

Plan de mantenimiento preventivo a equipos de la planta de inyección de agua

Propuesta para la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a equipos de la planta de inyección de agua pozos del campo San Francisco y conservar la producción de hidrocarburos en el campo.

Jesús Alberto Garzón Cabrera

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Producción de Hidrocarburos

Director

Fernando Enrique Calvete González

Master en ingeniería de petróleos y gas

Codirector

Samuel Fernando Muñoz Navarro

Master en ingeniería de petróleos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físico Químicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Especialización en Producción de Hidrocarburos

Bucaramanga

2024

Nota de autor

Jesús Alberto Garzón Cabrera, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Este trabajo fue realizado con financiamiento propio, cuenta con la corrección del docente Fernando Enrique Calvete González de la Universidad Industrial de Santander.

Dedicatoria

A mis padres y esposa quienes me apoyaron, creen en mí y han estado como ejemplo de superación y persistencia, motivación para alcanzar mis metas planteadas a lo largo de mi vida.

A mis hermanos que siempre han estado aportándome experiencias y mucha fortaleza para superar los obstáculos, mis abuelos a quienes son mi ejemplo a seguir como seres humanos por su gran corazón y motivación.

Agradecimientos

A Dios por la vida, por permitirme dar lo mejor de mí y brindarme la oportunidad de conocer personas con un increíble conocimiento.

A la Escuela de Ingeniería de Petróleos UIS que permiten la interacción de diversos conocimientos en el ambiente laboral de hidrocarburos y brindarnos la posibilidad de adquirir nuevos retos profesionales en el futuro con nuestra titulación.

Agradecer a la empresa la cual obtuve contenido y la empresa en la cual laboro ya que sin el empleo realizar esta especialización hubiese sido difícil por el ámbito económico.

Al grupo de docentes, ingenieros, directores, compañeros de estudio y todas esas personas que estuvieron detrás de esto para que fuera posible ya que el momento por el que estamos pasando es muy complejo por la pandemia.

Resumen

Título: Plan de mantenimiento preventivo a equipos de la planta de inyección de agua pozos del campo San Francisco

Autor: Jesús Alberto Garzón Cabrera

Palabras Clave: Mantenimiento, inyección, preventivo, equipos, fallas.

Descripción: El mantenimiento preventivo, busca evitar en lo posible daños a equipos mediante Revisiones periódicas establecidas en planes de mantenimiento, siendo muy importante para el funcionamiento correcto de operaciones industriales y demás procesos relacionados que dependen de equipos especializados para la ejecución de un trabajo.

El mantenimiento preventivo responde a tres tipos; primero, mantenimiento programado de acuerdo a tiempos de funcionalidad de un equipo, segundo, el mantenimiento predictivo el cual prevé el próximo mantenimiento antes de que el equipo tenga que ser reparado o en su defecto presente alguna falla, y el mantenimiento de oportunidad, es aquel que se realiza cuando el equipo no está en uso y se aprovecha este tiempo para realizar lo necesario y mantenerlo en óptimas condiciones.

En general, se busca mantener equipos en condiciones operacionales confiables y adecuadas, estar preparados a cualquier suceso que presente la operación, obteniendo el control sobre la misma y de esta manera, lograr que el trabajo para el cual están diseñados no presente retrasos e impacte negativamente los procesos, evitando pérdidas económicas bien sea por daños en equipos que requieran reparaciones y cambios o pérdidas de producción.

Abstract

Title: Preventive maintenance plan for equipment at the San Francisco Field well water injection plant

Author: Jesús Alberto Garzón Cabrera

Key Words: Maintenance, injection, preventive, equipment, failures.

Description: Preventive maintenance seeks to avoid damage to equipment as much as possible through periodic reviews established in maintenance plans, being very important for the correct functioning of industrial operations and other related processes that depend on specialized equipment for the execution of a job.

Preventive maintenance responds to three types: First, scheduled maintenance according to equipment functionality times, second, predictive maintenance which provides for the next maintenance before the equipment has to be repaired or it presents a fault, in fact, finally, opportunity maintenance, is the one that is carried out when the equipment is not in use and this time is used to carry out what is necessary and keep it in optimal conditions.

In general, it seeks to maintain equipment is reliable and adequate operational conditions, to be prepared for any event that the operation presents, obtain control over it, and in this way, ensure that the work for which they are designed does not present delays and has a negative impact. processes, avoiding economic losses either due to damage to equipment that requires repairs and changes or production losses.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	12
JUSTIFICACIÓN	13
1. OBJETIVOS	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. CUERPO DEL TRABAJO	16
4.1 Objetivo específico 1. Cronograma de revisión a equipos.....	25
4.2 Objetivo específico 2. Costo y beneficio obtenido por el mantenimiento preventivo	38
4.3 Objetivo específico 3. Programa para identificar las fallas más frecuentes en equipos.....	44
4.4 Protocolo de mantenimiento preventivo	47
5. CONCLUSIONES	49
6. RECOMENDACIONES.....	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Cronograma de Mantenimiento de Bombas de Inyección.....	34
Tabla 2. Análisis de costo-beneficio del mantenimiento preventivo de las bombas de inyección por un año.....	40
Tabla 3. Análisis de costo-beneficio del mantenimiento preventivo de transformador por un año	42
Tabla 4. Análisis general de presupuesto.....	43
Tabla 5. Formato de registro historial de fallas en maquinas	44
Tabla 6. Historial de fallas en equipos y máquinas de la empresa	45
Tabla 7 Análisis de fallas y soluciones en las bombas de inyección.	46
Tabla 8. Protocolo de mantenimiento preventivo a bombas de inyección multi etapas	48

Lista de gráficos

Gráfico 1. Equipos Importante en la planta de Inyección.....	29
Gráfico 2. Fallas Frecuentes en Equipos de la planta de Inyección.....	30
Gráfico 3. Tipo de Mantenimiento.....	31
Gráfico 4. Funciones del Departamento de Mantenimiento	32
Gráfico 5. Recomendaciones	33

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Recibo de Agua de producción en la Planta de Inyección	18
Figura 2. Tanques Desnatadoras	19
Figura 3. Diagrama Sistema Interno Tanques Desnatadoras	20
Figura 4. Filtros.....	21
Figura 5. Tanques de Inyección	22
Figura 6. Tanques y Bombas de Inyección de agua.....	23
Figura 7. Esquema de procesos PIA Monal.....	24
Figura 8. Identificación de la Planta de Inyección.....	26
Figura 9. Visita a Personal Operario.....	26
Figura 10. Visita a Personal Instrumentista	27
Figura 11. Revisiones de Campo	27
Figura 12. Fallas en Equipos Averiados	28

Lista de Apéndices

Apéndice A: Análisis de costo beneficio

Apéndice B: Encuestas a personal involucrado con funcionamiento de planta de inyección Monal

Apéndice C: Histórico de fallas PIA Monal

Apéndice D: Propuesta de cronograma MTPV PIA Monal

Apéndice E: Propuesta programa de MTPV

Apéndice F: Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca

UIS

Glosario

Ajuste

Proceso que permite a un elemento cuyas medias son rechazadas, ubicarlo en las tolerancias aceptables.

Análisis

Proceso posterior a la medición que consiste en verificar el cumplimiento de un estándar e identificar las tendencias y las causas de su desviación, a través de la comparación y la relación para determinar el estado de funcionamiento de sistemas, equipos, componentes y partes.

Desgaste

Remoción de material por efecto del roce.

Diagnóstico

Proceso que consiste en medir, analizar y conceptualizar el estado de los sistemas, equipos, componentes o partes en relación con un estándar establecido.

Mantenimiento

Sustantivo correspondiente al verbo mantener, la principal función es el sostenimiento de un objeto para que cumpla una función y pueda producir bienes y servicios (Mora, 2009).

Mantenimiento preventivo

Según (Botero, C. 1991). Mantenimiento preventivo se define como: “el que se realiza mediante una programación previa de actividades, con el fin de evitar en lo posible la mayor cantidad de daños imprevistos y disminuir los tiempos muertos de producción por fallas”

Mantenimiento de oportunidad

De acuerdo a la revista matices tecnológicos, es una adecuada gestión de mantenimiento y a oportunidades de mejora aprovechando cuando los equipos no se encuentren en operación (Bueno, et al., 2012).

Introducción

El presente documento, describe la implementación de prácticas eficientes para el desarrollo de un mantenimiento preventivo en la planta de inyección de agua a pozo (PIA) del campo San Francisco, teniendo en cuenta los criterios de una dirección de mantenimiento enfocada en obtener un mejoramiento comprobable en costo y beneficios del desempeño de los equipos en la producción e inyección de agua, identificando fallas frecuentes presentes durante su ejecución y que generen soluciones rápidas y oportunas buscando con ello optimizar recursos.

El documento se desarrolla por capítulos, describiendo en la justificación donde se desenvuelve la necesidad e importancia del plan de mantenimiento preventivo dentro del contexto de la planta. Los objetivos, parten de la problemática existente y las posibles soluciones ante esto, como objetivo se identifican el programa del plan preventivo, el análisis de costo y beneficio, y la identificación de las fallas más frecuentes por equipos.

Dentro del cuerpo del trabajo se da cumplimiento a cada uno de los objetivos para realizar el plan de mantenimiento preventivo, mostrando la contextualización de la planta, identificación y reconocimiento de equipos, fallas frecuentes, resultados de encuesta a operadores, y por último cada uno de los presupuestos para cada equipo de un plan preventivo y uno correctivo donde se identifica el beneficio del plan preventivo. Finalmente se tienen las conclusiones y recomendaciones teniendo en cuenta el desarrollo de la presente monografía, la intervención en el campo San Francisco y futuras investigaciones.

Justificación

Las instalaciones de esta Planta de Tratamiento e Inyección de Agua (PIA) son usadas desde hace más de 20 años para captar, tratar y bombear y distribuir el agua requerida en los pozos inyectoros, bien sea para procesos de recobro secundario o mejorado, o para disposición final del agua por inyección y requieren del uso de equipos que pueden facilitar o demorar el proceso según su estado. Por tanto, el objetivo de esta monografía es formular un plan de mantenimiento preventivo a equipos que son de gran utilidad en la (PIA) del campo San Francisco, logrando con ello mejorar la operatividad de la planta, corregir fallas presentes a tiempo, aprovechar al máximo y sin traumatismos los recursos tanto de personal como económicos.

Para analizar la problemática presente en la planta fue necesario: a) recolectar información suministrada por el personal operario de la planta, b) revisar históricos de fallas reportadas; con ello se identificaron las más comunes y se formuló un plan de mantenimiento preventivo donde se identifiquen prioridades de acuerdo a la criticidad o necesidad de los equipos para la operación, tiempos necesarios para el mantenimiento y se evaluó si la solución planteada fue la adecuada para satisfacer la necesidad presente.

Como resultado del trabajo de campo realizado se logró “formular un plan de mantenimiento preventivo a equipos de la planta de inyección de agua a pozos del campo san francisco, para encontrar y corregir problemas menores, mantener la integridad operativa, logrando mayor aprovechamiento de los recursos y optimizando tiempos de respuesta ante fallas presentes en la operación” apoyado de un cronograma donde se indiquen horas aprobadas para mantenimiento preventivo de cada equipo, histórico de fallas frecuentes reportadas en equipos y

tendencias operacionales en el programa Factory Talk, protocolos para el mantenimiento de cada equipo según la falla reportada, divulgación del estudio de factibilidad del costo beneficio en la implementación de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo a equipos en la planta de inyección y recomendaciones que puedan ser tenidas en cuenta al momento de tomar decisiones encaminadas al mejoramiento de la operación.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Formular un plan de mantenimiento preventivo a equipos de la planta de inyección de agua a pozo; para mitigar consecuencias de fallas, garantizar el estado de operatividad, confiabilidad y el uso respectivo acorde a la exigencia del campo san francisco.

1.2 Objetivos Específicos

- 1.** Establecer periodos de revisión a equipos, que permitan anticipar fallas mediante la observación de componentes y de esta manera prolongar la vida útil de los equipos.
- 2.** Realizar un análisis en Excel donde se visualice claramente el costo y beneficio obtenido por el mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta el área operática, mecánica, eléctrica e instrumental.
- 3.** Proponer programa que permitan garantizar que las fallas más frecuentes en equipos de la planta de inyección del campo San Francisco, sean atendidas a tiempo de acuerdo a lo reportado en los mantenimientos preventivos, para evitar correctivos frecuentes o tener que dejar equipos fuera de servicio.

2. Cuerpo del trabajo

La inyección de agua es el principal mecanismo de recuperación secundaria de petróleo utilizada para mantener la presión del yacimiento y barrer el petróleo remanente presente en este. Dada la alta demanda de petróleo en el mundo es necesario implementar nuevas alternativas tecnológicas la cual permita controlar, monitorear y supervisar las operaciones de inyección de agua para mejorar eficientemente el barrido de petróleo e incrementar el factor de recobro (De, Silin, & Patzek, 2005).

A continuación, se hace una descripción del Campo San Francisco y la planta de inyección, a la cual se le realizara el plan preventivo. El campo San Francisco se encuentra ubicado en Colombia en la Cuenca del Valle Superior del Magdalena (VSM), Departamento del Huila, Municipio Neiva. Según los datos históricos de producción del Campo San Francisco, evidencia que el mecanismo de producción primaria es empuje de gas en solución con presencia de un acuífero débil. En el año 1993 se inició el proceso de inyección de agua como método de recobro secundario con el fin de aumentar el factor de recobro manteniendo presurizado el yacimiento y realizando un barrido eficiente del crudo in situ (Mora, 2009). Debido al comportamiento descendiente de la presión se decidió implementar como método de recobro mejorado la inyección alterna de agua y gas (WAG) en el año 2000. En el año 2013 se implementó el piloto de inyección de químicos ASP en la sección norte del campo, actualmente solo sigue vigente la inyección de agua como recuperación secundaria (Navas, 2020).

La planta de tratamiento e inyección de agua Monal recibe las aguas de proceso provenientes de las Baterías de producción Monal y satélite, la función de esta planta es retirar las trazas de crudo, sólidos y demás residuos que están presentes en el agua, suministrando agua

tratada más agua dulce captada de los pozos Arenas para el sistema de inyección de agua y tratando los residuos de manera tal que generen un impacto ambiental mínimo basados en la Política de Operaciones Limpias de la compañía (ECOPETROL, 2016).

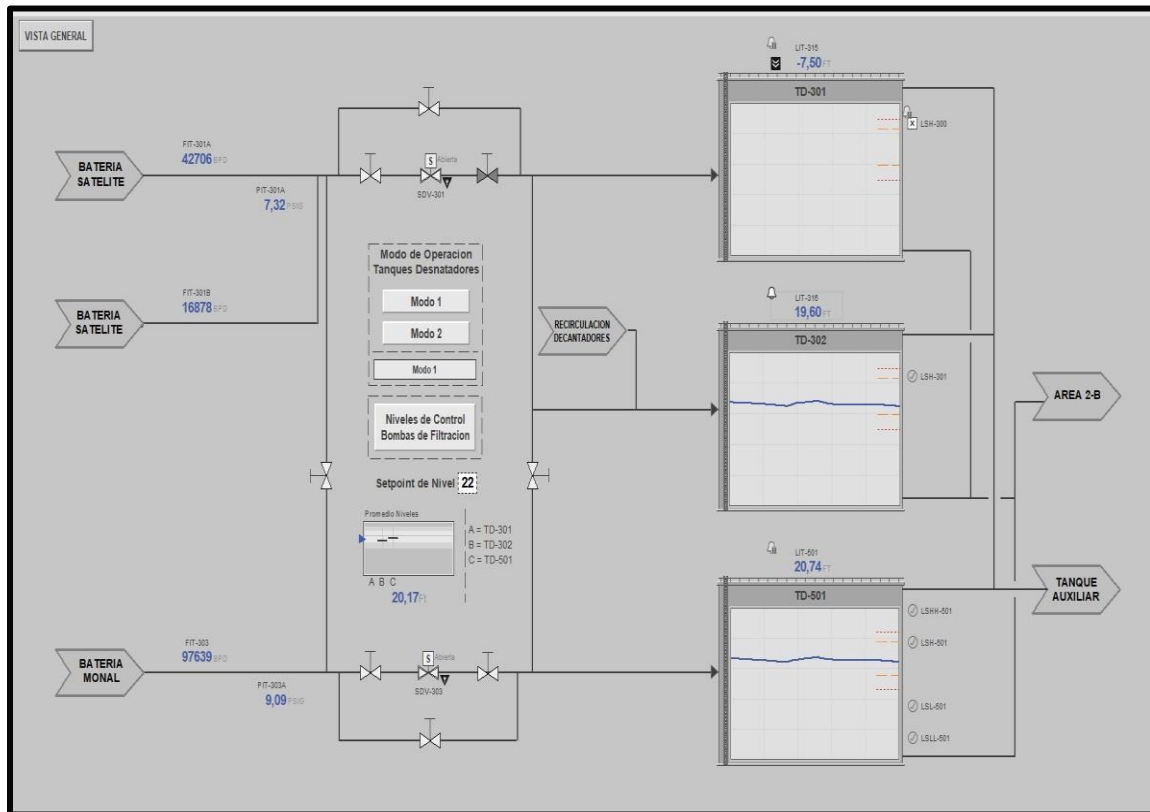
En la Planta de Inyección de Agua Monal se identifican tres procesos para el tratamiento del agua:

- ✓ Proceso de Recibo
- ✓ Proceso de Tratamiento: Desnate, filtración, Decantación e Inyección de Químicos.
- ✓ Proceso de Bombeo y Distribución.

Proceso De Recibo

Se refiere al proceso de recibir agua del proceso de producción de hidrocarburos o captar agua de fuentes naturales. Incluye el sistema de pozos de captación y las redes de captación o recolección de agua respectivas.

Sobre la fuente de agua es importante asegurar la disponibilidad de agua, tanto por restricciones técnicas como de regulación, y la confiabilidad de la misma de tal forma que se asegure disponibilidad de agua sin interrupción de acuerdo a requerimientos. El monitoreo sistemático de la calidad de agua en las fuentes de agua es importante para evidenciar cambios que impacten el proceso de tratamiento de agua y procesos siguientes (Gutiérrez, 2010).

Figura 1.*Recibo de Agua de producción en la Planta de Inyección*

Nota: La figura 1 muestra el procedimiento para el recibo de Agua de producción en la Planta de Inyección (PIA Monal). Tomado del programa Factory Talk de operación de la planta. Imagen tomada el día 13-05-2024

Cabe resaltar que el sistema de inyección de agua del campo San Francisco cuenta con la opción de suministro de agua externa proveniente de los pozos Arenas 4 y 6 los cuales pueden proveer hasta 22.000 Bls de agua diaria hacia la planta de inyección.

Proceso De Tratamiento

Se refiere al proceso de retirar los constituyentes no deseados en el agua o inhibir sus efectos negativos al yacimiento o a los equipos o líneas de la misma PIA. Incluye sistemas de desnate, filtrado, decantación, y procesos de tratamiento químico entre otros. En el caso de tratamiento químico, este puede darse desde el recibo y Captación, hasta el pozo, es decir, no necesariamente va después del recibo o captación, y no necesariamente termina antes del bombeo y distribución.

Conocer las capacidades del sistema de tratamiento permitirá vislumbrar requerimientos de ampliación/optimización que exija los cambios en la evolución del recobro por inyección de agua. Igualmente es necesario asegurar la confiabilidad de la planta, es decir, programar los mantenimientos debidos. Si el sistema está operando dentro de los rangos para los que fue diseñado, debe estar asegurando confiabilidad en la calidad del agua.

Figura 2.

Tanques Desnatadores

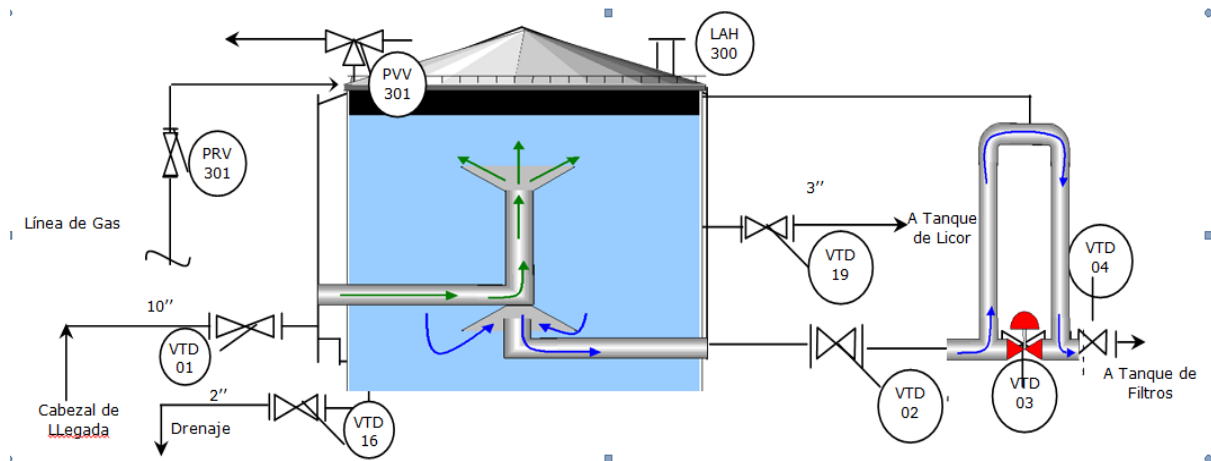


Nota: La figura 2 presenta los Tanques Desnatadores utilizados para la recepción de aguas de baterías asociadas. Tomada el día 13-05-2024 en la Planta de Inyección.

En el sistema de desnate se lleva a cabo el proceso de separación de la película superficial de crudo del agua proveniente de las baterías de producción. Dicho proceso se realiza dentro de los tanques desnatadores.

Figura 3.

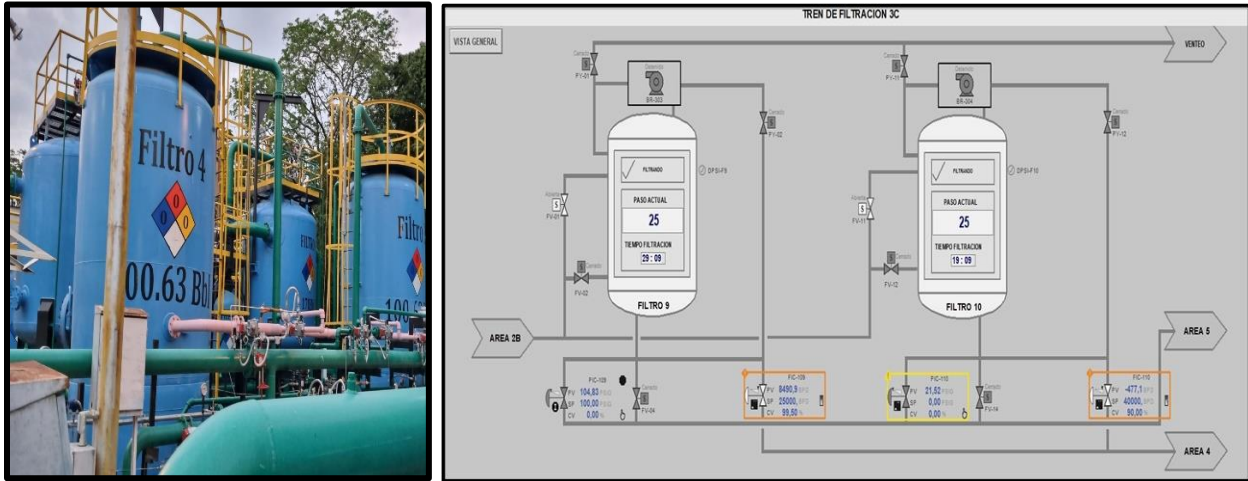
Diagrama Sistema Interno Tanques Desnatadoras



Nota: La figura 3 presenta el Diagrama Sistema Interno Tanques Desnatadores. Tomado del Procedimiento de Operación Planta de Inyección (PIA Monal) (Mónica Andrea Morales Diaz / Ricardo Rojas , 2017)

Proceso De Bombeo Y Distribución

Se refiere al proceso de dar presión al agua y distribuirla geográficamente hasta la cabeza de los pozos inyectoros. Incluye sistema de bombas y líneas.

Figura 4.*Filtros*

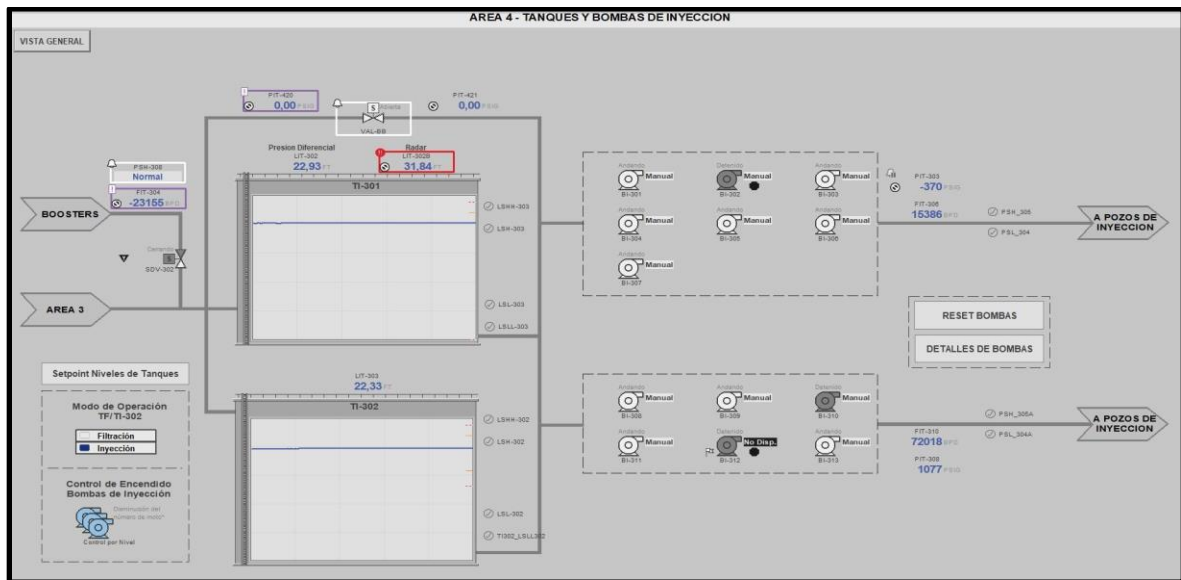
Nota: La figura 4 muestra los Filtros como se encuentra en campo vs en programa de Operación Factory Talk con lecho de filtración de cascara de nuez para el retiro de sólidos de agua de producción. Tomada el día 13-05-2024 en la Planta de Inyección.

El área de inyección de agua en la planta cuenta con dos tanques de almacenamiento TI-301 y TI-302 de 5000 BLS cada uno, sin embargo, para Inyección de Agua sólo se cuenta con el TI-301, el TI-302 está desconectado debido a que fue prestado para el proyecto de inyección química ASP. El TI-301 recibe la mezcla de agua externa y el agua filtrada. Estos tanques tienen gas blanket y para regular su presión cuentan cada uno con su respectiva válvula (PRV-306 y PRV-307) (Hocol, 2017).

Figura 5.*Tanques de Inyección*

Nota: La Figura 5 muestra los Tanques de Inyección en campo, donde se almacena el agua tratada a disposición para inyectar a los pozos del campo San Francisco. Fotografía tomada el día 13-05-2024 en la Planta de Inyección.

Los tanques de almacenamiento del área de inyección alimentan el cabezal de succión del sistema de inyección, el cual está constituido por trece (13) bombas BI-301 a BI-313 instaladas en paralelo, operando once (11) y dos (2) en stand by. Cada succión tiene su válvula de corte. Elaboración propia.

Figura 6.*Tanques y Bombas de Inyección de agua*

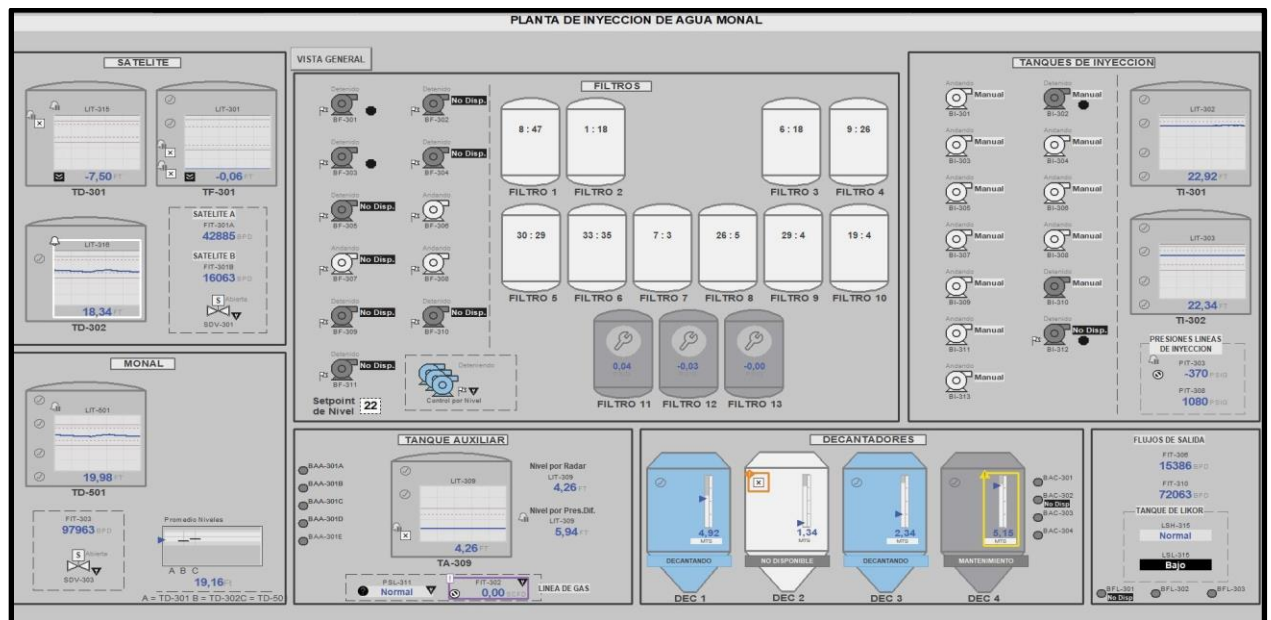
Nota: La Figura 6 presenta los Tanques y Bombas de Inyección de agua para el control automático de la planta en software Factory Talk. Tomada del HMI visualización software el día 13-05-2024 .

Conocer las condiciones de este sistema permitirá prever si se está por encima de presiones de operación y por tanto se generan riesgos de roturas en líneas, o si se está fuera del rango de trabajo de la bomba y por tanto se está en riesgo de falla del equipo. La expansión del proceso de recobro puede llevar a ampliar en el número de pozos a inyectar y es necesario conocer si el diseño de líneas y bombas requiere cambios o no para soportar los nuevos requerimientos. La actualización en condiciones de integridad permitirá planear los mantenimientos o reposiciones a que haya lugar para asegurar la confiabilidad del sistema.

La capacidad de inyección de agua de la Planta es de 220.000 BWPD, con stand by para 20.000 BWPD.

Figura 7.

Esquema de procesos PIA Monal



Nota: La Figura 7. Presenta el Esquema por secciones del proceso general de inyección de agua empleado en PIA Monal. Tomada de software Factory Talk el día 13-05-2024

Después de realizada la descripción de la planta de inyección y el respectivo proceso, es necesario el reconocimiento de la importancia de un plan de mantenimiento preventivo que permitiera la identificación de fallas frecuentes presentes durante su ejecución y que generen soluciones rápidas y oportunas buscando con ello optimizar recursos. Este tipo de mantenimiento el objetivo o función primordial es el de predecir con toda oportunidad la aparición de una posible falla y/o diagnosticar un daño futuro a los equipos en este sistema, la característica principal es el empleo de aparatos e instrumentos de prueba, medición y control.

Este tipo de mantenimiento, es necesario porque ayuda a evitar las costosas reparaciones de equipo y maquinaria, así como minimizar el tiempo perdido por suspensiones imprevistas. Con este sistema, no es necesario aumentar la cantidad de personal requerido para aplicar los procedimientos, ya que se cuenta con el personal de supervisión indispensable para mantener y conservar las instalaciones. Es por esto que es importante que la planta trabaje todos los días en jornada continua, ya que, si existe alguna falla en la inyección, se disminuye la producción.

Para el cumplimiento del objetivo principal que es formular un plan de mantenimiento preventivo a equipos de la planta de inyección de agua a pozo; para mitigar consecuencias de fallas, garantizar el estado de operatividad, confiabilidad y el uso respectivo acorde a la exigencia del campo san francisco; Es necesario dar cumplimiento a los objetivos específicos, los cuales son:

4.1 Objetivo específico 1. Cronograma de revisión a equipos

Establecer periodos de revisión a equipos, que permitan anticipar fallas mediante la observación de componentes y de esta manera prolongar la vida útil de los equipos.

Dentro del primer objetivo lo que se plantea es hacer un reconocimiento de la planta con el propósito de conocer los equipos y las fallas que se pueden presentar, a continuación, se muestra el trabajo de campo, dentro de este el reconocimiento de las instalaciones, equipos y proceso dentro de la planta.

Figura 8.

Identificación de la Planta de Inyección



Nota: La Figura 8 muestra un acercamiento aéreo a nivel general de las instalaciones de la PIA en este se identifican los tanques, filtros, almacenamiento y demás equipos de la planta.

Figura 9.

Visita a Personal Operario



Nota: La Figura 9 corresponde a entrevista y visita realizada a Personal Operario de la PIA desde el centro de control de la PIA.

Figura 10.

Visita a Personal Instrumentista



Nota: En la figura 10 se observa la visita al personal instrumentista desde el centro de equipos, donde se hace una explicación general de las funciones de PLC y la pantalla de mandos.

Figura 11.

Revisiones de Campo



Nota: En la Figura 11 se observa una visita a la planta desde la vista amplia de equipos y tanques para visualizar el proceso y la identificación de cada equipo para la inyección.

Figura 12.*Fallas en Equipos Averiados*

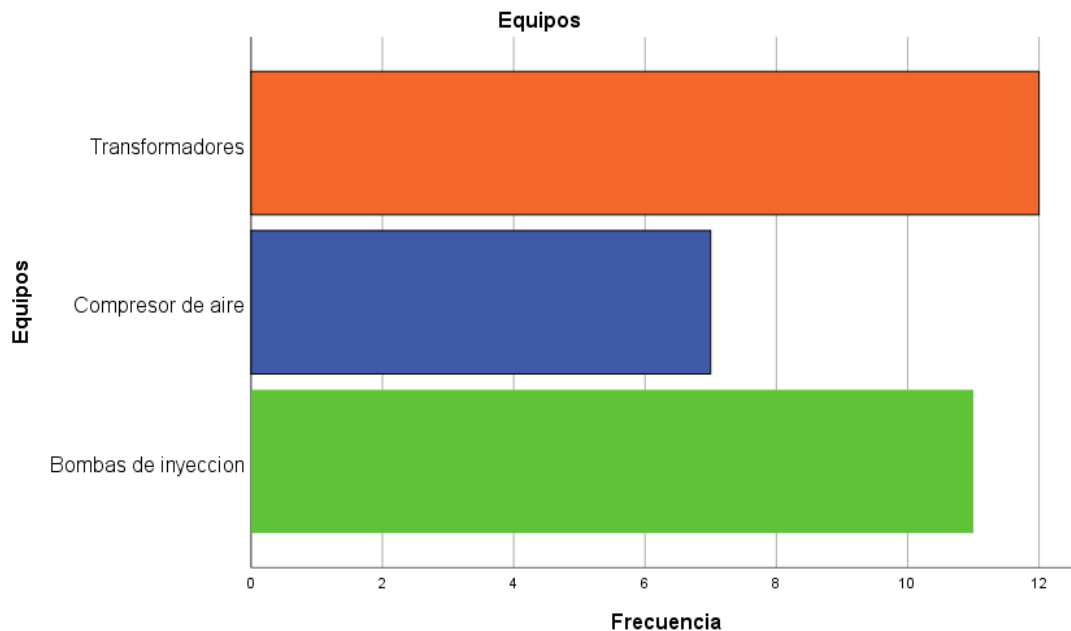
Nota: La Figura 12 muestra las Fallas en Equipos Averiados identificadas durante las visitas y entrevistas a personal operativo en la PIA.

Por último, cabe resaltar que una vez realizadas las visitas de campo y entrevistas se pudieron identificar las fallas en equipos averiados. Así mismo, estos acercamientos a los operarios de la planta fueron necesarios para la realización de encuestas al personal Operativo, de Instrumentación, Mecánico y Eléctrico de la planta de Inyección de Agua a Pozo (PIA) del campo San Francisco, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Los equipos más importantes de la planta de inyección

Gráfico 1.

Equipos Importantes en la planta de Inyección

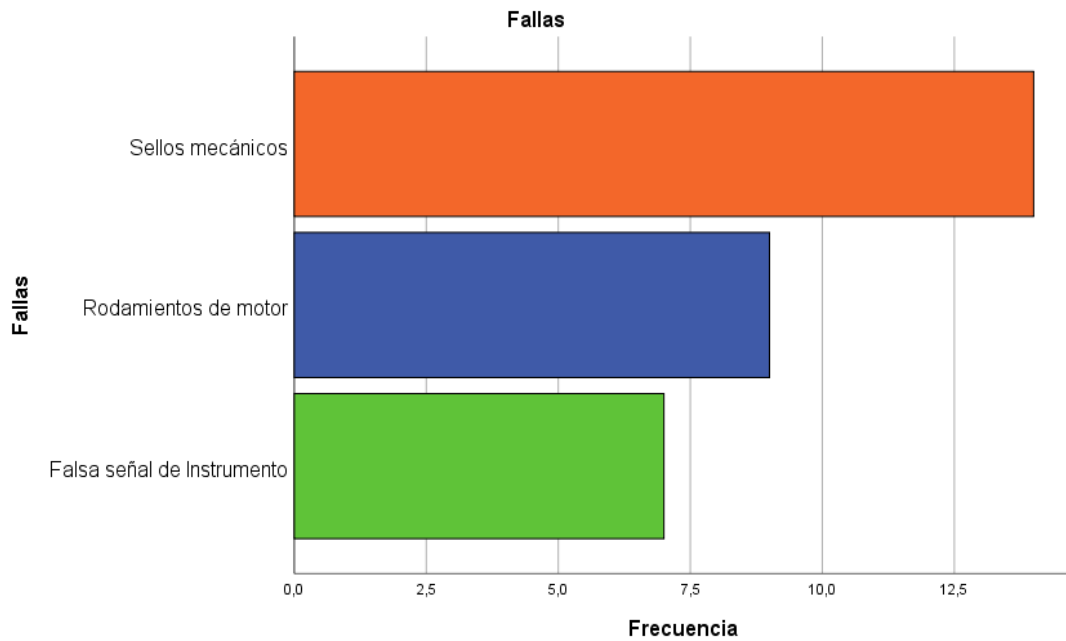


Según la Gráfica No. 1: Equipos Importante en la planta de Inyección; nos arrojó que los equipos más importantes para la operación son: 1) Los Transformadores pues son los que brindan la energía necesaria para poder realizar la inyección pues de lo contrario al no haber energía no es posible llevarse a cabo el proceso de la inyección; 2) Las Bombas de Inyección pues estas son las que me permiten mediante la inyección de agua a los pozos productores obtener el aceite que me representa la producción y 3) Compresor de Aire el cual a través del desplazamiento de un émbolo dentro de un cilindro (o de varios) movido por un cigüeñal ayuda a la obtención de gases a alta presión.

2. Fallas Frecuentes en Equipos de la planta de Inyección

Gráfico 2.

Fallas Frecuentes en Equipos de la planta de Inyección

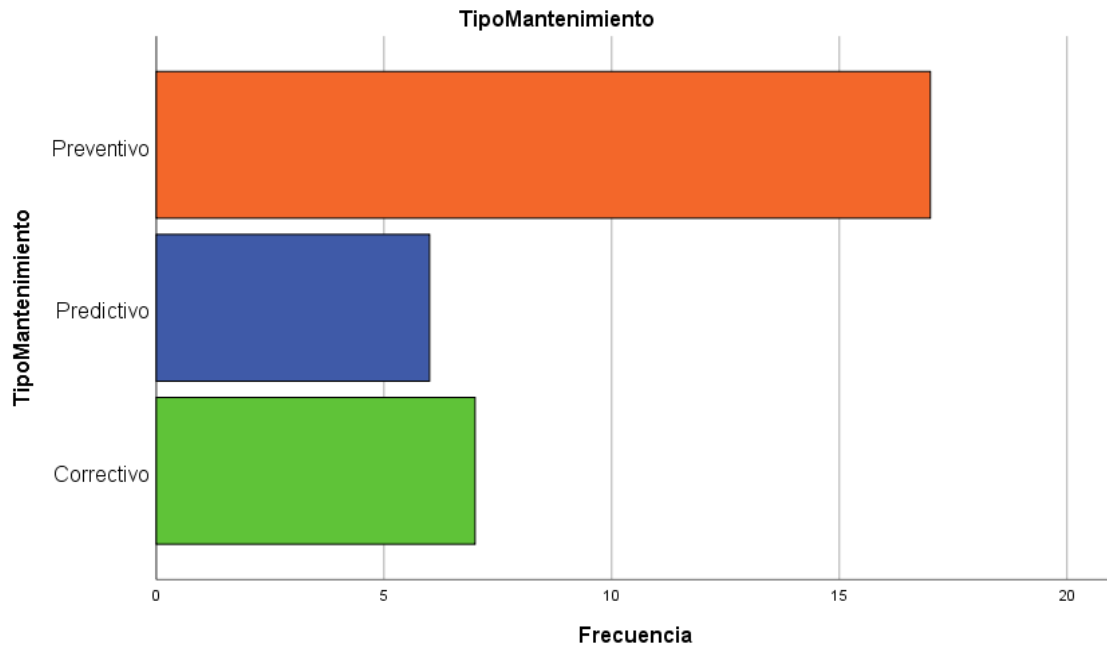


De acuerdo a la Gráfica No. 2: Fallas Frecuentes en Equipos de la planta de Inyección; se encontró que las fallas que presenta un mayor porcentaje de reporte por el personal operativo de la planta son; sellos mecánicos, rodamiento de motor y falsa señal de instrumento; los cuales al no ser intervenidos a tiempo generan demoras en la operación causando posibles pérdidas económicas y abandono de equipos por mala funcionalidad.

3. Tipo de Mantenimiento; según los datos reportados por el personal

Gráfico 3.

Tipo de Mantenimiento

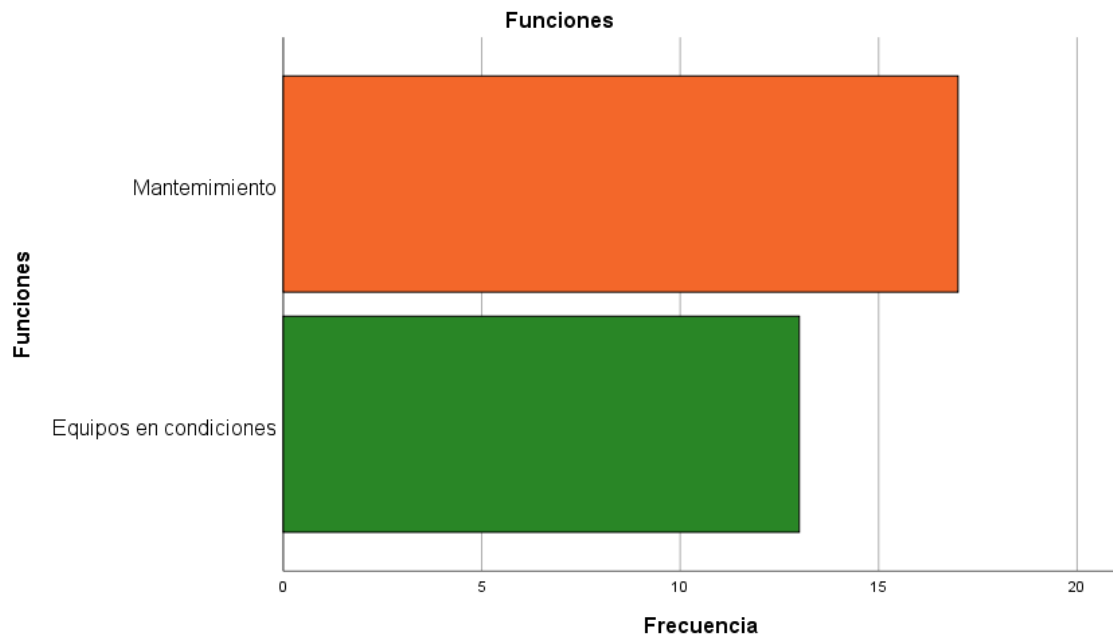


Por otra parte, la Gráfica No. 3: Tipo de Mantenimiento; según los datos reportados por el personal que labora en la planta, consideran que el realizar un mantenimiento preventivo a los equipos siguiendo un cronograma y protocolo establecido teniendo en cuenta las condiciones de los mismos es la mejor alternativa para conservar y mantener su vida útil; logrando con esto una reducción en los costos operacionales, conservar la producción y disminuir el impacto ambiental. Además; nos impide llegar a un correctivo que en muchos casos nos deja como resultado equipos en desuso, inversiones muy grandes en compras de nuevos componentes y caída de la producción.

4. Funciones del Departamento de Mantenimiento

Gráfico 4.

Funciones del Departamento de Mantenimiento

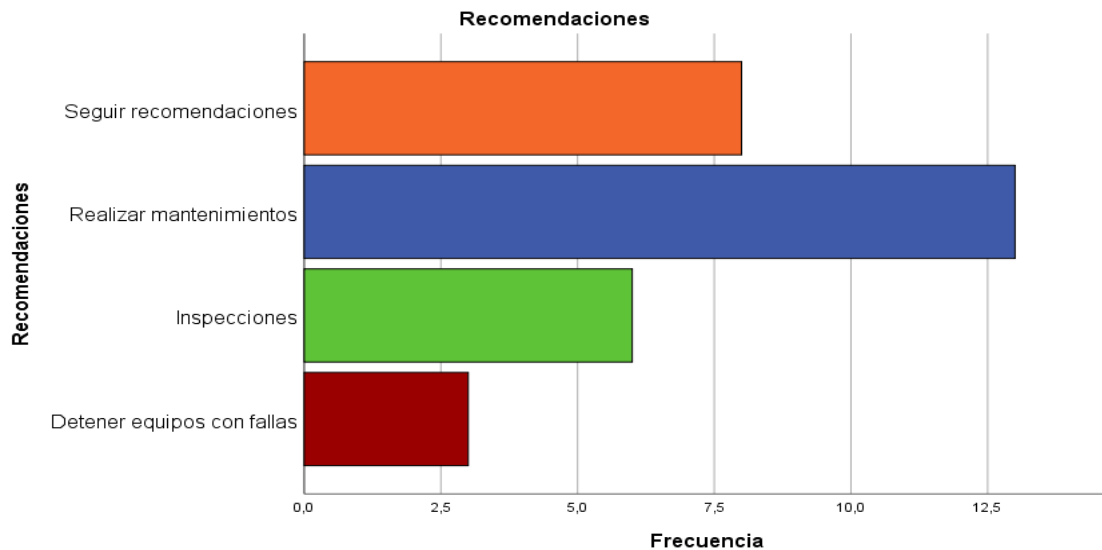


La Gráfica No. 4: Funciones del Departamento de Mantenimiento y la Gráfica No. 5: Recomendaciones; de acuerdo a la información recolectada en estas dos gráficas es importante reconocer que la planta cuenta con un departamento de mantenimiento en el que algunas de las funciones más significativas son: realizar el mantenimiento a los equipos y mantenerlos en condiciones óptimas para la operación; pero estos en ocasiones no se realizan a tiempo y genera una sobrecarga de trabajo en los mismos elevando los costos de la producción. Como recomendaciones para evitar estos sobre costos operacionales se establecen las siguientes: 1) realizar los mantenimientos preventivos a los equipos; 2) Seguir las recomendaciones, cronogramas y programas de mantenimiento, 3) que el personal operativo realice inspecciones

diarias a los equipos e informe las novedades presentes en los mismos y 4) detener equipos en fallas para evitar damos graves y evitar la inutilidad de los mismos.

Gráfico 5.

Recomendaciones



A través de los resultados y el diagnóstico anterior, se establecen los periodos de revisión a equipos, que permitan anticipar fallas mediante la observación de componentes y de esta manera prolongar la vida útil de los equipos; a través de cronogramas donde se implementan las actividades que se van a realizar a través del mantenimiento preventivo en las diferentes áreas de la planta siendo mecánica, eléctrico e instrumentación, la frecuencia con que se va a realizar el mantenimiento dependiendo del equipo, la fecha de realizado y la proyectada, el estado y las observaciones.

Tabla 1.

Cronograma de Mantenimiento de Bombas de Inyección

PIA MONAL SAN FRANCISCO			CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO BOMBAS DE INYECCION				
EQUIPO	ACTIVIDAD A REALIZAR EN MANTENIMIENTO PREVENTIVO			FRECUENCIA MTT PREVENTIVO	FECHA PARA EJECUCION	ESTADO	OBSERVACIONES
	AREA MECANICA	AREA ELECTRICA	AREA DE INSTRUMENTACION				
BI-301	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar limpiezas a componentes eléctricos.	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	27/12/2022	VENCIDO	
BI-302	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar limpiezas a componentes eléctricos.	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	28/12/2022	VENCIDO	
BI-303	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar limpiezas a componentes eléctricos.	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	29/12/2022	VENCIDO	

BI-304	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setins de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar limpiezas a componentes eléctricos.	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	30/12/2022	VENCIDO
BI-305	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar limpiezas a componentes eléctricos.	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	31/12/2022	VENCIDO
BI-306	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar limpiezas a componentes eléctricos.	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	1/01/2023	VENCIDO
BI-307	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar limpiezas a componentes eléctricos.	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	2/01/2023	VENCIDO
BI-308	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	3/01/2023	VENCIDO

	equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	limpiezas a componentes eléctricos.				
BI-309	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar limpiezas a componentes eléctricos.	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	4/01/2023	VENCIDO
BI-310	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar limpiezas a componentes eléctricos.	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	5/01/2023	VENCIDO
BI-311	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar limpiezas a componentes eléctricos.	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	6/01/2023	VENCIDO
BI-312	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de aislamiento y realizar limpiezas a componentes eléctricos.	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado y verificar que los datos de operación sean reales.	TRIMESTRAL	7/01/2023	VENCIDO
BI-313	Revisión y verificación de sello mecánico, estado de base pedestal, lubricación de la bomba, temperaturas, presiones de succión y descarga de la bomba, realizar limpieza de partes, aplicación de pintura si lo requiere, realizar pruebas de	Revisar temperaturas de rodamientos del motor, setting de baja carga, sobrecarga, revisar borneras de conexión, revisar celdas de control del CCM, verificar mediciones de	Revisar contactos de switch de vibración, Transmisor de temperatura y PT y, lubricar y limpiar, realizar medición de continuidad de cableado	TRIMESTRAL	8/01/2023	VENCIDO

funcionamiento y reportar condiciones de equipo, para pruebas de vibraciones y balanceo apoyarse con CBM.	aislamiento y realizaciones y verificar que los datos de operación sean reales.
limpiezas a componentes eléctricos.	

Nota: elaboración propia, 2023

Como se muestra en la tabla anterior, el cronograma describe las actividades que se van a realizar periódicamente en un periodo de tiempo determinado dentro del documento Excel (Apéndice Propuesta de cronograma MTPV PIA Monal) se describen cada uno de los cronogramas dependiendo la maquinaria y equipos siendo estos las bombas de filtración, bombas de aguas aceitosas, bombas de agua clarificada, bombas de filtración de lechos, bombas de retro lavados, MTPV filtros, compresores y transformador MVA.

4.2 Objetivo específico 2. Costo y beneficio obtenido por el mantenimiento preventivo

Después de realizar el análisis de la situación actual de la empresa mediante las encuestas y visitas al campo, se realiza el costo y beneficio obtenido por el mantenimiento preventivo, esto con el propósito de poder dar alta fiabilidad de la maquinaria que compone la planta de la empresa, ya que si no se hace el mantenimiento preventivo y los equipos fallan, no se realiza la inyección y por lo tanto la producción va a disminuir.

Uno de los puntos importantes es analizar la necesidad de orientar a la empresa a lo que implica el mantenimiento ya que de esto dependen los beneficios, estando entre los siguientes:

- Costos de producción.
- Capacidad de respuesta de la empresa como un ente organizado e integrado; en este caso, al generar e implantar soluciones innovadoras y manejar oportuna y eficazmente situaciones de cambio.
- Seguridad e higiene industrial
- Capacidad operacional, dada la relación entre competitividad y el cumplimiento de plazos de entrega (Villanueva, 2022).

Teniendo en cuenta lo anterior, el mantenimiento preventivo restablece el funcionamiento de las maquinas en condiciones predeterminadas, es por esto que incide directamente con la cantidad y calidad de producción.

En cuando a las ventajas del mantenimiento preventivo se encuentran:

Seguridad: las maquinas operan en condiciones de seguridad.

Vida útil: A través del mantenimiento preventivo las plantas tienen más vida útil que si se desarrollará un mantenimiento correctivo.

Costo de reparaciones: Disminución del costo de reparaciones.

Inventario: mediante el mantenimiento preventivo se realiza inventario, por lo que este costo también disminuye.

Aplicabilidad: Mientras más complejo el sistema y más confiabilidad requiera, mayor es la necesidad del mantenimiento preventivo (Mogollón, 2020).

Lo anterior, refiriéndose cada uno de los beneficios de realizar el mantenimiento preventivo; por otro lado, se va a describir el costo y el beneficio de realizar el mantenimiento preventivo en comparación con el mantenimiento correctivo que es más costoso, impacta negativamente a las máquinas y reduce la producción por el tiempo que duran las maquinas en reparación.

En este caso, se va a mostrar un comparativo del análisis de costo-beneficio de bombas de inyección por año.

Tabla 2.*Análisis de costo-beneficio del mantenimiento preventivo de las bombas de inyección por un año*

ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO DE BOMBAS DE INYECCION POR AÑO					
Presupuestos		Costos por fallas		Beneficios por mantenimiento preventivo	
Por fallas BI	Costo estimado	Operación normal BI	Costo anual	Mantenimiento preventivo	Costo
SELLO MECANICO	\$ 600,000	Se cambian dos sellos en el mes	\$7,200,000	Realizar mantenimiento a componentes de bomba de inyección y cambio de repuestos básicos de un MTPV	\$ 1,800,000
		Se requiere generar una ordenes de servicios adicionales por personal de mantenimiento eléctrico, mecánico e instrumental CBM ya que es un trabajo especial no programado	\$ 36,000,000	Mantenimiento realizado por programación que incluye día laborado de parejas de técnicos mecánicos, eléctricos, instrumentistas con su respectiva pareja estimados a \$80.000	
RODAMIENTOS	\$1,700,000	Se cambian cada 3 meses bien sea el superior o el inferior	\$ 6,800,000		
		Se requiere generar una ordenes de servicios adicionales por personal de mantenimiento eléctrico, mecánico e instrumental CBM ya que es un trabajo especial no programado	\$ 9,000,000		\$ 3,192,000
FALLAS DE INSTRUMENTOS	\$ 300,000	Se realiza ajustes limpiezas y re calibraciones cada 3 meses por fallas asociadas a daños de los equipos no reparados	\$ 900,000		
		Generación de orden no programada por falla imprevista que requiere personal instrumentista	\$ 640,000		
totales			\$ 60,540,000		\$ 4,992,000

Nota: Elaboración propia, 2023

En la tabla anterior se muestra un comparativo entre los costos en actividades de un mantenimiento correctivo y uno preventivo, en donde se puede observar que el correctivo es mucho más costoso siendo \$ 60, 540,000.00 el costo anual por fallas de las bombas de inyección; por otro lado, el costo anual del mantenimiento preventivo está en \$ 4, 992,000.00; lo que quiere decir que como beneficio en costos está en un 92%.

Este análisis se realizó también para TRANSFORMADOR DE 6 MVA.

Tabla 3.*Análisis de costo-beneficio del mantenimiento preventivo de transformador por un año*

ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO DE TRANSFORMADOR DE 6 MVA POR AÑO					
Presupuestos		Costos por fallas		Beneficios por mantenimiento preventivo	
Por fallas BI	Costo estimado	Operación normal BI	Costo anual	Mantenimiento preventivo	Costo
FALLAS DE INSTRUMENTOS	\$ 300,000	Se realiza ajustes limpiezas y re calibraciones cada 3 meses por fallas asociadas a daños del equipo no reparado	\$900,000	Realizar mantenimiento general eléctrico e instrumental donde se realice limpiezas, pruebas de lasos de control, funcionamientos y cambio de repuestos menores trabajos semestrales.	\$ 800,000
		Generación de orden no programada por falla imprevista que requiere personal instrumentista	\$ 480,000	Mantenimiento realizado por programación que incluye día laborado de parejas de eléctricos, instrumentistas con su respectiva pareja estimados a \$80.000 trabajos semestrales	\$ 640,000
	\$ 400,000	Llamados por punteos caliente, interruptores de transformadores no responden cada 4 meses por humedad y lluvias, cambio de fusibles de alta tensión.	\$ 1,600,000		
FALLAS ELECTRICAS		Generación de orden no programada por falla imprevista que requiere personal electricista	\$ 640,000		
	totales			\$ 3,620,000	\$ 1,440,000

Nota: Elaboración propia, 2023

En este caso, también se puede observar el beneficio en costos que sigue siendo más de la mitad en este caso es el 60% del costo total anual de un mantenimiento correctivo al transformador, esto rectifica las ventajas de realizar un plan de mantenimiento preventivo y no uno correctivo. Así mismo, dentro del documento Excel (Apéndice Análisis de costo beneficio) se pueden observar los análisis de costos-beneficio para los compresores, así como la descripción de los equipos que se van a intervenir, la lista de precios actualizada de los costos de los repuestos, personal y demás herramientas usadas a la hora del mantenimiento preventivo.

Por último, es importante realizar un análisis general donde se tienen los siguientes datos:

Tabla 4.

Análisis general de presupuesto

TOTAL, PRESUPUESTO POR FALLA	\$ 4,170,000.00	Esto equivale a el presupuesto que se requiere para compra de repuestos asociado a los equipos de mayor importancia de la planta de inyección de agua del Campo San Francisco
TOTAL, MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS	\$ 10,824,000.00	Equivalencia a total de inversión por preventivos que se desean aplicar
TOTAL, INVERSION POR FALLAS REPETITIVAS	\$ 68,220,000.00	Perdidas por inversión en correctivos que se generan frecuentemente

Nota: Elaboración propia, 2023

Teniendo en cuenta el análisis general de presupuesto se puede decir que el presupuesto de mantenimiento preventivo es solamente el 15% del total de la inversión que se realiza por la inversión en correctivos que se generan frecuentemente; siendo \$ 10, 824,000.00 el presupuesto que se invierte en mantenimientos preventivos y \$ 68, 220,000.00 el presupuesto que se invierte por las fallas repetitivas; esto hablando en un periodo de tiempo mensual.

4.3 Objetivo específico 3. Programa para identificar las fallas más frecuentes en equipos

A través de la elaboración del sistema para identificar las fallas más frecuentes en equipos se pretende lograr la recopilación de la información útil para crear un historial de daños en las plantas y maquinas específicas, con el propósito de realizar el plan de mantenimiento preventivo de acuerdo a las necesidades de la maquinaria de la planta (Intriago, 2020).

En este caso, se realiza el reconocimiento de las principales fallas, se realiza un histórico mediante un archivo de Excel (Apéndice Histórico de fallas PIA Monal SF) en el que se identifican los equipos, tiempo que se tardó en realizar una reparación, que tipo de repuesto se cambió, el detalle del repuesto, persona que realizó la reparación, el grupo que resulto afectado (eléctrico, hidráulico, mecánico, etc.).

A continuación, se observa un formato de la tabla donde se registra el historial de fallas.

Tabla 5.

Formato de registro historial de fallas en maquinas

MAQUINA:		PROCEDENCIA:		CODIGO:		OBSERVACIONES Ó ESPECIFICACIONES	RESPONSABLE
MARCA:		AÑO DE FABRICACION:		MODELO DE MTO:			
FECHA	GRUPO	PARTE REVISADA	HORA		TRABAJO REALIZADO	OBSERVACIONES Ó ESPECIFICACIONES	RESPONSABLE
			INICIO	FIN			

Nota: Elaboración propia, 2023

Una vez que se á propuesto la codificación de la maquinaria, la realización de las fichas de las máquinas y las propuestas de la hoja de registro del historial de fallos de la maquinaria en la empresa, con esto se pretende lograr que la realización del mantenimiento sea mucho más fácil.

A continuación, se describen las principales fallas que se encontraron en las máquinas y equipos de la empresa.

Tabla 6.

Historial de fallas en equipos y máquinas de la empresa

#	Fallas más comunes	#	Fallas que pueden reflejarse en la operación de equipos
1	Rodamientos defectuosos	1	Falta de grasa o aceite
2	Devanado en cortocircuito.	2	Cupling roto o flojo
3	Motor desalineado	3	Vibración en el Skid (pernos sueltos)
4	Dispositivo de sobrecarga disparado.	4	Defectos en el anclaje.
5	Daño en el pulsador del tablero de control	5	Acoplamiento flojo.
6	Cupling roto o flojo	6	Falta de grasa o aceite
7	Acoplamiento flojo.	7	Objetos presionados entre el ventilador y la tapa posterior.
8	Sobrecarga	8	Cheques en mal estado
9	Humedad en el rodamiento.	9	Fusibles de control abiertos o quemados
10	Cojinetes desgastados.	10	Falla en las tarjetas de lógica
11	Bomba aireada	11	Conexiones flojas
12	Strainers taponados (sucios)	12	Desequilibrio de fases (desfasado).
13	Daño interno de la bomba.	13	Falta de grasa o aceite
14	Sello mecánico en mal estado	14	Lubricación deficiente.
15	Fuga de aceite por empaque en la tapa de inspección.	15	Anclajes flojos.
16	Filtro de aire tapado.		
17	Térmicos activados		
18	Fugas en el sistema de aire.		
19	Altas Vibraciones en rodamientos		
20	Fisuras en carcasas de bombas centrifugas		
21	Boquillas de filtros en mal estado		
22	Impulsadores con desgaste, flujos bajos		
23	Camisas de sello rotas		

En cuanto al programa desarrollado este permite garantizar que las fallas más frecuentes en equipos de la planta de inyección del campo San Francisco, sean atendidas a tiempo de acuerdo a lo reportado en los mantenimientos preventivos, para evitar correctivos frecuentes o tener que dejar equipos fuera de servicio.

Así mismo, este permite hacer un análisis de las fallas como se muestra a continuación:

Tabla 7.

Análisis de fallas y soluciones en las bombas de inyección

Análisis de fallas y soluciones en las bombas de inyección		
FALLA	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN
EL MOTOR NO ARRANCA	Voltaje muy bajo.	Medir voltaje.
	Dispositivo de sobrecarga disparado.	Resetear el térmico.
	Fusibles de control abiertos o quemados	Cambiar los fusibles que se encuentren en mal estado.
	Vibración	Resetear el switch de vibración.
	Temperatura rodamientos superior e inferior	Esperar a estabilizar temperatura y realizar revisión del rozamiento.
	Cortocircuito en el devanado	Realizar pruebas de megueo al motor.
	Fusibles de arranque PLC abiertos o quemados.	Cambiar el pulsador del tablero de control.
SE PRESENTAN RUIDOS EXTRAÑOS	Falla en las tarjetas de control	Revisar lógica del PLC.
	Falla Rodamientos superior e inferior.	Realizar revisión y cambio de rozamientos.
	Vibración motor-bomba.	Ejecutar balance y alineación de motor-bomba.
	Defectos en el anclaje.	Ajustar acoplamiento.
	Acoplamiento flojo.	Ajustar tronillos, pernos, láminas, y tapas.
BAJA PRESIÓN EN	Tornillos, pernos, laminas, tapas sueltas	Ajuste de tornillos, pernos, laminas, tapas sueltas
	Strainer taponados (sucios)	Realizar des taponamiento de strainer.

LA DESCARGA DE LA BOMBA	Manómetro en mal estado o descalibrado.	Cambio de manómetros.
	Daño interno de la bomba.	Revisión impeler de la bomba.
FUGAS DE AGUA	Sello mecánico en mal estado	Realizar Cambio del sello mecánico.
	Pitting en la línea de succión, descarga o manómetro.	Cambio o reparación de la línea afectada.
	Tornillo o pernos sueltos en las bridas.	Realizar ajuste de tornillo y pernos en la brida.

Nota: Elaboración propia, 2023

Así mismo, se tiene el análisis para las fallas en las bombas de filtración, gas aceitosas, aguas clarificadas, filtración de lechos, compresor de aire y Retrolavados.

4.4 Protocolo de mantenimiento preventivo

Para cada uno de los análisis realizados se encuentra un protocolo de intervención de mantenimiento preventivo; que se puede verificar en el programa descrito en el archivo de Excel (Apéndice Propuesta programa de MTPV). En cada protocolo se identifican las tareas, especialidad, frecuencia, tiempo de duración en minutos, permisos de trabajo, y el proceso que se esté realizando (parado o en marcha). A continuación, se muestra un ejemplo en las bombas de inyección.

Tabla 8.*Protocolo de mantenimiento preventivo a bombas de inyección multi etapas*

PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A BOMBAS DE INYECCION MULTI ETAPAS						
Inspecciones diarias por el operador de turno						
Tareas	Especialidad	Frecuencia	Duración en min	Permiso	Parado	En marcha
Verificación de ruidos anormales	Operaciones	Diario	2	NO		X
verificar si existen fugas de agua	Operaciones	Diario	2	NO		X
verificar si existen fugas de aceite	Operaciones	Diario	2	NO		X
verificación de presiones	Operaciones	Diario	2	NO		X
Tiempo total			8			
Ejecución mantenimiento preventivo por personal de mantenimiento						
Revisar el sello mecánico que este sin fugas	Mecánica	Trimestral	5	SI	X	
Hacer ajuste de sello mecánico	Mecánica	Trimestral	5	SI	X	
Verificar fugas de aceite por visores de nivel de aceite	Mecánica	Trimestral	5	SI	X	
Verificar que el pedestal este sin fisuras	Mecánica	Trimestral	5	SI	X	
Verificación de presiones de bomba	Mecánica	Trimestral	5	SI		X
Realizar prueba manométrica	Mecánica	Trimestral	5	SI		X
Realizar pruebas de vibraciones	Instrumentación	Trimestral	5	SI		X
Simular temperaturas de motor	Instrumentación	Trimestral	5	SI	X	
Realizar limpieza general del equipo	Mecánica	Trimestral	5	SI	X	
Verificar tensión	Electica	Trimestral	5	SI		X
Ajustar bornes y cableados	Electica	Trimestral	5	SI	X	
Realizar revisión a celda de control	Electica	Trimestral	5	SI	X	
Tomar temperaturas con pistola termográfica	CBM	Trimestral	5	SI		X
Realizar tomas de vibraciones	CBM	Trimestral	15	SI		X
Verificar alineación de bomba - motor	CBM	Trimestral	15	SI	X	
Realizar pruebas de arranque y dejar en funcionamiento	Mec/Elec/Inst	Trimestral	10	si		x
TIEMPO TOTAL			105			

5. Conclusiones

En este trabajo de monografía se formuló un plan de mantenimiento preventivo direccionado a mitigar fallas y prolongar la vida útil de equipos para garantizar el funcionamiento correcto de la planta de inyección, se realizó cronograma de actividades en base a cada equipo y se establece periodos de revisión donde se da a conocer cada cuanto tiempo se deberá proceder a ejecutar el plan de mantenimiento preventivo, esto pudo ser posible debido a interacción con encuestas aplicadas al personal Operario, mantenimiento mecanico , Instrumentación y Eléctrico; que son de gran importancia ya que tienen contacto con los equipos a diario.

En las visitas a campo y aplicación de encuestas a personal que la labora en la planta, se identificaron las fallas reportadas con mayor frecuencia, las cuales se tuvieron en cuenta para la elaboración del cronograma de actividades, periodos de revisión de componentes, y de esta manera poder tener un mejor control y funcionamiento de los equipos en la planta de inyección de agua a pozos del campo san francisco.

También se realizó un análisis donde se puede observar el beneficio o ahorro económico que la operadora o empresa encargada de las instalaciones tendría, siendo este de \$57,396,000.00 hablando de costos mensuales; ya que, si se realiza la comparación de gastos mensuales por el plan correctivo de fallas repetitivas, se está generando costos en un total de \$68,220,000.00; por otro lado el costo presupuestal de un plan preventivo para el Campo San Francisco es de \$ 10,824,000.00 siendo así que se evidencia el beneficio de llevar a cabo el plan de mantenimiento preventivo.

Teniendo en cuenta los resultados es evidente que un mantenimiento preventivo a los equipos de la planta de inyección, hace que se tenga mayor control de los mismos prolongando su vida útil, conservando su estado y eficiencia, evitando daños mayores en equipos que pudieron ser diagnosticados a tiempo en su momento, esto garantiza que de acuerdo al análisis, el departamento de mantenimiento, se preocupe por hacer mejor inversión en repuestos para mantenimiento, evitar correctivos costosos y hasta cambios de equipos inesperados; logrando que el operario se sienta más seguro de los equipos con los que cuenta en caso de un evento no deseado y de esta manera no generar pérdidas por equipos parados que se traducen en retrasos operacionales y por ende pérdidas en producción que traduce a pérdida económica.

Finalmente, se presenta un programa detallado por cada equipo que permite responder a fallas frecuentes, las cuales serán resueltas una vez aplicado los respectivos mantenimientos preventivos, además, se establecen los tiempos que deberá emplear el personal para la ejecución del respectivo protocolo de mantenimiento por cada equipo llevando a cabo un registro y control a través de ficha de mantenimiento donde preserve actividades diarias hechas por el operador y actividades ejecutadas por personal netamente de mantenimiento en los periodos de revisión, Este programa también tendrá en cuenta los cronogramas y registros dejados en rondas operacionales e ingresadas en digital e históricos de equipos con respectivos avisos realizado por ingeniería.

6. Recomendaciones

Se recomienda dar aplicación a la propuesta del plan de mantenimiento ya que de estas manera siguiendo juiciosamente los cronogramas de mantenimiento para cada equipo y los tiempos evaluados el programa, esto hará que los equipos estén operativos y en correctas condiciones evitando pérdidas por sobre costos de inversión en correctivos, y a la vez evita impactar negativamente la producción del campo San Francisco, por ende si no se busca la posibilidad de poner el plan en marcha, la recuperación por inversión no tendría beneficios , teniendo en cuenta este plan de mantenimiento se ganara económicamente y garantizara el correcto funcionamiento de la planta de inyección de agua teniendo ahorros significativos.

Por otro lado, está monografía permite dar continuidad en cuanto análisis de costos y beneficios, no solo de planes preventivos de equipos, sino del sistema operativo, personal técnico, entre otros; con el fin de rescatar la producción de la empresa. Así mismo se recomienda continuar la investigación basada en el seguimiento y control de los planes preventivos para cada equipo e identificar las fallas y errores más frecuentes.

Referencias Bibliográficas

- ECOPETROL. (2010). Manual de operaciones Batería Monal San Francisco. Neiva-Huila Colombia.
- ECOPETROL. (2016). Manual de operaciones Batería satélite San Francisco. Neiva-Huila Colombia. MO-09-S 001 Versión 1
- Gutiérrez Mora, Alberto. (2010). Mantenimiento, planeación, ejecución y control. México D.F, Alfaomega Grupo Editor. 528p.
- HOCOL. (2017) / M009PM001 Manual de operaciones planta de inyección Monal San Francisco. Neiva-Huila Colombia.
- Intriago Vilela, A. S. (2020). Estudio para establecer el costo de los servicios de mantenimiento de las bombas de inyección en el taller ARM (Bachelor's thesis, Instituto Superior Tecnológico Bolivariano de Tecnología.).
- Mogollón Herrera, D. A. (2020). Diseño de los planes de mantenimiento a través del RCM para garantizar la confiabilidad de los sistemas de inyección de agua de producción de una Empresa, Talara 2020.
- Mora, L. A. (2009). Mantenimiento-planeación, ejecución y control. Alfa omega Grupo Editor.
- Navas, E., Jiménez, R., Caldera, G., Ortiz, J., Agudelo, O., Hernández, M., & Mora, G. (2020). Análisis integrado del proceso de inyección de agua en el campo Casabe: una estrategia para reducir la incertidumbre y mejorar la eficiencia de recobro
- Silin, D. B., Holtzman, M. J., Patzek, T. W., Brink, J., & Minner, M. (octubre 2005). Waterflood Surveillance and Control: Incorporating Hall Plot and Slope Analysis. Proceedings of SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Dallas, Texas: SPE 93879.

Villanueva, Vicente. (2022). Tipos de mantenimiento industrial. Recuperado de:
<https://www.datadec.es/blog/tipos-de-mantenimiento-industrial>