384.63	\$4,547.22	\$4,289.26	\$54,898.11



Gráfica 12. Costo anual de plan de mantenimiento predictivo (Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección)

Costo de plan de Mantenimiento Preventivo por Acción Planificada

El cronograma de aplicación de este plan se encuentra en el Anexo 8: Cronograma de mantenimiento preventivo por acción planificada.

Las técnicas de mantenimiento preventivo por acción planificada evaluadas en la “Matriz de Decisiones”, que serán utilizadas en las bombas centrífugas son 22, para la correcta aplicación de ellas se necesitan las herramientas descritas en la Tabla 38; se indica el costo unitario y la expectativa de vida útil de cada una de ellas. El monto total asciende a \$433.75 que se conocerá como el costo de caja de herramientas con una vida útil estimada de 7 años.

Tabla 38: Herramientas a usar en el Mantenimiento por Acción Planificada (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)

Cantidad	Ítem	Precio	Vida Útil (Años)
1	Tenaza	\$ 55.00	10
1	Pinza	\$ 30.00	10
1	Cuchilla	\$ 6.00	5
1	Juego de desarmadores (normales)	\$ 25.00	10
1	Juego de desarmadores (Finos)	\$ 7.00	5
1	Rollo de cinta aislante #33	\$ 3.00	1
1	Rollo de cinta aislante #27	\$ 5.00	1
1	Rollo de cinta aislante #23	\$ 18.00	1
1	Caja metálica para las herramientas	\$ 40.00	10
1	Cinta métrica	\$ 5.00	5
1	Juego de llaves Allen milímetros	\$ 9.00	10
1	Juego de llaves Allen pulgadas	\$ 9.00	10
1	Juego de llaves fijas milímetros	\$ 15.00	10
1	Juego de llaves fijas pulgadas	\$ 15.00	10
1	Juego de cubos de milímetros hasta 1/2	\$ 25.00	10
1	Juego de cubos de pulgadas hasta 1/2	\$ 25.00	10
1	Marco con cierra	\$ 12.00	5
1	Perica (tenaza de corte lateral)	\$ 15.00	10
1	martillo de oreja	\$ 13.00	10
1	Probador de corriente	\$ 3.00	5
1	Multímetro digital	\$ 30.00	5
1	Juego de brocas pequeñas	\$ 22.00	5
1	Juego de punzones	\$ 15.00	10
1	Centro punto (para marcar)	\$ 2.50	10
1	Juego de marcadores	\$ 2.00	1
1	Lápiz	\$ 0.25	1
1	Lámpara manual	\$ 15.00	10
1	Cautín	\$ 5.00	8
1	Estaño	\$ 1.00	1
1	Pasta para soldar	\$ 3.00	3
1	Cinzel 1/4	\$ 3.00	10

La Tabla 39 detalla el tiempo estimado que tardará cada persona involucrada en el proceso de “CAMBIO DE ASPAS” cuya nomenclatura son las siglas del plan de mantenimiento y el respectivo número de técnica

(PDP-01), la suma de las horas ha sido multiplicada por el costo por hora detallado en la Tabla 21. El costo total de la realización de esta técnica preventiva asciende a un monto de \$ 331.99 cada vez que se haga.

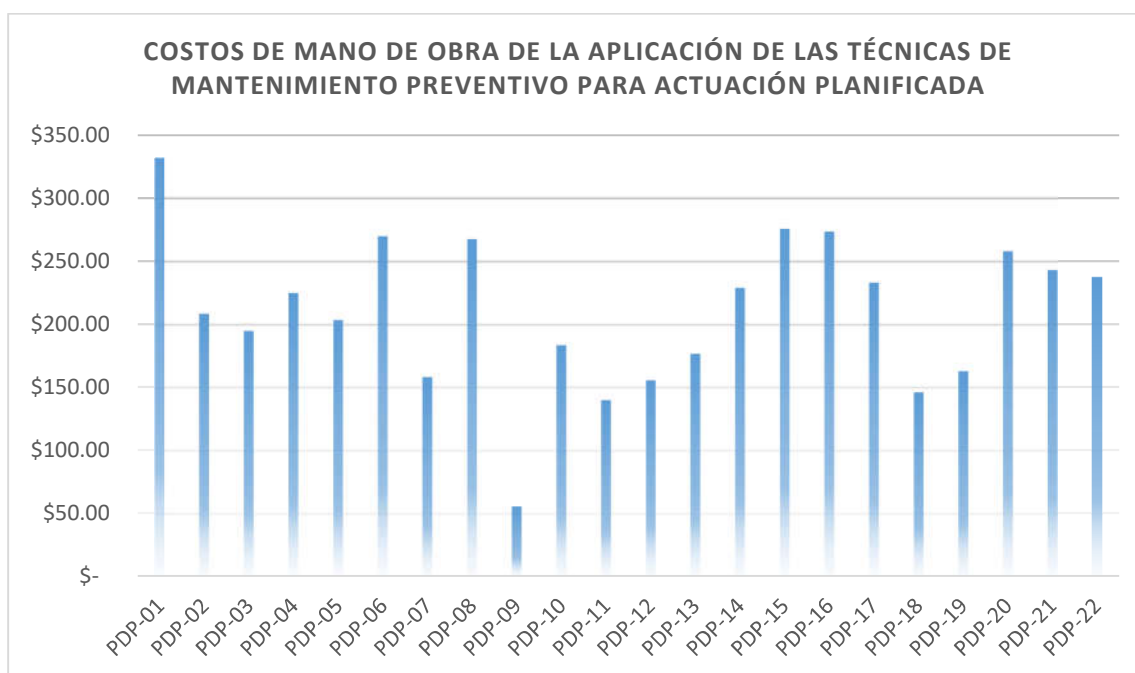
Tabla 39: Tiempo estimado de aplicación de técnica preventiva por actuación planificada “Cambio de aspas” (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)

PDP-01 CAMBIO DE ASPAS		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades			0.5	0.5	1		2
	1.2 Recogida y envío información			1	1	1	1	4
	1.3 Análisis información					2	0.5	2.5
	1.4 Diseño plan ejecución					2	0.5	2.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina					1		1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	2	2					4
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	2	2	1				5
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	1	1			4
4	Ejecución de tarea	4	4	4	4			16
5	Supervisión de trabajo realizado			0.5	0.5	0.5		1.5
6	Entrega de equipo intervenido			0.5	0.5			1
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1	1			2
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					2		2
Total	Horas	9	9	9.5	8.5	9.5	2	47.5
Total	Costos	\$ 41.25	\$ 29.47	\$ 62.21	\$ 50.09	\$ 111.98	\$ 36.99	\$ 331.99

Haciendo el mismo símil descrito en la Tabla 13, se identifica el costo de mano de obra estimado de cada una de las 22 técnicas de mantenimiento que se detalla en la Tabla 40; mientras que la Gráfica 13 representa el costos de las técnicas siendo la más costosa “cambio de aspas” con un costo de \$331.99 y un tiempo estimado de sumatoria del personal involucrado 47.5 horas. La técnica menos costosa es “cambio de baterías internas”, con un costo estimado de \$55.56 y un tiempo de sumatoria de 10 horas.

Tabla 40: Resumen de costos de mano de obra de cada técnica de mantenimiento preventivo por inspección (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)

NOMENCLATURA	TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	COSTO
PDP-01	CAMBIO DE ASPAS	\$ 331.99
PDP-02	INSPECCIÓN Y CAMBIO DE PIEZA	\$ 208.32
PDP-03	CAMBIAR ACEITE ENGRASAR	\$ 194.73
PDP-04	CAMBIO DE CLAVIJA EN LA REPARACIÓN	\$ 225.01
PDP-05	CAMBIO DE ELEMENTO ELÁSTICO	\$ 203.40
PDP-06	CAMBIO DE ANILLO DE SEGURIDAD	\$ 269.86
PDP-07	CAMBIO DE PARAMETRIZACIÓN	\$ 158.22
PDP-08	CAMBIO DE PLACA ELECTRÓNICA	\$ 267.58
PDP-09	CAMBIO DE BATERÍAS INTERNA	\$ 55.66
PDP-10	REAPRIETE DE PERNOS	\$ 183.43
PDP-11	REVISIÓN DE SEÑALIZACIÓN	\$ 139.89
PDP-12	REEMPLAZO DE VÁLVULA	\$ 155.60
PDP-13	MANTENIMIENTO DE VÁLVULA	\$ 176.64
PDP-14	RECALIBRACIÓN	\$ 229.10
PDP-15	MANTENIMIENTO TUBERÍAS	\$ 275.76
PDP-16	LIMPIEZA TUBERÍAS	\$ 273.55
PDP-17	REEMPLAZO SELLO DE VÁLVULA	\$ 232.95
PDP-18	LIMPIEZA FILTRO	\$ 146.11
PDP-19	CALIBRACIÓN INSTRUMENTACIÓN	\$ 163.05
PDP-20	LIMPIEZA DE ASPAS	\$ 258.03
PDP-21	REEMPLAZO SELLO MECÁNICO	\$ 243.10
PDP-22	REEMPLAZO DE EMPAQUES	\$ 236.88



Gráfica 13: Costos de mano de obra de la aplicación de las técnicas de mantenimiento preventivo para actuación planificada (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)

Las técnicas preventivas descritas anteriormente requieren herramientas básicas de aplicación industrial, por lo que se considera una caja de herramientas cuyo valor asciende a \$433.75 con promedio de vida útil estimada de 7 años (como se mencionó anteriormente). Las herramientas y repuestos para aplicar cada técnica han sido evaluados independientemente como se aprecia en la Tabla 41.

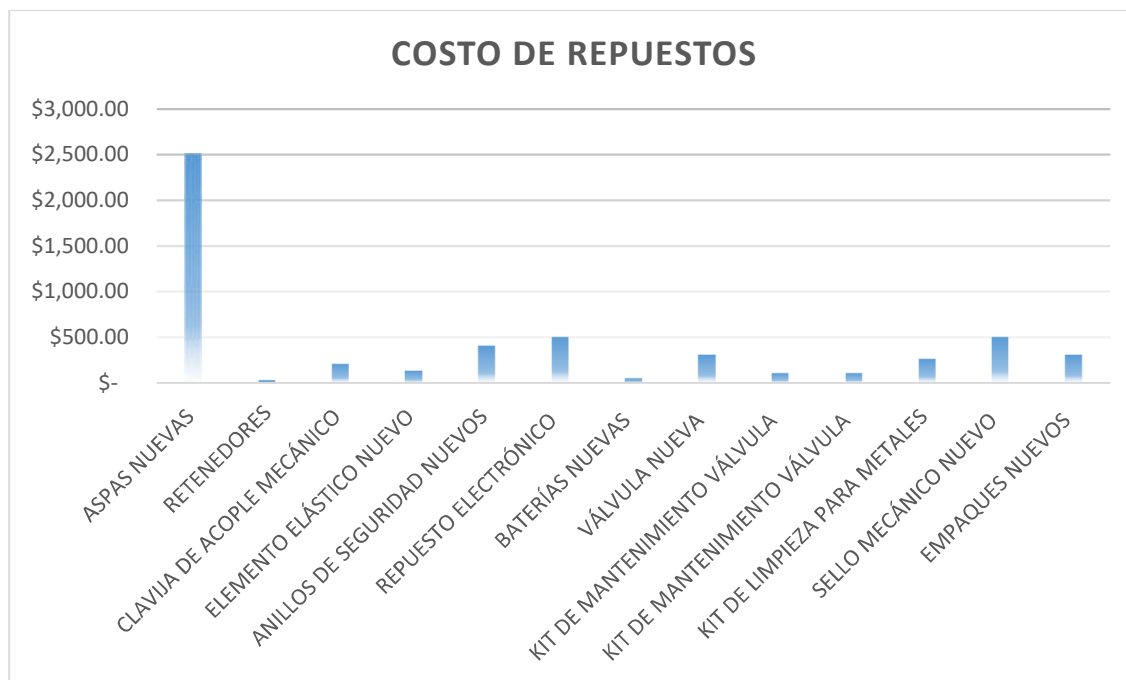
Tabla 41: Costo de implementación de técnica preventiva “cambio de aspás” (Anexo 8: Cronograma de mantenimiento preventivo por acción planificada)

PDP-01	CAMBIO DE ASPAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Torquimetro de 1/2" (150Lb).	\$ 55.00	5	\$ 11.00	\$ 0.92	\$ 0.21	\$ 0.03	
1	ASPAS NUEVAS	\$ 2 500.00		\$ 11.00				
Equipo existente								
PDP-01	CAMBIO DE ASPAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Torquimetro de 1/2" (150Lb).	\$ -	5		\$ 0.11			

La evaluación se realizó para cada una de las 22 técnicas, siendo las herramientas básicas parte del costo de utilización, con un valor promedio de \$0.58 que considera la depreciación de las herramientas por uso. En la evaluación se consideró la compra de repuestos nuevos para ser instalados. La Tabla 42 detalla los repuestos necesarios según la técnica a aplicar mientras que la Gráfica 14 ordena de mayor a menor el costo de los repuestos, siendo “aspas nuevas” la que representa el mayor costo con \$2,500.00 por cada cambio.

Tabla 42: Costo de repuestos (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)

	REPUESTO	COSTO
1	ASPAS NUEVAS	\$ 2 500.00
2	RETENEDORES	\$ 25.00
3	CLAVIJA DE ACOPLÉ MECÁNICO	\$ 200.00
4	ELEMENTO ELÁSTICO NUEVO	\$ 125.00
5	ANILLOS DE SEGURIDAD NUEVOS	\$ 400.00
6	REPUESTO ELECTRÓNICO	\$ 500.00
7	BATERÍAS NUEVAS	\$ 45.00
8	VÁLVULA NUEVA	\$ 300.00
9	KIT DE MANTENIMIENTO VÁLVULA	\$ 100.00
10	KIT DE MANTENIMIENTO VÁLVULA	\$ 100.00
11	KIT DE LIMPIEZA PARA METALES	\$ 256.00
12	SELLO MECÁNICO NUEVO	\$ 500.00
13	EMPAQUES NUEVOS	\$ 300.00

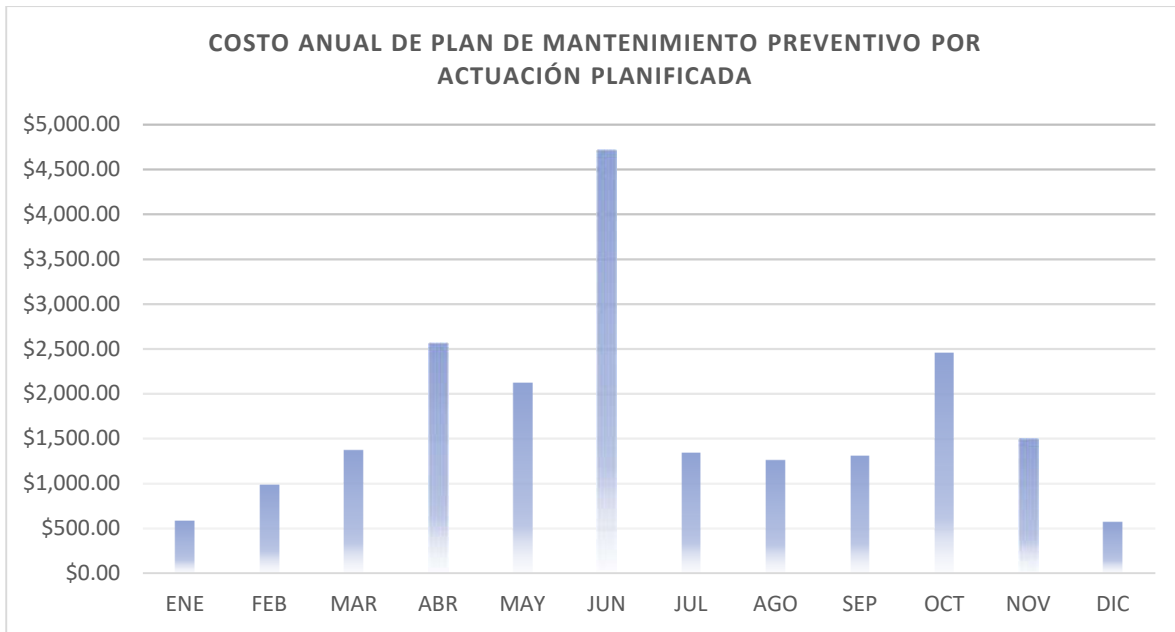


Gráfica 14: Costo de repuestos a implementar (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)

Con base en el “AMFEC” el plan de mantenimiento está separado según los posibles fallos funcionales, por lo tanto, los costos de realización de cada técnica de mantenimiento dependerán de la frecuencia necesaria. La Tabla 43 es un resumen de los costos por mes y la Gráfica 15 es una representación de los costos de la implementación del plan de mantenimiento preventivo por actuación planificada donde el mes con más costos económicamente es junio con \$4,717.79 y el menor es diciembre con \$565.55. El costo total asciende a \$20,755.19 dólares americanos al año.

Tabla 43: Resumen de costo anual de implementación de plan de mantenimiento preventivo (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)

FALLOS FUNCIONALES	PLAN DE MANTENIMIENTO												TOTAL ES ANUALES
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
LA BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA	\$0.00	\$234.75	\$468.70	\$652.89	\$1,002.94	\$3,066.85	\$526.94	\$234.75	\$468.70	\$670.50	\$234.75	\$234.75	\$7,796.51
LA BOMBA CENTRIFUGA GIRA	\$184.07	\$184.07	\$747.85	\$418.81	\$184.07	\$184.07	\$184.07	\$184.07	\$418.81	\$418.81	\$184.07	\$184.07	\$3,476.82
PRESIÓN MAYOR	\$0.00	\$398.59	\$0.00	\$576.40	\$398.59	\$0.00	\$229.74	\$672.77	\$277.27	\$456.24	\$539.11	\$0.00	\$3,548.68
PRESIÓN MENOR	\$398.59	\$0.00	\$146.74	\$398.59	\$0.00	\$723.14	\$398.59	\$0.00	\$146.74	\$398.59	\$0.00	\$146.74	\$2,757.70
CAUDAL MAYOR	\$0.00	\$163.69	\$0.00	\$514.67	\$537.51	\$743.74	\$0.00	\$163.69	\$0.00	\$514.67	\$537.51	\$0.00	\$3,175.47
TOTALES MENSUALES	\$582.65	\$981.09	\$1,363.29	\$2,561.36	\$2,123.11	\$4,717.79	\$1,339.33	\$1,255.27	\$1,311.52	\$2,458.80	\$1,495.43	\$565.55	\$20,755.19



Gráfica 15: Costo anual de plan de mantenimiento predictivo (Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada)

Costo Rediseño / Mejora

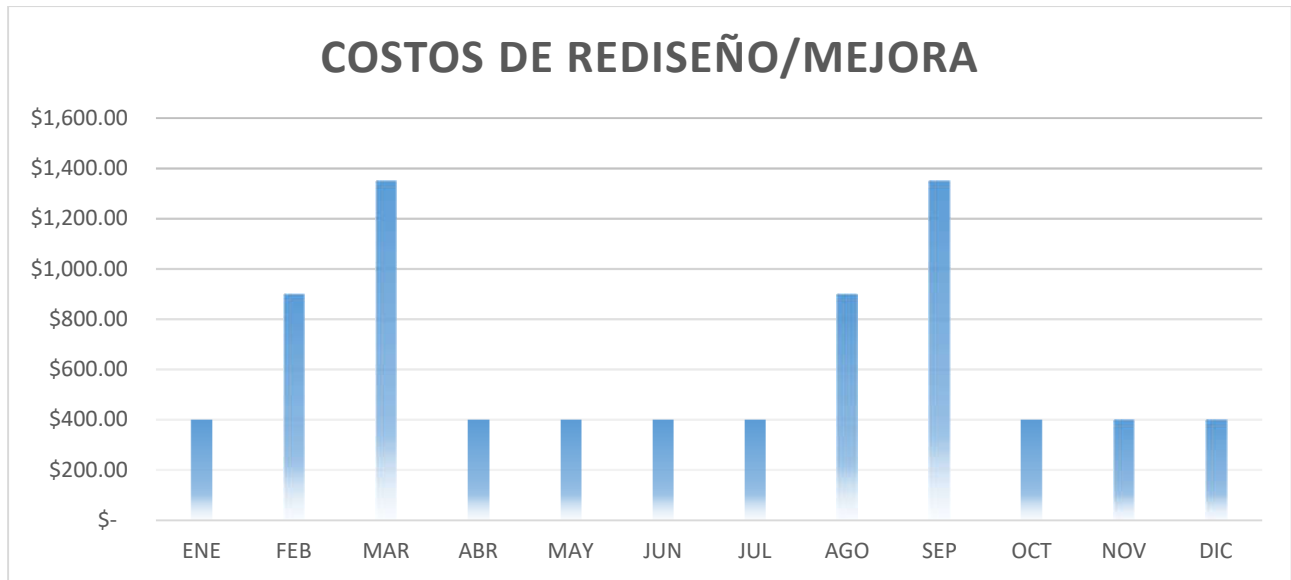
Durante la ejecución de la “Matriz de decisiones”, aparte de las técnicas de mantenimiento, es posible determinar algún rediseño o mejora que contribuya a evitar algunas de las fallas funcionales establecidas en el AMFEC. Una de las fallas funcionales más comunes fueron errores en la selección adecuada de repuestos y desconocimiento operativo por parte del personal, con propuestas que implican “capacitar al personal” en más de 20 ocasiones, por lo tanto, una propuesta de mejora es establecer capacitaciones permanentes a todo el personal involucrado en el mantenimiento del sistema de bombeo, por lo menos dos veces al año en áreas relacionadas a desarrollo técnico. Los departamentos involucrados son:

- Departamento mecánico
- Departamento eléctrico
- Instrumentación y control
- Operaciones
- Explotación
- Informática
- Mediciones
- Tratamiento de aguas

Otras propuestas de mejora involucran “auditar al proveedor”, “reunión con fabricante para cambio de controles” y “reunión con proveedor de químicos” (Tabla 44). El costo total estimado asciende a \$7,500 anuales. La Gráfica 16 representa que el estimado tendrá mayor costo en los meses de marzo y septiembre.

Tabla 44. Extracto de costos de rediseño/mejora (Anexo 10: Costo de plan de rediseño/mejora)

	ÁREAS	ENE	FEB	MAR
CAPACITACIÓN DEL PERSONAL	1. Departamento Mecánico	\$ 400.00		
Se considera capacitar al personal según su área de aplicación 2 veces al año	2. Departamento Eléctrico		\$ 400.00	
	3. Instrumentación y Control			\$ 400.00
	4. Operaciones			
	5. Explotación			
	6. Informática			
	7. Mediciones		\$ 400.00	
	8. Tratamiento de Aguas			\$ 400.00
AUDITAR PROVEEDOR				\$ 450.00
REUNIÓN CON FABRICANTE PARA CAMBIO DE CONTROLES			\$ 50.00	
REUNIÓN CON PROVEEDOR DE QUÍMICOS				\$ 50.00
		\$ 400.00	\$ 850.00	\$ 1,300.00



Gráfica 16. Costos de rediseño/mejora (Anexo 10: Costo de plan de rediseño/mejora)

3.3.3. Costo total de la implementación

El costo total de la implementación del plan de mantenimiento RCM relaciona directamente los 3 planes de mantenimiento descritos anteriormente, mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo por inspección y el mantenimiento preventivo por actuación planificada; además de la consideración de “rediseño/mejora”. La Tabla 45, detalla el costo total la implementación.

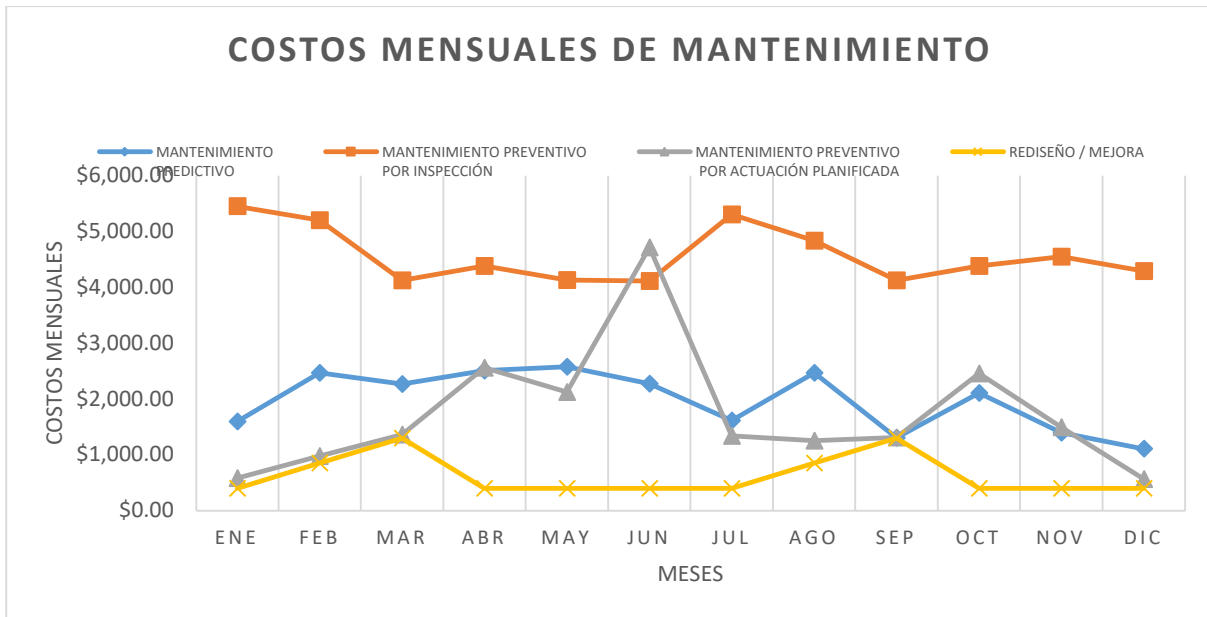
Tabla 45: Costo plan RCM (Figueroa, Soto, & Vargas, 2019)

TIPO DE MANTENIMIENTO /COSTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES ANUALES
MANTENIMIENTO PREDICTIVO	\$1 600.02	\$2 469.63	\$2 265.85	\$2 508.95	\$2 578.42	\$2 272.79	\$1 615.77	\$2 469.63	\$1 303.21	\$2 108.95	\$1 398.06	\$1 108.19	\$23 699.46
MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN	\$5 453.05	\$5 202.16	\$4 126.73	\$4 384.63	\$4 129.00	\$4 113.07	\$5 303.49	\$4 838.13	\$4 126.73	\$4 384.63	\$4 547.22	\$4 289.26	\$54 898.11
MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR ACTUACIÓN PLANIFICADA	\$582.65	\$981.09	\$1 363.29	\$2 561.36	\$2 123.11	\$4 717.79	\$1 339.33	\$1 255.27	\$1 311.52	\$2 458.80	\$1 495.43	\$565.55	\$20 755.19
REDISEÑO / MEJORA	\$400.00	\$850.00	\$1 300.00	\$400.00	\$400.00	\$400.00	\$400.00	\$850.00	\$1 300.00	\$400.00	\$400.00	\$400.00	\$7 500.00
													\$0.00
Total													\$106 852.76

El costo del mantenimiento predictivo asciende a un monto de \$23,699.46, el costo del mantenimiento preventivo por inspección asciende a un monto de \$54,898.11 y el costo del mantenimiento preventivo por actuación planificada a \$20,755.19. El rediseño y mejora, que involucra mayoritariamente a capacitaciones constantes, asciende a una cantidad de \$7,500.00. Las cantidades mencionadas se consideran anualmente y el costo total por bomba sería de **\$106,852.76**.

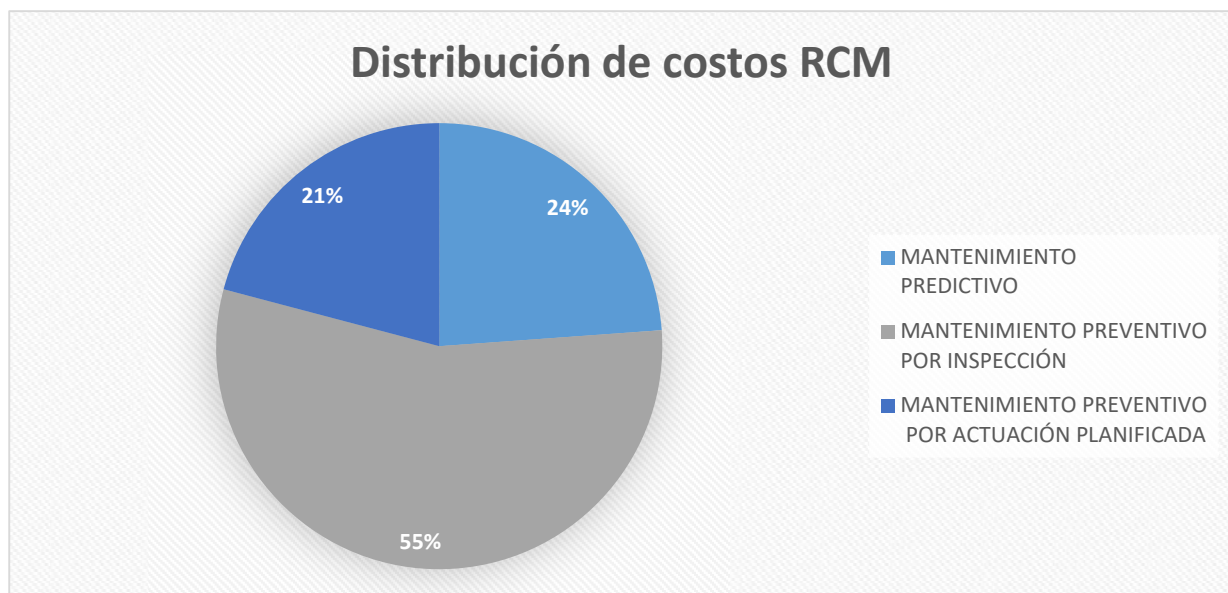
El costo total de plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM para el sistema de reinyección de agua geotérmica en estudio debe considerar que la sumatoria de los tres planes de mantenimiento asciende a una cantidad de \$99,352.76 que debe ser multiplicada por las cuatro bombas del sistema; como resultado se tiene que \$397,411.02 más el costo de rediseño/mejora, que es aplicado una sola vez e involucra a las cuatro bombas, se obtiene un resultado final de \$404,911.02. .

La Gráfica 17 representa los costos mensuales según cada plan de mantenimiento. La tendencia indica que el mantenimiento preventivo por inspección será el más costoso de los 3 con el mayor costo en julio y el menor en marzo; en segundo lugar, el mantenimiento predictivo con una tendencia relativamente constante a lo largo del año; seguido de cerca, con una diferencia que no supera el 15% en comparación con su predecesor, por el preventivo por actuación planificada con un alza considerable en el mes de junio debido al remplazo de las aspas del motor. El rediseño/mejora se mantiene relativamente constante a lo largo del año.



Gráfica 17: Costos mensuales RCM (Figuroa, Soto, & Vargas, 2019)

El costo de los 3 mantenimientos descrito previamente representa una implicación directa a la funcionalidad de la bomba centrífuga, la Gráfica 18 detalla los porcentajes de costos según el plan de mantenimiento. Con el 55% el preventivo por inspección es el más costoso, en segundo lugar, el predictivo con el 24% aproximadamente y en último lugar con el 21% aproximadamente el preventivo por actuación planificada.



Gráfica 18: Distribución de Costos (Anexo 10: Costo de plan de rediseño/mejora)

4. Beneficios esperados

4.1. Beneficios económicos

4.1.1. Costo de plan de mantenimiento actual

El plan de mantenimiento que actualmente se está utilizando en la CG para el sistema de bombeo es mayoritariamente preventivo, dividido en cuatro grupos:

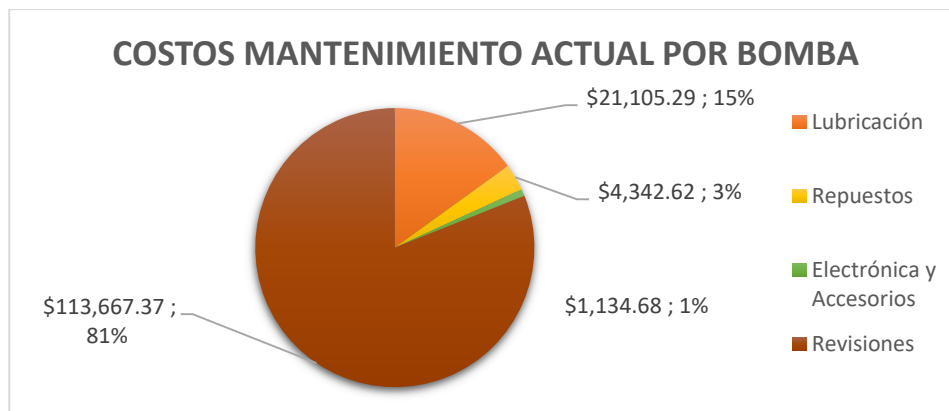
- Lubricación
- Repuestos
- Electrónica
- Revisiones

En la Tabla 46 se muestra un extracto del mantenimiento actual en función al tiempo estimado por actividad en relación al personal necesario, costos estimados de mano de obra, de herramientas y repuestos; por último, la frecuencia en que se aplica cada actividad.

Tabla 46. Extracto de plan de mantenimiento actual (Anexo 11: Plan de mantenimiento actual)

Categoria	Detalle	PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL								
		Horas y costo de mano de obra				Total Horas	Total Costo	Herramientas y repuestos	Frecuencia anual	Total
		Auxiliar 1	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Auxiliar 2					
Lubricación	Revisión de estado físico de aceite	1.5	\$ 6.88	1.5	\$ 4.91	4.50	\$ 21.61	\$ -	365	\$ 7 887.42
	Revisión de fugas de aceite en los sellos	2	\$ 9.17	2	\$ 6.55	6.00	\$ 28.16	\$ -	365	\$10 277.55
	Añadir aceite a aceiteras	1.5	\$ 6.88	1.5	\$ 4.91	3.00	\$ 11.79	\$ 50.00	12	\$ 741.44
	Limpieza de puertos de nivel de aceite	2	\$ 9.17	2	\$ 6.55	4.00	\$ 15.72	\$ 5.00	12	\$ 248.59
	Ajuste de nivel de aceite	1.5	\$ 6.88		\$ -	2.50	\$ 13.42	\$ 50.00	12	\$ 761.09
	Engrase general de bomba	9	\$ 41.25	9	\$ 29.47	41.00	\$ 248.34	\$ 100.00	2	\$ 696.68
	Reemplazo total de aceite	6	\$ 27.50	6	\$ 19.64	19.00	\$ 96.26	\$ 150.00	2	\$ 492.52

El costo del mantenimiento actual por bomba es de \$140,250 aproximadamente, considerando las 4 bombas y el costo administrativo del diseño del plan por las horas necesarias del personal responsable, cuyo monto estimado es de \$2,699.66 (Anexo 9: Costo Administrativo de creación de plan RCM). Tomando los puntos detallados el costo asciende a un total de \$561,000 aproximadamente. Con base en la Gráfica 19, es posible determinar que la gran mayoría, con un 81%, del costo total se debe a las revisiones con un monto estimado de \$113,667.37; el resto de montos se detalla en la Tabla 47.



Gráfica 19: Costos del mantenimiento actual (Anexo 11: Plan de mantenimiento actual)

Posterior a la implementación de la propuesta de mantenimiento basado en confiabilidad se estima que el porcentaje de mejora esperado para “Lubricación” sería del 15%, para “Repuestos” del 25% tomando en cuenta que la implementación del RCM contribuirá a la prolongación de la vida útil de los equipos, para “Electrónica y Accesorios” se estima un porcentaje no mayor al 5% y para “Revisiones” un porcentaje de mejora del 15%; los montos se reflejan en la Tabla 47. El monto total estimado de mejora asciende a \$ 21,358.29 por bomba.

Tabla 47. Costo de mantenimiento actual según categoría y porcentaje esperado de mejora (Anexo 11: Plan de mantenimiento actual)

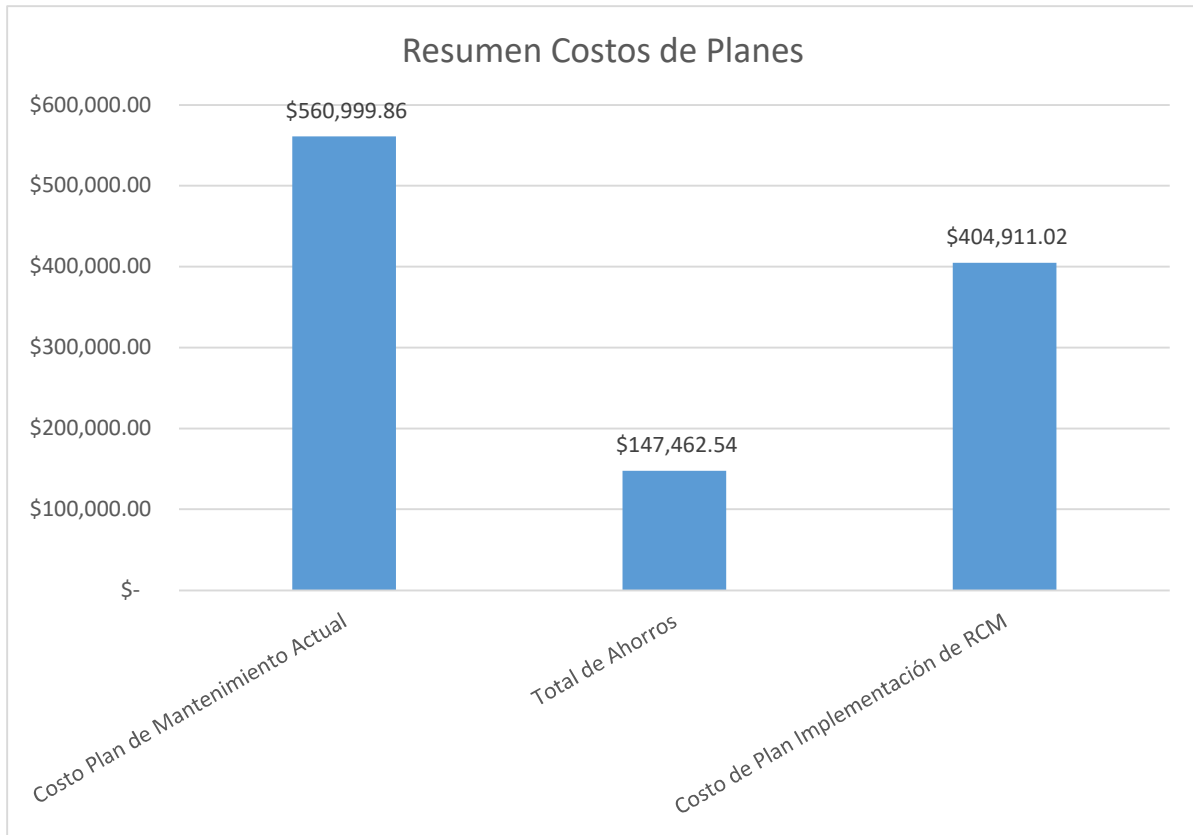
Costos según Categoría		Porcentaje estimado mejora	Monto de ahorro por Categoría
Lubricación	\$ 21,105.29	15%	\$ 3,165.79
Repuestos	\$ 4,342.62	25%	\$ 1,085.66
Electrónica y Accesorios	\$ 1,134.68	5%	\$ 56.73
Revisiones	\$ 113,667.37	15%	\$ 17,050.11
Total			\$ 21,358.29

Como parte de las estimaciones de mejora posterior a la implementación del mantenimiento RCM se espera un aumento de la eficiencia energética de la bomba de un 5% como hipótesis. La Tabla 48 detalla el ahorro de energía estimado, producto de mejores índices de consumo energético, resultado de una mejor alineación de los componentes de la bomba. Considerando un costo de MWh de \$112.88 (UT, 2018); el monto asciende a \$14,832.43 por bomba. El total de ahorros esperados por bomba es igual a \$36,190.72

Tabla 48. Ahorro energético por mejora de alineación (Anexo 11: Plan de mantenimiento actual)

Ahorro mejor alineación	Cantidad	Unidad
Potencia nominal:	300	kW
Tiempo de trabajo:	8760	h
Potencia anual consumida:	2628000	kWh
	2628	MWh
Precio operación nominal:	\$ 296,648.64	
Consumo de uso:	100%	
Consumo de uso hipótesis (mejora a):	95%	
Potencia hipótesis:	2496600	kWh
	2496.6	MWh
Precio operación hipótesis:	\$ 281,816.21	
Ahorro:	\$ 14,832.43	

El costo total del mantenimiento actual para las cuatro bombas del sistema es de \$ 560,999.86 y el total de ahorros asciende a un estimado de \$ 147,462.54 por lo tanto se considera un 26.29% de ahorro según el costo del mantenimiento actual.

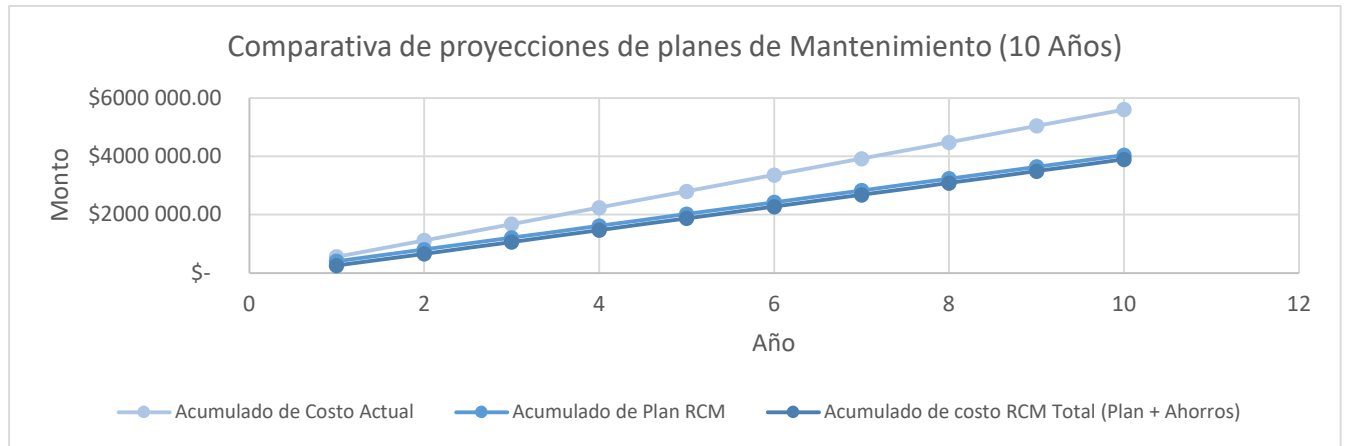


Gráfica 20: Comparativa de costos RCM vs Mantenimiento Actual

4.1.2. Reducción de costos

Detallado anteriormente, el costo del plan de mantenimiento actual para el sistema de bombeo, asciende a una cantidad de \$ 560,999.86 por año. La implementación del plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM, tendría un costo anual de \$ 404,911.02 que equivale a 27.8% menos en comparación con el costo de mantenimiento actual.

Para comparar el impacto de los costos de los planes, se observa cuál es el costo estimado que se acumulará en 10 años de funcionamiento del sistema. Ver Gráfica 21.



Gráfica 21: Proyecciones de costos acumulados

Al ver el comportamiento de los costos en la Gráfica 21, es evidente que al final de los 10 años los ahorros son significativos, aun sin tomar en cuenta un análisis más riguroso del valor del dinero en el tiempo.

4.1.3. Ahorros en mantenimiento

Como ya se ha mencionado, posterior a la implementación del plan RCM, los costos de mantenimiento actuales según cálculo se reducirían de manera significativa.

Tabla 49: Proyección de ahorros de plan de Mantenimiento

Costos según Categoría	Porcentaje estimado mejora		
Lubricación	\$ 21 105.29	15%	\$ 3 165.79
Repuestos	\$ 4 342.62	25%	\$ 1 085.66
Electrónica y Accesorios	\$ 1 134.68	5%	\$ 56.73
Revisiones	\$ 113 667.37	15%	\$ 17 050.11
Total	\$ 21 358.29		
Ahorro Energético			\$ 14 832.43
Total Ahorros *1 Bomba			\$ 36 190.72
Total Ahorros	4	Bombas	\$ 147 462.54

Los ahorros, detallados en la Tabla 49, se deben a mejores frecuencias de reemplazo de partes y aumento de la eficiencia en el uso de los recursos de mantenimiento. Con las actuales corrientes de uso eficiente de recursos y ahorro de energía que son muy útiles para contribuir a la reducción de los costos producción, pueden convertirse en parte importante de aprovechamiento de los recursos geotérmicos en la central.

4.1.4. Indicador de Costes: Costes de Indisponibilidad por Fallos (CIF)

Los costes de indisponibilidad por fallos (CIF) son un indicador que mide el impacto económico ocasionado por los efectos que trae consigo un modo de fallo en un período de tiempo específico. (Parra Marquez & Crespo Marquez, 2019)

$$CIF = FF \times MDT \times (CD + CP) \quad (5)$$

Dónde:

- FF = frecuencia de fallos = fallos/mes, fallos/año, etc.
- MDT = tiempo promedio fuera de servicio = horas/falla.
- CD = costos directos de corrección por fallos por hora = \$/hora (incluye los costes de materiales y mano de obra)
- CP = costes penalización por hora = \$/ hora (incluye los costes de oportunidad provocados por los eventos de fallos (paradas de plantas, retrasos de producción, productos deteriorados, baja calidad, retrabajo, impacto en seguridad, ambiente, etc.) (Parra Marquez & Crespo Marquez, 2019)

La frecuencia de falla fue determinada en el inicio del AMFEC con una escala de 1 a 10, siendo 1 una falla poco recurrente y 10 con una recurrencia alta. Con el propósito de facilitar la determinación del CIF cada FF evaluado se convirtió a frecuencia por año según la falla funcional.

EL MDT fue desglosado en “tiempo de diagnóstico” que considera el tiempo necesario para identificar la razón de la falla que involucran tiempos de puesta en seguridad, gestión del trabajo, autorizaciones administrativas, desmontaje, comprobación de avería montaje, supervisión pruebas, monitoreo de variables entre otros y el “tiempo efectivo de trabajo “que es el tiempo que se tomaría para reestablecer la funcionalidad.

El CD considera el costo de mano de obra por tiempo de trabajo que ha sido determinado por el salario del departamento de mantenimiento que está involucrado, directa o indirectamente, en la resolución de la anomalía; así como el costo de los materiales y repuestos que contempla la evaluación técnica, identificación en bodega, compra a proveedor de entrega inmediata o periodo que demoraría, el costo de envío, impuestos, transporte, entre otros.

El sistema de bombeo empleado para la disposición del agua geotérmica cuenta con 4 bombas centrifugas que están alternando, esto indica que cuenta con un sobredimensionamiento eficaz que permite funcionar con 3 bombas, además se estima que el 55% del flujo másico total puede ser reinyectado por gravedad, es decir, el sistema de puede trabajar con 2 bombas de ser necesario. Por lo tanto, un coste de penalización sería poco probable, así como de retrasos, o calidad pues el agua geotérmica podrá ser reinyectada. Sin embargo, la resolución de la falla deberá ser atendida a la brevedad y con una importancia muy alta, por lo que repercutirá, probablemente, en horas extras para el personal que estará trabajando en la solución. Por lo anterior se ha considerado como CP un estimado de horas extras del personal de mantenimiento.

Para el análisis del CIF se seleccionaron las fallas funcionales cuyo NPR resultó mayor a 100, evaluado previamente durante la elaboración del AMFEC, dando como sumatoria una cantidad de 16 fallas que fueron evaluadas siguiendo los parámetros establecidos en el CIF como la frecuencia de fallos, el tiempo promedio fuera de servicio, los costos directos de corrección por fallos y los costes de penalización. La Tabla 50 es una muestra de los parámetros considerados.

Tabla 50: Extracto de análisis de indicador CIF para fallas funcionales con NPR mayor a 100 (Anexo 12: Calculo de CIF)

MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE RIESGO			Factor de Frecuencia de Fallos (Incidencia/año)	MDT			CD		CP	CIF
CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD		N.P.R.	Tiempo de diagnóstico	Tiempo promedio fuera de servicio (horas/falla)	Tiempo Total	Costo de mano de obra por tiempo de trabajo (hora)	Costo de materiales y repuestos	Costos de generalización
FALLO MOTOR	RODAMIENTOS ATASCADOS	DESALINEACIÓN CONJUNTO		RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	NO	NO	SI	SI	NO	5	5	6	10	25	10	35	\$ 505.81	\$ 2,500.00	20.00	\$ 105,903.34

El CIF para las 16 fallas funcionales con NPR mayor a 100 suma una cantidad de \$837,741.29 donde la falla que menos costosa es el “DAÑO EN PISTAS DE TARJETA DE CIRCUITOS” con una cantidad de \$11,799.04 y el más costoso “ASPAS DE IMPULSOR DESBALANCEADAS” con una cantidad de \$243,498.77. La Gráfica 22 es una representación de los costos unitarios para cada falla.

El costo de la implementación del plan de mantenimiento basado en confiabilidad desarrollado previamente, asciende a una cantidad de \$404,911.02 para las cuatro bombas, mientras que el CIF para las fallas funcionales con NPR mayor a 100 asciende a una cantidad de \$837,741.29, es decir, más del doble del costo de la implementación del RCM.



Gráfica 22: CIF fallas funcionales con NPR mayores a 100. (Anexo 12: Calculo de CIF)

4.2. Reducción del riesgo operacional

El plan RCM tiene como base el análisis de la criticidad de los equipos y, por lo tanto, es un ataque directo a las potenciales fallas según su probabilidad de ocurrencia.

Considerando los resultados del AMFEC, la frecuencia y la naturaleza de las acciones de mantenimiento contribuyen a fomentar la robustez del sistema, y en particular, evitar las consecuencias de una potencial falla catastrófica en la planta

Una consecuencia directa de la reducción de riesgo es la influencia de este índice en los costos de aseguranza, ejemplo que es desarrollado a continuación.

4.2.1. Estudio de caso falla catastrófica

Evaluar los resultados de una falla es difícil, especialmente si es de tipo catastrófica. Son muchas las variables que tomar en cuenta y se ha encontrado poca o nula bibliografía sobre dichos incidentes.

Considerando esto, en esta sección del documento pretende establecer una línea de pensamiento que pone en contexto los potenciales costos de una falla grave, específicamente, una falla en donde hay afectación de infraestructura y pérdida de vida humana. Los valores presentados a continuación son resultados de estimaciones y entrevistas a profesionales del sector, no pretenden ser realidad, más bien un pronóstico.

El evento en sí, trata de la falla total del sistema de reinyección que lleva a la sobrecarga del tanque de captación de emergencia y a daños en las paredes de este, que causan un deslave y afectación a las propiedades aledañas a la CG. Además, podría comprometer la generación de energía eléctrica que repercutiría en la posibilidad de incumplir las metas de producción y por tanto abre la puerta a potenciales multas por incumplimiento.

Tabla 51: Costos de falla (Figueroa, Soto, & Vargas, 2019)

	Tipo	Descripción	Estimado (USD)
Costos directos	Económicos	Perdida de producción	\$ 4 721 996.16
		Pago de deducible seguro	\$ 23 123.46
		Multas por incumplimiento de contratos de producción	\$ 961 084.22
		Compensación por fallecimiento de personas	\$ 27 300 000.00
	Sociales	Gastos de respuesta frente a falla	\$ 300 000.00
Ambientales	Multas por contaminación	\$ 4 805 421.10	
Costos indirectos	Económicos	Perdida de contratos de generación	\$ 4 805 421.10
		Incremento de costo de aseguranza	\$ 205 099.24
	Sociales	Reparación de daños a instalaciones:	\$ 125 000.00
		Gastos en recuperación de imagen pública	\$ 961 084.22
	Ambientales	Gastos de recuperación ambiental futuros (Estimado a 5 años)	\$ 7 688 673.76
Total:			\$ 51 896 903.26

El proceso de estimación de los costos de la falla se detalla a continuación en la Tabla 52.

Tabla 52: Descripción de costos de falla (Figueroa, Soto, & Vargas, 2019)

Deglase de costos (Proyecciones):			
Perdidas de producción			
Tiempo de paro [h]	Costo por hora [USD/h]	Total [\$]	
504	9369.04	\$ 4,721,996.16	
Aseguranza			
Costo de póliza actual [USD/año]:	\$ 1,367,328.25		
Deducible [USD/evento]:	\$ 23,123.46		
Porcentaje de incremento prima en caso de falla catastrófica (Aprox.) [%]	15%		
Aumento de prima [USD]:	\$ 205,099.24		
Gastos de Mantenimiento			
Gastos de producción (2014) [USD]:	\$ 51,098,612.00		
Presupuesto anual de mantenimiento (Aprox.) [USD]:	\$ 3,000,000.00		
Gastos de respuesta a falla en función de presupuesto de Mantenimiento [USD]:	\$ 300,000.00	10.0%	
Multas y gastos futuros			
Utilidad neta(2014) [USD]:	\$ 96,108,422.00	Porcentaje de la utilidad neta	
Multas por contaminación:	\$ 4,805,421.10	5.0%	
Gastos de Relaciones Públicas:	\$ 961,084.22	2.0%	
Futuros costos relacionados a daños ambientales	\$ 7,688,673.76		
Reparación de daños a instalaciones:	\$ 125,000.00		
Multas por incumplimiento de contratos de producción	\$ 961,084.22	1.0%	
Perdidas asociadas a futuros contratos de producción perdidos	\$ 4,805,421.10	5.0%	

Posibles daños a instalaciones	
Concepto	Monto
Raparación de paredes de tanque	\$ 60,000.00
Pruebas estáticas de tanque	\$ 40,000.00
Reparaciones a perímetro de la planta	\$ 25,000.00
Total	\$ 125,000.00

Futuros costos relacionados a daños ambientales		
Concepto	Monto	Porcentaje de la utilidad neta
Proyectos de limpieza de fuga	\$ 961,084.22	1%
Proyectos de reforestación	\$ 1,922,168.44	2%
Compensación Económica a productores locales por pérdida de producción	\$ 4,805,421.10	5%
Total:	\$ 7,688,673.76	

Las cifras obtenidas se basan en los resultados económicos de empresas del rubro que comparten las características operativas de la CG.

Para establecer la gravedad del evento, se estiman daños en instalaciones de aproximadamente, \$125 000, paro de labores de 3 semanas y la pérdida de 3 vidas humanas, con un valor estimado de \$9.7 M cada una (Merrill, 2017) y un paro de funcionamiento de 3 semanas, que equivalen a 504 horas.

En términos de aseguranza, información consultada a corredores de seguro por el grupo sobre empresas de generación eléctrica, pone el valor de una póliza todo riesgo para maquinaria industrial con una prima de \$1,367 328.25 y un deducible de \$23 123.46 por evento. Para este ejercicio se usa esta cifra y se plantea un incremento de futuras primas de póliza del 15% que harían que los futuros pagos sean de \$204, 099.24.

Los gastos de mantenimiento son estimados de cifras proporcionadas por fuentes concededoras del tema y son usados para determinar la magnitud de las posibles reparaciones al tanque, además de los costos de respuesta a la emergencia.

Como conclusión al pronóstico, es recomendable estimar posibles multas y sanciones que pueden darse, especialmente en temas de contaminación y reparación de daños a terceros que pueden ser considerados como gastos indirectos al evento, pero que afectaran al desarrollo empresarial a largo plazo.

5. Conclusiones

- El volumen de equipos involucrados en el sistema de reinyección de agua geotérmica asciende a 686; el análisis de criticidad reveló que el 34.55% (237) se clasificaron como criticidad “baja”, el 64.87% (445) una criticidad media y únicamente el 0.58% (4) están clasificados con criticidad “muy alta” (Tabla 53). Los equipos con criticidad muy alta son las 4 bombas centrífugas en el sistema de bombeo. Considerando que las características y funcionamiento operativo son idénticos la evaluación general se hizo a una de ellas, es decir, analizar a una equivale a analizar las 4. El plan RCM propuesto está centrado en asegurar la cobertura del mantenimiento de estos equipos críticos.

Tabla 53. Resultados del análisis de criticidad

Análisis de probabilidades		[%]
Muy Alta	4	0.58%
Alta	0	0.00%
Media	445	64.87%
Baja	237	34.55%
Total Equipos	686	100.00%

- El plan de mantenimiento predictivo necesitará 6 técnicas cuya aplicación tendrá una frecuencia relativamente menor en comparación a las del mantenimiento preventivo. El análisis frecuencial tendría un periodo de aplicación de al menos 140 veces al año para las 4 bombas centrífugas.
- El plan de mantenimiento preventivo por inspección necesitará la aplicación de al menos 8 técnicas siendo la frecuencia comparativamente mayor a la del predictivo. La técnica preventiva que deberá ser aplicada con mayor frecuencia es la “Inspección Visual” con una cantidad de al menos 364 veces durante el año para las 4 bombas centrífugas.
- El plan de mantenimiento preventivo por actuación planificada necesitará la aplicación de al menos 22 técnicas, siendo una cantidad de técnicas mayor en comparación a los dos planes anteriores. Las técnicas con mayor frecuencia de aplicación serían “cambiar aceite/engrasar” y “reapriete de tornillos” con una aplicación de al menos 48 veces al año, considerablemente menor en comparación a las 364 veces de la inspección visual, aunque con una mayor demanda de recursos y tiempo del personal.
- El rediseño/mejora contempla únicamente actividades como capacitaciones técnicas, reuniones con fabricantes y auditoría a proveedores.
- Determinar el “riesgo” es una de las etapas más importantes al momento de evaluar los equipos y más aún, al momento de cuantificar económicamente las acciones relacionadas. Asimismo, es necesario tomar en cuenta el tiempo que se dedique a la verificación de cada equipo, pues hay tareas y actividades en las que la falta de experiencia o el desconocimiento pueden llevar a calcular datos que no son del todo exactos. Es por esto que se destaca la importancia del tiempo de evolución. Así al momento que el estudio arroje los equipos más críticos, se tenga la mayor certeza posible de que son estos los indicados para la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad.

- El mantenimiento basado en confiabilidad requiere de un dominio de una cantidad considerable de equipos para determinar la criticidad de ellos. Evaluar e identificar cuáles son los equipos más críticos en el sistema de reinyección de agua geotérmica es, por sí solo, uno de los mejores resultados obtenidos para el proceso, sin mencionar las ventajas que podría traer la implementación del RCM.
- El costo de indisponibilidad por fallos evaluado puede ser más del doble que el costo de la implementación del RCM. Del total de fallas funcionales, que suman 132, las que presentan un NPR mayor a 100 suman 16, es decir, únicamente con evaluar el 12% de las fallas funcionales más críticas implica **que el costo por indisponibilidad puede llegar a ser mas de doble que el costo de la implementación del RCM.**

6. Recomendaciones

- Actualmente el costo estimado del plan de mantenimiento para el sistema de bombeo asciende a una cantidad superior a \$560 mil por año. Con la implementación del plan de mantenimiento basado en confiabilidad desarrollado en este documento, se estima ahorros anuales cercanos a \$150 mil con un costo de implementación cercano a \$400 mil; es decir, implementar el RCM será menos costoso, económicamente, que el plan de mantenimiento actual y podría generar ahorros considerables.
- Es importante ordenar y clasificar el volumen de equipos a utilizar para poder analizarlos según los parámetros de criticidad independientemente y no generar confusiones a la hora de establecer las categorías de criticidad. Un error en la clasificación puede repercutir en el desarrollo de un AMFEC y planes de mantenimiento que no representen una correcta implementación de un mantenimiento basado en confiabilidad.
- El Análisis de Modos de Fallos Efectos y Criticidad deberá incluir la mayor cantidad de fallas funcionales posibles, entre más se incluyan mayor será la cantidad de formas de evitarlas, por lo tanto, aumentará las probabilidades que el mantenimiento cumpla su objetivo principal que es garantizar la funcionalidad del equipo, entre más se desarrolle el AMFEC, aumentará las probabilidades de tener mejores resultados.
- Referente a la implementación de los planes de mantenimiento, es recomendable realizar una evaluación diagnóstica que determine los equipos (herramientas) disponibles en el sitio de trabajo; con ellos podrá conocerse si se cuenta con los equipos necesarios para las técnicas de mantenimiento predictivo, así como herramientas básicas; además la evaluación deberá considerar las capacidades técnicas del personal para utilizar las técnicas mencionadas.
- Determinar adecuadamente el costo de la mano de obra del personal, ya que es fundamental para realizar una evaluación económica adecuada del plan de mantenimiento; considerando todas las técnicas descritas en el RCM, requieren horas de trabajo aparte del costo de utilización del equipo.
- Mantener las capacitaciones constantes a lo largo del año, separadas por categoría según el personal de interés a capacitar, esto contribuirá a mantener la implementación del RCM y evaluar adecuadamente los resultados.
- El éxito de la implementación del RCM dependerá directamente del seguimiento a cada técnica de mantenimiento; por lo tanto, una adecuada supervisión y compromiso por parte de los responsables es indiscutible.
- Se recomienda continuar con el análisis y expandirlo a toda la central geotérmica, posteriormente comparar con los presentados en este documento y determinar los puntos más débiles no solo operativamente sino también para el bienestar de la central, campo, personal y demás. *Una cadena es tan fuerte como su eslabón más débil (Thomas Reid)*

7. Referencias

- Axelsson, G. (2012). Role and Management of Geothermal Reinjection. *Short Course on Geothermal Development and Geothermal Wells*.
- Botero G, C. (1995). MANUAL DE MANTENIMIENTO. Parte III: Costos en el departamento de. *SENA CCA/ASTIN*.
- Clarke, J., & McLeskey Jr, J. (2013). The Constrained Design Space of Double-Flash Geothermalpower Plants.
- DiPippo, R. (2016). *Geothermal Power Plants. Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact* (Cuarta Edición ed.). North Dartmouth, Massachusetts, USA: Elsevier.
- Eschmann, H. (1985). *Weigand: Ball and Roller Bearings. Theory, Design and Application*. Jhon Wiley & Sons Ltd.
- Figueroa, O., Soto, A., & Vargas, J. (2019). Investigación propia.
- Gardella, M. (2011). *Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Proyectos de Ingeniería.
- Gardella, M. (19 de Agosto de 2019). Estudio NPR (Número de Ponderación del Riesgo) de Modos de Fallo en AMFEC. 11. Villahermosa, México. Obtenido de PREDICTIVA21 Web site .
- GNS Science. (05 de 07 de 2015). *NZ and the Philippines ramp up co-operation in geothermal energy*. Obtenido de GNS Science: <https://www.gns.cri.nz/Home/News-and-Events/Media-Releases/NZ-and-the-Philippines-ramp-up-co-operation-in-geothermal-energy-05-07-2015>
- Gobierno de El Salvador. (2010). *Código de Trabajode la República deEl Salvador*. San Salvador: Organización Internacional del Trabajo.
- Henríquez, J. L., & Aguirre, L. A. (2011). Piping design: The fundamentals. *Short Course on Geothermal Drilling, Resource Development and Power Plants*.
- Kovacevic, J. (21 de Septiembre de 2015). *How Equipment Fails, Understanding the 6 Failure Patterns*. (Eruditio, LLC) Recuperado el 22 de Octubre de 2019, de <https://hpreliability.com/how-equipment-fails-understanding-the-6-failure-patterns/>
- Merrill, D. (19 de Octubre de 2017). *No One Values Your Life More*. Obtenido de Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/graphics/2017-value-of-life/>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM II)*. Carolina del Norte: Aladon LLC.
- National Aeronautics and Space Administration. (2000). *Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment*.
- OLADE. (1980). Fase de desarrollo y explotación. *Metodología de Exploración y Explotación Geotérmica*, 68.
- Organización Internacional para la Estandarización (ISO). (2005). *ISO/IEC 17025: 2017. General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*.
- Parra Marquez, C., & Crespo Marquez, A. (2019). *Cuadro de manto integral e indicadores basicos de la gestión de mantenimiento*.
- Parra, C. A., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos*. Sevilla: Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento.
- Pennsylvania State University. (24 de Febrero de 2000). *Preventive Maintenance Procedure*. Obtenido de Courses Server: https://www.courses.psu.edu/be_t/be_t204w_sis1/pdf/05esu.pdf
- Stefánsson, V. (1997). Geothermal Reinjection Experience. *Geothermics, No. 1*, 26, 99-139.
- UT. (2018). *Boletín Estadístico*. San Salvador, El Salvador.

8. Bibliografía

- Axelsson, G. (2012). Role and Management of Geothermal Reinjection. *Short Course on Geothermal Development and Geothermal Wells*.
- Botero G, C. (1995). MANUAL DE MANTENIMIENTO. Parte III: Costos en el departamento de. *SENA CCA/ASTIN*.
- Clarke, J., & McLeskey Jr, J. (2013). The Constrained Design Space of Double-Flash Geothermalpower Plants.
- DiPippo, R. (2016). *Geothermal Power Plants. Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact* (Cuarta Edición ed.). North Dartmouth, Massachusetts, USA: Elsevier.
- Eschmann, H. (1985). *Weigand: Ball and Roller Bearings. Theory, Design and Application*. Jhon Wiley & Sons Ltd.
- Gardella, M. (2011). *Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Proyectos de Ingeniería.
- Gardella, M. (19 de Agosto de 2019). Estudio NPR (Número de Ponderación del Riesgo) de Modos de Fallo en AMFEC. 11. Villahermosa, México. Obtenido de PREDICTIVA21 Web site .
- GNS Science. (05 de 07 de 2015). *NZ and the Philippines ramp up co-operation in geothermal energy*. Obtenido de GNS Science: <https://www.gns.cri.nz/Home/News-and-Events/Media-Releases/NZ-and-the-Philippines-ramp-up-co-operation-in-geothermal-energy-05-07-2015>
- Gobierno de El Salvador. (2010). *Código de Trabajo de la República de El Salvador*. San Salvador: Organización Internacional del Trabajo.
- Henríquez, J. L., & Aguirre, L. A. (2011). Piping design: The fundamentals. *Short Course on Geothermal Drilling, Resource Development and Power Plants*.
- Kovacevic, J. (21 de Septiembre de 2015). *How Equipment Fails, Understanding the 6 Failure Patterns*. (Eruditio, LLC) Recuperado el 22 de Octubre de 2019, de <https://hpreliability.com/how-equipment-fails-understanding-the-6-failure-patterns/>
- Merrill, D. (19 de Octubre de 2017). *No One Values Your Life More*. Obtenido de Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/graphics/2017-value-of-life/>
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM II)*. Carolina del Norte: Aladon LLC.
- National Aeronautics and Space Administration. (2000). *Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment*.
- OLADE. (1980). Fase de desarrollo y explotación. *Metodología de Exploración y Explotación Geotérmica*, 68.
- Organización Internacional para la Estandarización (ISO). (2005). *ISO/IEC 17025: 2017. General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*.
- Parra Marquez, C., & Crespo Marquez, A. (2019). *Cuadro de manto integral e indicadores basicos de la gestión de mantenimiento*.
- Parra, C. A., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos*. Sevilla: Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento.
- Pennsylvania State University. (24 de Febrero de 2000). *Preventive Maintenance Procedure*. Obtenido de Courses Server: https://www.courses.psu.edu/be_t/be_t204w_sis1/pdf/05esu.pdf
- Stefánsson, V. (1997). Geothermal Reinjection Experience. *Geothermics, No. 1, 26, 99-139*.
- UT. (2018). *Boletín Estadístico*. San Salvador, El Salvador.

9. Anexos

9.1. Anexo 1: AMFEC

Hoja RCM / AMFEC		Centro Industrial: Geotermia Sección/Planta/Código: Instalación / Activo: Críticidad Primer Nivel: Muy Alta		Subsistema: Código: Críticidad Segundo Nivel: ALTA		N° Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:		Fecha elaboración: 2019-10-01 (versión): 1		HOJA: 1 de 4						
Activo: Circulación agua geotérmica		Código:		Críticidad Tercer Nivel: BAJA												
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN / PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Circulación de agua geotérmica Bombas centrífuga de eje horizontal de 400 hp																
FUNCIÓN / PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE RIESGO			
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	NPR
TRANSPORTAR AGUA RESULTANTE DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN ENERGÉTICA EN UNA CENTRAL GEOTÉRMICA	AGUA GEOTÉRMICA A 110-115°C	LA BOMBA CENTRÍFUGA NO GIRA	FALLO MOTOR	FALLO DEVANADO DEL MOTOR	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO	ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	2	40	
					SOBRECARGA DE MOTOR	ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	2	30	
					FALLO CONEXIONES EN EL MOTOR	CONEXIÓN ELÉCTRICA INADECUADA	ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	2	40
						DAÑOS POR CORROSIÓN	ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	2	40
				FALLO VENTILACIÓN	OBTURACIÓN REJILLA FILTRO	MAL MANTENIMIENTO	CALENTAMIENTO DEL MOTOR Y SE QUEMA EL DEVANADO	NO	NO	SI	SI	NO	5	10	2	100
					ROTURA DEL VENTILADOR	FATIGA EN ASPAS	CALENTAMIENTO DEL MOTOR Y SE QUEMA EL DEVANADO	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	5	75
				INGRESO DE MATERIAL A LAS ASPAS		CALENTAMIENTO DEL MOTOR Y SE QUEMA EL DEVANADO	NO	NO	SI	SI	NO	5	5	2	50	
					RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR	RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	2
				MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS			RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	2	30
				FALLO DE ENGRASE		PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	6	90
						DESALINEACIÓN CONJUNTO	RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	NO	NO	SI	SI	NO	5	5	6	150
				MAL MONTAJE		PERSONAL MAL CAPACITADO	RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	4	60
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS			RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	4	60	
			FALLO ACOPLAMIENTO	ROTURA CLAVIJA	FATIGA CLAVIJA	MATERIAL INADECUADO DE CLAVIJA	PARO DE GIRO DE BOMBA	NO	NO	SI	SI	NO	5	5	5	125
					INSTALACIÓN INADECUADA	PERSONAL MAL CAPACITADO	PARO DE GIRO DE BOMBA	NO	NO	SI	SI	NO	5	2	3	30
				FALLO FIJACIÓN	DESAPRIETE PERNOS	MALA SELECCIÓN DE CLAVIJA	PARO DE GIRO DE BOMBA	NO	NO	SI	SI	NO	5	2	4	40
						TORQUE INADECUADO DE INSTALACIÓN	PARO DE GIRO DE BOMBA	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	4	80
				RUPTURA DE PERNOS	FALTA DE PEGAMENTO PARA PERNOS	PARO DE GIRO DE BOMBA	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	4	60	
					MALA SELECCIÓN DE PERNOS	PARO DE GIRO DE BOMBA	NO	NO	SI	SI	NO	5	5	4	100	
				FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FATIGA DE ELEMENTO ELÁSTICO	PARO DE GIRO DE BOMBA	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	6	120	
					MATERIAL INADECUADO DE ELEMENTO ELÁSTICO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL	PARO DE GIRO DE BOMBA	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	2	40
			ERROR DE PROVEEDOR	PARO DE GIRO DE BOMBA		NO	NO	SI	SI	NO	5	3	2	30		
			FALLO BOMBA	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE SELLOS	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	3	60
						MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	4	60

				FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	5	100	
				DESALINEACIÓN CONJUNTO		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	6	120	
				MAL MONTAJE	PERSONAL NO CAPACITADO	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	NO	SI	SI	NO	5	2	4	40	
					MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	NO	SI	SI	NO	5	1	4	20	
			RODETE ATASCADO	INSERCIÓN DE PARTICULAS EN LA HOLGURA RODETE- CARCASA		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	6	120	
					RODETE DESEQUILIBRADO	ACUMULACIÓN DE SÍLICE EN RODETE	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	3	60
					ROTURA DE ANILLOS DE SEGURIDAD		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	NO	SI	SI	NO	5	6	3	90
			FALLO EN TARJETA DE CONTROL	PISTAS DE TARJETA DE CONTROL QUEMADAS		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	3	45	
					ELEMENTOS ELECTRÓNICOS INDEPENDIENTES QUEMADOS		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	6	90
			FALLO EN IGBT'S	IGBT'S EN CORTO		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	2	6	60	
					IGBT'S QUEMADOS		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	4	80
					MALA INSTALACIÓN DE CONEXIONES	PERSONAL MAL CAPACITADO	PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	3	60
			FALLO EN CONTACTOR AUXILIAR	CONTACTOS AUXILIARES DAÑADOS		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	5	4	100	
					BOBINA DEL CONTACTOR EN DAÑADA		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	3	45
					DAÑO EN ESTRUCTURA DE CONTACTOR	GOLPES A CONTACTOR	PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	2	4	40
			FALLO DE PROGRAMACIÓN DEL ARRANCADOR	CORRUPCIÓN DE PROGRAMA DE CONTROL	ERROR DE OPERACIÓN	PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD DE MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	2	3	30	
				PÉRDIDA DE MEMORIA DE CONTROLADOR	FALLA DE INTEGRADOS DE MEMORIA		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD DE MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	2	4	40
						PÉRDIDA DE ENERGÍA A MEMORIA VOLÁTIL		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD DE MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	2	4
				PROGRAMACIÓN CON PARÁMETROS INCORRECTOS	PERSONAL MAL CAPACITADO		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD DE MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	5	100
						ERROR DE DOCUMENTACIÓN		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD DE MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	5
				DAÑO EN PISTAS DE TARJETA DE CIRCUITOS	ENTRADA DE SUCIEDAD		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD DE MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	6	90
					SOBRECARGA DE EQUIPO		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	6	120
			FALLO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA	FALLO EN DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIÓN	DESCONOCIMIENTO DE CONDICIONES DE OPERACIÓN	HUMO EN INSTALACIÓN ELÉCTRICA	NO	NO	SI	SI	NO	5	2	2	20	
						MALA INSTALACIÓN DE CONEXIONES	PERSONAL MAL CAPACITADO	PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	2	3
				DAÑO EN PISTAS DE TARJETA DE CIRCUITOS	ENTRADA DE SUCIEDAD		HUMO EN INSTALACIÓN ELÉCTRICA	NO	NO	SI	SI	NO	5	5	4	100
						SOBRECARGA DE EQUIPO		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	4
			INSTALACIÓN ELÉCTRICA CORROÍDA	FALLO EN AISLAMIENTO DE HUMEDAD	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL	PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	3	5	75	
						ERROR DE PROVEEDOR		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	6
					MAL MANTENIMIENTO DE INSTALACIÓN		PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	3	60

Hoja RCM / AMFEC	Centro Industrial: Geotermin Sección/Planta/Código: Instalación / Activo: Críticidad Primer Nivel: Muy Alta	Subsistema: Código: Críticidad Segundo Nivel: ALTA	N.º Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:	Fecha elaboración: 2019-11-27 versión): 1 HOJA: 1 de 4
------------------	--	--	---	--

Activo: Circulación agua geotérmica Código: Críticidad Tercer Nivel: BAJA

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN / PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO:
Circulación de agua geotérmica
Bombas centrífuga de eje horizontal de 400 hp

FUNCIÓN / PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE RIESGO			
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	NPR.
TRANSPORTAR AGUA RESULTANTE DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN ENERGÉTICA EN UNA CENTRAL GEOTÉRMICA	AGUA GEOTÉRMICA A 110-115 °C	LA BOMBA CENTRÍFUGA GIRA	FALLO MOTOR	FALLO RODAMIENTOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE SELLOS	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	3	4	4	48
					MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	3	2	4	24	
				FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	3	3	5	45	
				DESALINEACIÓN CONJUNTO	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	3	3	6	54		
				MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	3	4	4	48	
					MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	3	4	3	36	
				VELOCIDAD MENOR	SOBRECARGA	SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR	SI	NO	NO	SI	NO	2	4	4	32	
					BAJA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR	SI	NO	NO	SI	NO	2	5	2	20	
				FALLO DEVANADO	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO	SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR	SI	NO	NO	SI	NO	4	4	3	48	
					SOBRECARGA DE MOTOR	SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR	SI	NO	NO	SI	NO	3	4	3	36	
			FALLO ACOPLAMIENTO	FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FATIGA DE ELEMENTO ELÁSTICO	RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	SI	NO	NO	SI	NO	3	5	5	75	
					MATERIAL INADECUADO DE ELEMENTO ELÁSTICO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL	RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	SI	NO	NO	SI	NO	3	3	6	54
						ERROR DE PROVEEDOR	RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	SI	NO	NO	SI	NO	3	4	6	72
			FALLO BOMBA	FALLO RODAMIENTOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	4	6	3	72	
					FALLO DE ENGRASE	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	2	5	4	40	
					DESALINEACIÓN CONJUNTO	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	2	3	5	30	
					MAL MONTAJE	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	2	4	3	24	
				FALLO EJE	ACUMULACIÓN DE SÍLICE	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	3	6	3	54	
					EJE RAYADO	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	3	3	3	27	
				FALLO RODETE	ABRASIÓN DE RODETE	RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	2	5	4	40	

	EL MOTOR GIRA EN SENTIDO CONTRARIO	RODETE DESEQUILIBRADO		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	2	7	5	70
		CAMBIO SECUENCIA DE FASES MOTOR		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	4	3	2	24
		MALA CONEXIÓN DE MOTOR		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	SI	NO	NO	SI	NO	4	3	2	24
	ESFUERZOS EXCESIVOS	LA BOMBA ESTÁ FORZADA		DETERIORO ACELERADO DE RODAMIENTOS	SI	NO	NO	SI	NO	3	4	6	72
		EMPUJE AXIAL ELEVADO		DETERIORO ACELERADO DE RODAMIENTOS	SI	NO	NO	SI	NO	5	6	5	150
		LOS PERNOS NO ESTÁN BIEN APRETADOS		DETERIORO ACELERADO DE RODAMIENTOS	SI	NO	NO	SI	NO	4	7	6	168

Hoja RCM / AMFEC		Centro Industrial: Geotermia Sección/Planta/Código: Instalación / Activo: Críticidad Primer Nivel: Muy Alta		Subsistema: Código: Críticidad Segundo Nivel: ALTA Críticidad Tercer Nivel: BAJA		N.º Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:		Fecha elaboración: 2019-11-27 versión: 1		HOJA: 1 de 4							
Activo: Circulación agua geotérmica Código:																	
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN / PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Circulación de agua geotérmica Bombas centrífuga de eje horizontal de 400 hp																	
FUNCIÓN / PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE RIESGO				
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	NPR	
MANTENER PRESIÓN DE TRABAJO	9.27 kg/cm2 aproximadamente	PRESIÓN MAYOR	MANIPULACIÓN ERRÓNEA DE VÁLVULAS	ERROR DE OPERARIO	FALTA DE CAPACITACIÓN DE PERSONAL	CIRCULACIÓN DE AGUA INADECUADA / POSIBLE VAPORIZACIÓN POR DESPRESURIZACIÓN	NO	NO	NO	SI	NO	2	3	2	12		
					FALTA DE SEÑALIZACIÓN DE VÁLVULAS	CIRCULACIÓN DE AGUA INADECUADA / POSIBLE VAPORIZACIÓN POR DESPRESURIZACIÓN	NO	NO	NO	SI	NO	2	3	2	12		
				MAL DISEÑO DE SISTEMA	CONTROLES DEMASIADO COMPLEJOS	CIRCULACIÓN DE AGUA INADECUADA / POSIBLE VAPORIZACIÓN POR DESPRESURIZACIÓN	NO	NO	NO	SI	NO	2	3	2	12		
					FALTA DE DIAGRAMAS DE OPERACIÓN	CIRCULACIÓN DE AGUA INADECUADA / POSIBLE VAPORIZACIÓN POR DESPRESURIZACIÓN	NO	NO	NO	SI	NO	2	4	2	16		
			AUMENTO DE LA PRESIÓN	FALLO VÁLVULA DE ALIVIO	MAL CONFIGURACIÓN DE PRESIÓN DE ALIVIO	DESGASTE RESORTE DE VÁLVULA	AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	4	3	4	48	
						MANTENIMIENTO INADECUADO	AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	4	2	4	32	
					CALIBRACIÓN NO VIGENTE	AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	4	3	4	48		
					ACUMULACIÓN DE SILICE EN VÁLVULA	MANTENIMIENTO INADECUADO	AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	5	5	3	75	
		FALLO DEL AUTORREGULADOR		SENSOR DE PRESIÓN DAÑADO	RUPTURA DE GALGA	AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	5	4	4	80		
				FALLOS EN EQUIPO POR ACUMULACIÓN DE PRESIÓN EXCESIVA	DAÑOS EN EL CABLEADO	AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	5	4	3	60		
		PRESIÓN MENOR	FALLO NO OPERACIÓN CONTINUA EQUIPOS	AUMENTO DE INCRUSTACIÓN DE MINERALES	CONTAMINACIÓN AGUA POR EXCESO DE SILICE	DISPARO VÁLVULA SEGURIDAD EXPANSIONADOR	SI	SI	SI	SI	SI	6	5	4	120		
					INCRUSTACIÓN DE SILICE Y REDUCCIÓN DE ÁREA EN TUBERÍA	AUMENTO DE LA PRESIÓN DE OPERACIÓN	SI	SI	SI	SI	SI	4	5	4	80		
				FALLO INSTALACIÓN	OBSTRUCCIÓN PARCIAL CIRCUITO	PERSONAL MAL CAPACITADO	AUMENTO DE LA PRESIÓN DE OPERACIÓN	SI	NO	SI	SI	NO	3	3	2	18	
						INCRUSTACIÓN DE SILICE Y REDUCCIÓN DE ÁREA EN TUBERÍA	AUMENTO DE LA PRESIÓN DE OPERACIÓN	SI	NO	SI	SI	NO	4	3	3	36	
				FALLO BOMBA	OBSTRUCCIÓN EN LA IMPULSIÓN	INCRUSTACIÓN DE SILICE Y REDUCCIÓN DE ÁREA EN TUBERÍA	AUMENTO DE LA PRESIÓN DE OPERACIÓN	SI	NO	SI	SI	NO	5	4	2	40	
						ABRASIÓN	MEJOR PRESIÓN	SI	NO	SI	SI	NO	4	4	3	48	
				FALLO BOMBA	BOLSAS DE GAS EN TUBERÍA	DESGASTE RODETE	CAVITACIÓN	MEJOR PRESIÓN	SI	NO	SI	SI	NO	4	7	2	56
							CORROSIÓN	MEJOR PRESIÓN	SI	NO	SI	SI	NO	3	5	3	45
		AUMENTO DE INCRUSTACIÓN EN TUBERÍA	PURGA DE TUBERÍAS INADECUADA			MEJOR PRESIÓN	SI	NO	SI	SI	NO	3	4	3	36		
			FILTRO DE ASPIRACIÓN OBSTRUÍDO			CAVITACIÓN, RUIDO, VIBRACIONES	SI	NO	SI	SI	NO	2	5	3	30		
		FALLO MOTOR	VELOCIDAD MENOR	SOBRECARGA	CALENTAMIENTO DEL MOTOR	SI	NO	NO	SI	NO	2	5	3	30			
				BAJA TENSION	INCUMPLIMIENTO DE CONDICIONES OPERATIVAS	SI	NO	NO	SI	NO	3	2	2	12			
		MEJOR PRESIÓN	MEJOR PRESIÓN	SI	NO	SI	SI	NO	4	6	6	144					

Hoja RCM / AMFEC		Centro Industrial: Geotermia Sección/Planta/Código: Instalación / Activo: Criticidad Primer Nivel: Muy Alta		Subsistema: Código: Criticidad Segundo Nivel: ALTA		N.º Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:			Fecha elaboración: 2019-11-27 (versión): 1 HOJA: 1 de 4							
Activo: Circulación agua geotérmica Código:				Criticidad Tercer Nivel: BAJA												
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN / PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Circulación de agua geotérmica Bombas centrífuga de eje horizontal de 400 hp																
FUNCIÓN / PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO				VALORACIÓN DE RIESGO				
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	NPR
MANTENER CAUDAL DE TRABAJO	170 kg/s aproximadamente	CAUDAL MENOR	FALLO BOMBA	DESGASTE RODETE	ABRASIÓN		MENOR PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	3	3	4	36
					CAVITACIÓN		MENOR PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	3	3	5	45
					CORROSIÓN		MENOR PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	3	3	5	45
				BOLSAS DE GAS EN TUBERÍA	AUMENTO DE INCRUSTACIÓN EN TUBERÍA		MENOR PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	2	3	3	18
					PURGA DE TUBERÍAS INADECUADA		MENOR PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	2	2	3	12
				OBSTRUCCIÓN EN LA IMPULSIÓN	POSIBLES DAÑOS EN CUERPO DE LA BOMBA		AUMENTO DE PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	6	5	4	120
			OBSTRUCCIÓN EN LA ASPIRACIÓN	FILTRO DE ASPIRACIÓN OBSTRUIDO	ACUMULACIÓN DE SÍLICE	CAVITACIÓN, RUIDO, VIBRACIONES	SI	NO	NO	SI	NO	5	4	4	80	
					MAL MANTENIMIENTO	CAVITACIÓN, RUIDO, VIBRACIONES	SI	NO	NO	SI	NO	5	4	2	40	
			FALLO ACEITE	ACEITE TÉRMICO FUERA DE CONDICIONES DE SERVICIO	PRESENCIA DE SÓLIDOS EN ACEITE		ACUMULACIÓN DE CALOR, RUIDOS Y VIBRACIONES ANORMALES	SI	SI	NO	NO	NO	2	3	6	36
					PRESENCIA DE AGUA EN ACEITE		ACUMULACIÓN DE CALOR, RUIDOS Y VIBRACIONES ANORMALES	SI	SI	NO	NO	NO	2	3	6	36
		VISCOSIDAD INADECUADA				ACUMULACIÓN DE CALOR, RUIDOS Y VIBRACIONES ANORMALES	SI	SI	NO	NO	NO	2	4	6	48	
		DEGRADACIÓN FLUIDO TÉRMICO		PRESENCIA DE SÓLIDOS EN ACEITE		ACUMULACIÓN DE CALOR, RUIDOS Y VIBRACIONES ANORMALES	SI	SI	NO	NO	NO	7	3	5	105	
		CAUDAL MAYOR	MENOR PÉRDIDA DE CARGA IMPULSIÓN	VÁLVULAS CERRADAS FUGAN INTERNAMENTE	FALLO DE SELLO DE VÁLVULA		MAYOR CONSUMO / SALTA PROTECCIÓN TÉRMICA	SI	NO	NO	SI	NO	5	7	3	105

9.2. Anexo 2: Matriz de decisiones

MATRIZ DE DECISIONES		Centro Industrial:	Código:				Subsistema: Caldera Código:	Críticidad Tercer Nivel: BAJA		ANÁLISIS MODO DE FALLOS Y MATRIZ DE DECISIONES Fecha de elaboración: Octubre-2019 (versión): 1 HOJA: 1 de 3		Nº de proyecto - ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:						
EFECTOS DE FALLO	gr. de	DETECCIÓN FALLO POTENCIAL OCULTO	MODO DE FALLO				MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN		MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR ACTUACIÓN PLANIFICADA		REDISEÑO / MEJORA				
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FRECUENCIA	INSPECCIÓN / DETECCIÓN		RECAMBIO / MATERIAL		DESCRIPCIÓN	FREC REFERENCIA			
										OPERACIÓN	FRECUENCIA	OPERACIÓN (Incluir lubricación)	FRECUENCIA					
ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	40		EL MOTOR FUNCIONA SÓLO CON DOS FASES	FALLO DEVANADO DEL MOTOR	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DE DEVANADO			1A									
ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	30				SOBRECARGA DE MOTOR							MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	1M					
ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	40			FALLO CONEXIONES EN EL MOTOR	CONEXIÓN ELÉCTRICA INADECUADA						INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES	6M						
ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA POR AUMENTO DE CONSUMO	40				DAÑOS POR CORROSIÓN							INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES	6M					
CALENTAMIENTO DEL MOTOR Y SE QUEMA EL DEVANADO	100			FALLO VENTILACIÓN	OBTURACIÓN REJILLA FILTRO	MAL MANTENIMIENTO					LIMPIEZA	1M						
CALENTAMIENTO DEL MOTOR Y SE QUEMA EL DEVANADO	75				ROTURA DEL VENTILADOR	FATIGA EN ASPAS						INSPECCIÓN VISUAL	3M	CAMBIO DE ASPAS	1A			
CALENTAMIENTO DEL MOTOR Y SE QUEMA EL DEVANADO	50					INGRESO DE MATERIAL A LAS ASPAS						INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA	3M					
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	40			RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR								INSPECCIÓN Y CAMBIO DE PIEZA	6M			
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	30					MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	ANÁLISIS DE VIBRACIONES	CARCARA DE MOTOR/SECCIÓN DE RODAMIENTOS		6M								
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	90					FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	ANÁLISIS FRECUENCIAL	CARCARA DE MOTOR/SECCIÓN DE RODAMIENTOS		3M			CAMBIAR ACEITE ENGRASAR	3M			
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	150				DESALINEACIÓN CONJUNTO	ANÁLISIS DE VIBRACIONES	CARCARA DE MOTOR/SECCIÓN DE RODAMIENTOS		1M									
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	60				MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO										CAPACITAR A PERSONAL		
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	60					MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS												
PARO DE GIRO DE BOMBA	125		FALLO ACOPLAMIENTO	ROTURA CLAVIJA	FATIGA CLAVIJA	MATERIAL INADECUADO DE CLAVIJA	INSPECCIÓN CON ULTRASONIDO	CUERPO DE CLAVIJA	3M				CAMBIO DE CLAVIJA EN LA REPARACIÓN	1A				
PARO DE GIRO DE BOMBA	30					INSTALACIÓN INADECUADA	PERSONAL MAL CAPACITADO									CAPACITAR A PERSONAL		
PARO DE GIRO DE BOMBA	40						MALA SELECCIÓN DE CLAVIJA											
PARO DE GIRO DE BOMBA	80		FALLO FIJACIÓN	DESAPRIETE PERNOS	TORQUE INADECUADO DE INSTALACIÓN							INSPECCIÓN ESTROBOSCÓPICA	1A					
PARO DE GIRO DE BOMBA	60					FALTA DE PEGAMENTO PARA PERNOS							INSPECCIÓN VISUAL	6M				

PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD DE MOTOR	100				ERROR DE DOCUMENTACIÓN												CAPACITAR A PERSONAL		
PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD DE MOTOR	90				DAÑO EN PISTAS DE TARJETA DE CIRCUITOS	ENTRADA DE SUCIEDAD				INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA	1A								
PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	120					SOBRECARGA DE EQUIPO				MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	1M								
HUMO EN INSTALACIÓN ELÉCTRICA	20				FALLO EN DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIÓN	DESCONOCIMIENTO DE CONDICIONES DE OPERACIÓN												CAPACITAR A PERSONAL	
PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	30				MALA INSTALACIÓN DE CONEXIONES	PERSONAL MAL CAPACITADO												CAPACITAR A PERSONAL	
HUMO EN INSTALACIÓN ELÉCTRICA	100				DAÑO EN PISTAS DE TARJETA DE CIRCUITOS	ENTRADA DE SUCIEDAD				INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA	1A								
PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	80					SOBRECARGA DE EQUIPO				MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	6M								
PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	75				FALLO EN AISLAMIENTO DE HUMEDAD	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL												CAPACITAR A PERSONAL	
PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	120					ERROR DE PROVEEDOR												AUDITAR PROVEEDOR	
PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	60				MAL MANTENIMIENTO DE INSTALACIÓN					INSPECCIÓN VISUAL	6M								
PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	40				MALA INSTALACIÓN DE CONEXIONES	PERSONAL MAL CAPACITADO				CAPACITAR A PERSONAL	1A								
PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	100				EQUIPOS CON DEFECTOS DE FÁBRICA	ERROR DE PROVEEDOR				CAPACITAR A PERSONAL QUE SELECCIONA	1A								
PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	30				EQUIPOS INADECUADOS PARA LAS CONDICIONES AMBIENTALES PRESENTES	MALA ESPECIFICACIÓN DE EQUIPO												CAPACITAR A PERSONAL	
PÉRDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	80					ERROR DE PROVEEDOR												AUDITAR A PROVEEDOR	

MATRIZ DE DECISIONES		Centro Industrial: Sección/Planta/Código: Instalación/Activo: Críticidad Primer Nivel: ALTA	Código:				Subsistema: Caldera Código: Críticidad Segundo Nivel: ALTA	ANÁLISIS MODO DE FALLOS Y MATRIZ DE DECISIONES Fecha de elaboración: Octubre-2019 (versión): 1 HOJA: 1 de 3			Nº de proyecto - ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:					
Activo: Circulación aceite térmico		Código:				Críticidad Tercer Nivel: BAJA			MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN		MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR ACTUACIÓN PLANIFICADA		REDISEÑO / MEJORA			
EFECTOS DE FALLO	NPR:	DETECCIÓN FALLO POTENCIAL OCULTO	MODO DE FALLO				MANTENIMIENTO PREDICTIVO			INSPECCIÓN / DETECCIÓN		RECAMBIO / MATERIAL		DESCRIPCIÓN / REFERENCIA		
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FRECUENCIA	OPERACIÓN	FRECUENCIA	OPERACIÓN (Incluir lubricación)	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	48		FALLO MOTOR	FALLO RODAMIENTOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE SELLOS				INSPECCIÓN VISUAL	6M					
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	24					MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS					CAPACITAR A PERSONAL	6 M				
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	45				FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	ANÁLISIS FRECUENCIAL		1A			CAMBIAR ACEITE ENGRASAR	6M			
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	54				DESALINEACIÓN CONJUNTO		ANÁLISIS FRECUENCIAL		6 M							
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	48				MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO					CAPACITAR A PERSONAL	6 M				
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	36					MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS					CAPACITAR A PERSONAL QUE SELECCIONA	6 M				
SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR	32				VELOCIDAD MENOR	SOBRECARGA					MEDICIÓN DE RPM	6M				
SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR	20					BAJA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN					MEDICIÓN DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	6M				
SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR	48				FALLO DEVANADO	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO		MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DEVANADO		1A						
SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR	36					SOBRECARGA DE MOTOR					MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	3M				
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	75		FALLO ACOPLAMIENTO	FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FATIGA DE ELEMENTO ELÁSTICO	ANÁLISIS DE VIBRACIONES		1A			CAMBIO DE ELEMENTO ELÁSTICO	1A				
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	54				MATERIAL INADECUADO DE ELEMENTO ELÁSTICO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL								CAPACITAR A PERSONAL		
RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	72				ERROR DE PROVEEDOR									AUDITORIA A PROVEEDOR		
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	72		FALLO BOMBA	FALLO RODAMIENTOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD					INSPECCIÓN VISUAL	6M					
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	40					FALLO DE ENGRASE	ANÁLISIS FRECUENCIAL		1 M			CAMBIAR ACEITE ENGRASAR	6M			
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	30				DESALINEACIÓN CONJUNTO	ANÁLISIS FRECUENCIAL		1A								
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	24				MAL MONTAJE						CAPACITAR A PERSONAL	6 M				
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	54			FALLO EJE	ACUMULACIÓN DE SÍLICE		ANÁLISIS QUÍMICO		6 M							
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	27			FALLO RODETE	EJE RAYADO					INSPECCIÓN VISUAL CON MAGNIFICACIÓN	6M					
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	40					ABRASIÓN RODETE					INSPECCIÓN VISUAL	6M				
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	70			EL MOTOR GIRA EN SENTIDO CONTRARIO	RODETE DESEQUILIBRADO		ANÁLISIS DE VIBRACIONES		6M							
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	24					CAMBIO SECUENCIA DE FASES MOTOR									CAPACITAR A PERSONAL	
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	24			ESFUERZOS EXCESIVOS	MALA CONEXIÓN DE MOTOR									CAPACITAR A PERSONAL		
DETERIORO ACELERADO DE RODAMIENTOS	72		LA BOMBA ESTÁ FORZADA			ANÁLISIS FRECUENCIAL		3M								
DETERIORO ACELERADO DE RODAMIENTOS	150		EMPLUJE AXIAL ELEVADO			ANÁLISIS DE VIBRACIONES		3 M								
DETERIORO ACELERADO DE RODAMIENTOS	168			LOS PERNOS NO ESTÁN BIEN APRETADOS	ANÁLISIS DE VIBRACIONES		1M			REAPRIETE DE PERNOS	1M					

MATRIZ DE DECISIONES		Centro Industrial: Sección/Planta/Código: Instalación/Activo: Críticidad Primer Nivel: ALTA	Subsistema: Caldera Código: Críticidad Segundo Nivel: ALTA				ANÁLISIS MODO DE FALLOS Y MATRIZ DE DECISIONES Fecha de elaboración: Octubre-2019 (versión): 1 HOJA: 1 de 3				N.º de proyecto - ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:							
Activo: Circulación aceite térmico		Código:				Críticidad Tercer Nivel: BAJA												
EFECTOS DE FALLO	NPR	DETECCIÓN FALLO POTENCIAL OCULTO	MODO DE FALLO				MANTENIMIENTO PREDITIVO			MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN		MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR ACTUACIÓN PLANIFICADA		REDISEÑO / MEJORA				
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FRECUENCIA	INSPECCIÓN / DETECCIÓN	OPERACIÓN	FRECUENCIA	OPERACIÓN (incluirlubricación)	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA		
CIRCULACIÓN DE AGUA INADECUADA / POSIBLE VAPORIZACIÓN POR DESPRESURIZACIÓN	12		MANIPULACIÓN ERRÓNEA DE VÁLVULAS	ERROR DE OPERARIO	FALTA DE CAPACITACIÓN DE PERSONAL						CAPACITAR A PERSONAL	6M						
CIRCULACIÓN DE AGUA INADECUADA / POSIBLE VAPORIZACIÓN POR DESPRESURIZACIÓN	12				FALTA DE SEÑALIZACIÓN DE VÁLVULAS									REVISIÓN DE SEÑALIZACIÓN	1A			
CIRCULACIÓN DE AGUA INADECUADA / POSIBLE VAPORIZACIÓN POR DESPRESURIZACIÓN	12			MAL DISEÑO DE SISTEMA	CONTROLES DEMASIADO COMPLEJOS							CAPACITAR A PERSONAL	6M			REUNIÓN CON FABRICANTE PARA CAMBIO DE CONTROLES		
CIRCULACIÓN DE AGUA INADECUADA / POSIBLE VAPORIZACIÓN POR DESPRESURIZACIÓN	16				FALTA DE DIAGRAMAS DE OPERACIÓN								PEDIDO A FÁBRICA DE COPIAS DE MANUALES	1A				
AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	48		AUMENTO DE LA PRESIÓN	FALLO VÁLVULA DE ALIVIO	MAL CONFIGURACIÓN DE PRESIÓN DE ALIVIO	DESCASTE RESORTE DE VÁLVULA					INSPECCIÓN VISUAL	1A	REEMPLAZO DE VÁLVULA	1A				
AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	52					MANTENIMIENTO INADECUADO									MANTENIMIENTO DE VÁLVULA	1A		
AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	48					CALIBRACIÓN NO VIGENTE									RECALIBRACIÓN	1A		
AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	75			FALLO DEL AUTORREGULADOR	SENSOR DE PRESIÓN DAÑADO	ACUMULACIÓN DE SÍLICE EN VÁLVULA	MANTENIMIENTO INADECUADO					INSPECCIÓN VISUAL	3M					
AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	80					RUPTURA DE GALGA								INSPECCIÓN VISUAL	3M			
AUMENTO EXCESIVO DE PRESIÓN	80					DAÑOS EN EL CABLEADO								INSPECCIÓN VISUAL	3M			
DISPARO VÁLVULA SEGURIDAD	40		FALLO NO OPERACIÓN CONTINUA EQUIPOS	AUMENTO DE INCRUSTACIÓN DE MINERALES	FALLOS EN EQUIPO POR ACUMULACIÓN DE PRESIÓN EXCESIVA						INSPECCIÓN VISUAL	6M						
DISPARO VÁLVULA SEGURIDAD EXPANSIONADOR	120				CONTAMINACIÓN AGUA POR EXCESO DE SÍLICE			ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	DIVERSOS SECTORES DE CUERPO DE EXPANSIONADOR	6M		INSPECCIÓN VISUAL INTERNA	6M					
AUMENTO DE LA PRESIÓN DE OPERACIÓN	80		FALLO INSTALACIÓN	OBSTRUCCIÓN PARCIAL CIRCUITO	INCRUSTACIÓN DE SÍLICE Y REDUCCIÓN DE ÁREA EN TUBERÍA				ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	PAREDES TUBERÍA	1A				CAPACITAR A PERSONAL			
AUMENTO DE LA PRESIÓN DE OPERACIÓN	18				PERSONAL MAL CAPACITADO													
AUMENTO DE LA PRESIÓN DE OPERACIÓN	36				INCRUSTACIÓN DE SÍLICE Y REDUCCIÓN DE ÁREA EN TUBERÍA			ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	PAREDES TUBERÍA	1A								
AUMENTO DE LA PRESIÓN DE OPERACIÓN	40		FALLO BOMBA	OBSTRUCCIÓN EN LA IMPULSIÓN	INCRUSTACIÓN DE SÍLICE Y REDUCCIÓN DE ÁREA EN TUBERÍA			ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	PAREDES TUBERÍA	1A								
MENOR PRESIÓN	48		FALLO BOMBA	DESGASTE RODETE	ABRASIÓN						INSPECCIÓN VISUAL	1A						
MENOR PRESIÓN	56				CAVITACIÓN								INSPECCIÓN VISUAL	6M				
MENOR PRESIÓN	45				CORROSIÓN								INSPECCIÓN VISUAL	1A				
MENOR PRESIÓN	36		FALLO BOMBA	BOLSAS DE GAS EN TUBERÍA	INCRUSTACIÓN DE SÍLICE Y REDUCCIÓN DE ÁREA EN TUBERÍA									REUNIÓN CON PROVEEDOR DE QUÍMICOS				
MENOR PRESIÓN	12				PURGA DE TUBERÍAS INADECUADA								MANTENIMIENTO TUBERÍAS	1A				
CAVITACIÓN, RUIDO, VIBRACIONES	30			OBSTRUCCIÓN EN LA ASPIRACIÓN	FILTRO DE ASPIRACIÓN OBSTRUIDO							LIMPIEZA TUBERÍAS	1A					
CALENTAMIENTO DEL MOTOR	30		FALLO MOTOR	VELOCIDAD MENOR	SOBRECARGA										CAPACITAR A PERSONAL			
INCUMPLIMIENTO DE CONDICIONES OPERATIVAS	12				BAJA TENSIÓN								MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	1A				
MAYOR CONSUMO / ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA	144		MENOR PÉRDIDA DE CARGA IMPULSIÓN	VÁLVULAS CERRADAS FUGAN INTERNAMENTE	FALLO DE SELLO DE VÁLVULA							REEMPLAZO SELLO DE VÁLVULA	3M					

MATRIZ DE DECISIONES		Centro Industrial: Sección/Planta/Código: Instalación/Activo: Críticidad Primer Nivel: ALTA		Subsistema: Caldera Código: Críticidad Segundo Nivel: ALTA		ANÁLISIS MODO DE FALLOS Y MATRIZ DE DECISIONES Fecha de elaboración: Octubre-2019 (versión): 1 HOJA: 1 de 3		N.º de proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:								
Activo: Circulación aceite térmico																
Código: Críticidad Tercer Nivel: BAJA																
EFECTOS DE FALLO	NPR.	DETECCIÓN FALLO POTENCIAL OCULTO	MODO DE FALLO				MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN		MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR ACTUACIÓN PLANIFICADA		REDISEÑO / MEJORA		
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FRECUENCIA	INSPECCIÓN / DETECCIÓN		RECAMBIO / MATERIAL		DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	
MENOR PRESIÓN	38		FALLO BOMBA	DESGASTE RODETE	ABRASIÓN					INSPECCIÓN VISUAL	1A					
MENOR PRESIÓN	45				CAVITACIÓN						INSPECCIÓN VISUAL	6M				
MENOR PRESIÓN	45				CORROSIÓN						INSPECCIÓN VISUAL	1A				
MENOR PRESIÓN	18			BOLSAS DE GAS EN TUBERÍA	AUMENTO DE INCRUSTACIÓN EN TUBERÍA										REUNIÓN CON PROVEEDOR DE QUÍMICOS	
MENOR PRESIÓN	12				PURGA DE TUBERÍAS INADECUADA							MANTENIMIENTO TUBERÍAS	1A			
AUMENTO DE PRESIÓN	320			OBSTRUCCIÓN EN LA IMPULSIÓN	POSIBLES DAÑOS EN CUERPO DE LA BOMBA			ANÁLISIS DE VIBRACIONES	CUERPO DE LA BOMBA	3M						
CAVITACIÓN, RUIDO, VIBRACIONES	80			OBSTRUCCIÓN EN LA ASPIRACIÓN	FILTRO DE ASPIRACIÓN OBSTRUÍDO	ACUMULACIÓN DE SILICE							LIMPIEZA FILTRO	3M		
CAVITACIÓN, RUIDO, VIBRACIONES	40				MAL MANTENIMIENTO										CAPACITAR A PERSONAL	
ACUMULACIÓN DE CALOR, RUIDOS Y VIBRACIONES ANORMALES	38		FALLO ACEITE	ACEITE TÉRMICO FUERA DE CONDICIONES DE SERVICIO	PRESENCIA DE SÓLIDOS EN ACEITE			ANÁLISIS DE ACEITES	1A							
ACUMULACIÓN DE CALOR, RUIDOS Y VIBRACIONES ANORMALES	38					PRESENCIA DE AGUA EN ACEITE			ANÁLISIS DE ACEITES	1A						
ACUMULACIÓN DE CALOR, RUIDOS Y VIBRACIONES ANORMALES	48					VISCOSIDAD INADECUADA			ANÁLISIS DE ACEITES	1A						
ACUMULACIÓN DE CALOR, RUIDOS Y VIBRACIONES ANORMALES	105					DEGRADACIÓN FLUIDO TÉRMICO	PRESENCIA DE SÓLIDOS EN ACEITE		ANÁLISIS DE ACEITES	1A						
MAYOR CONSUMO / SALTA PROTECCIÓN TÉRMICA	105		MEJOR PÉRDIDA DE CARGA IMPULSIÓN	VÁLVULAS CERRADAS FUGAN INTERNAMENTE	FALLO DE SELLO DE VÁLVULA							REEMPLAZO SELLO DE VÁLVULA	3M			

MATRIZ DE DECISIONES		Centro Industrial: Sección/Planta/Código: Instalación/Activo: Críticidad Primer Nivel: ALTA		Subsistema: Caldera Código: Críticidad Segundo Nivel: ALTA		ANÁLISIS MODO DE FALLOS Y MATRIZ DE DECISIONES Fecha de elaboración: Octubre-2019 (versión): 1 HOJA: 1 de 3		N.º de proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:									
Activo: Circulación aceite térmico																	
Código: Críticidad Tercer Nivel: BAJA																	
EFECTOS DE FALLO	NPR.	DETECCIÓN FALLO POTENCIAL OCULTO	MODO DE FALLO				MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN		MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR ACTUACIÓN PLANIFICADA		REDISEÑO / MEJORA			
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	OPERACIÓN A REALIZAR	PUNTO DE APLICACIÓN	FRECUENCIA	INSPECCIÓN / DETECCIÓN		RECAMBIO / MATERIAL		DESCRIPCIÓN	REFERENCIA		
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	24		FALLO DE SELLO MECÁNICO	FALLOS DE OPERACIÓN	OPERACIÓN FUERA DE PARÁMETROS NORMALES	PERSONAL MAL CAPACITADO								CAPACITAR A PERSONAL			
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	72				OPERACIÓN A EXCESIVA BAJA VELOCIDAD	FALLO DE INSTRUMENTACIÓN							CALIBRACIÓN INSTRUMENTACIÓN	6M			
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	24				OPERACIÓN EN SECO										CAPACITAR A PERSONAL		
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	45			FALLAS MECÁNICAS	MAL COLOCACIÓN DE SELLO	PERSONAL MAL CAPACITADO					INSPECCIÓN VISUAL	1 M			CAPACITAR A PERSONAL		
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	120				EJES DESALINEADOS												
RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	120				ASPAS DE IMPULSOR DESBALANCEADAS	ACUMULACIÓN DE SILICE					INSPECCIÓN VISUAL	1 M	LIMPIEZA DE ASPAS	6M			
RUIDOS Y FUGA EXCESIVA DE AGUA	54			FALLAS DE LOS COMPONENTES DEL SELLO	DESGASTE NORMAL						INSPECCIÓN VISUAL	6M	REEMPLAZO SELLO MECÁNICO	1A			
RUIDOS Y FUGA EXCESIVA DE AGUA	36				INCOMPATIBILIDAD DE MATERIALES DEL SELLO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL										CAPACITAR A PERSONAL	
RUIDOS Y FUGA EXCESIVA DE AGUA	36				ERROR DE PROVEEDOR											AUDITAR A PROVEEDOR	
FUGA DE AGUA	24			FALLO DE CONEXIONES DE ENTRADA Y SALIDA DE AGUA	FALLO DE ACOPLES	RUPTURA DE FLANGES DE CONEXIÓN	PERSONAL MAL CAPACITADO									CAPACITAR A PERSONAL	
FUGA DE AGUA	48		FATIGA DE MATERIAL DE FLANGES						ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	FLANGES DE BOMBA	1A						
FUGA DE AGUA	54		FALLO DE EMPAQUES		RUPTURA DE EMPAQUES								REEMPLAZO DE EMPAQUES	6M			

9.3. Anexo 3: Costo de aplicación de mantenimiento predictivo

TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO			
Código	Técnica Predictiva	Instrumento	Instrumento (real)
PD-01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DEVANADO	Megaohmetro (MEGGER)	Medidor de aislamiento Fluke 1555 FC 10 kV
PD-02	ANÁLISIS DE VIBRACIONES	Analizador de vibraciones	Analizador de vibraciones Fluke 810
PD-03	ANÁLISIS FRECUENCIAL	Analizador frecuencial de vibraciones	Analizador frecuencial de vibraciones PCE-HAV-100
PD-04	ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	Analizador de Ruido Ultrasónico	Analizador Ultrasónico SONAPHONE III
PD-05	ANÁLISIS QUÍMICO	Fotómetro	Hanna instruments HI 96705
PD-06	ANÁLISIS DE ACEITES	Analizador de Aceite	Analizador de Aceite KLENOIL ICC

PD-01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DEVANADO	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		1.5
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5			1.5	0.4	4.9
	1.3 Análisis información	1	1			1		3
	1.4 Diseño plan ejecución						2	2
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1	0.3		2.3
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	1	1	2	2		0.6	6.6
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	0.5	0.5			3
4	Proceso de medición	1	1					2
5	Análisis de resultados			1	1	0.4	0.3	2.7
6	Normalizar equipo a operación convencional	0.4	0.4	0.5	0.5			1.8
7	Emisión informe	1	1			0.4		2.4
8	Comunicación de recomendaciones a responsables	0.5	0.5	2	2			5
Total	Horas	7.9	7.9	7	7	4.1	3.3	37.2
Total	Costos	\$ 36.21	\$ 25.87	\$ 45.84	\$ 41.25	\$ 48.33	\$ 61.03	\$ 258.53

PD-01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DEVANADO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Megaohmetro (MEGGER)	\$ 000.00 ³⁰	10	\$ 000.00 ³	\$ 250.00	\$ 57.69	\$ 8.33	
Equipo existente								
PD-01	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO DEVANADO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Megaohmetro (MEGGER)				\$ 30.00			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con más de uno de estos equipos a disposición, personal capacitado

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

PD-02 ANÁLISIS DE VIBRACIONES		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5				0.5		1
	1.2 Recogida y envío información	2	2	0.5	0.5		0.5	5.5
	1.3 Análisis información	1	1	1	1	1		5
	1.4 Diseño plan ejecución						1	1
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1	1		3
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	2	2	1	1			6
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	0.5	0.5	1		4
4	Proceso de medición	2	2					4
5	Análisis de resultados			1	1	0.5	0.5	3
6	Normalizar equipo a operación convencional	0.5	0.5	0.5	0.5			2
7	Emisión informe			1	1	0.5		2.5
8	Comunicación de recomendaciones a responsables			2	2			4

Total	Horas	9	8.5	8.5	8.5	4.5	2	41
Total	Costos	\$ 41.25	\$ 27.83	\$ 55.66	\$ 50.09	\$ 53.04	\$ 36.99	\$ 264.87

PD-03 ANÁLISIS FRECUENCIAL		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5				0.5		1
	1.2 Recogida y envío información	1	1				0.5	2.5
	1.3 Análisis información			2	2	1.5		5.5
	1.4 Diseño plan ejecución						1	1
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina							0
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	2	2	1	1			6
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1			1		3
4	Proceso de medición	2	2					4
5	Análisis de resultados			1	1	0.6	1	3.6
6	Normalizar equipo a operación convencional							0
7	Emisión informe			1	1	0.4		2.4
8	Comunicación de recomendaciones a responsables	1	1	2	2			6

Total	Horas	7.5	7	7	7	4	2.5	35
Total	Costos	\$ 34.38	\$ 22.92	\$ 45.84	\$ 41.25	\$ 47.15	\$ 46.24	\$ 237.77

PD-02 ANÁLISIS DE VIBRACIONES		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Analizador de vibraciones	\$ 000.00	25 10	\$ 500.00	\$ 208.33	\$ 48.08	\$ 6.94	

Equipo existente

PD-02 ANÁLISIS DE VIBRACIONES		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Analizador de vibraciones				\$ 25.00			

**Hipótesis*

En la Central Geotérmica se cuenta con más de uno de estos equipos a disposición, personal capacitado

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

PD-03 ANÁLISIS FRECUENCIAL		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Analizador frecuencial de vibraciones PCE-HAV-100	\$ 000.00	35 10	\$ 500.00	\$ 291.67	\$ 67.31	\$ 9.72	

Equipo existente

PD-03 ANÁLISIS FRECUENCIAL		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Analizador frecuencial de vibraciones PCE-HAV-100				\$ 35.00			

**Hipótesis*

En la Central Geotérmica se cuenta con más de uno de estos equipos a disposición, personal capacitado

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

PD-04	ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5				0.5		1
	1.2 Recogida y envío información	1	1	0.5	0.5		0.6	3.6
	1.3 Análisis información	1	1	1.5	0.5	1		5
	1.4 Diseño plan ejecución						1.5	1.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1	1		3
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	1	1	1	1			4
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	1	1	1		5
4	Proceso de medición	2	2					4
5	Análisis de resultados			0.5	0.5	1.5	0.5	3
6	Normalizar equipo a operación convencional	1	1	0.5	0.5			3
7	Emisión informe			1	1	1		3
8	Comunicación de recomendaciones a responsables	1	1	1	2			5

Total	Horas	8.5	8	8	8	6	2.6	41.1
Total	Costos	\$ 38.96	\$ 26.19	\$ 52.39	\$ 47.15	\$ 70.72	\$ 48.09	\$ 283.50

PD-05	ANÁLISIS QUÍMICO	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades					0.5		0.5
	1.2 Recogida y envío información		2	0.5			0.5	3
	1.3 Análisis información		1	1		1.5		3.5
	1.4 Diseño plan ejecución						1	1
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1		1		2
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos		1	1				2
3	Toma de medidas máquinas y programación		1	0.5		1		2.5
4	Proceso de medición		0.5					0.5
5	Análisis de resultados			1		0.5	0.5	2
6	Normalizar equipo a operación convencional		1	0.5				1.5
7	Emisión informe			1		2		3
8	Comunicación de recomendaciones a responsables		1	2				3

Total	Horas	0	7.5	8.5	0	6.5	2	24.5
Total	Costos	\$ -	\$ 24.56	\$ 55.66	\$ -	\$ 76.62	\$ 36.99	\$ 193.82

PD-04	ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Analizador Ultrasónico SONAPHONE III	\$ 25000.00	10	\$ 500.00	\$ 208.33	\$ 48.08	\$ 6.94	

Equipo existente								
PD-04	ANÁLISIS DE ULTRASONIDO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Analizador Ultrasónico SONAPHONE III				\$ 25.00			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con más de uno de estos equipos a disposición, personal capacitado

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

PD-05	ANÁLISIS QUÍMICO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Hanna instruments HI 96705	\$ 200.00	10	\$ 120.00	\$ 10.00	\$ 2.31	\$ 0.33	

Equipo existente								
PD-05	ANÁLISIS QUÍMICO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Hanna instruments HI 96705				\$ 1.20			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con más de uno de estos equipos a disposición, personal capacitado

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

PD-06	ANÁLISIS DE ACEITES	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		1.5
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5	0.5	0.5		1	5
	1.3 Análisis información	1	1	1	1	2		6
	1.4 Diseño plan ejecución						1	1
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			0.5	0.5	1		2
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	1	1	1	1			4
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	0.5	0.5	1		4
4	Proceso de medición	2	2					4
5	Análisis de resultados			1	1	1	0.5	3.5
6	Normalizar equipo a operación convencional	0.5	0.5	0.5	0.5			2
7	Emisión informe			2	2	1		5
8	Comunicación de recomendaciones a responsables	0.5	0.5	2	2			5

Total	Horas	8	8	9	9	6.5	2.5	43
Total	Costos	\$ 36.67	\$ 26.19	\$ 58.93	\$ 53.04	\$ 76.62	\$ 46.24	\$ 297.69

PD-06	ANÁLISIS DE ACEITES	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Analizador de Aceite KLEENOIL ICC	\$ 45000.00	10	\$ 500.00	\$ 375.00	\$ 86.54	\$ 12.50	

Equipo existente

PD-06	ANÁLISIS DE ACEITES	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Analizador de Aceite KLEENOIL ICC				\$ 45.00			

PD-06	ANÁLISIS DE ACEITES	TERCERIZACIÓN	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Analizador de Aceite KLEENOIL ICC			\$ 400.00			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con más de uno de estos equipos a disposición, personal capacitado

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

9.4. Anexo 4: Cronograma de mantenimiento predictivo

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO																			
BOMBA CENTRIFUGA NO-GRA																			
FALLOS FUNCIONALES	CLASIFICACIÓN A	MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO													
		CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC			
LA BOMBA CENTRIFUGA NO-GRA	FALLO MOTOR	EL MOTOR FUNCIONA SOLO CON DOS FASES	FALLO DEVIANDADO DEL MOTOR	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO	PO-01														
			FALLO CONEXIONES EN EL MOTOR	SOBRECARGA DE MOTOR															
				CONEXIÓN ELÉCTRICA INADECUADA															
		FALLO VENTILACIÓN	OBTURACIÓN REJILLA FILTRO	DAÑOS POR CORROSIÓN	MAL MANTENIMIENTO														
			ROTURA DEL VENTILADOR	FATIGA EN ASPAS															
				INGRESO DE MATERIAL A LAS ASPAS															
	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	PO-02														
		FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA		PO-03														
		DESALINEACIÓN CONJUNTO			PO-02	PO-02	PO-02	PO-02	PO-02	PO-02	PO-02	PO-02	PO-02	PO-02	PO-02	PO-02	PO-02	PO-02	
		MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS															
	FALLO ACOPLAMIENTO	ROTURA CLAVIJA	FATIGA CLAVIJA	MATERIAL INADECUADO DE CLAVIJA	PO-04														
			INSTALACIÓN INADECUADA	PERSONAL MAL CAPACITADO															
FALLO FIJACIÓN		DESAPRIETE PERNOS	MALA SELECCIÓN DE CLAVIJA	TORQUE INADECUADO DE INSTALACIÓN															
FALLO ELEMENTO ELÁSTICO		RUPTURA DE PERNOS	FALTA DE PEGAMENTO PARA PERNOS																
FALLO BOMBA	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE SELLOS	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	PO-03														
		FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA		PO-03														
		DESALINEACIÓN CONJUNTO			PO-03														
	RODOTE ATASCADO	MAL MONTAJE	PERSONAL NO CAPACITADO	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS															
		INSERCIÓN DE PARTÍCULAS EN LA HOLGURA RODOTE-CARGASA																	
		RODOTE Desequilibrado	ACUMULACIÓN DE SILICE EN RODOTE		PO-02														
FALLO ARRANCADOR ELÉCTRICO	FALLO EN TARJETA DE CONTROL	PISTAS DE TARJETA DE CONTROL QUEMADAS	RUPTURA DE ANILLOS DE SEGURIDAD																
		ELEMENTOS ELECTRÓNICOS INDEPENDIENTES QUEMADOS																	
	FALLO EN IGBT'S	IGBT'S EN CORTO																	
		IGBT'S QUEMADOS																	
	FALLO EN CONTACTOR AUXILIAR	MALA INSTALACIÓN DE CONEXIONES	PERSONAL MAL CAPACITADO																
		CONTACTOS AUXILIARES DAÑADOS																	
	FALLO DE PROGRAMACIÓN DEL ARRANCADOR	SOBINA DEL CONTACTOR EN DAÑADA																	
		DAÑO EN ESTRUCTURA DE CONTACTOR	GOLPES A CONTACTOR																
CORRUPCIÓN DE PROGRAMA DE CONTROL		ERROR DE OPERACIÓN																	
PERDIDA DE MEMORIA DE CONTROLADOR		FALLA DE INTEGRADOS DE MEMORIA																	

COSTOS DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO																			
BOMBA CENTRIFUGA NO-GRA																			
FALLOS FUNCIONALES	CLASIFICACIÓN A	MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO													
		CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC			
LA BOMBA CENTRIFUGA NO-GRA	FALLO MOTOR	EL MOTOR FUNCIONA SOLO CON DOS FASES	FALLO DEVIANDADO DEL MOTOR	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO															
			FALLO CONEXIONES EN EL MOTOR	SOBRECARGA DE MOTOR															
				CONEXIÓN ELÉCTRICA INADECUADA															
		FALLO VENTILACIÓN	OBTURACIÓN REJILLA FILTRO	DAÑOS POR CORROSIÓN	MAL MANTENIMIENTO														
			ROTURA DEL VENTILADOR	FATIGA EN ASPAS															
				INGRESO DE MATERIAL A LAS ASPAS															
	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS															
		FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA			289.87													
		DESALINEACIÓN CONJUNTO					272.77												
		MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS		289.87	289.87	289.87	289.87	289.87	289.87	289.87	289.87	289.87	289.87	289.87	289.87	289.87	
	FALLO ACOPLAMIENTO	ROTURA CLAVIJA	FATIGA CLAVIJA	MATERIAL INADECUADO DE CLAVIJA	491.83														
			INSTALACIÓN INADECUADA	PERSONAL MAL CAPACITADO															
FALLO FIJACIÓN		DESAPRIETE TORNILLOS	FALTA DE THREADLOCK EN TORNILLOS																
FALLO ELEMENTO ELÁSTICO		RUPTURA DE TORNILLOS	MALA SELECCIÓN DE TORNILLOS																
FALLO BOMBA	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE SELLOS	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS															
		FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA			272.77													
		DESALINEACIÓN CONJUNTO					272.77												
	RODOTE ATASCADO	MAL MONTAJE	PERSONAL NO CAPACITADO	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS															
		INSERCIÓN DE PARTÍCULAS EN LA HOLGURA RODOTE-CARGASA																	
		RODOTE Desequilibrado	ACUMULACIÓN DE SILICE EN RODOTE																
FALLO ARRANCADOR ELÉCTRICO	FALLO EN TARJETA DE CONTROL	PISTAS DE TARJETA DE CONTROL QUEMADAS	RUPTURA DE ANILLOS DE SEGURIDAD																
		ELEMENTOS ELECTRÓNICOS INDEPENDIENTES QUEMADOS																	
	FALLO EN IGBT'S	IGBT'S EN CORTO																	
		IGBT'S QUEMADOS																	
	FALLO EN CONTACTOR AUXILIAR	MALA INSTALACIÓN DE CONEXIONES	PERSONAL MAL CAPACITADO																
		CONTACTOS AUXILIARES DAÑADOS																	
	FALLO DE PROGRAMACIÓN DEL ARRANCADOR	SOBINA DEL CONTACTOR EN DAÑADA																	
		DAÑO EN ESTRUCTURA DE CONTACTOR	GOLPES A CONTACTOR																
CORRUPCIÓN DE PROGRAMA DE CONTROL		ERROR DE OPERACIÓN																	
PERDIDA DE MEMORIA DE CONTROLADOR		FALLA DE INTEGRADOS DE MEMORIA																	

9.5. Anexo 5: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por inspección

TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR INSPECCIÓN			
Código	Técnica Preventiva	Instrumento	Instrumento (real)
PDI-01	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	Amperímetro	Fluke 376 FC
PDI-02	INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES	Accesorios visuales	Thrunite TH30
PDI-03	INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA	Accesorios visuales y de limpieza	Thrunite TH30 + Kit de Limpieza
PDI-04	INSPECCIÓN ESTROBOSCÓPICA	Estroboscopio	Extech 461830-NIST
PDI-05	INSPECCIÓN VISUAL	Accesorios visuales	Thrunite TH30
PDI-06	MEDICIÓN DE RPM	Tacómetro	Extech RPM33
PDI-07	MEDICIÓN DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	Multímetro	Fluke 87V
PDI-08	INSPECCIÓN VISUAL CON MAGNIFICACIÓN	Accesorios visuales	Thrunite TH30 + BAUSCH & LOMB 81-61-31

PDI-01	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							1.5
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		6
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5			2	1	2.5
	1.3 Análisis información	1	1			0.5		1
	1.4 Diseño plan ejecución						1	0
2	Preparación y ejecución							1.5
	2.1 Puesta en seguridad máquina			0.5	0.5	0.5		3
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	0.5		0.5			2	1
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5		0.5				0.5
4	Proceso de medición	0.5						2
5	Análisis de resultados			1		1		0
6	Normalizar equipo a operación convencional							2
7	Emisión informe			1		1		2
8	Comunicación de recomendaciones a responsables			1		1		2

Total	Horas	4.5	3	4.5	0.5	6.5	4	23
Total	Costos	\$ 20.63	\$ 9.82	\$ 29.47	\$ 2.95	\$ 76.62	\$ 73.98	\$ 213.46

PDI-01	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Tenaza Amperimétrica	\$ 1 000.00	10	\$ 100.00	\$ 8.33	\$ 1.92	\$ 0.28	\$ 1 000.00

Equipo existente								
PD-01	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN FASES	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Tenaza Amperimétrica				\$ 1.00			

*Se cuenta con equipo ya existente en la Central Geotérmica, el personal capacitado; considerando la cantidad de motores que existen
No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo anterior se consideró un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

	Mano de obra	Costo de uso de instrumento
Costo	\$ 213.46	\$ 1.00
		\$ 214.46

PDI-02 INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							1.5
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		6
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5			2	1	2.5
	1.3 Análisis información	1	1			0.5		0.5
	1.4 Diseño plan ejecución						0.5	0
2	Preparación y ejecución							1.5
	2.1 Puesta en seguridad máquina			0.5	0.5	0.5		1
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos		0.5		0.5			1.5
3	Toma de medidas máquinas y programación		1		0.5			1
4	Proceso de medición		1					1.5
5	Análisis de resultados				0.5	0.5	0.5	2
6	Normalizar equipo a operación convencional		1		0.5			2
7	Emisión informe		1			1		2
8	Comunicación de recomendaciones a responsables				1	1		2

Total	Horas	3	7.5	0.5	3.5	6	2	22.5
Total	Costos	\$ 13.75	\$ 24.56	\$ 3.27	\$ 20.63	\$ 70.72	\$ 36.99	\$ 169.92

PDI-03 INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							1.5
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		6
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5			2	1	2.5
	1.3 Análisis información	1	1			0.5		0.5
	1.4 Diseño plan ejecución						0.5	0
2	Preparación y ejecución							1.5
	2.1 Puesta en seguridad máquina			0.5	0.5	0.5		2.5
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos		1		1		0.5	1.5
3	Toma de medidas máquinas y programación		1		0.5			4
4	Proceso de medición		2		2			1.5
5	Análisis de resultados				0.5	0.5	0.5	2
6	Normalizar equipo a operación convencional		1		0.5			2
7	Emisión informe		1			1		2
8	Comunicación de recomendaciones a responsables				1	1		2

Total	Horas	3	9	0.5	6	6	2.5	27
Total	Costos	\$ 13.75	\$ 29.47	\$ 3.27	\$ 35.36	\$ 70.72	\$ 46.24	\$ 198.81

PDI-02 INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Linterna	\$ 80.00	3	\$ 26.67	\$ 2.22	\$ 0.51	\$ 0.07	\$ 80.00

PDI-02 INSPECCIÓN VISUAL DE CONEXIONES		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Linterna				\$ 0.27			

*Se cuenta con equipo ya existente en la Central Geotérmica, el personal capacitado; considerando la cantidad de motores que existen
No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo anterior se consideró un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

		Mano de obra	Costo de uso de instrumento
Costo	\$	\$	
	169.92	0.27	
		\$	
		170.19	

PDI-03 INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Linterna	\$ 80.00	3	\$ 26.67	\$ 2.22	\$ 0.51	\$ 0.07	\$ 80.00
1	Kit de Limpieza	\$ 50.00	0.5	\$ 100.00	\$ 8.33	\$ 1.92	\$ 0.28	\$ 50.00

PDI-03 INSPECCIÓN VISUAL/LIMPIEZA		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Linterna				\$ 1.27			

*Se cuenta con equipo ya existente en la Central Geotérmica, el personal capacitado; considerando la cantidad de motores que existen
No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo anterior se consideró un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

		Mano de obra	Costo de uso de instrumento
Costo	\$	\$	
	198.81	1.27	
		\$	
		200.08	

PDI-04 INSPECCIÓN ESTROBOSCÓPICA		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							1.5
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		6
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5			2	1	2.5
	1.3 Análisis información	1	1			0.5		1
	1.4 Diseño plan ejecución						1	0
2	Preparación y ejecución							1.5
	2.1 Puesta en seguridad máquina			0.5	0.5	0.5		2.5
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	1		1			0.5	1.5
3	Toma de medidas máquinas y programación	1		0.5				2
4	Proceso de medición	1		1				1.5
5	Análisis de resultados			1		0.5	0.5	2
6	Normalizar equipo a operación convencional	1		0.5				2
7	Emisión informe	1				1		2
8	Comunicación de recomendaciones a responsables			1		1		2

Total	Horas	8	3	5.5	0.5	6	3	26
Total	Costos	\$ 36.67	\$ 9.82	\$ 36.02	\$ 2.95	\$ 70.72	\$ 55.48	\$ 211.66

PDI-05 INSPECCIÓN VISUAL		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							1.5
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		6
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5			2	1	2.5
	1.3 Análisis información	1	1			0.5		0.5
	1.4 Diseño plan ejecución						0.5	0
2	Preparación y ejecución							1.5
	2.1 Puesta en seguridad máquina			0.5	0.5	0.5		1.5
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos		0.5		0.5		0.5	1
3	Toma de medidas máquinas y programación		0.5		0.5			2
4	Proceso de medición		1		1			3.25
5	Análisis de resultados		1		1	1	0.25	1
6	Normalizar equipo a operación convencional		0.5		0.5			1
7	Emisión informe		0.5			0.5		2
8	Comunicación de recomendaciones a responsables				1	1		

Total	Horas	3	7	0.5	5	6	2.25	23.75
Total	Costos	\$ 13.75	\$ 22.92	\$ 3.27	\$ 29.47	\$ 70.72	\$ 41.61	\$ 181.75

PDI-04 INSPECCIÓN ESTROBOSCÓPICA	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1 Estroboscopio	\$ 360.00	10	\$ 36.00	\$ 3.00	\$ 0.69	\$ 0.10	\$ 360.00

Equipo existente							
PDI-04 INSPECCIÓN ESTROBOSCÓPICA	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1 Estroboscopio				\$ 0.36			

*Se cuenta con equipo ya existente en la Central Geotérmica, el personal capacitado; considerando la cantidad de motores que existen
No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo anterior se consideró un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

	Mano de obra	Costo de uso de instrumento
Costo	\$ 211.66	\$ 0.36
		\$ 212.02

PDI-05 INSPECCIÓN VISUAL	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1 Linterna	\$ 80.00	3	\$ 26.67	\$ 2.22	\$ 0.51	\$ 0.07	\$ 80.00

Equipo existente							
PDI-05 INSPECCIÓN VISUAL	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1 Linterna				\$ 0.27			

*Se cuenta con equipo ya existente en la Central Geotérmica, el personal capacitado; considerando la cantidad de motores que existen
No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo anterior se consideró un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

	Mano de obra	Costo de uso de instrumento
Costo	\$ 181.75	\$ 0.27
		\$ 182.01

PDI-06 MEDICIÓN DE RPM		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		1.5
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5			2	1	6
	1.3 Análisis información	1	1			0.5		2.5
	1.4 Diseño plan ejecución						0.5	0.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			0.5	0.5	0.5		1.5
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	0.5		0.5			3	4
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5	0.5	0.5				1.5
4	Proceso de medición	1	1	1				3
5	Análisis de resultados	1		1		1	0.5	3.5
6	Normalizar equipo a operación convencional	1		1				2
7	Emisión informe	1				0.5		1.5
8	Comunicación de recomendaciones a responsables			1		1		2

Total	Horas	8	4.5	5.5	0.5	6	5	29.5
Total	Costos	\$ 36.67	\$ 14.73	\$ 36.02	\$ 2.95	\$ 70.72	\$ 92.47	\$ 253.56

PDI-07 MEDICIÓN DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN EN		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		1.5
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5			2	1	6
	1.3 Análisis información	1	1			0.5		2.5
	1.4 Diseño plan ejecución						0.5	0.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			0.5	0.5	0.5		1.5
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	0.5	0.5	0.5			0.5	2
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5	0.5	0.5				1.5
4	Proceso de medición	1	1	1				3
5	Análisis de resultados	1		1		1	0.25	3.25
6	Normalizar equipo a operación convencional	1		1				2
7	Emisión informe	1				0.5		1.5
8	Comunicación de recomendaciones a responsables			1		1		2

Total	Horas	8	5	5.5	0.5	6	2.25	27.25
Total	Costos	\$ 36.67	\$ 16.37	\$ 36.02	\$ 2.95	\$ 70.72	\$ 41.61	\$ 204.34

PDI-06 MEDICIÓN DE RPM		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Exttech RPM33	\$ 450.00	10	\$ 45.00	\$ 3.75	\$ 0.87	\$ 0.13	\$ 450.00

PDI-06 MEDICIÓN DE RPM		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Exttech RPM33				\$ 0.45			

*Se cuenta con equipo ya existente en la Central Geotérmica, el personal capacitado; considerando la cantidad de motores que existen
No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo anterior se consideró un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

		Mano de obra	Costo de uso de instrumento
Costo	\$ 253.56	\$ 0.45	
		\$	254.01

PDI-07 MEDICIÓN DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN EN		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Fluke 87V	\$ 850.00	10	\$ 85.00	\$ 7.08	\$ 1.63	\$ 0.24	\$ 850.00

PDI-07 MEDICIÓN DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN EN		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Fluke 87V				\$ 0.85			

*Se cuenta con equipo ya existente en la Central Geotérmica, el personal capacitado; considerando la cantidad de motores que existen
No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo anterior se consideró un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

		Mano de obra	Costo de uso de instrumento
Costo	\$ 204.34	\$ 0.85	
		\$	205.19

PDI-08 INSPECCIÓN VISUAL CON MAGNIFICACIÓN		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5			0.5		1.5
	1.2 Recogida y envío información	1.5	1.5			2	1	6
	1.3 Análisis información	1	1			0.5		2.5
	1.4 Diseño plan ejecución						0.5	0.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			0.5	0.5	0.5		1.5
	2.2 Preparación equipo humano e instrumentos	0.5		0.5	0.5		0.5	2
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5		0.5	0.5			1.5
4	Proceso de medición	3		3	3			9
5	Análisis de resultados	1		1	1	1	0.25	4.25
6	Normalizar equipo a operación convencional	1			1			2
7	Emisión informe	1			1	0.5		2.5
8	Comunicación de recomendaciones a responsables			1	1			2

Total	Horas	10	3	6.5	8.5	5	2.25	35.25
Total	Costos	\$ 45.84	\$ 9.82	\$ 42.56	\$ 50.09	\$ 58.93	\$ 41.61	\$ 248.87

PDI-08 INSPECCIÓN VISUAL CON MAGNIFICACIÓN		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Thrunite TH30	\$ 80.00	3	\$ 26.67	\$ 2.22	\$ 0.51	\$ 0.07	\$ 80.00
2	Bausch & Lomb 81-61-31	\$ 40.00	1	\$ 80.00	\$ 6.67	\$ 1.54	\$ 0.22	\$ 40.00

Equipo existente

PDI-08 INSPECCIÓN VISUAL CON MAGNIFICACIÓN		Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Annual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Thrunite TH30				\$ 1.07			

**Se cuenta con equipo ya existente en la Central Geotérmica, el personal capacitado; considerando la cantidad de motores que existen
No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo anterior se consideró un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual*

	Mano de obra	Costo de uso de instrumento
Costo por aplicar la medición de aislamiento de devanado	\$ 248.87	\$ 1.07
		\$ 249.93

9.6. Anexo 6: Cronograma de mantenimiento preventivo por inspección

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					PLAN DE MANTENIMIENTO													
BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA																		
FALLOS FUNCIONALES	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
LA BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA	FALLO MOTOR	EL MOTOR FUNCIONA SÓLO CON DOS FASES	FALLO DEVIANADO DEL MOTOR	ROTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO SOBRECARGA DE MOTOR	PD-01													
			FALLO CONEXIONES EN EL MOTOR	CONEXIÓN ELÉCTRICA INADECUADA DAÑOS POR CORROSIÓN														
			FALLO VENTILACIÓN	OBTURACIÓN REJILLA FILTRO ROTURA DEL VENTILADOR	FATIGA EN ASPAS INGRESO DE MATERIAL A LAS ASPAS													
		RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	PD-02													
			FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA DESALINEACIÓN CONJUNTO		PD-03				PD-03					PD-03			PD-03
	FALLO ACOPLAMIENTO	ROTURA CLAVIJA	FATIGA CLAVIJA	MATERIAL INADECUADO DE CLAVIJA PERSONAL MAL CAPACITADO	PD-04				PD-04									
			INSTALACIÓN INADECUADA	MALA SELECCIÓN DE CLAVIJA TORQUE INADECUADO DE INSTALACIÓN														
		FALLO FIJACIÓN	DESAPRIETE PERNOS RUPURA DE PERNOS	FALTA DE PEGAMENTO PARA PERNOS MALA SELECCIÓN DE PERNOS														
		FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FATIGA DE ELEMENTO ELÁSTICO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL ERROR DE PROVEEDOR														
		FALLO BOMBA	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE SELLOS MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	PD-03												
FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA DESALINEACIÓN CONJUNTO				PD-03				PD-03					PD-03				
RODETE ATASCADO	RODETE INSECCIÓN DE PARTÍCULAS EN LA HOLGURA RODETE-CARGASA		ACUMULACIÓN DE SLICE EN RODETE															
FALLO ARRANCADOR ELÉCTRICO	FALLO EN TARJETA DE CONTROL	PISTAS DE TARJETA DE CONTROL QUEMADAS	ELEMENTOS ELECTRÓNICOS INDEPENDIENTES QUEMADOS															
	FALLO EN IGBT'S	IGBT'S EN CORTO IGBT'S QUEMADOS																
	FALLO EN CONTACTOR AUXILIAR	MALA INSTALACIÓN DE CONEXIONES	CONTACTOS AUXILIARES DAÑADOS	PERSONAL MAL CAPACITADO														
		BOBINA DEL CONTACTOR EN DANADA	DAÑO EN ESTRUCTURA DE CONTACTOR	GOLPES A CONTACTOR														
	FALLO DE PROGRAMACIÓN DEL ARRANCADOR	CORRUPCIÓN DE PROGRAMA DE CONTROL	PERDIDA DE MEMORIA DE CONTROLADOR	ERROR DE OPERACIÓN FALLA DE INTEGRADOS DE MEMORIA PERDIDA DE ENERGÍA A MEMORIA VOLÁTIL														
	PROGRAMACIÓN CON PARÁMETROS INCORRECTOS	DAÑO EN PISTAS DE TARJETA DE CIRCUITOS	PERSONAL MAL CAPACITADO ERROR DE DOCUMENTACIÓN ENTRADA DE SUCIEDAD SOBRECARGA DE EQUIPO															

COSTOS DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					PLAN DE MANTENIMIENTO													
BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA																		
FALLOS FUNCIONALES	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
LA BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA	FALLO MOTOR	EL MOTOR FUNCIONA SÓLO CON DOS FASES	FALLO DEVIANADO DEL MOTOR	ROTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO SOBRECARGA DE MOTOR									288.53					
			FALLO CONEXIONES EN EL MOTOR	CONEXIÓN ELÉCTRICA INADECUADA DAÑOS POR CORROSIÓN														
			FALLO VENTILACIÓN	OBTURACIÓN REJILLA FILTRO ROTURA DEL VENTILADOR	FATIGA EN ASPAS INGRESO DE MATERIAL A LAS ASPAS													
		RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS														
			FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA DESALINEACIÓN CONJUNTO														
	FALLO ACOPLAMIENTO	ROTURA CLAVIJA	FATIGA CLAVIJA	MATERIAL INADECUADO DE CLAVIJA PERSONAL MAL CAPACITADO	491.83													
			INSTALACIÓN INADECUADA	MALA SELECCIÓN DE CLAVIJA TORQUE INADECUADO DE INSTALACIÓN														
		FALLO FIJACIÓN	DESAPRIETE TORNILLOS RUPURA DE TORNILLOS	FALTA DE THREADLOCK EN TORNILLOS MALA SELECCIÓN DE TORNILLOS														
		FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FATIGA DE ELEMENTO ELÁSTICO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL ERROR DE PROVEEDOR														
		FALLO BOMBA	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE SELLOS MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS													
FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA DESALINEACIÓN CONJUNTO																	
RODETE ATASCADO	RODETE INSECCIÓN DE PARTÍCULAS EN LA HOLGURA RODETE-CARGASA		ACUMULACIÓN DE SLICE EN RODETE															
FALLO ARRANCADOR ELÉCTRICO	FALLO EN TARJETA DE CONTROL	PISTAS DE TARJETA DE CONTROL QUEMADAS	ELEMENTOS ELECTRÓNICOS INDEPENDIENTES QUEMADOS															
	FALLO EN IGBT'S	IGBT'S EN CORTO IGBT'S QUEMADOS																
	FALLO EN CONTACTOR AUXILIAR	MALA INSTALACIÓN DE CONEXIONES	CONTACTOS AUXILIARES DAÑADOS	PERSONAL MAL CAPACITADO														
		BOBINA DEL CONTACTOR EN DANADA	DAÑO EN ESTRUCTURA DE CONTACTOR	GOLPES A CONTACTOR														
	FALLO DE PROGRAMACIÓN DEL ARRANCADOR	CORRUPCIÓN DE PROGRAMA DE CONTROL	PERDIDA DE MEMORIA DE CONTROLADOR	ERROR DE OPERACIÓN FALLA DE INTEGRADOS DE MEMORIA PERDIDA DE ENERGÍA A MEMORIA VOLÁTIL														
	PROGRAMACIÓN CON PARÁMETROS INCORRECTOS	DAÑO EN PISTAS DE TARJETA DE CIRCUITOS	PERSONAL MAL CAPACITADO ERROR DE DOCUMENTACIÓN ENTRADA DE SUCIEDAD SOBRECARGA DE EQUIPO															

9.7. Anexo 7: Costo de aplicación de mantenimiento preventivo por actuación planificada

TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR ACCIÓN PLANIFICADA			
Código	Técnica Predictiva	Instrumento	Instrumento (real)
PDP-01	CAMBIO DE ASPAS	Torquimetro	Torquimetro de 1/2" (150 lb).
PDP-02	INSPECCIÓN Y CAMBIO DE PIEZA	Herramientas manuales / eléctricas	Caja con herramientas
PDP-03	CAMBIAR ENGRASAR	ACEITE Engrasadora / Aceitera	Engrasadora manual 6 000 psi / Aceitera manual tubo flexible
PDP-04	CAMBIO DE CLAVIJA EN LA REPARACIÓN	Herramientas manuales / eléctricas	Caja con herramientas
PDP-05	CAMBIO DE ELEMENTO ELÁSTICO	Herramientas manuales / eléctricas	Caja con herramientas
PDP-06	CAMBIO DE ANILLO DE SEGURIDAD	Herramientas manuales / eléctricas	Caja con herramientas
PDP-07	CAMBIO DE PARAMETRIZACIÓN	Herramientas manuales / eléctricas	Caja con herramientas
PDP-08	CAMBIO DE PLACA ELECTRÓNICA	Herramientas manuales / eléctricas	Caja con herramientas
PDP-09	CAMBIO DE BATERÍAS INTERNA	Herramientas manuales / eléctricas	Caja con herramientas
PDP-10	REAPRIETE DE PERNOS	Herramientas manuales / eléctricas	Caja con herramientas
PDP-11	REVISIÓN DE SEÑALIZACIÓN	Herramientas manuales	Caja con herramientas
PDP-12	REEMPLAZO DE VÁLVULA	Herramientas manuales	Caja con herramientas
PDP-13	MANTENIMIENTO DE VÁLVULA	Equipos de calibración	Caja con herramientas
PDP-14	RECALIBRACIÓN	Herramientas manuales	Caja con herramientas
PDP-15	MANTENIMIENTO TUBERÍAS	Herramientas manuales	Caja con herramientas
PDP-16	LIMPIEZA TUBERÍAS	Herramientas manuales	Caja con herramientas
PDP-17	REEMPLAZO SELLO DE VÁLVULA	Herramientas manuales	Caja con herramientas
PDP-18	LIMPIEZA FILTRO	Herramientas manuales	Caja con herramientas
PDP-19	CALIBRACIÓN INSTRUMENTACIÓN	Herramientas manuales	Caja con herramientas
PDP-20	LIMPIEZA DE ASPAS	Herramientas manuales	Caja con herramientas
PDP-21	REEMPLAZO SELLO MECÁNICO	Herramientas manuales	Caja con herramientas
PDP-22	REEMPLAZO DE EMPAQUES	Herramientas manuales	Caja con herramientas

PDP-01	CAMBIO DE ASPAS	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades			0.5	0.5	1		2
	1.2 Recogida y envío información			1	1	1	1	4
	1.3 Análisis información					2	0.5	2.5
	1.4 Diseño plan ejecución					2	0.5	2.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina					1		1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	2	2					4
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	2	2	1				5
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	1	1			4
4	Ejecución de tarea	4	4	4	4			16
5	Supervisión de trabajo realizado			0.5	0.5	0.5		1.5
6	Entrega de equipo intervenido			0.5	0.5			1
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1	1			2
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					2		2

Total	Horas	9	9	9.5	8.5	9.5	2	47.5
Total	Costos	\$ 41.25	\$ 29.47	\$ 62.21	\$ 50.09	\$ 111.98	\$ 36.99	\$ 331.99

PDP-02	INSPECCIÓN Y CAMBIO DE PIEZAS	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	2	2	0.5	0.5			5
	1.2 Recogida y envío información			1	1			2
	1.3 Análisis información					1		1
	1.4 Diseño plan ejecución					2	0.5	2.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina				1			1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	1	1					2
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1	1					2
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	0.5	0.5			3
4	Ejecución de tarea	2.5	2.5	2.5	2.5			10
5	Supervisión de trabajo realizado			0.5	0.5	1		2
6	Entrega de equipo intervenido	1		0.5				1.5
7	Puesta en marcha de equipo entregado	1		1				2
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					0.5		0.5

Total	Horas	9.5	7.5	6.5	6	4.5	0.5	34 1/2
Total	Costos	\$ 43.55	\$ 24.56	\$ 42.56	\$ 35.36	\$ 53.04	\$ 9.25	\$ 208.32

PDP-01	CAMBIO DE ASPAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Torquímetro de 1/2" (150 lb).	\$ 55.00	5	\$ 11.00	\$ 0.92	\$ 0.21	\$ 0.03	
1	ASPAS NUEVAS	\$ 2 500.00						

\$ 11.00

Equipo existente

PDP-01	CAMBIO DE ASPAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Torquímetro de 1/2" (150 lb).	\$ -	5		\$ 0.11			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con más de uno de estos equipos a disposición, personal capacitado

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra
\$ 331.99
1% del Int Anual
\$ 0.11
\$ 832.10

2

PDP-02	INSPECCIÓN Y CAMBIO DE PIEZAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
1	RETENEDORES	\$ 25.00						

\$ 63.43

Equipo existente

PDP-02	INSPECCIÓN Y CAMBIO DE PIEZAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas				\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra
\$ 208.32
Costo de uso de instrumento
\$ 0.63
\$ 233.95

PDP-03 CAMBIAR ACEITE ENGRASAR		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	1	1					2
	1.2 Recogida y envío información			1	1			2
	1.3 Análisis información					1		1
	1.4 Diseño plan ejecución					2	0.5	2.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina					1		1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	1	1	0.25	0.25			2.5
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1	1					2
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	0.5				2.5
4	Ejecución de tarea	2	2	2	2			8
5	Supervisión de trabajo realizado			0.5	0.5	1		2
6	Entrega de equipo intervenido	1	1	0.5				2.5
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1				1
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	7	7	5.75	3.75	6	0.5	30
Total	Costos	\$ 32.09	\$ 22.92	\$ 37.65	\$ 22.10	\$ 70.72	\$ 9.25	\$ 194.73

PDP-04 CAMBIO DE CLAVIJA EN LA REPARACIÓN		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	1	1					2
	1.2 Recogida y envío información			1	1			2
	1.3 Análisis información					1		1
	1.4 Diseño plan ejecución					2	0.5	2.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina					1		1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	1	1					2
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1						1
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	0.5	0.5			3
4	Ejecución de tarea	3	3	2	2			10
5	Supervisión de trabajo realizado			0.5	0.5	1		2
6	Entrega de equipo intervenido	1	1	0.5	0.5			3
7	Puesta en marcha de equipo entregado					1	2	3
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	8	7	4.5	5.5	8	0.5	33.5
Total	Costos	\$ 36.67	\$ 22.92	\$ 29.47	\$ 32.41	\$ 94.30	\$ 9.25	\$ 225.01

PDP-03 CAMBIAR ACEITE ENGRASAR		Costo de						Total
		Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	
1	Engrasadora manual 6 000 psi / Aceitera manual tubo flexible	\$ 20.00	10	\$ 2.00	\$ 0.17	\$ 0.04	\$ 0.01	
1	GRASA ESPECIAL	\$ 40.00						

\$ 2.00

Equipo existente

PDP-03 CAMBIAR ACEITE ENGRASAR		Costo de						Total
		Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	
1	Engrasadora manual 6 000 psi / Aceitera manual tubo flexible		10		\$ 0.02			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra
\$ 194.73

Costo de uso de instrumento
\$ 0.02

\$ 194.75

PDP-04 CAMBIO DE CLAVIJA EN LA REPARACIÓN		Costo de						Total
		Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	CLAVIJA DE ACOPLE MECÁNICO	\$ 200.00						

\$ 63.43

Equipo existente

PDP-04 CAMBIO DE CLAVIJA EN LA REPARACIÓN		Costo de						Total
		Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	
1	Caja con herramientas				\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra
\$ 225.01

Costo de uso de instrumento
\$ 0.63

\$ 425.65

PDP-05	CAMBIO DE ELEMENTO ELÁSTICO	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	1	1					2
	1.2 Recogida y envío información			1	1			2
	1.3 Análisis información					1		1
	1.4 Diseño plan ejecución					2	0.5	2.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina					1		1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	1	1					2
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1		0.5				1.5
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	0.5	0.5			3
4	Ejecución de tarea	2	1	2	1			6
5	Supervisión de trabajo realizado			0.5	0.5	1		2
6	Entrega de equipo intervenido			0.5	0.5	1		2
7	Puesta en marcha de equipo entregado				1	1		2
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	6	4	5	4.5	8	0.5	28
Total	Costos	\$ 27.50	\$ 13.10	\$ 32.74	\$ 26.52	\$ 94.30	\$ 9.25	\$ 203.40

PDP-06	CAMBIO DE ANILLO DE SEGURIDAD	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	1	1					2
	1.2 Recogida y envío información			1	1			2
	1.3 Análisis información					1		1
	1.4 Diseño plan ejecución					2	0.5	2.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina					2		2
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	1	1	0.25	0.25			2.5
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar		1	1	1			2
3	Toma de medidas máquinas y programación	2	2	1	1			6
4	Ejecución de tarea	2	1	2	1			6
5	Supervisión de trabajo realizado			0.5	0.5	1		2
6	Entrega de equipo intervenido			0.5	0.5	1		2
7	Puesta en marcha de equipo entregado				2	2	1	5
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	6	6	5.25	7.25	10	1.5	36
Total	Costos	\$ 27.50	\$ 19.64	\$ 34.38	\$ 42.73	\$ 117.87	\$ 27.74	\$ 269.86

PDP-05	CAMBIO DE ELEMENTO ELÁSTICO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	ELEMENTO ELÁSTICO NUEVO	\$ 125.00						

\$ 63.43

Equipo existente

PDP-05	CAMBIO DE ELEMENTO ELÁSTICO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas				\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra
\$ 203.40
Costo de uso de instrumento
\$ 0.63
\$ 329.04

PDP-06	CAMBIO DE ANILLO DE SEGURIDAD	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	ANILLOS DE SEGURIDAD NUEVOS	\$ 400.00						

\$ 63.43

Equipo existente

PDP-06	CAMBIO DE ANILLO DE SEGURIDAD	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra
\$ 269.86
Costo de uso de instrumento
\$ 0.63
\$ 670.50

PDP-07	CAMBIO DE PARAMETRIZACIÓN	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5						0.5
	1.2 Recogida y envío información	0.5						0.5
	1.3 Análisis información			1	1			2
	1.4 Diseño plan ejecución			1		1	0.5	2.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1				1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	1	1					2
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1	1					2
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1					2
4	Ejecución de tarea	2	2	2	2			8
5	Supervisión de trabajo realizado			2				2
6	Entrega de equipo intervenido			0.5	0.5			1
7	Puesta en marcha de equipo entregado					1		1
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	6	5	7.5	3.5	3	0.5	25.5
Total	Costos	\$ 27.50	\$ 16.37	\$ 49.11	\$ 20.63	\$ 35.36	\$ 9.25	\$ 158.22

PDP-08	CAMBIO DE PLACA ELECTRÓNICA	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5		0.5				1
	1.2 Recogida y envío información			1	1			2
	1.3 Análisis información			1	1			2
	1.4 Diseño plan ejecución					1	0.5	1.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina					1		1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	2		1				3
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar			2	2			4
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	1	1	0.5		4.5
4	Ejecución de tarea	2	2	2	2			8
5	Supervisión de trabajo realizado			2	2	1		5
6	Entrega de equipo intervenido			1	1	1		3
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1	1	1		3
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	5.5	3	12.5	11	6.5	0.5	39
Total	Costos	\$ 25.21	\$ 9.82	\$ 81.85	\$ 64.83	\$ 76.62	\$ 9.25	\$ 267.58

PDP-07	CAMBIO DE PARAMETRIZACIÓN	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	SERVICIO TÉCNICO	\$ 165.00						

\$ 63.43

Equipo existente

PDP-07	CAMBIO DE PARAMETRIZACIÓN	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 158.22	\$ 0.63
	\$ 323.86

PDP-08	CAMBIO DE PLACA ELECTRÓNICA	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 61.96	\$ 5.16	\$ 1.19	\$ 0.17	
	REPUESTO ELECTRÓNICO	\$ 500.00						

\$ 61.96

Equipo existente

PDP-08	CAMBIO DE PLACA ELECTRÓNICA	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas				\$ 0.62			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 267.58	\$ 0.62

PDP-09	CAMBIO DE BATERÍAS INTERNAS							Total
		Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5						0.5
	1.2 Recogida y envío información	0.5						0.5
	1.3 Análisis información			1				1
	1.4 Diseño plan ejecución			1				1
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1				1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	1						1
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1						1
3	Toma de medidas máquinas y programación	1						1
4	Ejecución de tarea	1						1
5	Supervisión de trabajo realizado			0.5				0.5
6	Entrega de equipo intervenido			0.5				0.5
7	Puesta en marcha de equipo entregado			0.5				0.5
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)			0.5				0.5

Total	Horas	5	0	5	0	0	0	10
Total	Costos	\$ 22.92	\$ -	\$ 32.74	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 55.66

PDP-09	CAMBIO DE BATERÍAS INTERNAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	BATERÍAS NUEVAS	\$ 45.00						

\$ 63.43

Equipo existente

PDP-09	CAMBIO DE BATERÍAS INTERNAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis
En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se esta comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 55.66	\$ 0.63

PDP-10	REAPRIETE DE PERNOS	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades			0.5	0.5			1
	1.2 Recogida y envío información	0.5	0.5					1
	1.3 Análisis información			0.5	0.5			1
	1.4 Diseño plan ejecución					1	0.5	1.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1				1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	1	1					2
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1	1					2
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5	0.5	1	1			3
4	Ejecución de tarea	2	2	2	2			8
5	Supervisión de trabajo realizado				1	1		2
6	Entrega de equipo intervenido			1	1			2
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1	1	1		3
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)			1	1			2

Total	Horas	5	5	8	8	3	0.5	29.5
Total	Costos	\$ 22.92	\$ 16.37	\$ 52.39	\$ 47.15	\$ 35.36	\$ 9.25	\$ 183.43

PDP-10	REAPRIETE DE PERNOS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	

Equipo existente								
PDP-10	REAPRIETE DE PERNOS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

***Hipótesis**

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 183.43	\$ 0.63
	\$ 184.07

PDP-11	REVISIÓN DE SEÑALIZACIÓN	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	1		1				2
	1.2 Recogida y envío información	0.5	0.5					1
	1.3 Análisis información			0.5	0.5			1
	1.4 Diseño plan ejecución					1	0.5	1.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1				1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	0.5	0.5		1			2
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	0.5	0.5		1			2
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5	0.5	0.5	0.5			2
4	Ejecución de tarea	0.5	0.5	0.5	0.5			2
5	Supervisión de trabajo realizado	1	1	1	1			4
6	Entrega de equipo intervenido			1		1		2
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1				1
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)				1			1

Total	Horas	4.5	3.5	6.5	5.5	2	0.5	22.5
Total	Costos	\$ 20.63	\$ 11.46	\$ 42.56	\$ 32.41	\$ 23.57	\$ 9.25	\$ 139.89

PDP-12	REEMPLAZO DE VÁLVULA	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades			0.5	0.5			1
	1.2 Recogida y envío información	0.5	0.5					1
	1.3 Análisis información			1	1			2
	1.4 Diseño plan ejecución					1	0.5	1.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1			2
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	0.5	0.5					1
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	0.5	0.5					1
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5	0.5	1				2
4	Ejecución de tarea	1	1	1	1			4
5	Supervisión de trabajo realizado			1	1	1		3
6	Entrega de equipo intervenido			1		1		2
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1				1
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	3	3	7.5	4.5	4	0.5	22.5
Total	Costos	\$ 13.75	\$ 9.82	\$ 49.11	\$ 26.52	\$ 47.15	\$ 9.25	\$ 155.60

PDP-11	REVISIÓN DE SEÑALIZACIÓN	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	

Equipo existente								
PDP-11	REVISIÓN DE SEÑALIZACIÓN	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 139.89	\$ 0.63
	\$ 140.52

PDP-12	REEMPLAZO DE VÁLVULA	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	VÁLVULA NUEVA	\$ 300.00						

\$ 63.43

Equipo existente								
PDP-12	REEMPLAZO DE VÁLVULA	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 155.60	\$ 0.63
	\$ 456.24

PDP-13	MANTENIMIENTO DE VÁLVULA	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades			1	1			2
	1.2 Recogida y envío información	1	1					2
	1.3 Análisis información			1	1			2
	1.4 Diseño plan ejecución					1	0.5	1.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1			2
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	0.5	0.5	0.5				1.5
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	0.5	0.5	1				2
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5	0.5	0.5	0.5			2
4	Ejecución de tarea	1	1	1	1			4
5	Supervisión de trabajo realizado					1		1
6	Entrega de equipo intervenido					1		1
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1	1			2
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1	0.5	1.5

Total	Horas	3.5	3.5	6	5.5	5	1	24.5
Total	Costos	\$ 16.04	\$ 11.46	\$ 39.29	\$ 32.41	\$ 58.93	\$ 18.49	\$ 176.64

PDP-14	RECALIBRACIÓN	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	1	1					2
	1.2 Recogida y envío información	1	1					2
	1.3 Análisis información			0.5	0.5	1		2
	1.4 Diseño plan ejecución					1	0.5	1.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1	1		3
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	1	1			1		3
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1	1					2
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5	0.5					1
4	Ejecución de tarea	2	2	2	2			8
5	Supervisión de trabajo realizado			1	1	1		3
6	Entrega de equipo intervenido				1	1		2
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1	1			2
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)						1	1

Total	Horas	6.5	6.5	4.5	6.5	7	1.5	32.5
Total	Costos	\$ 29.79	\$ 21.28	\$ 29.47	\$ 38.31	\$ 82.51	\$ 27.74	\$ 229.10

PDP-13	MANTENIMIENTO DE VÁLVULA	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	KIT DE MANTENIMIENTO VÁLVULA	\$ 100.00						

\$ 63.43

Equipo existente

PDP-13	MANTENIMIENTO DE VÁLVULA	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 176.64	\$ 0.63
	\$ 277.27

PDP-14	RECALIBRACIÓN	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	

Equipo existente

PDP-14	RECALIBRACIÓN	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 229.10	\$ 0.63
	\$ 229.74

PDP-15	MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5					1
	1.2 Recogida y envío información	0.5	0.5					1
	1.3 Análisis información			1	1	1		3
	1.4 Diseño plan ejecución					2	0.5	2.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1	1		3
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	0.5	0.5					1
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1	1					2
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1					2
4	Ejecución de tarea	4	4	4	2	1		15
5	Supervisión de trabajo realizado	1	1		1	1		4
6	Entrega de equipo intervenido			1	1	1		3
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1	1	1		3
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	8.5	8.5	8	7	9	0.5	41.5
Total	Costos	\$ 38.96	\$ 27.83	\$ 52.39	\$ 41.25	\$ 106.08	\$ 9.25	\$ 275.76

PDP-16	LIMPIEZA TUBERÍAS	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	1	1					2
	1.2 Recogida y envío información	1	1					2
	1.3 Análisis información			0.5	0.5	0.5		1.5
	1.4 Diseño plan ejecución					2	1	3
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1	1		3
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	0.5	0.5					1
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1	1					2
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1					2
4	Ejecución de tarea	4	4	4	4			16
5	Supervisión de trabajo realizado			1		1		2
6	Entrega de equipo intervenido			1	1	1		3
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1	1	1		3
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	8.5	8.5	8.5	7.5	7.5	1	41.5
Total	Costos	\$ 38.96	\$ 27.83	\$ 55.66	\$ 44.20	\$ 88.40	\$ 18.49	\$ 273.55

PDP-15	MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	ACCESORIOS DIVERSOS	\$ 300.00						
				\$ 63.43				

Equipo existente

PDP-15	MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 275.76	\$ 0.63
	\$ 576.40

PDP-16	LIMPIEZA TUBERÍAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	

Equipo existente

PDP-16	LIMPIEZA TUBERÍAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 273.55	\$ 0.63
	\$ 274.18

PDP-17	REEMPLAZO SELLO DE VÁLVULA	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	1	1					2
	1.2 Recogida y envío información	1	1					2
	1.3 Análisis información			0.5	0.5	1		2
	1.4 Diseño plan ejecución					1	1	2
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1	1		3
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	1	1					2
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1	1					2
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5	0.5					1
4	Ejecución de tarea	2	2	2	2			8
5	Supervisión de trabajo realizado			1	1	1		3
6	Entrega de equipo intervenido			1	1	1		3
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1	1	1		3
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	6.5	6.5	6.5	6.5	7	1	34
Total	Costos	\$ 29.79	\$ 21.28	\$ 42.56	\$ 38.31	\$ 82.51	\$ 18.49	\$ 232.95

PDP-18	LIMPIEZA FILTRO	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5					1
	1.2 Recogida y envío información	0.5	0.5					1
	1.3 Análisis información			1				1
	1.4 Diseño plan ejecución					1	0.5	1.5
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina	1	1			1		3
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	1	1					2
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1	1					2
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1					2
4	Ejecución de tarea	1	1					2
5	Supervisión de trabajo realizado			1		1		2
6	Entrega de equipo intervenido					1		1
7	Puesta en marcha de equipo entregado				1	1		2
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	6	6	2	1	6	0.5	21.5
Total	Costos	\$ 27.50	\$ 19.64	\$ 13.10	\$ 5.89	\$ 70.72	\$ 9.25	\$ 146.11

PDP-17	REEMPLAZO SELLO DE VÁLVULA	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	Kit de repuestos	\$ 165.00						

\$ 63.43

Equipo existente

PDP-17	REEMPLAZO SELLO DE VÁLVULA	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

	Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 232.95		\$ 0.63
		\$ 398.59

PDP-18	LIMPIEZA FILTRO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	

Equipo existente

PDP-18	LIMPIEZA FILTRO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

	Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 146.11		\$ 0.63
		\$ 146.74

PDP-19	CALIBRACIÓN INSTRUMENTACIÓN	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades		0.5	0.5				1
	1.2 Recogida y envío información		0.5	0.5				1
	1.3 Análisis información			1		1		2
	1.4 Diseño plan ejecución			1		1		2
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina	0.5	0.5					1
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	0.5	0.5					1
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	0.5	0.5					1
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5	0.5	1				2
4	Ejecución de tarea	2	2	2				6
5	Supervisión de trabajo realizado			1	1	1		3
6	Entrega de equipo intervenido				1	1		2
7	Puesta en marcha de equipo entregado				1	1		2
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)						0.5	0.5

Total	Horas	4	5	7	3	5.5	0	24.5
Total	Costos	\$ 18.34	\$ 16.37	\$ 45.84	\$ 17.68	\$ 64.83	\$ -	\$ 163.05

PDP-20	LIMPIEZA DE ASPAS	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	0.5	0.5					1
	1.2 Recogida y envío información	1	1			1		3
	1.3 Análisis información					2	1	3
	1.4 Diseño plan ejecución					1.5	0.75	2.25
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1	0.5		2.5
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	0.5	0.5	0.5				1.5
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar		0.5	0.5				1
3	Toma de medidas máquinas y programación	1	1	0.5				2.5
4	Ejecución de tarea	2.5	2.5	2.5	2.5			10
5	Supervisión de trabajo realizado	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	4
6	Entrega de equipo intervenido	0.5	0.5	1	1	0.5		3.5
7	Puesta en marcha de equipo entregado				0.5	0.5		1
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)						0.5	0.5

Total	Horas	6.5	7	7	6	7	2.25	35.75
Total	Costos	\$ 29.79	\$ 22.92	\$ 45.84	\$ 35.36	\$ 82.51	\$ 41.61	\$ 258.03

PDP-19	CALIBRACIÓN INSTRUMENTACIÓN	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	

Equipo existente								
PDP-19	CALIBRACIÓN INSTRUMENTACIÓN	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 163.05	\$ 0.63
	\$ 163.69

PDP-20	LIMPIEZA DE ASPAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	KIT DE LIMPIEZA PARA METALES	\$ 256.00						
				\$ 63.43				

Equipo existente								
PDP-20	LIMPIEZA DE ASPAS	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 258.03	\$ 0.63
	\$ 514.67

PDP-21	REEMPLAZO SELLO MECÁNICO	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	1	1					2
	1.2 Recogida y envío información	1	1					2
	1.3 Análisis información	1	1			0.5		2.5
	1.4 Diseño plan ejecución					2	1	3
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			0.5	0.5	0.5		1.5
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	0.5	0.5					1
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1	1					2
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5	0.5	0.5	0.5			2
4	Ejecución de tarea	2	2	2	2			8
5	Supervisión de trabajo realizado			1	1	1		3
6	Entrega de equipo intervenido			1	1	1		3
7	Puesta en marcha de equipo entregado			2	2	1		5
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					1		1

Total	Horas	7	7	7	7	7	1	36
Total	Costos	\$ 32.09	\$ 22.92	\$ 45.84	\$ 41.25	\$ 82.51	\$ 18.49	\$ 243.10

PDP-22	REEMPLAZO DE EMPAQUES	Auxiliar 1	Auxiliar 2	Técnico 1	Técnico 2	Supervisor	Encargado	Total
1	Análisis de la información							
	1.1 Comunicación de necesidades	1	1					2
	1.2 Recogida y envío información	1	1					2
	1.3 Análisis información	1	1			1		3
	1.4 Diseño plan ejecución					2	1	3
2	Preparación y ejecución							0
	2.1 Puesta en seguridad máquina			1	1	1		3
	2.2 Preparación equipo humano y herramientas	0.5	0.5					1
	2.3 Preparación de refacciones a utilizar	1	1					2
3	Toma de medidas máquinas y programación	0.5	0.5	0.5	0.5			2
4	Ejecución de tarea	2	2	2	2			8
5	Supervisión de trabajo realizado			1	1	0.5		2.5
6	Entrega de equipo intervenido			1	1	1		3
7	Puesta en marcha de equipo entregado			1	1	1		3
8	Comunicación/Emisión de recomendaciones (si aplica el caso)					0.5		0.5

Total	Horas	7	7	6.5	6.5	7	1	35
Total	Costos	\$ 32.09	\$ 22.92	\$ 42.56	\$ 38.31	\$ 82.51	\$ 18.49	\$ 236.88

PDP-21	REEMPLAZO SELLO MECÁNICO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	SELLO MECÁNICO NUEVO	\$ 500.00						

\$ 63.43

Equipo existente

PDP-21	REEMPLAZO SELLO MECÁNICO	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 243.10	\$ 0.63
	\$ 743.74

PDP-22	REEMPLAZO DE EMPAQUES	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas	\$ 433.75	7	\$ 63.43	\$ 5.29	\$ 1.22	\$ 0.18	
	EMPAQUES NUEVOS	\$ 300.00						

\$ 63.43

Equipo existente

PDP-22	REEMPLAZO DE EMPAQUES	Costo de Instrumento	Vida Útil (años)	Anual	Mensual	Semanal	Diario	Total
1	Caja con herramientas		7		\$ 0.63			

*Hipótesis

En la Central Geotérmica se cuenta con herramientas diversas para el personal de los talleres, así que se podría asumir que no es primera vez que se está comprando

No es posible determinar el año en que fue comprado, su periodo de amortización o si ya lo está, por lo que se considera un costo de utilización del 1% correspondiente al costo anual

Mano de obra	Costo de uso de instrumento
\$ 236.88	\$ 0.63
	\$ 537.51

9.8. Anexo 8: Cronograma de mantenimiento preventivo por acción planificada

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA																	
FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO												
	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
LA BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA	FALLO MOTOR	EL MOTOR FUNCIONA SÓLO CON DOS FASES	FALLO DEVANADO DEL MOTOR	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO													
				SOBRECARGA DE MOTOR													
		FALLO CONEXIONES EN EL MOTOR		CONEXIÓN ELÉCTRICA INADECUADA													
				DAÑOS POR CORROSIÓN													
		FALLO VENTILACIÓN	OBTURACIÓN REJILLA FILTRO	MAL MANTENIMIENTO													
			ROTURA DEL VENTILADOR	FATIGA EN ASPAS							PDP-01						
	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR														
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS														
		FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA							PDP-03							
		DESALINEACIÓN CONJUNTO															
	MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO															
		MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS															
FALLO ACOPLAMIENTO	ROTURA CLAVIJA	FATIGA CLAVIJA	MATERIAL INADECUADO DE CLAVIJA														
		INSTALACIÓN INADECUADA	PERSONAL MAL CAPACITADO														
	FALLO FIJACIÓN	DESAPRIETE PERNOS	TORQUE INADECUADO DE INSTALACIÓN														
RUPTURA DE PERNOS		FALTA DE PEGAMENTO PARA PERNOS															
FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FATIGA DE ELEMENTO ELÁSTICO															
		MATERIAL INADECUADO DE ELEMENTO ELÁSTICO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL														
		ERROR DE PROVEEDOR															
FALLO BOMBA	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE SELLOS														
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS														
	FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA							PDP-03								
	DESALINEACIÓN CONJUNTO																
MAL MONTAJE	PERSONAL NO CAPACITADO																
	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS																
RODETE ATASCADO	INSERCIÓN DE PARTÍCULAS EN LA HOLGURA RODETE-CARCASA																

COSTOS DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA																	
FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO												
	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
LA BOMBA CENTRIFUGA NO GIRA	FALLO MOTOR	EL MOTOR FUNCIONA SÓLO CON DOS FASES	FALLO DEVANADO DEL MOTOR	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
				SOBRECARGA DE MOTOR	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		FALLO CONEXIONES EN EL MOTOR		CONEXIÓN ELÉCTRICA INADECUADA	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
				DAÑOS POR CORROSIÓN	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		FALLO VENTILACIÓN	OBTURACIÓN REJILLA FILTRO	MAL MANTENIMIENTO	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
			ROTURA DEL VENTILADOR	FATIGA EN ASPAS	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	52	\$	\$	\$	\$	\$
	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE RETENEDOR		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
		FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
		DESALINEACIÓN CONJUNTO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
	MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
		MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
FALLO ACOPLAMIENTO	ROTURA CLAVIJA	FATIGA CLAVIJA	MATERIAL INADECUADO DE CLAVIJA	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
		INSTALACIÓN INADECUADA	PERSONAL MAL CAPACITADO	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
	FALLO FIJACIÓN	DESAPRIETE TORNILLOS	TORQUE INADECUADO DE INSTALACIÓN	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
RUPTURA DE TORNILLOS		FALTA DE THREADLOCK EN TORNILLOS	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$			
FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FATIGA DE TORNILLOS	MALA SELECCIÓN DE TORNILLOS	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
			FATIGA DE ELEMENTO ELÁSTICO	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
		MATERIAL INADECUADO DE ELEMENTO ELÁSTICO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
FALLO BOMBA	RODAMIENTOS ATASCADOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE SELLOS	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
	FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$			
	DESALINEACIÓN CONJUNTO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$			
MAL MONTAJE	PERSONAL NO CAPACITADO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$			
	MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$			
RODETE ATASCADO	INSERCIÓN DE PARTÍCULAS EN LA HOLGURA RODETE-CARCASA		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$			

FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO												
	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
LA BOMBA CENTRIFUGA GIRA	FALLO MOTOR	FALLO RODAMIENTOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE SELLOS	PDP-03	PDP-03											
				MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS													
			FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA													
			DESALINEACIÓN CONJUNTO														
		MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO														
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS														
		VELOCIDAD MENOR	SOBRECARGA														
			BAJA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN														
	FALLO DEVANADO	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO															
		SOBRECARGA DE MOTOR															
	FALLO ACOPLAMIENTO	FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FATIGA DE ELEMENTO ELÁSTICO		PDP-05												
			MATERIAL INADECUADO DE ELEMENTO ELÁSTICO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL ERROR DE PROVEEDOR													
	FALLO BOMBA	FALLO RODAMIENTOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD		PDP-03	PDP-03											
			FALLO DE ENGRASE														
			DESALINEACIÓN CONJUNTO														
			MAL MONTAJE														
		FALLO EJE	ACUMULACIÓN DE SILICE														
			EJE RAYADO														
		FALLO RODETE	ABRASIÓN RODETE														
			RODETE DESEQUILIBRADO														
EL MOTOR GIRA EN SENTIDO CONTRARIO		CAMBIO SECUENCIA DE FASES MOTOR															
		MALA CONEXIÓN DE MOTOR															
ESFUERZOS EXCESIVOS		LA BOMBA ESTÁ FORZADA															
		EMPUJE AXIAL ELEVADO															
	LOS PERNOS NO ESTÁN BIEN APRETADOS																
				PDP-10	PDP-10	PDP-10	PDP-10	PDP-10	PDP-10	PDP-10	PDP-10	PDP-10	PDP-10	PDP-10	PDP-10	PDP-10	

FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO												
	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
LA BOMBA CENTRIFUGA GIRA	FALLO MOTOR	FALLO RODAMIENTOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD	FALLO DE SELLOS	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
				MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			FALLO DE ENGRASE	PERIODICIDAD DE ENGRASE INADECUADA	\$	\$	\$	234.75	\$	\$	\$	\$	\$	\$	234.75	\$	\$
			DESALINEACIÓN CONJUNTO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		MAL MONTAJE	PERSONAL MAL CAPACITADO	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			MALA SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
		VELOCIDAD MENOR	SOBRECARGA	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			BAJA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
	FALLO DEVANADO	RUPTURA DE AISLAMIENTO DE DEVANADO	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
		SOBRECARGA DE MOTOR	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
	FALLO ACOPLAMIENTO	FALLO ELEMENTO ELÁSTICO	FATIGA DE ELEMENTO ELÁSTICO		\$	\$	329.04	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			MATERIAL INADECUADO DE ELEMENTO ELÁSTICO	MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL ERROR DE PROVEEDOR	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
	FALLO BOMBA	FALLO RODAMIENTOS	ENTRADA DE AGUA O SUCIEDAD		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			FALLO DE ENGRASE		\$	\$	\$	234.75	\$	\$	\$	\$	\$	234.75	\$	\$	
			DESALINEACIÓN CONJUNTO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			MAL MONTAJE		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
		FALLO EJE	ACUMULACIÓN DE SILICE		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			EJE RAYADO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
		FALLO RODETE	ABRASIÓN ÁLABES		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			RODETE DESEQUILIBRADO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
EL MOTOR GIRA EN SENTIDO CONTRARIO		CAMBIO SECUENCIA DE FASES MOTOR		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
		MALA CONEXIÓN DE MOTOR		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
ESFUERZOS EXCESIVOS		LA BOMBA ESTÁ FORZADA		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
		EMPUEJE AXIAL ELEVADO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
	LOS TORNILLOS NO ESTÁN BIEN APRETADOS		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$			
				184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.07	184.07	418.81	418.81	184.07	184.07	
				184.07	184.07	747.85	418.81	184.07	184.07	184.07	184.0						

FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO												
	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
CAUDAL MENOR	FALLO BOMBA	DESGASTE RODETE	ABRASIÓN														
			CAVITACIÓN														
			CORROSIÓN														
		BOLSAS DE GAS EN TUBERÍA	AUMENTO DE INCRUSTACIÓN EN TUBERÍA														
			PURGA DE TUBERÍAS INADECUADA														
			POSIBLES DAÑOS EN CUERPO DE LA BOMBA														
	OBSTRUCCIÓN EN LA IMPULSIÓN	FILTRO DE ASPIRACIÓN OBSTRUÍDO	ACUMULACIÓN DE SÍLICE MAL MANTENIMIENTO														
	OBSTRUCCIÓN EN LA ASPIRACIÓN	FILTRO DE ASPIRACIÓN OBSTRUÍDO	ACUMULACIÓN DE SÍLICE MAL MANTENIMIENTO														
	FALLO ACEITE	ACEITE TÉRMICO FUERA DE CONDICIONES DE SERVICIO	PRESENCIA DE SÓLIDOS EN ACEITE														
			PRESENCIA DE AGUA EN ACEITE														
DEGRADACIÓN FLUIDO TÉRMICO		PRESENCIA DE SÓLIDOS EN ACEITE															
CAUDAL MAYOR	MENOR PÉRDIDA DE CARGA IMPULSIÓN	VÁLVULAS CERRADAS FLUGAN INTERNAMENTE	FALLO DE SELLO DE VÁLVULA														

FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO												
	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
FUGA DE AGUA	FALLO DE SELLO MECÁNICO	FALLOS DE OPERACIÓN	OPERACIÓN FUERA DE PARÁMETROS NORMALES	PERSONAL MAL CAPACITADO													
			OPERACIÓN A EXCESIVA BAJA VELOCIDAD	FALLO DE INSTRUMENTACIÓN													
			OPERACIÓN EN SECO														
		FALLAS MECÁNICAS	MAL COLOCACIÓN DE SELLO	PERSONAL MAL CAPACITADO													
			EJES DESALINEADOS														
			ASPAS DE IMPULSOR DESBALANCEADAS	ACUMULACIÓN DE SÍLICE													
	FALLAS DE LOS COMPONENTES DEL SELLO	INCOMPATIBILIDAD DE MATERIALES DEL SELLO	DESGASTE NORMAL														
			MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL	ERROR DE PROVEEDOR													
	FALLO DE CONEXIONES DE ENTRADA Y SALIDA DE AGUA	FALLO DE ACOPLES	RUPTURA DE FLANGES DE CONEXIÓN	PERSONAL MAL CAPACITADO													
		FALLO DE EMPAQUES	RUPTURA DE EMPAQUES	FATIGA DE MATERIAL DE FLANGES													

FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO												
	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
CAUDAL MENOR	FALLO BOMBA	DESGASTE RODETE	ABRASIÓN		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			CAVITACIÓN		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
			CORROSIÓN		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		BOLSAS DE GAS EN TUBERÍA	NPSH DE LA INSTALACIÓN BAJO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
			PURGA DE TUBERÍAS INADECUADA		\$	\$	\$	\$	\$	\$	576.40	\$	\$	\$	\$	\$	\$
			POSIBLES DAÑOS EN CUERPO DE LA BOMBA		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	OBSTRUCCIÓN EN LA ASPIRACIÓN	FILTRO DE ASPIRACIÓN OBSTRUÍDO	ACUMULACIÓN DE SÍLICE MAL MANTENIMIENTO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
	OBSTRUCCIÓN EN LA ASPIRACIÓN	FILTRO DE ASPIRACIÓN OBSTRUÍDO	ACUMULACIÓN DE SÍLICE MAL MANTENIMIENTO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
	FALLO ACEITE	ACEITE TÉRMICO FUERA DE CONDICIONES DE SERVICIO	PRESENCIA DE SÓLIDOS EN ACEITE		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
			PRESENCIA DE AGUA EN ACEITE		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
DEGRADACIÓN FLUIDO TÉRMICO		PRESENCIA DE SÓLIDOS EN ACEITE		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
CAUDAL MAYOR	MENOR PÉRDIDA DE CARGA IMPULSIÓN	VÁLVULAS CERRADAS FLUGAN INTERNAMENTE	FALLO DE SELLO DE VÁLVULA		398.59	\$	\$	\$	398.59	\$	\$	398.59	\$	\$	398.59	\$	
TOTAL					398.59	-	146.74	398.59	-	723.14	398.59	-	146.74	398.59	-	146.74	2 175.70

FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				PLAN DE MANTENIMIENTO												
	CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
FUGA DE AGUA	FALLO DE SELLO MECÁNICO	FALLOS DE OPERACIÓN	OPERACIÓN FUERA DE PARÁMETROS NORMALES	PERSONAL MAL CAPACITADO	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			OPERACIÓN A EXCESIVA BAJA VELOCIDAD	FALLO DE INSTRUMENTACIÓN	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	163.69	\$	\$	\$	\$
			OPERACIÓN EN SECO		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		FALLAS MECÁNICAS	MAL COLOCACIÓN DE SELLO	PERSONAL MAL CAPACITADO	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
			EJES DESALINEADOS		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
			ASPAS DE IMPULSOR DESBALANCEADAS	ACUMULACIÓN DE SÍLICE	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	FALLAS DE LOS COMPONENTES DEL SELLO	INCOMPATIBILIDAD DE MATERIALES DEL SELLO	DESGASTE NORMAL		\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
			MALA ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL	ERROR DE PROVEEDOR	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
	FALLO DE CONEXIONES DE ENTRADA Y SALIDA DE AGUA	FALLO DE ACOPLES	RUPTURA DE FLANGES DE CONEXIÓN	PERSONAL MAL CAPACITADO	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
		FALLO DE EMPAQUES	RUPTURA DE EMPAQUES	FATIGA DE MATERIAL DE FLANGES	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
TOTAL					\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$

9.9. Anexo 9: Costo Administrativo de creación de plan RCM

Costo administrativo de diseño de plan	160	h/supervisor	\$ 1,885.91
	44	h/encargado	\$ 813.75
			\$ 2,699.66

9.10. Anexo 10: Costo de plan de rediseño/mejora

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
ÁREAS														
CAPACITACIÓN DEL PERSONAL														
Se considera capacitar al personal según su área de aplicación 2 veces al año	1. Departamento Mecánico	\$ 400.00						\$ 400.00						
	2. Departamento Eléctrico		\$ 400.00						\$ 400.00					
	3. Instrumentación y Control			\$ 400.00						\$ 400.00				
	4. Operaciones				\$ 400.00						\$ 400.00			
	5. Explotación					\$ 400.00						\$ 400.00		
	6. Informática						\$ 400.00						\$ 400.00	
	7. Mediciones		\$ 400.00						\$ 400.00					
	8. Tratamiento de Aguas			\$ 400.00						\$ 400.00				
AUDITAR PROVEEDOR				\$ 450.00						\$ 450.00				
REUNIÓN CON FABRICANTE PARA CAMBIO DE CONTROLES			\$ 50.00						\$ 50.00					
REUNIÓN CON PROVEEDOR DE QUÍMICOS			\$ 50.00						\$ 50.00					
		\$ 400.00	\$ 850.00	\$ 1 300.00	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 850.00	\$ 1 300.00	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 7 500.00
Como parte de las mejoras se ha considerado capacitaciones permanentes a todo el personal involucrado en el sistema de bombeo														
Capacitación a 10 personas aprox	\$ 400.00	aprox 10 personas												
La capacitaciones se darán en el sitio de la central														

9.11. Anexo 11: Plan de mantenimiento actual

Categoría	Detalle	PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL									
		Horas de Mano de Obra requerida				Total Horas	Total Costo	Herramientas y repuestos	Frecuencia anual	Total	
Auxiliar 1	\$ Auxiliar 1	Auxiliar 2	\$ Auxiliar 2								
Lubricación	Revisión de estado físico de aceite	1.5	\$ 6.88	1.5	\$ 4.91	4.50	\$ 21.61	\$ -	365	\$ 7	
	Revisión de fugas de aceite en los sellos	2	\$ 9.17	2	\$ 6.55	6.00	\$ 28.16	\$ -	365	\$ 10	
	Añadir aceite a aceiteras	1.5	\$ 6.88	1.5	\$ 4.91	3.00	\$ 11.79	\$ 50.00	12	\$ 741.44	
	Limpieza de puertos de nivel de aceite	2	\$ 9.17	2	\$ 6.55	4.00	\$ 15.72	\$ 5.00	12	\$ 248.59	
	Ajuste de nivel de aceite	1.5	\$ 6.88		\$ -	2.50	\$ 13.42	\$ 50.00	12	\$ 761.09	
	Engrase general de bomba	9	\$ 41.25	9	\$ 29.47	41.00	\$ 248.34	\$ 100.00	2	\$ 696.68	
	Reemplazo total de aceite	6	\$ 27.50	6	\$ 19.64	19.00	\$ 96.26	\$ 150.00	2	\$ 492.52	
Repuestos	Reemplazo de guardas	4	\$ 18.34	4	\$ 13.10	12.00	\$ 56.32	\$ 500.00	1	\$ 556.32	
	Reemplazo de acople elástico	8	\$ 36.67	8	\$ 26.19	30.00	\$ 161.09	\$ 850.00	1	\$ 1011.09	
	Reemplazo de baleros	9	\$ 41.25	9	\$ 29.47	40.00	\$ 229.85	\$ 200.00 ¹	1	\$ 429.85	
	Reemplazo de sello mecánico	6	\$ 27.50	6	\$ 19.64	26.00	\$ 145.37	\$ 200.00 ¹	1	\$ 345.37	
Electrónica y Accesorios	Reemplazo de sensores	8	\$ 36.67	8	\$ 26.19	35.00	\$ 204.47	\$ 500.00	1	\$ 704.47	
	Remplazo de conexiones eléctricas	4	\$ 18.34	4	\$ 13.10	14.50	\$ 80.22	\$ 350.00	1	\$ 430.22	
Revisiones	Inspección de guardas	1.3	\$ 5.96	1.3	\$ 4.26	4.00	\$ 18.92	\$ 25.00	12	\$ 527.09	
	Revisión de ruidos en baleros y cavitación	1.5	\$ 6.88	1.5	\$ 4.91	5.00	\$ 24.23	\$ 100.00	365	\$ 343.47	
	Medición de temperatura de baleros	1	\$ 4.58	1	\$ 3.27	4.00	\$ 20.30	\$ 25.00	365	\$ 534.40	
	Revisión de baleros y sellos. Limpieza externa de sellos	2.5	\$ 11.46	2.5	\$ 8.19	7.50	\$ 37.98	\$ 50.00	52	\$ 574.97	
	Revisión de indicadores de flujo en bombas	0.3	\$ 1.38		\$ -	0.60	\$ 3.34	\$ 10.00	365	\$ 868.97	
	Revisión de estado de sello mecánico	2	\$ 9.17	2	\$ 6.55	6.00	\$ 28.16	\$ 10.00	365	\$ 927.55	
	Revisión de sistema de enfriamiento de bombas	1	\$ 4.58	1	\$ 3.27	4.00	\$ 20.30		365	\$ 409.40	
	Revisión de estado fuga de sello mecánico	1	\$ 4.58	1	\$ 3.27	4.00	\$ 20.30		365	\$ 409.40	

Revisión de fugas de alta presión en cuerpo de la bomba y sellos	1	\$	4.58	1	\$	3.27	2.50	\$	11.13		365	\$	4
													063.22
Revisión de estado de trampas de vapor	0.25	\$	1.15	0.25	\$	0.82	0.75	\$	3.60	10.00	365	\$	4
													964.57
Limpieza de residuos en cuna de balero	0.5	\$	2.29	0.5	\$	1.64	1.00	\$	3.93	50.00	2	\$	
													107.86
Limpieza general de bomba	1.5	\$	6.88	1.5	\$	4.91	3.00	\$	11.79	50.00	24	\$	1
													482.89
Aplicación de anticorrosivo en superficies de bomba	4	\$	18.34	4	\$	13.10	10.00	\$	43.87	55.00	1	\$	
													98.87
Limpieza de válvulas y conexiones	1.5	\$	6.88	1.5	\$	4.91	3.00	\$	11.79	50.00	4	\$	
													247.15
Prueba de sobrevelocidad	1	\$	4.58	1	\$	3.27	5.00	\$	44.69		2	\$	
													89.38
Prueba de protecciones de bomba		\$	-		\$	-	4.00	\$	24.88	25.00	2	\$	
													99.77
Reapriete de pernos	1	\$	4.58	1	\$	3.27	2.00	\$	7.86	100.00	6	\$	
													647.15
Verificación de alineamiento de eje con indicador de dial		\$	-		\$	-	4.00	\$	36.67	200.00	1	\$	
													236.67
Revisión de desviación de baleros con indicador de dial	6	\$	27.50	6	\$	19.64	26.00	\$	145.37	200.00	1	\$	
													345.37
Revisión de juego de eje con indicador de dial	4	\$	18.34	4	\$	13.10	18.00	\$	104.77	200.00	1	\$	
													304.77
Revisión y prueba de válvulas de control	2	\$	9.17	2	\$	6.55	6.00	\$	28.16	100.00	3	\$	
													384.47
												\$	140 250

9.12. Anexo 12: Calculo de CIF

Hoja RCM / AMPEC		Centro Industrial: Geotermia Sección/Planta/Código: Instalación / Activo: Críticidad Primer Nivel: Muy Alta		Código:	Subsistema: Críticidad Segundo Nivel: ALTA	N.º Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:		Fecha elaboración: (versión): 1		19-10-1 HOJA: 1 de 4														
Activo: Circulación agua geotérmica Código: Críticidad Tercer Nivel: BAJA																								
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN / PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Circulación de agua geotérmica Bombas centrífuga de eje horizontal de 400 hp																								
FUNCIÓN / PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE			FACTOR DE FRECUENCIA DE FALLOS (Incidencia/año)	MDT			CD		CP		CIF
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	N.P.R.		Tiempo de diagnóstico	Tiempo promedio fuera de servicio (horas/falla)	Tiempo Total	Costo de mano de obra por tiempo de trabajo (\$/hora)	Costo de materiales y repuestos	Costos de penalización		
TRANSPORTAR AGUA RESULTANTE DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN ENERGÉTICA EN UNA CENTRAL GEOTÉRMICA	AGUA GEOTÉRMICA A 110-115 °C	LA BOMBA CENTRÍFUGA NO GIRA	FALLO MOTOR	RODAMIENTOS ATASCADOS	DESALINEACIÓN CONJUNTO		RUIDO, VIBRACIONES Y CALENTAMIENTO	NO	NO	SI	SI	NO	5	5	6	150	1	25	10	35	\$ 505.81	\$ 2,500.00	\$ 1,011.62	\$ 140,610.01
			FALLO ACOPLAMIENTO	ROTOR CLAVIJA	FATIGA CLAVIJA	MATERIAL INADECUADO DE CLAVIJA	PARO DE GIRO DE BOMBA	NO	NO	SI	SI	NO	5	5	5	125	1	15	6	21	\$ 303.49	\$ 1,500.00	\$ 606.97	\$ 50,619.61
			FALLO BOMBA	FALLO BLENADO ELÁSTICO	FATIGA DE ELEMENTO ELÁSTICO		PARO DE GIRO DE BOMBA	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	6	120	0.4	8	6	14	\$ 303.49	\$ 2,500.00	\$ 606.97	\$ 19,098.56
				RODAMIENTOS ATASCADOS	DESALINEACIÓN CONJUNTO		VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	6	120	0.4	8	4	12	\$ 202.32	\$ 2,500.00	\$ 404.65	\$ 14,913.46
			RODOTE ATASCADO	INSERCIÓN DE PARTICULAS EN LA HOLLGURA RODETE-CARCASA		VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	6	120	0.4	20	10	30	\$ 505.81	\$ 3,000.00	\$ 1,011.62	\$ 54,209.15	
FALLO ARRANCADOR ELÉCTRICO	FALLO DE PROGRAMACIÓN DEL ARRANCADOR	DAÑO EN PISTAS DE TARJETA DE CIRCUITOS	SOBRECARGA DE EQUIPO	PERDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	6	120	0.4	10	4	14	\$ 202.32	\$ 1,500.00	\$ 404.65	\$ 11,799.04			
FALLO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA	INSTALACIÓN ELÉCTRICA CORROIDA	FALLO EN AISLAMIENTO DE HUMEDAD	ERROR DE PROVEEDOR	PERDIDA DE FUNCIONALIDAD EL MOTOR	NO	NO	SI	SI	NO	5	4	6	120	0.4	15	6	21	\$ 303.49	\$ 1,500.00	\$ 606.97	\$ 20,247.84			

Hoja RCM / AMPEC		Centro Industrial: Geotermia Sección/Planta/Código: Instalación / Activo: Críticidad Primer Nivel: Muy Alta		Código:	Subsistema: Críticidad Segundo Nivel: ALTA	N.º Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:		Fecha elaboración: (versión): 1		20-03-6 HOJA: 1 de 4														
Activo: Circulación agua geotérmica Código: Críticidad Tercer Nivel: BAJA																								
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN / PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Circulación de agua geotérmica Bombas centrífuga de eje horizontal de 400 hp																								
FUNCIÓN / PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE			FACTOR DE FRECUENCIA DE FALLOS (Incidencia/año)	MDT			CD		CP		CIF
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	N.P.R.		Tiempo de diagnóstico	Tiempo promedio fuera de servicio (horas/falla)	Tiempo Total	Costo de mano de obra por tiempo de trabajo (\$/hora)	Costo de materiales y repuestos	Costos de penalización		
TRANSPORTAR AGUA RESULTANTE DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN ENERGÉTICA EN UNA CENTRAL GEOTÉRMICA	AGUA GEOTÉRMICA A 110-115 °C	LA BOMBA CENTRÍFUGA GIRA	FALLO BOMBA	EMPUE AXIAL ELEVADO			DETERIORO ACCELERADO DE RODAMIENTOS	SI	NO	NO	SI	NO	5	6	5	150	0.4	15	6	21	\$ 303.49	\$ 3,000.00	\$ 606.97	\$ 32,847.84
				ESFUERZOS EXCESIVOS	LOS PERNOS NO ESTAN BIEN APRETADOS	DETERIORO ACCELERADO DE RODAMIENTOS	SI	NO	NO	SI	NO	4	7	6	168	1	10	4	14	\$ 202.32	\$ 300.00	\$ 404.65	\$ 12,697.60	

Hoja RCM / AMPEC		Centro Industrial: Geotermia Sección/Planta/Código: Instalación / Activo: Críticidad Primer Nivel: Muy Alta		Código:	Subsistema: Críticidad Segundo Nivel: ALTA	N.º Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:		Fecha elaboración: (versión): 1		20-03-6 HOJA: 1 de 4														
Activo: Circulación agua geotérmica Código: Críticidad Tercer Nivel: BAJA																								
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN / PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Circulación de agua geotérmica Bombas centrífuga de eje horizontal de 400 hp																								
FUNCIÓN / PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE			FACTOR DE FRECUENCIA DE FALLOS (Incidencia/año)	MDT			CD		CP		CIF
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD	N.P.R.		Tiempo de diagnóstico	Tiempo promedio fuera de servicio (horas/falla)	Tiempo Total	Costo de mano de obra por tiempo de trabajo (\$/hora)	Costo de materiales y repuestos	Costos de penalización		
MANTENER PRESIÓN DE TRABAJO	1.31 MANTENIMIENTO	PRESIÓN MAYOR	FALLO NO OPERACIÓN CONTINUA EQUIPOS:	AUMENTO DE INCRUSTACION DE	CONTAMINACIÓN AGUA POR EXCESO DE SILICE	DISPARO VÁLVULA SEGURIDAD EXPANSIONADOR	SI	SI	SI	SI	SI	6	5	4	120	0.5	25	10	35	\$ 505.81	\$ 1,000.00	\$ 1,011.62	\$ 44,056.01	
		PRESIÓN MENOR	MINOR PERDIDA DE CARGA IMPULSION	VÁLVULAS CERRADAS FUGAN INTERNAMENTE	FALLO DE SELLO DE VÁLVULA	MAYOR CONSUMO / ACTIVACIÓN DE PROTECCIÓN TÉRMICA	SI	NO	NO	SI	NO	4	6	6	144	0.4	15	8	23	\$ 404.65	\$ 2,000.00	\$ 809.30	\$ 29,588.28	

Hoja RCM / AMFEC		Centro Industrial: Geotermia Sección/Planta/Código: Instalación / Activo: Críticidad Primer Nivel: Muy Alta		Código: Subistema: Críticidad Tercer Nivel: BAJA Críticidad Segundo Nivel: ALTA		N.º Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:		Fecha elaboración: (versión): 1 20-03-5 HOJA: 1 de 4																
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN / PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Circulación de agua geotérmica Bombas centrífuga de eje horizontal de 400 hp																								
FUNCIÓN / PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE			FACTOR DE FRECUENCIA DE FALLOS (incidencia/año)	MDT			CD		CP		CIF
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD		N.º P.º	Tiempo de diagnóstico	Tiempo promedio fuera de servicio (horas/falla)	Tiempo Total	Costo de mano de obra por tiempo de trabajo (\$/hora)	Costo de materiales y repuestos		
MANTENER CAUDAL DE TRABAJO	TOTAL operatividad	CAUDAL MENOR	FALLO BOMBA	DESTRUCCIÓN EN LA IMPULSIÓN	POSIBLES DAÑOS EN CUERPO DE LA BOMBA		AUMENTO DE PRESIÓN	SI	NO	NO	SI	NO	6	5	4	100	0.25	20	10	30	\$ 505.81	\$ 5,000.00	\$ 1,011.62	\$ 48,880.72
			FALLO ACEITE	DEGRADACIÓN FLUIDO TÉRMICO	PRESENCIA DE SÓLIDOS EN ACEITE		ACUMULACIÓN DE CALOR RUIDOS Y VIBRACIONES ANORMALES	SI	SI	NO	NO	NO	7	3	5	100	0.5	15	6	21	\$ 303.49	\$ 2,000.00	\$ 606.97	\$ 30,559.80
		CAUDAL MAYOR	MENOR PERDIDA DE CARGA IMPULSIÓN	VÁLVULAS CERRADAS FUGAN INTERVAMENTE	FALLO DE SELLO DE VÁLVULA		MAYOR CONSUMO / SALTA PROTECCIÓN TÉRMICA	SI	NO	NO	SI	NO	5	7	3	100	0.4	15	8	23	\$ 404.65	\$ 2,000.00	\$ 809.30	\$ 29,558.28

Hoja RCM / AMFEC		Centro Industrial: Geotermia Sección/Planta/Código: Instalación / Activo: Críticidad Primer Nivel: Muy Alta		Código: Subistema: Críticidad Tercer Nivel: BAJA Críticidad Segundo Nivel: ALTA		N.º Proyecto - Ingeniería: Elaborado por: Alberto Soto Revisado por: Autorizado por:		Fecha elaboración: (versión): 1 20-03-5 HOJA: 1 de 4																
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN / PROCESO DONDE INTERVIENE EL ACTIVO EN EL CONTEXTO OPERATIVO: Circulación de agua geotérmica Bombas centrífuga de eje horizontal de 400 hp																								
FUNCIÓN / PROCESO	PARÁMETRO	FALLOS FUNCIONALES	MODOS DE FALLO				EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS DE FALLO					VALORACIÓN DE			FACTOR DE FRECUENCIA DE FALLOS (incidencia/año)	MDT			CD		CP		CIF
			CLASIFICACIÓN A	CLASIFICACIÓN B	CLASIFICACIÓN C	CLASIFICACIÓN D		FALLO OCULTO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	CALIDAD	GRAVEDAD	FRECUENCIA DE FALLOS	DETECTABILIDAD		N.º P.º	Tiempo de diagnóstico	Tiempo promedio fuera de servicio (horas/falla)	Tiempo Total	Costo de mano de obra por tiempo de trabajo (\$/hora)	Costo de materiales y repuestos		
CONTENER AGUA GEOTÉRMICA	AGUA DESCENTE/ENCAJA	FUGA DE AGUA	FALLO DE SELLO MECÁNICO	FALLAS MECÁNICAS	EJES DESALINEADOS		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	SI	NO	SI	NO	4	5	6	100	1	10	6	16	\$ 303.49	\$ 2,500.00	\$ 606.97	\$ 54,567.32
					ASPAS DE IMPULSOR DESBALANCEADAS	ACUMULACIÓN DE SILICE		RUIDO EXCESIVO, VIBRACIONES Y AUMENTO DE TEMPERATURA	NO	SI	NO	SI	NO	5	4	6	100	0.75	20	15	35	\$ 758.71	\$ 7,000.00	\$ 1,517.43

Valor	TASA DE FALLOS
1	Menos de 1 en más de 10 años.
2	Entre 1 y 3 en más de 10 años.
3	Entre 1 y 3 en 10 años.
4	Entre 1 y 3 en 5 años.
5	Entre 1 y 3 en 2 años.
6	Entre 1 y 3 por año.
7	Entre 1 y 3 cada seis meses.
8	Entre 1 y 3 cada dos meses.
9	Entre 1 y 3 cada semana.
10	Entre 1 y 3 por día.