

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

Investigadores

Oscar Rafael Figueroa Cobar

José Alberto Flores Soto

Jaime Miguel Vargas Miranda.

Maestría en Gerencia de Mantenimiento Industrial

El siguiente resumen de tesis investigativa presenta los resultados esperados posterior a implementar en un plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM (Reliability Centered Maintenance) al sistema de reinyección de agua en una central geotérmica de El Salvador.

El estudio presenta una propuesta de mejora para mantener el funcionamiento continuo del sistema de reinyección, que es vital para la sostenibilidad del recurso geotérmico y al mismo tiempo reduce el impacto ambiental de la central. Se escogió la técnica RCM debido a que tiene como propósito anticipar una anomalía funcional, por tanto, una vez se identifican las fallas más probables y la frecuencia de ellas, es posible realizar un plan de mantenimiento detallado.

Los resultados de la investigación demuestran que implementar un plan de RCM aporta ahorros a la operación de la planta y reduce los riesgos de una potencial falla.

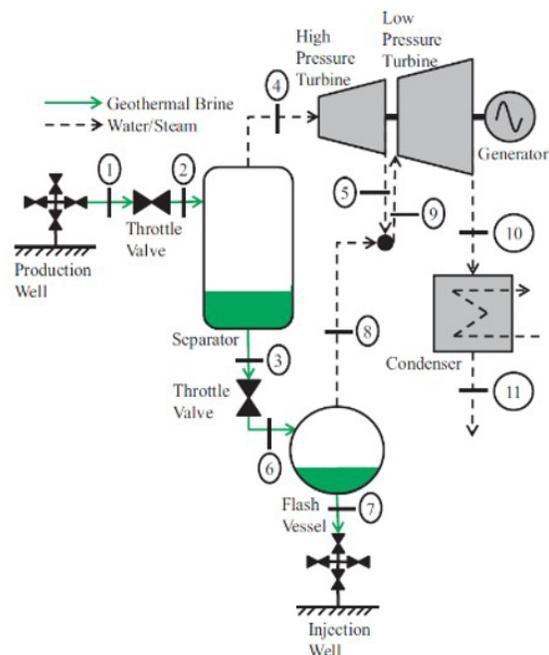
A continuación, primero se presenta una descripción del proceso productivo; seguido, se detalla el proceso de selección de equipos a incluir en el plan y cómo el análisis de su funcionamiento provee las bases para diseñar

un plan de mantenimiento que aborda las causas específicas de sus fallos. Finalmente, un análisis de los costos es usado para verificar la viabilidad de implementación del plan de mantenimiento.

1. Operación de central geotérmica

La central geotérmica (CG) en estudio cuenta con tres unidades de generación de energía, dos de ellas de “Simple Flash” y una de “Double Flash”.

Figura 1: Diagrama esquemático de Central “Double Flash” (Clarke & McLeskey jr, 2013)



En la Figura 1 el fluido geotérmico bifásico (líquido-vapor) es extraído del reservorio desde los pozos productores, el líquido saturado, cuya presión es mayor que la atmosférica, se encuentra con una válvula de mariposa, posteriormente, las fases son separadas (separador ciclónico) y el vapor es enviado hacia la turbina de alta presión, mientras que el líquido saturado es sometido a un segundo proceso de estrangulamiento antes de ingresar a los recipientes de evaporización instantánea (Flashers); el vapor resultante, denominado de baja presión, es enviado a la turbina para combinarse con la salida de la turbina de alta presión antes de entrar a la parte de baja presión. 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 se condensa con un equipo conocido como “condensador”, mientras que el líquido saturado que sale del “Flasher” se reinyecta en el reservorio geotérmico a través de pozos reinyectores (Clarke & McLeskey Jr, 2013). El plan RCM se aplicará específicamente al sistema de reinyección.

2. Análisis de criticidad

El mantenimiento basado en confiabilidad se enfoca en aplicar mayor atención a los equipos que comprometen la funcionalidad del sistema.

Con el objetivo de determinar los equipos que representan mayor criticidad para el sistema, es necesario obtener un levantamiento completo de todos los equipos. El sistema cuenta, aproximadamente, con 700 equipos. 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 (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2019).

La matriz de criticidad se basa en la estimación del riesgo, ponderando algunas afirmaciones que se encuentran directamente relacionadas al proceso de mantenimiento como tal.

Ecuación 1: $Criticidad = Frecuencia\ de\ fallos * Consecuencias$

Donde:

- Frecuencia de fallos: Número de fallos en un tiempo determinado.
- Consecuencias: (Impacto de seguridad y salud. *Impacto de medio ambiente * Impacto producción y/o costo de mantenimiento).
 - Impacto de seguridad y salud *0.25.
 - Impacto de medio ambiente *0.25.
 - Impacto producción y/o costo de mantenimiento *0.5.

La tabla representa el resultado del análisis de criticidad, donde los colores denotan la criticidad de cada equipo del sistema. En la esquina superior derecha de la tabla pueden encontrarse las cuatro bombas centrífugas (en rojo, compuestas por motor-acople mecánico) del sistema. Estas bombas son de características y funcionamiento idéntico, por tanto, **se realiza un solo análisis de fallas que se aplicará a las cuatro bombas.**

3. Análisis de modos de fallos efectos y criticidad (AMFEC)

El AMFEC tiene como objetivo identificar aquellos modos de fallos que sean posibles causantes de una falla funcional (paros de producción) en cada bomba y determinar los efectos de falla asociados con cada modo de falla (Moubray, 2004).

Principalmente, el AMFEC determina el número de ponderación de riesgos (NPR) que permite identificar las fallas críticas del sistema.

El NPR considera la “gravedad”, “frecuencia de fallos” y “detectabilidad” de cada modo de falla.

3.1 Cálculo de número de ponderación de riesgo (NPR)

Inicialmente, el cálculo del NPR se realiza según la Ecuación 2.

Ecuación 2: $NPR=G \cdot F \cdot D$

Donde:

- NPR: Número 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 - 700	Normal
700 - 100	Crítico

Fuente: Elaboración propia con base en datos de TSE, 2012 a 2018

Al analizar los componentes del sistema motor-bomba, la mayoría resultan en un NPR entre 12 a 168; considerando la criticidad total del sistema, la frecuencia de los mantenimientos será ajustada para estos resultados.

En relación con la función y con los fallos funcionales descritos previamente, se establecieron cuatro clasificaciones de modos con el efecto correspondiente; posteriormente, las consecuencias de cada efecto de fallo fueron clasificadas según las siguientes características. Cada modo de fallo fue evaluado según los siguientes criterios basados en sus posibles afectaciones: fallo oculto, seguridad y medio ambiente, producción, mantenimiento, calidad.

4. 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 que pueden ser de tipo preventivo, predictivo o sujetos a posibles rediseños/mejoras, según

la criticidad del modo de falla y, además, se propone la periodicidad adecuada para estas.

5. Planes de mantenimiento

Una vez se han identificado las técnicas de mantenimiento necesarias para conocer los parámetros operativos de los equipos apoyándose en el NPR, se desarrolla un plan de mantenimiento detallado que involucre la frecuencia de implementación con un periodo de 12 meses.

Los planes de mantenimiento detallan las acciones a realizar según su rama y, además, detallan las frecuencias específicas de cada acción. Dichas frecuencias están asociadas con cada NPR.

Se especifican planes para los siguientes rubros:

- Mantenimiento predictivo: actividades que buscan identificar tendencias históricas o propias de las características de cada modo de falla.
- Mantenimiento preventivo por inspección: acciones que intentan identificar tempranamente signos o síntomas característicos de las fallas.
- Mantenimiento preventivo por actuación planificada: considerando las características del funcionamiento de los equipos, se programan ciertas actividades con el objetivo de anticipar las posibles fallas.
- Rediseño y mejora: modificaciones al funcionamiento de los equipos para mejorar su desempeño.

6. Costos de planes de mantenimiento

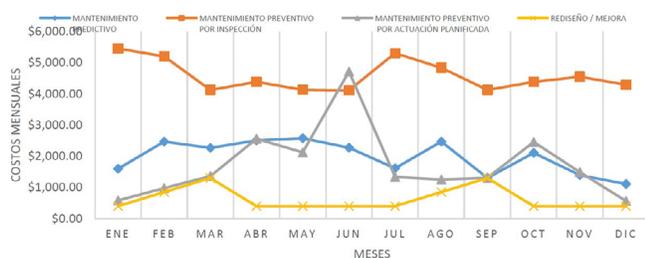
Una vez establecidas las acciones del plan de mantenimiento con la frecuencia de estas, se hace un cálculo de los costos totales de cada rubro de mantenimiento a ejecutar. Los costos se detallan a continuación, las cifras son anuales y por cada bomba:

- Mantenimiento predictivo: \$23,699.46
- Mantenimiento preventivo por inspección: \$54,898.11
- Mantenimiento preventivo por actuación planificada: \$20,755.19
- Rediseño y mejora: \$7,500.00

El costo total de plan de RCM asciende a \$99,352.76 que debe ser multiplicado por las cuatro bombas del sistema. De este modo, como resultado se tiene que \$397,411.02 más el costo de rediseño/mejora, que es aplicado una sola vez e involucra las cuatro bombas, se obtiene un resultado final de \$404,911.02.* La Gráfica 1 es una representación de los resultados del costo de la implementación del RCM en los equipos más críticos para el sistema de reinyección de agua geotérmica.

**Los montos expuestos no representan una cantidad exacta y están sujetos a disponibilidad, costos de envío de equipos, tiempos, condiciones operativas entre otros.*

Gráfica 1. Costos mensuales de la implementación de RCM para sistemas equipos de alta criticidad.



7. Beneficios posteriores a la implementación de RCM

Posterior a la implementación de la propuesta de mantenimiento basada en confiabilidad, se estima que el porcentaje de mejora esperado para “Lubricación” sería del 15 %, para “Repuestos” del 25 % pero 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 %. El monto total estimado de mejora asciende a \$21,358.29 por bomba.

Como parte de las estimaciones de mejora, se espera un aumento de la eficiencia energética de la bomba de un 5% hipotéticamente. Esta mejora, producto de mejores índices de consumo energético, será el 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.

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