

MODELO EFICIENTE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS
UNIDADES DE CEMENTACION JEREH GJT70-34II DE LA EMPRESA CPVEN
SUCURSAL COLOMBIA

CRISTIAN FABIAN NAVARRO QUINTERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

MODELO EFICIENTE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS
UNIDADES DE CEMENTACION JEREH GJT70-34II DE LA EMPRESA CPVEN
SUCURSAL COLOMBIA

CRISTIAN FABIAN NAVARRO QUINTERO

Trabajo de grado para optar título de especialista en gerencia de mantenimiento

Director:

Hector Orduz Prada

Magister en administración de empresas

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que me brindaron su apoyo durante todo el transcurso de la especialización y aquellas que me motivaron a finalizar esta monografía.

A la empresa CPVEN Sucursal Colombia por brindarme el tiempo y el apoyo para cursar esta especialización.

Al ingeniero Hector Orduz por su guía y colaboración durante la realización de la monografía.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. CPVEN.....	17
2.1 MISION	17
2.2 VISION.....	17
2.3 HISTORIA	18
2.4 UBICACIÓN	18
2.5 EQUIPOS.....	19
3. CEMENTACION.....	20
3.1 CEMENTACION PRIMARIA	20
3.2 CEMENTACION SECUNDARIA	21
3.3 TAPONES DE CEMENTO	22
3.4 EQUIPOS DE CEMENTACION	23
3.4.1. Unidad de cementación.....	23
3.4.2. Batch mixer.....	23
3.4.3. Tolvas de cemento.....	24
3.4.4.... Cisterna de fluidos.....	24
4. MARCO CONCEPTUAL	25
4.1 MANTENIMIENTO	25
4.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	26
4.2.1. Mantenimiento correctivo.....	26

4.2.2. Mantenimiento preventivo.....	27
4.3 INDICADORES DE MANTENIMIENTO	28
4.3.1.Indicadores de disponibilidad.....	28
4.3.2. Indicadores de costos.....	29
4.3.3.Indicadores de gestión de ordenes de trabajo.....	29
4.4 FALLAS.....	30
4.5 METODOS DE ANALISIS DE FALLA	30
4.4.1.Análisis de Pareto.....	30
4.4.2. Árbol de problemas.....	31
4.4.3. Árbol de objetivos.....	32
5. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	34
6. JUSTIFICACION	36
7. UNIDAD DE CEMENTACION JEREH GJT70-34II	37
7.1 MOTOR.....	39
7.1.1.Sistema de combustible.....	39
7.1.2. Sistema de lubricación.....	39
7.1.3. Sistema de admisión.....	40
7.1.4. Sistema de enfriamiento.....	40
7.1.5. Sistema electrónico.....	40
7.1.6. Sistema de escape.....	40
7.2 TRANSMISION	40
7.3 BOMBA TRIPLEX	41
7.4 SISTEMA HIDRAULICO	42
7.5 SISTEMA ELECTRICO.....	42
7.6 SISTEMA NEUMATICO	42
7.6.1.Compresor de aire.....	42
7.6.2. Válvula de descarga.....	43
7.6.3.Tanque de aire.....	43

7.6.4. Secador de aire.....	43
7.6.5. Regulador de presión.....	43
7.6.6. Actuadores.....	43
7.7 SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	43
8. MANTENIMIENTO EN CPVEN SUCURSAL COLOMBIA	44
8.1 ORGANIGRAMA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	44
8.2 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO.....	44
8.2.1. Mantenimiento correctivo.....	45
8.2.2. Mantenimiento preventivo.....	46
8.3 HISTORIAL DE FALLAS	47
8.4 ANALISIS DE DATOS.....	48
9. MODELO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	55
9.1 ORGANIGRAMA.....	55
9.2 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS.....	55
9.3 FICHA TECNICA.....	56
9.4 HOJA DE VIDA	58
9.5 PLAN DE MANTENIMIENTO.....	58
9.5.1. Orden de trabajo.....	58
9.5.2. Rutinas de mantenimiento.....	60
9.5.3. Cronograma de mantenimiento.....	64
9.5.4. Consumibles.....	65
9.6 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO	66
9.7 INDICADORES	66
9.8 PROCEDIMIENTO.....	67
9.9 COSTOS.....	69
9.9.1. Aceites y filtros.....	69
9.9.2. Presupuesto.....	71
10. CONCLUSIONES	74

11. RECOMENDACIONES76

BIBLIOGRAFÍA.....77

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Significado referencia GJT70-34II.....	37
Tabla 2. Consumibles para rutinas de mantenimiento.....	65
Tabla 3. Comparación precios filtros CAT vs DONALDSON	70
Tabla 4. Valores totales	70
Tabla 5. Costo total por rutina de mantenimiento	71
Tabla 6. Costo de mantenimiento por año	72
Tabla 7. Flujo de fondos	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Logo de la empresa	17
Figura 2. Total histórico trabajos CPVEN Sucursal Colombia.	18
Figura 3. Instalaciones	19
Figura 4. Cementación primaria. Adaptado de Ingeniería de Cementaciones.	20
Figura 5. Tapón de abandono.....	22
Figura 6. Unidad de cementación.	23
Figura 7. Batch mixer.....	23
Figura 8. Tolva de cemento.	24
Figura 9. Cisterna de fluidos.	24
Figura 10. Diagrama de Pareto.....	31
Figura 11. Árbol de problemas.....	32
Figura 12. Árbol de objetivos.	33
Figura 13. Identificación componentes de la unidad de cementación Jereh GJT70-34II.....	38
Figura 14. Motor Caterpillar C15.....	39
Figura 15. Transmisión Allison 4700 OFS	41
Figura 16. Bomba triplex OFM600.....	41
Figura 17. Organigrama gerencia de operaciones CPVEN	44
Figura 18. Cronograma unidades de cementación	46
Figura 19. Diagrama de Pareto frecuencia de fallas	49
Figura 20. Árbol de problemas: Fuga de fluido	50
Figura 21. Árbol de objetivos: Fuga de fluido.....	50
Figura 22. Árbol de problemas: Daño en indicadores.....	51
Figura 23. Árbol de objetivos: Daño en indicadores.....	51
Figura 24. Árbol de problemas: Falla equipos de monitoreo.....	52

Figura 25. Árbol de objetivos: Falla equipos de monitoreo.	52
Figura 26. Árbol de problemas: Motor no enciende.	53
Figura 27. Árbol de objetivos: Motor no enciende.....	54
Figura 28. Organigrama departamento de mantenimiento	55
Figura 29. Ficha técnica unidad de cementación.....	57
Figura 30. Orden de trabajo.....	59
Figura 31. Formato F-MA-002 (CO) Rutina mantenimiento preventivo preoperacional para las unidades de cementación Jereh GJT70-34II	61
Figura 32. Formato F-MA-003 (CO) Rutina mantenimiento preventivo para las unidades de cementación Jereh GJT70-34II	63
Figura 33. F-MA-004 (CO) Cronograma mantenimiento preventivo para las unidades de cementación Jereh GJT70-34II	64
Figura 34. F-MA-006 (CO) Historial de mantenimiento.....	66
Figura 35. Procedimiento de mantenimiento	68
Figura 36. Listado de precios de aceites Mobil	69

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Equipos de CPVEN Sucursal Colombia.....	19
Cuadro 2. Paso a paso mantenimiento correctivo.	45
Cuadro 3. Paso a paso mantenimiento preventivo.	47
Cuadro 4. Listado fallas unidad JEREH.....	48
Cuadro 5. Codificación equipos CPVEN Sucursal Colombia.	56
Cuadro 6. Código unidades de cementación Jereh GJT70-34II	56
Cuadro 7. Rutinas de mantenimiento.....	60
Cuadro 8. Horas promedio trabajadas por unidad	71

LISTA DE ANEXOS

“Los anexos están adjuntos y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS”

Anexo A. Ficha técnica de unidades

Anexo B. Orden de trabajo

Anexo C. Rutina mantenimiento preventivo preoperacional para las unidades de cementación Jereh GJT70-34II

Anexo D. Rutina mantenimiento preventivo para las unidades de cementación Jereh GJT70-34II

Anexo E. Cronograma mantenimiento preventivo para las unidades de cementación Jereh GJT70-34II

Anexo F. Reporte de fallas

Anexo G. Historial de mantenimiento

Anexo H. Procedimiento de mantenimiento

RESUMEN

TÍTULO: MODELO EFICIENTE DE MANTNEIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS UNIDADES DE CEMENTACION JEREH GJT70-30II DE LA EMPRESA CPVEN SUCURSAL COLOMBIA*

AUTOR: CRISTIAN FABIAN NAVARRO QUINTERO**

PALABRAS CLAVE: MANTENIMIENTO PREVENTIVO, PLAN DE MANTENIMIENTO, UNIDAD DE CEMENTACION, INDICADORES

DESCRIPCIÓN: CPVEN es una empresa multinacional con presencia en países de América Latina como Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, y en medio oriente en Kuwait, dedicada a la prestación de diferentes servicios a pozos de petróleo y gas. CPVEN Sucursal Colombia se ha especializado en la cementación de pozos, teniendo como principales clientes a Gran Tierra y Oxy.

Para prestar estos servicios, la empresa cuenta con equipos propios como los son unidades de cementación, batch mixer, tolvas de cemento y cisternas de fluidos los cuales deben estar en perfectas condiciones para garantizar la ejecución del trabajo.

Por tal motivo se elabora un modelo eficiente de mantenimiento preventivo para las unidades de cementación Jereh GJT70-30II de la empresa basado en las recomendaciones de fabricantes y en la amplia experiencia del recurso humano con el que cuenta la empresa, con el fin de garantizar una alta disponibilidad para la prestación de los servicios.

Con este plan se le hace entrega a la empresa del procedimiento de mantenimiento junto con los formatos para el seguimiento y ejecución de este como lo son el modelo de hoja de vida, orden de trabajo, formatos de rutinas de mantenimiento, cronograma, reporte de fallas e historial de mantenimiento. Adicional a esto, se establecen indicadores para realizar la medición del plan.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería mecánica. Especialización en Gerencia de mantenimiento. Director: Héctor Orduz Prada, Magister en administración de empresas.

ABSTRACT

TITLE: EFFICIENT PREVENTIVE MAINTENANCE MODEL FOR THE JEREH GJT70-30II CEMENTING UNITS OF THE COMPANY CPVEN SUCURSAL COLOMBIA*

AUTHOR: CRISTIAN FABIAN NAVARRO QUINTERO**

KEY WORDS: PREVENTIVE MAINTENANCE, MAINTENANCE PLAN, CEMENTATION UNIT, INDICATORS

DESCRIPTION: CPVEN is a multinational company with a presence in Latin American countries such as Colombia, Ecuador, Peru and Venezuela, and in the Middle East in Kuwait, dedicated to providing different services to oil and gas Wells. CPVEN Sucursal Colombia has specialized in the cementing of Wells. CPVEN Sucursal Colombia has specialized in the cementing of Wells, having Gran Tierra and Oxy as main clients.

To provide these services, the company has its own equipment such as cementing units, batch mixers, cement hoppers and fluid tanks, which must be in perfect condition to guarantee the execution of the work.

For this reason, an efficient preventive maintenance model is developed for the company's Jereh GJT70-30II cementing units base on the recommendations of manufactures and the extensive experience of the human resource that the company has, in order to guarantee a high availability for the provision of services.

With this plan, the maintenance procedure is delivered to the company together whit the formats for the follow-up and execution of this, such as the resume model, work order, maintenance routine formats, Schedule, failure report and maintenance history. In addition to this, indicators have been made to measure the plan.

* Monograph

** Faculty of Physical-mechanical engineering. School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Hector Orduz Prada.

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la humanidad, el hombre ha estado en constante creación de herramientas y maquinas que les facilitara su diario vivir. Al presentarse una falla, estas eran reparadas rudimentariamente para que volviera a cumplir su función, lo que puede ser asemejado al mantenimiento correctivo. Con el pasar del tiempo, se dieron cuenta de la necesidad de mantener estas en condiciones óptimas para cumplir su función evitando la presencia de fallas, de ahí los inicios del mantenimiento preventivo.

Al CPVEN querer ser reconocida como una de las principales empresas de América Latina en el sector de servicios a pozos, logrando una reputación de excelencia en la calidad¹ debe evolucionar su mantenimiento, el cual se basa en la corrección de fallas, para dar paso a un plan de mantenimiento preventivo. Es por este motivo que se realizará un planteamiento de un modelo de mantenimiento preventivo para las unidades de cementación Jereh GJT70-30II en busca de aumentar la disponibilidad manteniendo la funcionalidad del equipo sin realizar intervenciones y así, reducir costos y generar mayor rentabilidad para la empresa.

Para iniciar se toma la unidad de cementación como equipo piloto para el diseño del modelo, el cual será implementado y evaluado, lo que permitirá realizar mejoras para posteriormente replicarlo a todos los equipos de la empresa.

¹ CPVEN. [En línea] (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://www.cpven.com/quienes-somos/mision-vision-valores/>

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar modelo eficiente de mantenimiento preventivo para las unidades de cementación JEREH GJT70-34II de CPVEN Sucursal Colombia.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar inventario de unidades de cementación y ficha técnica de cada uno de ellos.
- Analizar, caracterizar y modelar naturaleza de fallas o identificación de problemas.
- Elaborar arboles de problemas con respectivas causas y efectos.
- Elaborar arboles de objetivos con medios y fines.
- Planteamiento de alternativas de solución.
- Determinar frecuencia y elaborar rutinas de mantenimiento siguiendo recomendaciones del fabricante de la unidad y de sus componentes.
- Desarrollar el procedimiento de mantenimiento.
- Realizar análisis costo beneficio.

2. CPVEN

CPVEN es una empresa multinacional, de origen venezolano, con más de 35 años de experiencia en la prestación de servicios a pozos de petróleo y gas, con actividades de exploración y producción. Tiene presencia en países latinoamericanos como Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, y en medio oriente hace presencia en Kuwait.

Figura 1. Logo de la empresa



Fuente: CPVEN Sucursal Colombia

2.1 MISION

Somos una empresa multinacional del sector Energía, líder en Servicios a Pozos de Petróleo y Gas, con actividades de Exploración y Producción, comprometida a la creación de valor para nuestros clientes y accionistas, así como a la generación de bienestar para nuestros empleados, colaboradores, la comunidad y el medio ambiente en los países donde tenemos presencia².

2.2 VISION

Ser reconocidos como una de las principales empresas de América Latina en el sector de Servicios a Pozos de Petróleo y Gas y posicionarnos de forma exitosa en Exploración y Producción. Lograremos lo anterior con una reputación de excelencia en la calidad y tecnología de nuestros servicios, el desarrollo de un

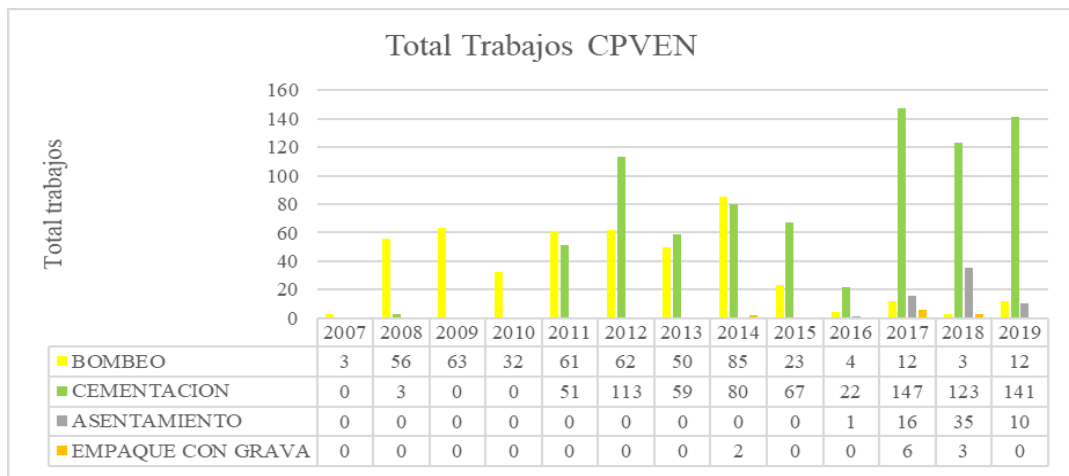
² Ibid.

sólido capital humano y niveles de rentabilidad que permitan el crecimiento sostenido de acuerdo con las metas propuestas³.

2.3 HISTORIA

CPVEN inicia operaciones en Colombia en el año 2007, ofreciendo servicios de bombeo de alta presión y fluidos de perforación. En sus inicios su fuerte se basó en bombeos, pero a dado un vuelco y en la actualidad está enfocada en la prestación de servicios de cementación a pozos como se observa en la figura 2.

Figura 2. Total histórico trabajos CPVEN Sucursal Colombia.



Fuente: Elaboración propia

2.4 UBICACIÓN

CPVEN Sucursal Colombia tiene su oficina administrativa ubicada en el norte de la ciudad de Bogotá, mientras su base operacional está ubicada estratégicamente en la ciudad de Neiva – Huila.

³ Ibid.

Figura 3. Instalaciones



Base operacional, Neiva

Oficina administrativa, Bogotá

Fuente: CPVEN Sucursal Colombia.

2.5 EQUIPOS

La empresa cuenta con un total de 47 equipos distribuidos como se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Equipos de CPVEN Sucursal Colombia

ITEM	TIPO DE EQUIPO	CANTIDAD
1	UNIDAD DE CEMENTACION	6
2	BATCH MIXER	5
3	TOLVA DE CEMENTO	10
4	CISTERNA DE FLUIDOS	8
5	TRACTOCAMION	7
6	TURBO	5
7	CAMIONETA	6

Fuente: Elaboración propia.

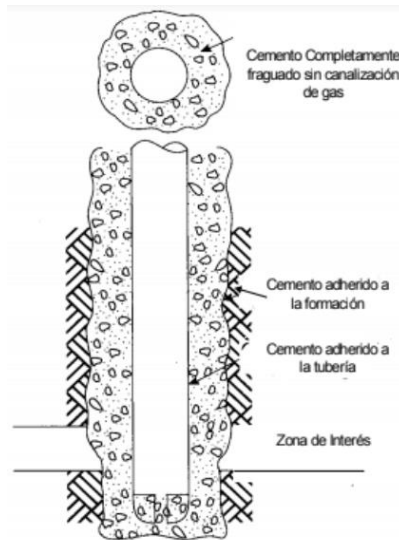
3. CEMENTACION

La cementación es la operación de mayor importancia que se realiza en los pozos petroleros en busca de alcanzar su objetivo fundamental, la cual es: “El aislamiento zonal”⁴. Las cementaciones se clasifican de acuerdo con los objetivos que se persiguen en:

3.1 CEMENTACION PRIMARIA

Consiste en colocar una lechada de cemento en el espacio anular, entre la tubería de revestimiento y la formación expuesta del agujero, asegurando un sello completo y permanente como se observa en la figura 4. El cemento se bombea por dentro de la tubería y sale al anular por el extremo inferior, cambiando de dirección hacia arriba, desplazando el lodo fuera del anular⁵

Figura 4. Cementación primaria. Adaptado de Ingeniería de Cementaciones.



Fuente: Jacome, Marco. Ingeniería de cementaciones. p. 4.

⁴ Lopez, Fazael. CPVEN Seminario de cementación de pozos de petróleo y/o gas. Bogotá, 2014. p. 10.

⁵ Ibid., p. 12.

Los objetivos de las cementaciones primarias son⁶:

- Proporcionar aislamiento entre las zonas del pozo que contienen gas, aceite y agua.
- Soportar el peso de la propia tubería de revestimiento.
- Reducir el proceso corrosivo de la tubería de revestimiento con los fluidos del pozo y con los fluidos inyectados de estimulación.
- Evitar derrumbes de las paredes de formación no consolidadas.

3.2 CEMENTACION SECUNDARIA

Consiste en inyectar cemento a presión a través de disparos o ranuras en la tubería de revestimiento al espacio anular⁷ con el objetivo principal de restablecer o asegurar el aislamiento entre zonas o para incrementar la integridad⁸.

Los objetivos de las cementaciones secundarias son⁹:

- Mejorar el sello hidráulico entre dos zonas que manejan fluidos.
- Corregir la cementación primaria que manifieste ausencia de cemento o canalizaciones.
- Eliminar la intrusión de agua en la zona productora.
- Reducir la relación gas-aceite.
- Corregir una anomalía en la tubería de revestimiento: puntos de fuga, fisuras, puntos de corrosión.

⁶ Jacome, Marco. Ingeniería de cementaciones. p. 4.

⁷ Ibid., p. 5.

⁸ Lopez. Op. cit., p. 14.

⁹ Jacome. Op. Cit., p. 5.

- Sellar un intervalo exploratorio o un intervalo seleccionado incorrectamente.

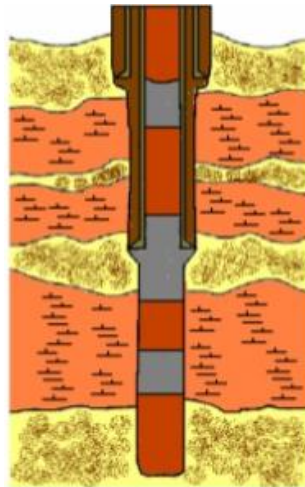
3.3 TAPONES DE CEMENTO

Son un volumen determinado de lechada de cemento, colocado en el agujero o en la parte interior de la tubería de revestimiento¹⁰ con el fin de generar un aislamiento entre la zona inferior y la zona superior del hoyo.

Los objetivos de los tapones de cemento son¹¹:

- Abandonar el pozo.
- Desviar el pozo.
- Curar perdidas de circulación del pozo.
- Sella acuíferos.

Figura 5. Tapón de abandono



Fuente: Lopez, Fazael. CPVEN Seminario de cementación de pozos de petróleo y/o gas. Bogotá, 2014. p. 15

¹⁰ Jacome. Op. Cit., p. 5.

¹¹ Lopez. Op. cit., p. 15.

3.4 EQUIPOS DE CEMENTACION

Las operaciones de cementación de pozos se realizan mediante la conjunción de personal, equipos y las materias primas. El set de equipos usados en las operaciones está conformado por la:

3.4.1. Unidad de cementación. Estas unidades están diseñadas para mezclar y bombear diferentes tipos de lechadas de cemento en densidades específicas y altas presiones.

Figura 6. Unidad de cementación.



Fuente: CPVEN Sucursal Colombia.

3.4.2. Batch mixer. Son equipos para realizar la mezcla homogénea de los diferentes fluidos que son bombeados al pozo, como lo son aguas de mezcla, espaciadores y lechadas de cemento.

Figura 7. Batch mixer.



Fuente: CPVEN Sucursal Colombia.

3.4.3. Tolvas de cemento. Son equipos usados para el transporte y almacenamiento de cemento a granel. Están dotados de un motor compresor que permite presurizar de los diferentes tanques que la conforman. Estos se ubican en los pozos y son conectados mediante mangueras a las unidades de cementación o a los batch mixer para realizar las lechadas de cemento.

Figura 8. Tolva de cemento.



Fuente: CPVEN Sucursal Colombia.

3.4.4. Cisterna de fluidos. Equipos usados en pozo para el almacenamiento de los fluidos que son bombeados al pozo.

Figura 9. Cisterna de fluidos.



Fuente: CPVEN Sucursal Colombia.

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1 MANTENIMIENTO

Desde el principio de la humanidad, hasta finales del siglo XVII, las funciones de preservación y mantenimiento que el hombre aplicaba a las maquinas que utilizaba en la elaboración de producto, o servicio, que vendía a sus clientes, no tuvieron un gran desarrollo debido a la menor importancia que tenían estas con respecto a la mano de obra que se empleaba¹².

A finales del siglo XIX, a medida que la industria fue evolucionando, el trabajo realizado se distribuía en el 90% realizado por el hombre y solo el 10% por la máquina. Con el crecimiento de la industria surgió la necesidad de hacer las primeras reparaciones. En ese momento, estas solo se reparaban en caso de que se presentara una falla importante o fuera necesario detener la producción¹³.

A principios del siglo XX se les exige a las industrias una producción máxima, por lo cual mantenimiento tiene que asegurar el funcionamiento a cualquier costo. De solo realizar reparaciones se pasó a realizar estudios de las fallas y sus soluciones dando lugar a un gran avance técnico. Se encuentran relaciones entre las horas de funcionamiento y la aparición de las averías, permitiendo la realización del mantenimiento antes de que se produzca un fallo¹⁴.

¹² AVALLONE, Eugene A. y BAUMEISTER III, Theodore. Manual del ingeniero mecanico. 9 ed. Mexico: McGraw Hill, 1995.

¹³ MEDRANO MARQUEZ, José Á.; GONZALEZ AJUECH, Víctor L. y DIAZ DE LEON SANTIAGO, Vicente M. Mantenimiento, Tecnicas y aplicaciones industriales. Mexico: Grupo editorial Patria, 2017. p. 4.

¹⁴ NAVARRO ELOLA, Luis; PASTOR TEJEDOR, Ana Clara y MUGABURU LACABRERA, Jaime MIGUEL. Gestion integral de mantenimiento. Barcelona: Marcombo, 2009. p. 5.

Al llegar al siglo XXI, se puede definir mantenimiento como el conjunto de actividades dentro de la organización que tiene como objetivo principal el mantener los equipos, herramientas e instalaciones en las condiciones que puedan ejecutar las funciones para lo cual fueron diseñadas, con alto nivel de disponibilidad, obteniendo productos o prestando servicios con altos estándares de calidad al mínimo costo, con alto nivel de seguridad a las personas y reduciendo la degradación del medio ambiente.

4.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

4.2.1. Mantenimiento correctivo. Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de estos¹⁵.

Existen dos formas diferenciadas de mantenimiento correctivo:

- Correctivo programado o planificado: implica que los recursos físicos y humanos necesarios para realizar una labor han sido planeados previamente, lo que asegura una disponibilidad de estos de acuerdo a un programa establecido¹⁶.
- Correctivo no programado: se realiza la reparación de la falla después de presentarse sin una planeación y programación previa.

¹⁵ GARCIA GARRIDO, Santiago. Organización y gestion integral de mantenimiento. Madrid: Diaz de Santos, 2003. p. 17.

¹⁶ BORRAS PINILLAS, Carlos. Matenimiento preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. p. 3.

4.2.2. Mantenimiento preventivo. Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno¹⁷.

El mantenimiento preventivo es considerado una actividad planeada de lubricación, reemplazo, renovación, inspecciones periódicas, ajustes, revisión y calibración basándose en las recomendaciones del fabricante, tiempo cronológico, tiempo de uso o condición de los equipos en busca de asegurar la disponibilidad y confiabilidad de estos.

Las razones por la que se prefiere el mantenimiento preventivo frente a otros tipos de mantenimiento son¹⁸:

- Reducción de las fallas prematuras por medio de limpiezas periódicas, ajustes y lubricación adecuada.
- En caso de que la falla no pueda mitigarse, las revisiones periódicas y las mediciones que se realcen pueden ayudar a reducir el impacto de la falla en el equipo o en la instalación en general.
- Se puede controlar la degradación gradual de una función o un parámetro.
- Se puede mejorar el indicador de costos ya que el mantenimiento correctivo es más costoso.

¹⁷ Garcia. Op. cit., p. 17.

¹⁸ Borrás. Op. cit., p. 5.

4.3 INDICADORES DE MANTENIMIENTO¹⁹

Los indicadores es el análisis de una serie de datos que permite tener una visión sobre la gestión del mantenimiento en un determinado periodo y esto a su vez permite una toma de decisiones. A continuación, se encuentran los indicadores más relevantes para todo departamento de mantenimiento.

4.3.1. Indicadores de disponibilidad. Este es el principal indicador de mantenimiento, al igual es el que más posibilidades tiene para la muestra de resultados. En los cuales encontramos:

- Disponibilidad: Es el cociente de dividir el número de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el número de horas de un periodo.

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{\textit{Horas totales} - \textit{Horas parada por mantenimiento}}{\textit{Horas totales}}$$

- Fiabilidad: Es similar al indicador anterior, pero para su cálculo solo te tienen en cuenta las paradas por fallas.

$$\textit{Fiabilidad} = \frac{\textit{Horas totales} - \textit{Horas parada por falla}}{\textit{Horas totales}}$$

- Tiempo medio entre fallas: Por su sigla en inglés MTBF. Permite conocer la frecuencia con la que suceden las fallas.

¹⁹ GARCIA GARRIDO, Santiago. ¿Que son los indicadores de mantenimiento? En: Instituto Renovetec de ingeniería del mantenimiento [base de datos en línea]. 2019, n. 16. pp 6-18 (Recuperado en 10 septiembre 2020). Disponible en: <http://www.renovetec.com/irim/revista/indicadores/mobile/index.html#p=17>

$$MTBF = \frac{\text{Numero de horas totales}}{\text{Numero de fallas}}$$

- Tiempo medio de reparación: Por su sigla en inglés MTTR. Es tiempo promedio de reparación de las fallas ocurridas.

$$MTTR = \frac{\text{Numero de horas de paro por fallas}}{\text{Numero de fallas}}$$

4.3.2. Indicadores de costos: Junto con los indicadores de disponibilidad, realizan un gran aporte para determinar la gestión de mantenimiento. En ellos se encuentran principalmente:

- Costo de mano de obra por secciones: Como lo indica su nombre, es el costo de las horas/hombre invertidas en mantenimiento de cada una las zonas, secciones o líneas de la empresa.
- Costo de materiales: Se pueden realizar diferentes divisiones según lo que se quiera analizar, puede ser por equipos, por líneas de trabajo, por tipo de repuestos, etc.

4.3.3. Indicadores de gestión de ordenes de trabajo: Este tiene que ver con la cantidad de ordenes que se generan en determinado periodo. En estos se encuentran:

- Numero de ordenes de trabajo acabadas: Relación entre ordenes acabadas y ordenes generadas.
- Numero de ordenes de trabajo pendiente: Este indicador muestra una idea de la eficacia de realizar las actividades de mantenimiento. Se debe

distinguir entre las O.T. que están pendientes por causas ajenas a mantenimiento y las que están acumuladas por la mala organización.

- Numero de ordenes de trabajo de emergencia: Este indicador determina que tan confiable es equipo. Ninguna o pocas ordenes de trabajo de emergencias determina una alta confiabilidad, por el contrario, muchas ordenes de trabajo de emergencias determina una baja confiabilidad.

4.4 FALLAS

Se define falla como la incapacidad de cualquier activo de realizar la función que el usuario definió que debería hacer. Cada activo tiene más de una función, lo que conlleva a que cada activo puede ser afectado por diversas fallas, donde se debe determinar si la falla afecta una o más funciones²⁰.

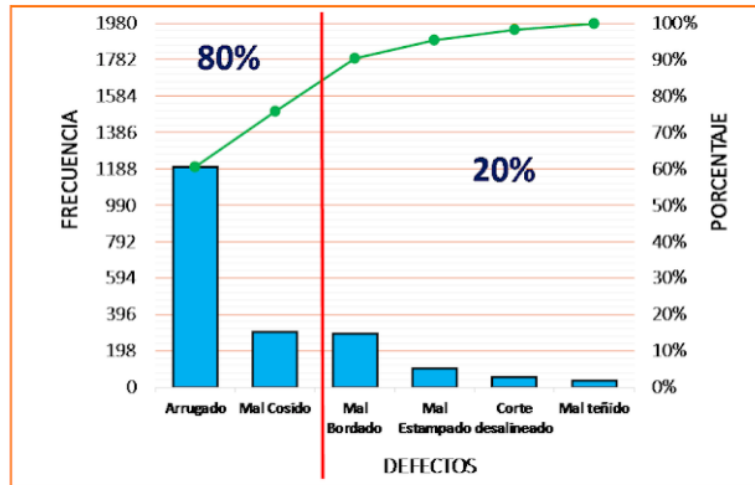
4.5 METODOS DE ANALISIS DE FALLA

4.4.1. Análisis de Pareto. Es una herramienta usada en mantenimiento para identificar, jerarquizar y comparar datos mediante una representación gráfica o tabular. Este permite identificar en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o que tienen una ponderación o incidencia mayor. Aplicando esta herramienta se pueden detectar los problemas que tienen mas relevancia mediante la regla de “pocos vitales, muchos triviales”, también conocida como la regla 80/20, la cual dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves. Al determinar estos problemas vitales, se les puede dar prioridad mediante la asignación de recursos con el fin de obtener resultado en corto tiempo²¹.

²⁰ Borrás. Op. cit., p. 8.

²¹ Borrás. Op. cit., p. 24.

Figura 10. Diagrama de Pareto.

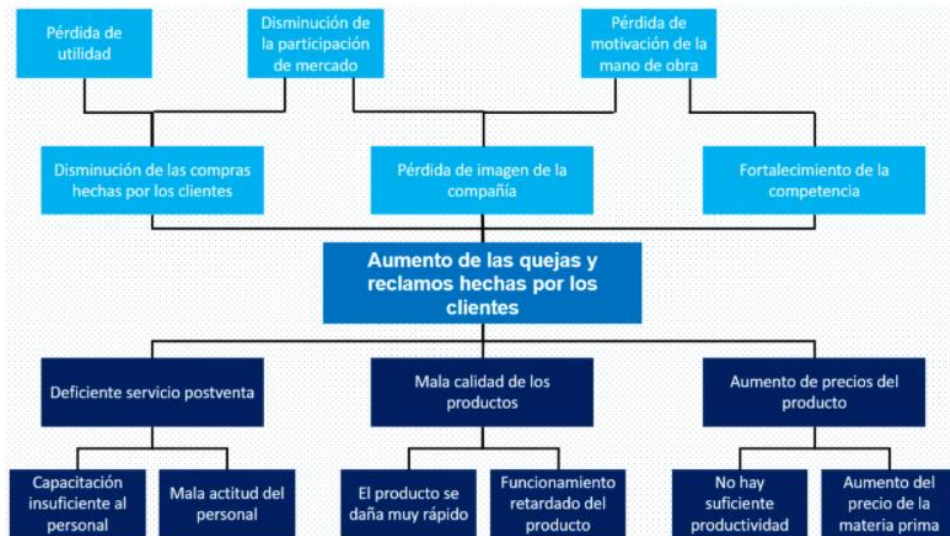


Fuente: CENTRAL. El diagrama de Pareto. [En línea] (Recuperado en 12 septiembre 2020). Disponible en: <http://ingenieriaindustrialeasy.blogspot.com/2018/01/el-diagrama-de-pareto.html>.

4.4.2. Árbol de problemas. Es una técnica que se emplea para identificar un problema central, el cual se intenta solucionar analizando relaciones de tipo causa-efecto. Para ello, se debe formular el problema central de modo tal que permita diferentes alternativas de solución, en lugar de una solución única. Luego de haber sido definido el problema central, se exponen tanto las causas que lo generan como los efectos negativos producidos, y se interrelacionan los tres componentes de una manera gráfica. La técnica adecuada para relacionar las causas y los efectos, una vez definido el problema central, es la lluvia de ideas. Esta técnica consiste en hacer un listado de todas las posibles causas y efectos del problema que surjan, luego de haber realizado un diagnóstico sobre la situación que se quiere resolver²².

²² UNESCO. Árbol de problemas. [En línea]. (Recuperado en 12 de septiembre de 2020). Disponible en: <http://www.unesco.org/new/es/culture/themes/%20cultural-diversity/diversity-of-cultural%20expressions/tools/policy-guide/planificar/diagnosticar/arbore-de-problemas/>

Figura 11. Árbol de problemas.



Fuente: BETANCOURT, Diego. *Cómo hacer un árbol de problemas: Ejemplo práctico*. [En línea]. [Recuperado 12 de septiembre de 2020]. Disponible en: www.ingenioempresa.com/arbore-de-problemas.

4.4.3. **Árbol de objetivos.** Esta es una técnica complementaria a la anterior, que puede realizarse en forma individual o grupal. El árbol de objetivos reúne los medios y alternativas para solucionar el problema principal. Gracias a ello, se logra una visión positiva de las situaciones negativas que aparecían en el árbol de problemas. Así, se busca ir resolviendo el problema paso a paso. En el siguiente gráfico se puede observar y comparar los dos tipos de árboles. El de problemas, va desde las raíces donde se encuentran las causas hacia los efectos. El de objetivos, desde el fin (objetivo del desarrollo) hacia las acciones²³.

²³ TECNICATURA EN GESTION UNIVERSITARIA. *Árbol de objetivos*. [En línea] [Recuperado 12 de septiembre de 2020]. Disponible en: <http://patgu.eco.catedras.unc.edu.ar/unidad-3/herramientas/arbore-de-objetivos-y-tormenta-de-ideas/>

Figura 12. Árbol de objetivos.



Fuente: BETANCOURT, Diego. *Cómo hacer un árbol de objetivos: Ejemplo práctico*. [En línea]. [Citado 12 de septiembre de 2020]. Disponible en: www.ingenioempresa.com/arbol-de-objetivos.

5. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

CPVEN Sucursal Colombia es una empresa multinacional prestadora de servicios a pozos de petróleo y gas. En la actualidad tiene contratos con Gran Tierra y Oxy, desarrollando su actividad económica a lo largo del territorio nacional, principalmente en Arauca – Arauca, Puerto Boyacá – Boyacá, San Martín – Cesar y Villa Garzón – Putumayo, entre otros servicios prestados por llamado de diferentes clientes. La empresa cuenta con equipos propios conformados por unidades de cementación, batch mixer, tolvas de cemento, cisternas de fluidos y diferentes tipos de vehículos para el transporte de personal y equipos.

Su equipo principal es la unidad de cementación ya que este es el corazón de la operación, por lo cual se requiere tener una máxima disponibilidad. Al presentarse algún inconveniente con este equipo ya sea durante su alistamiento o durante la ejecución de una operación se pueden llegar a presentar problemas contra la seguridad del personal, problemas ambientales por posibles fugas y derrames, y problemas con el cliente relacionados con calidad y tiempo perdido, que al final todo tendría un impacto económico.

Actualmente la empresa no cuenta con un procedimiento y plan de mantenimiento definido claramente, este se basa en realizar una inspección trimestral sin importar las horas de trabajo y la corrección de fallas que se presentan con gran frecuencia de manera imprevista, como fugas, falta de lubricación, falla de componentes eléctricos y electrónicos, daño de componentes, etc., lo que afecta la disponibilidad de las unidades. No se tiene definido el reemplazo de fluidos y filtración al igual que ningún otro repuesto.

Al no tener una persona responsable del departamento ni tener procedimientos claros, no se deja un registro documental veraz de los trabajos realizados, no se

tiene una hoja de vida de las unidades, ni una base de datos de estas reparaciones, por lo cual no es posible realizar análisis de fallas confiable ni manejar indicadores que permitan analizar la gestión del proceso.

6. JUSTIFICACION

CPVEN Sucursal Colombia busca ser reconocidos como una de las principales empresas en el sector de servicios a pozos de petróleo y gas mediante una excelente reputación garantizando la ejecución de las operaciones.

Los equipos presentan diversas fallas en sus sistemas de potencia (Motores, transmisiones, bombas triplex), eléctrico y electrónico, neumático e hidráulico y en los propios sistemas de los tráileres como son suspensión, rodamientos y frenos las cuales ponen en riesgo la visión de la empresa.

Dada las fallas que se presentan, es de vital importancia que se plantee un modelo eficiente de mantenimiento preventivo apoyándose en las recomendaciones técnicas del equipo y la experiencia del recurso humano de la empresa, con el fin de asegurar el óptimo funcionamiento y disponibilidad de los equipos, buscando evitar todo tipo de falla que se puedan llegar a presentar. Adicional, este plan reduciría el impacto económico que se genera al ejecutar los mantenimientos correctivos solucionando las fallas que se generan de improviso.

Aunque para prestar el servicio de cementación se requieren varios tipos de equipos, se plantea un modelo de mantenimiento tomando como piloto la unidad de cementación Jereh GJT70-34II, ya que es el equipo fundamental para el desarrollo de las operaciones de la empresa, buscando que posteriormente sea replicado a la totalidad de equipos de la empresa.

7. UNIDAD DE CEMENTACION JEREH GJT70-34II

La unidad de cementación Jereh GJT70-34II es considerado como un equipo estacionario, sin embargo, este está ensamblado sobre un semirremolque que permite la movilización a los diferentes pozos donde se prestan los servicios mediante una unidad tractora. En la Tabla 1 se encuentra el significado de la referencia de la unidad donde se especifica el tipo de chasis, la máxima presión de bombeo y tasa máxima de bombeo.

Tabla 1. Significado referencia GJT70-34II

CODIGO	SIGNIFICADO
GJT	Semirremolque de cementación
70	Presión máxima de bombeo 70MPa (10.000 psi)
34	Desplazamiento máximo de la bomba 3,4 m ³ /min (21 bpm)
II	Sistema de mezcla secundaria

Fuente: JEREH Manual de operación y mantenimiento. p. 3-4.

La unidad es conformada principalmente del sistema de potencia, sistema hidráulico, sistema neumático y sistema eléctrico. Este equipo sirve principalmente para la mezcla y el bombeo de alta presión de las lechas de cemento y de diferentes fluidos usados en la cementación de pozos. Los principales componentes de la unidad los podemos identificar en la figura 10 donde se observa la ubicación de estos sobre el semirremolque.

Figura 13. Identificación componentes de la unidad de cementación Jereh GJT70-34II



No.	NOMBRE	No.	NOMBRE
1	Tanque para lubricante de los pistones de las bombas triplex	12	Bomba triplex OFM 600 de pistones de 4 1/2"
2	Tanque de combustible	13	Cabezal de cementacion
3	Tanque de aceite hidraulico	14	Tanque de mezcla
4	Chasis	15	Bomba centrifuga de recirculacion
5	Caja de baterias	16	Tanque aire comprimido
6	Radiadores de refrigerante e intercambiador de calor de aceite hidraulico y ACPM	17	Caja de herramientas
7	Motores CAT C15 540 HP	18	Bomba centrifuga de agua
8	Tanques de desplazamiento	19	Bomba triplex OFM 600 de pistones de 3 1/2"
9	Transmisiones ALLISON 4700 OFS	20	Linea de alta presion
10	Tanque lubricante para bomba triplex	21	Linea de baja presion
11	Panel de control	22	Bomba centifuga de carga

Fuente: JEREH Manual de operación y mantenimiento. Pag. 3-2 a 3-4.

7.1 MOTOR

Está equipada con dos motores caterpillar C15 de 6 cilindros que le dan una potencia nominal de 540hp. Tiene como principal función la generación de potencia para el funcionamiento de la unidad en general.

Figura 14. Motor Caterpillar C15.



Fuente: JEREH Manual de operación y mantenimiento. Pag. 5-2.

7.1.1. Sistema de combustible. Responsable de la inyección de combustible dentro de las cámaras de combustión para su funcionamiento. Conformado principalmente por intercambiador de calor de combustible, el filtro principal y el filtro separador, la bomba de combustible, toberas, inyectores, entre otros.

7.1.2. Sistema de lubricación. Como su nombre lo dice, es el encargado de la lubricación general del motor y de la refrigeración de este mediante el intercambiador de calor que posee. También está conformado por la bomba de aceite, el filtro de aceite, la válvula para la toma de muestra de aceite, etc.

7.1.3. Sistema de admisión. El aire aspirado pasa a través del filtro de aire el cual llega al turbocompresor donde es presurizado y posteriormente enfriado en el intercambiador de calor. Por último, llega al interior del motor donde se mezcla con el combustible atomizado por los inyectores para generar la combustión por compresión.

7.1.4. Sistema de enfriamiento. La bomba de agua hace circular el refrigerante del motor por el filtro para eliminar impurezas y por el radiador para extraer el calor generado al interior este.

7.1.5. Sistema electrónico. Este sistema está conformado por el motor de arranque, alternador y baterías junto con otros componentes menores.

7.1.6. Sistema de escape. Se aprovecha el gas residual de la combustión para la presurización del aire de admisión.

7.2 TRANSMISION

Conformada con dos transmisiones Allison 4700 OFS de 5 velocidades de cambio electrónico. Es la encargada de transmitir la potencia suficiente para el funcionamiento de la bomba triplex.

Figura 15. Transmisión Allison 4700 OFS



Fuente: Allison 5th Gen Vocational Model Guide 2017. p. 53. [En línea] (Recuperado en 15 septiembre 2020). Disponible en: https://www.allisontransmission.com/docs/default-source/marketing-materials/sa7943en_-2017-vocational-model-guide_-vmg-lr9af07359281567eeb272ff0000a566aa.pdf?sfvrsn=13

7.3 BOMBA TRIPLEX

La unidad cuenta con dos bombas triplex OFM 600 con pistones de 4 ½” y 3 ½”. Esta se puede dividir en fluid end, power end y su sistema de lubricación. Esta es la encargada de realizar los bombeos a alta presión de las lechadas de cemento y de los diferentes fluidos que son inyectados al pozo.

Figura 16. Bomba triplex OFM600.



Fuente: JEREH Manual de operación y mantenimiento. Pag. 7-2.

7.4 SISTEMA HIDRAULICO

El sistema obtiene su fuerza motriz desde el motor. Las bombas centrifugas están acopladas a PTO instalados en la transmisión, lo que hace funcionar a los motores hidráulicos encargados de hacer trabajar las diferentes bombas centrifugas y agitadores del tanque de mezcla. Estos son operados desde el panel de control mediante válvula de regulación de flujo.

7.5 SISTEMA ELECTRICO

Suministra energía para el sistema de arranque de los motores y todo el sistema eléctrico de los mismos, para el sistema de mezcla, para el panel de control garantizando la visualización de todos los indicadores que muestran los parámetros de trabajo de los diferentes componentes de la unidad y para las exploradoras operativas que iluminan la unidad durante las operaciones nocturnas.

7.6 SISTEMA NEUMATICO

Se obtiene el aire comprimido mediante el funcionamiento del compresor acoplado al motor del lado izquierdo. El aire comprimido es usado para el funcionamiento de las válvulas operativas, para la lubricación de los pistones y para el funcionamiento de la corneta.

7.6.1. Compresor de aire. Es la parte más importante ya que suministra la fuente de aire para todo el sistema. Se encuentra instalado en el motor derecho de la unidad.

7.6.2. Válvula de descarga. Sirve para regular la presión de aire y proteger el compresor. Cuando la presión del aire del sistema supera la presión al que se regula la válvula, esta se abre para liberar el exceso de presión de trabajo.

7.6.3. Tanque de aire. Sirve para almacenar el aire comprimido suministrado por el compresor y alimentar todos los componentes neumáticos.

7.6.4. Secador de aire. Mediante un filtro secador elimina la humedad del aire para evitar la corrosión de los diferentes componentes del sistema.

7.6.5. Regulador de presión. Este filtra el aire y regula la presión de trabajo del sistema neumático.

7.6.6. Actuadores. Son controlados mediante las válvulas de control instaladas en el panel de instrumentos. Estos son los encargados de la apertura y cierre de las válvulas operativas que dan paso a los diferentes fluidos para comunicarlos entre los componentes de la unidad para ser bombeados al pozo.

7.7 SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

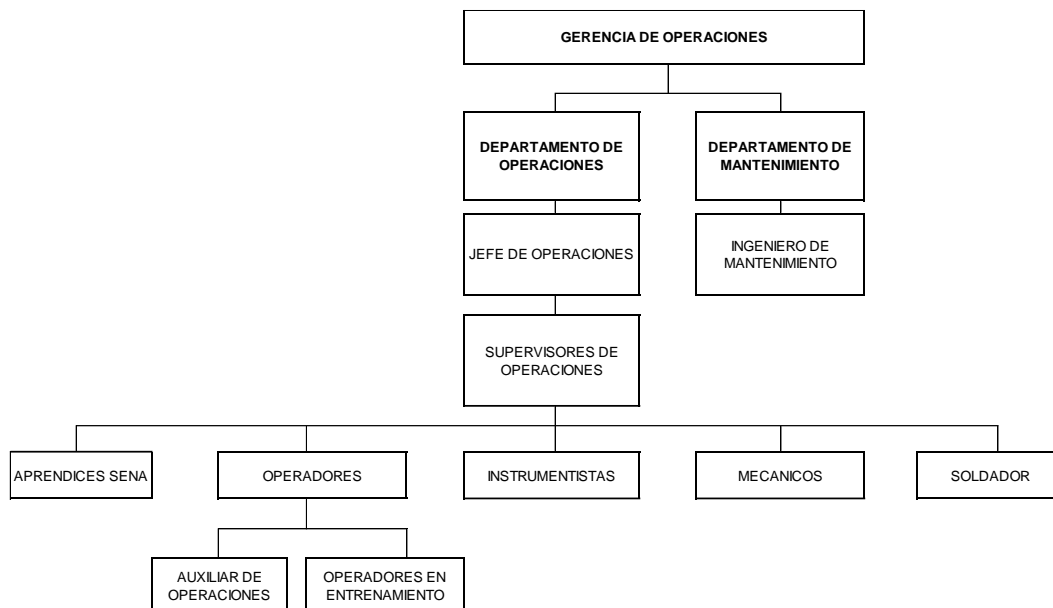
Panel de control con instrumentos para verificar parámetros de funcionamiento de los componentes del equipo y sistema de monitoreo de las variables que deben ser controladas durante la operación como densidad, presión y caudal.

8. MANTENIMIENTO EN CPVEN SUCURSAL COLOMBIA

8.1 ORGANIGRAMA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Aunque la empresa en su organigrama tiene definido un departamento de mantenimiento, este está conformado únicamente por un ingeniero de mantenimiento sin personal a cargo. Se cuenta con dos mecánicos, un instrumentista y un soldador, pero todos estos responden al jefe de operaciones como se observa en la figura 17.

Figura 17. Organigrama gerencia de operaciones CPVEN



Fuente: CPVEN Sucursal Colombia.

8.2 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO

Se tiene establecido un procedimiento donde se encuentran las condiciones generales y el paso a paso para realizar el mantenimiento correctivo y preventivo, sin embargo este no va acorde con lo realizado en la empresa.

8.2.1. Mantenimiento correctivo. Se realiza cada vez que se presenta una falla y es solicitado por el personal de operaciones. Se realiza siguiendo los pasos que se observan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Paso a paso mantenimiento correctivo.

ACTIVIDADES	REGISTROS	RESPONSABLES	OBSERVACIONES
Al encontrar una falla, genera una orden de trabajo y es enviada al supervisor de mantenimiento	F-OP-001	Personal de la empresa	
El supervisor de operaciones planifica junto con el supervisor de mantenimiento para realizar el diagnostico preliminar de la unidad con la falla reportada		Supervisor de operaciones – Supervisor de mantenimiento	
El mecánico realiza el diagnostico preliminar e informa al supervisor de operaciones las fallas encontradas, los insumos, repuestos y personal requerido	F-OP-001	Mecánico	
El supervisor de mantenimiento da la autorización para realizar las reparaciones solicitadas		Supervisor de mantenimiento	
El supervisor de mantenimiento solicita los repuestos e insumos requeridos al área de compras mediante una requisición de compras	F-C-004	Supervisor de mantenimiento	
El mecánico desenergiza la unidad que va a reparar		Mecánico	
Se procede a realizar las reparaciones necesarias para el arreglo de la unidad teniendo en cuenta las "Condiciones Generales". Los elementos que se encuentren en mal estado durante la reparación deben ser informados al supervisor de mantenimiento para su respectiva aprobación.		Mecánico y auxiliares de mantenimiento	
Al finalizar la reparación, el área de trabajo debe ser aseada y ordenada, y la basura generada debe ser dispuestas en la caneca correspondiente		Mecánico y auxiliares de mantenimiento	
El mecánico entrega la unidad al supervisor de operaciones, o al operador encargado de la unidad, para que apruebe la reparación y cierre la orden de trabajo	F-OP-001	Mecánico - Supervisor de mantenimiento	
Luego de ser aprobado y recibido el trabajo, el supervisor de mantenimiento archiva la orden de trabajo en la carpeta correspondiente de la unidad	F-OP-001	Mecánico	

Fuente: CPVEN Sucursal Colombia

8.2.2. Mantenimiento preventivo. Se realiza según el cronograma que se tiene establecido como se observa en la figura 18. Este consiste en realizar inspecciones cada tres meses según un formato que se tiene definido sin tener en cuenta el volumen de trabajo al que es sometido cada equipo. Se tiene un paso a paso definido para realizar este mantenimiento como se detalla en el cuadro 3. Aunque se realizan cambios de aceite de motor y filtración, no se tiene definido una periodicidad en la que este se debe realizar al igual que pasa con el resto de los fluidos.

Figura 18. Cronograma unidades de cementación

CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO AÑO 2020																								
	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
UNIDADES	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R
	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E
	N	L	N	L	N	L	N	L	N	L	N	L	N	L	N	L	N	L	N	L	N	L	N	L
	E	I	E	I	E	I	E	I	E	I	E	I	E	I	E	I	E	I	E	I	E	I	E	I
	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
CMT-22	1	1					1							1						1				
CMT-23	1	1					1							1						1				
CMT-24	1	1					1							1						1				

Fuente: CPVEN Sucursal Colombia

Cuadro 3. Paso a paso mantenimiento preventivo.

ACTIVIDADES	REGISTROS	RESPONSABLES	OBSERVACIONES
El supervisor de mantenimiento, mecánico junto con el personal de operaciones realiza los chequeos programados de las unidades según el cronograma de mantenimiento	F-MTTO-011		
Al encontrar una falla, el mecánico genera una orden de trabajo	F-OP-001	Mecánico	
El mecánico realiza el diagnóstico preliminar e informa al supervisor de operaciones las fallas encontradas, los insumos, repuestos y personal requerido	F-OP-001	Mecánico	
El supervisor de mantenimiento da la autorización para realizar las reparaciones solicitadas		Supervisor de mantenimiento	
El supervisor de mantenimiento solicita los repuestos e insumos requeridos al área de compras mediante una requisición de compras	F-C-004	Supervisor de mantenimiento	
El mecánico desenergiza la unidad que va a reparar		Mecánico	
Se procede a realizar las reparaciones necesarias para el arreglo de la unidad teniendo en cuenta las "Condiciones Generales". Los elementos que se encuentren en mal estado durante la reparación deben ser informados al supervisor de mantenimiento para su respectiva aprobación.		Mecánico y auxiliares de mantenimiento	
Al finalizar la reparación, el área de trabajo debe ser aseada y ordenada, y la basura generada debe ser dispuestas en la caneca correspondiente		Mecánico y auxiliares de mantenimiento	
El mecánico entrega la unidad al supervisor de operaciones, o al operador encargado de la unidad, para que apruebe la reparación y cierre la orden de trabajo	F-OP-001	Mecánico - Supervisor de mantenimiento	
Luego de ser aprobado y recibido el trabajo, el supervisor de mantenimiento	F-OP-001	Mecánico	

Fuente: CPVEN Sucursal Colombia.

8.3 HISTORIAL DE FALLAS

Al no contar con un líder definido del departamento y responsable de todo el proceso, no se realiza un seguimiento adecuado a los mantenimientos realizados. Aunque todos los registros que se generan son archivados en la carpeta correspondiente de cada unidad, no se lleva un registro digital que permita realizar lo antes mencionado.

Para realizar este análisis de falla, se toman los registros del año 2019, obteniendo como resultado los datos observados en el cuadro 4.

Cuadro 4. Listado fallas unidad JEREH.

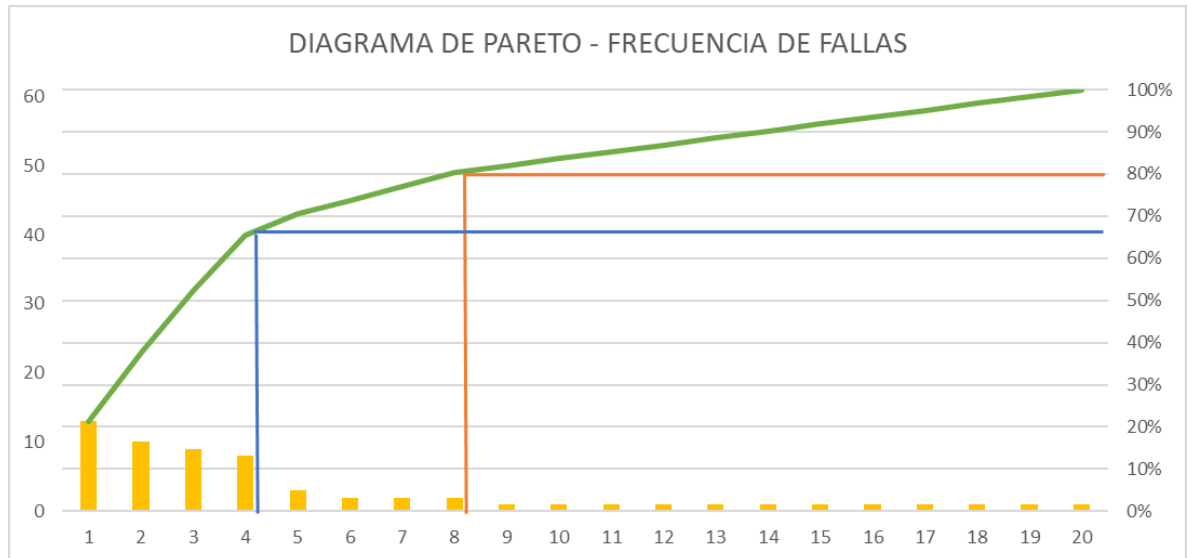
ITEM	FALLAS	TOTAL
1	FUGA DE FLUIDO	13
2	DAÑO EN INDICADORES	10
3	FALLA EQUIPOS DE MONITOREO	9
4	MOTOR NO ENCIENDE	8
5	LUZ DE VIAJE / OPERATIVA NO ALUMBRA	3
6	CARCASA HMI PARTIDA	2
7	INEXISTENCIA / DAÑO TAPA LLUVIAS	2
8	SATURACION FILTROS DE AIRE	2
9	ACELERADOR DE MOTOR NO FUNCIONA	1
10	AUSENCIA DE TAPA DE BOCIN	1
11	BASE DE BALLESTAS FISURADAS	1
12	CAUCHO DE MANOS DESGATADOS	1
13	CENTRIFUGA NO FUNCIONA	1
14	CONECTOR VALVULA DE CEMENTO PARTIDA	1
15	COMPUTADOR SAD NO CONECTA A INTERNET	1
16	FRENOS PEGADOS	1
17	GRAPAS DE BALLESTAS DESAJUSTADAS	1
18	HOJA DE RESORTE PARTIDA	1
19	PRESENCIA DE CORROSION EN TANQUE DE AIRE	1
20	VALVULA SECADORE DE AIRE PEGADA	1
TOTAL		61

Fuente: Elaboración propia.

8.4 ANALISIS DE DATOS

Tomando como base la información de las fallas mostrada en el cuadro, se realiza un diagrama de Pareto para establecer cuáles son las fallas más críticas según su frecuencia. Al tener estas identificadas se realiza un árbol de problemas y objetivos para posteriormente plantear soluciones que prevengan estas fallas.

Figura 19. Diagrama de Pareto frecuencia de fallas

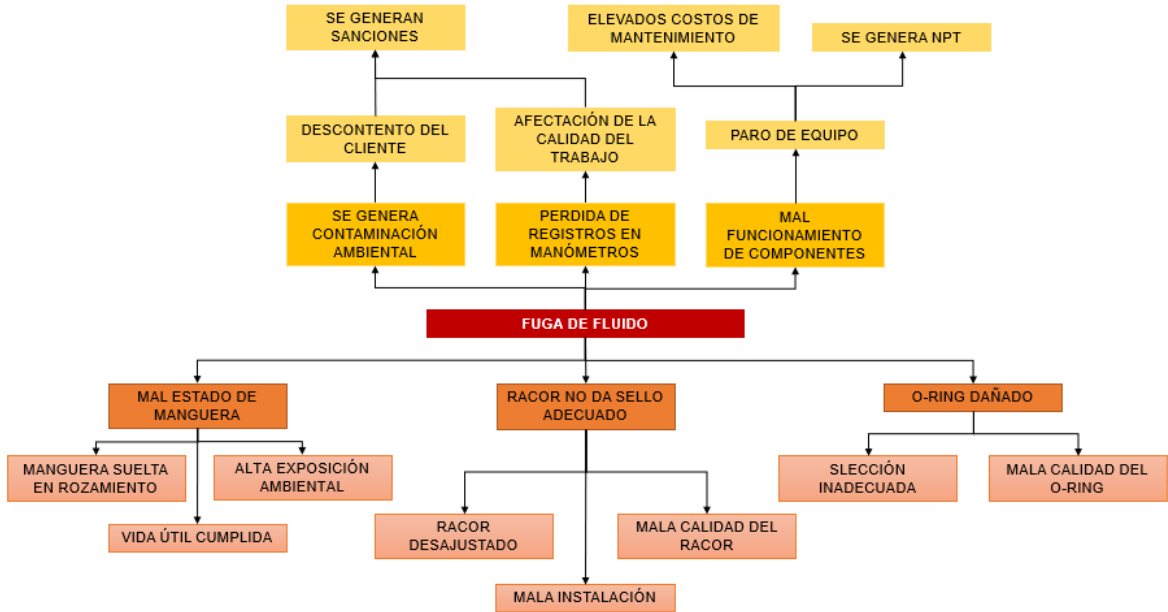


Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama de Pareto de la figura 19, se observa que son 8 los tipos de falla que representa el 80% de las fallas vitales que se presentan en la unidad. Sin embargo, ya que solo 4 tipos de falla representan el 66%, son estas las que se tendrán en cuenta para realizar en análisis. Estas fallas son fuga de fluido, daño en indicadores, falla equipos de monitoreo y motor no enciende.

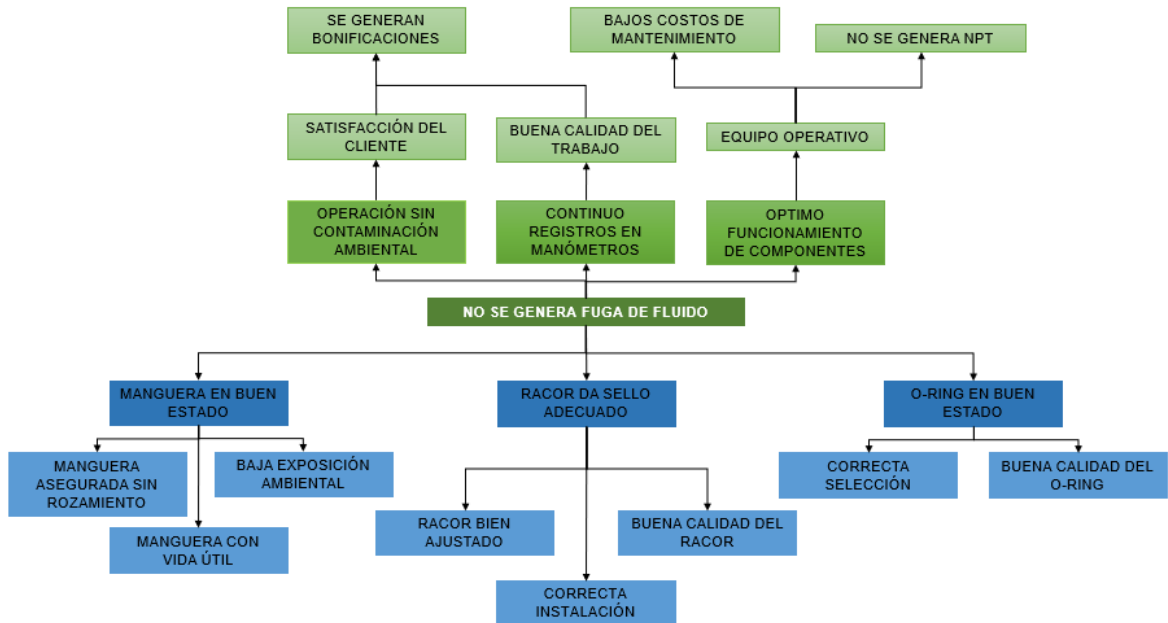
Fuga de fluido: Al realizar el análisis de las posibles causas mediante el árbol de problema que se observa en la figura 20, se encuentran como causas principales las mangueras sueltas rozando y los racores desajustados. Según árbol de objetivos de la figura 21, se plantea como solución realizar inspecciones periódicas para verificar visualmente el estado de las mangueras del equipo y realizar un ajuste a todos los racores de ellas.

Figura 20. Árbol de problemas: Fuga de fluido



Fuente: Elaboración propia.

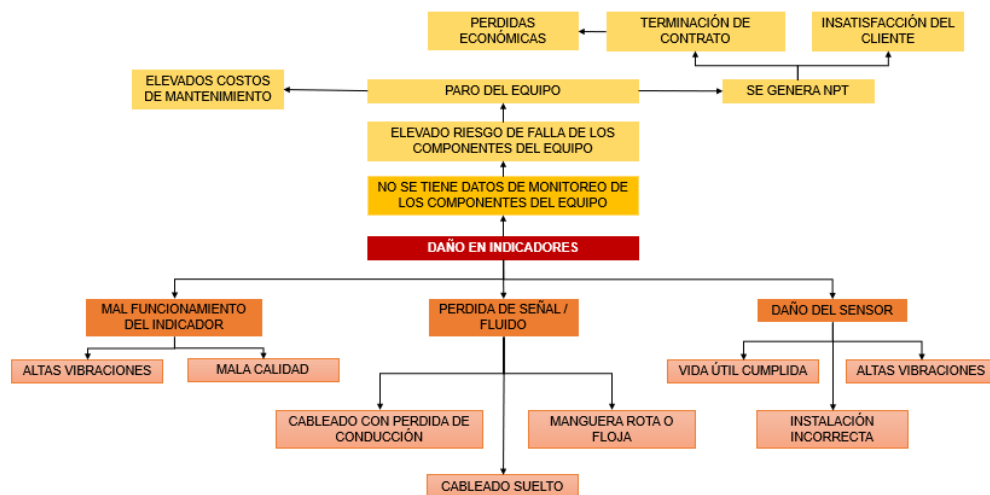
Figura 21. Árbol de objetivos: Fuga de fluido



Fuente: Elaboración propia.

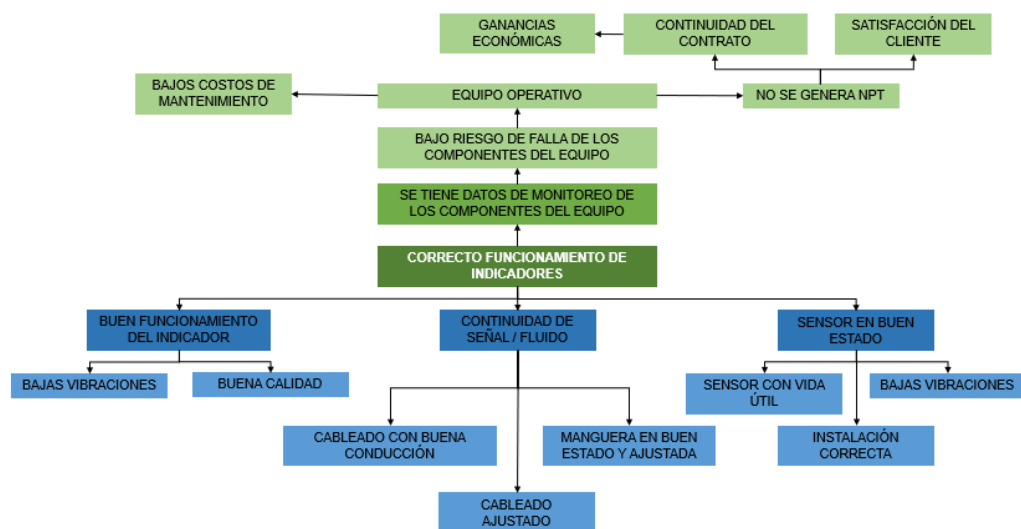
Daño en indicadores: En el árbol de problemas observado en la figura 22, encontramos como causa principal la pérdida de señal / fluido que se genera debido a la rotura, desajuste o desgaste de mangueras y cables. Para evitar estas fallas se propone realizar inspecciones periódicas donde se realice la revisión del cableado y mangueras, y se realice un ajuste a terminales y racores de estos.

Figura 22. Árbol de problemas: Daño en indicadores.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Árbol de objetivos: Daño en indicadores.



Fuente: Elaboración propia.

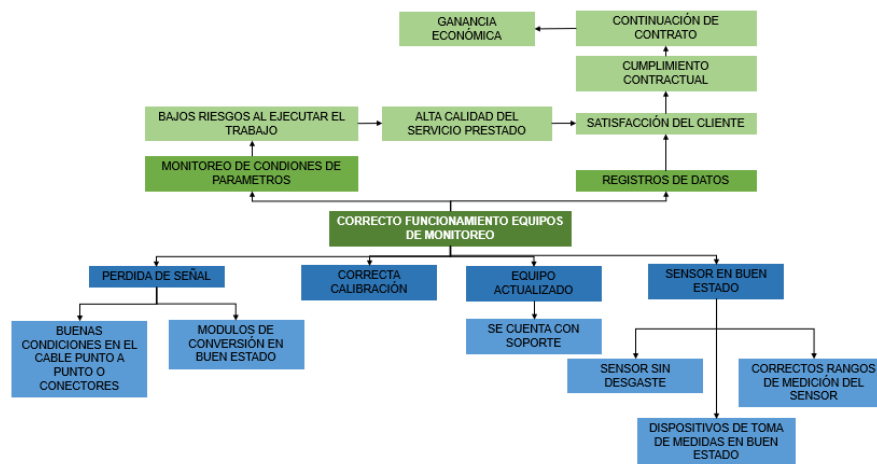
Falla equipos de monitoreo: Según el árbol de problemas observado en la figura 24, se determina como causa principal las malas condiciones en el cableado y en conectores, y los errores cometidos al calibrar los mismos. Se propone capacitar al personal de operaciones en la calibración de estos dispositivos, al igual que se deben realizar inspecciones periódicas para verificar el correcto de estado del cableado.

Figura 24. Árbol de problemas: Falla equipos de monitoreo.



Fuente: Elaboracion propia

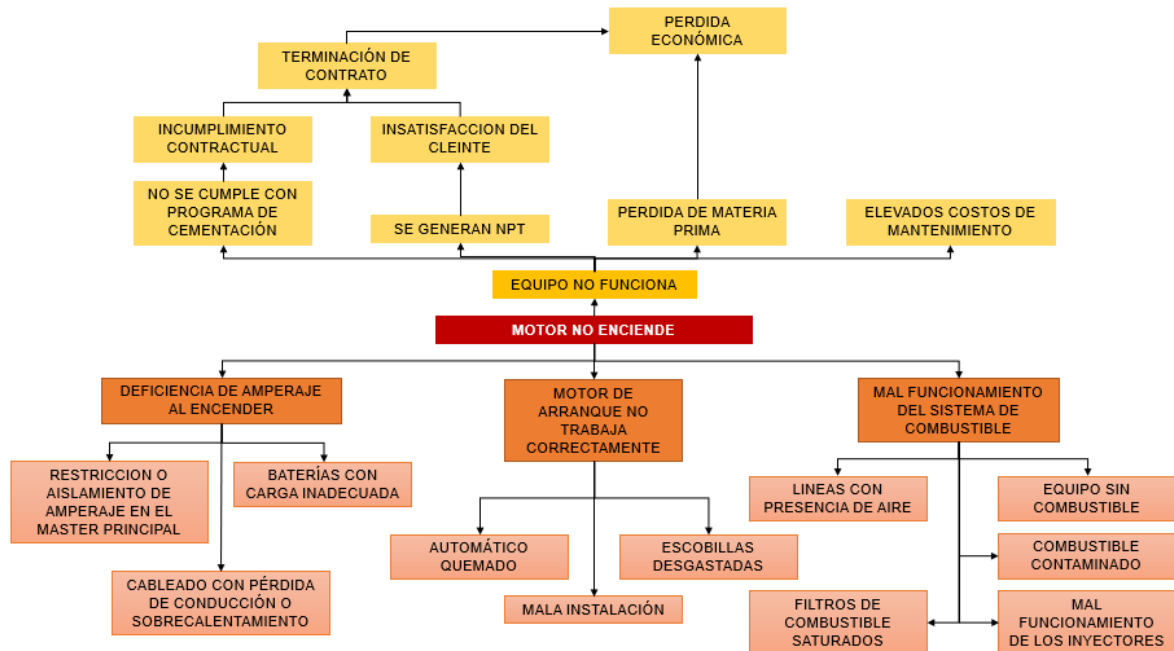
Figura 25. Árbol de objetivos: Falla equipos de monitoreo.



Fuente: Elaboracion propia.

Motor no enciende: Se selecciona como causa principal del árbol de problemas de la figura 26 la deficiencia de amperaje al encender y el automático del motor de arranque quemado.

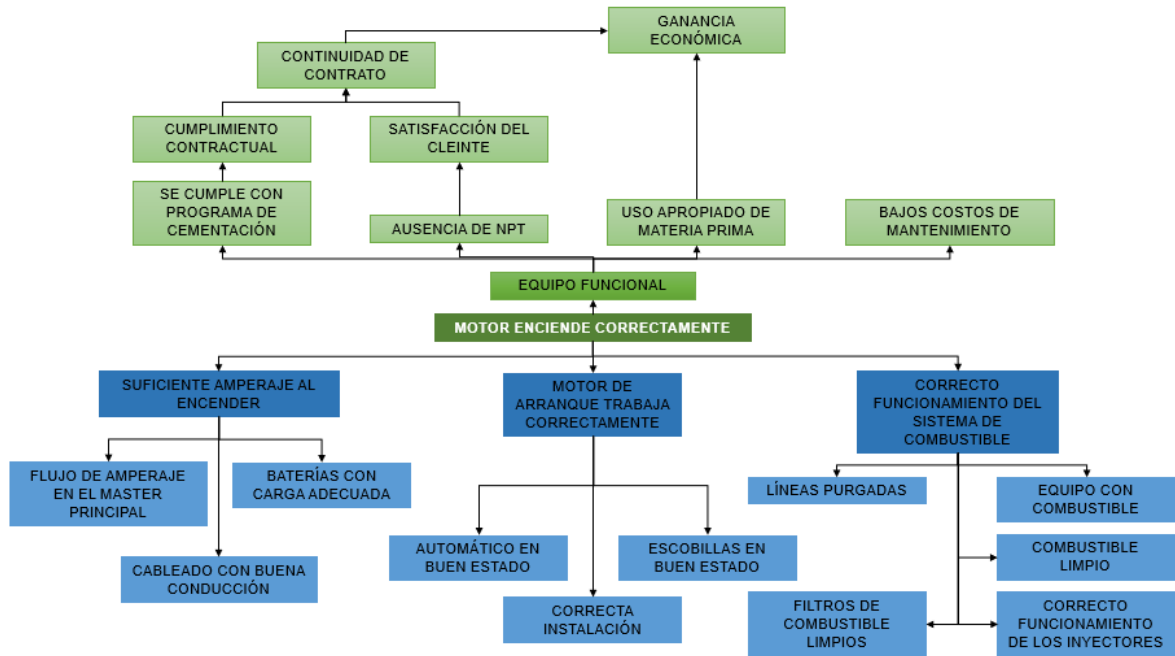
Figura 26. Árbol de problemas: Motor no enciende.



Fuente: Elaboración propia.

Para esta falla se propone ejecutar inspecciones periódicas donde se realice verificación del estado de las baterías y mantenimiento, revisión del cableado y limpieza de este, verificación del estado del máster y automático del motor de arranque.

Figura 27. Árbol de objetivos: Motor no enciende.



Fuente: Elaboración propia

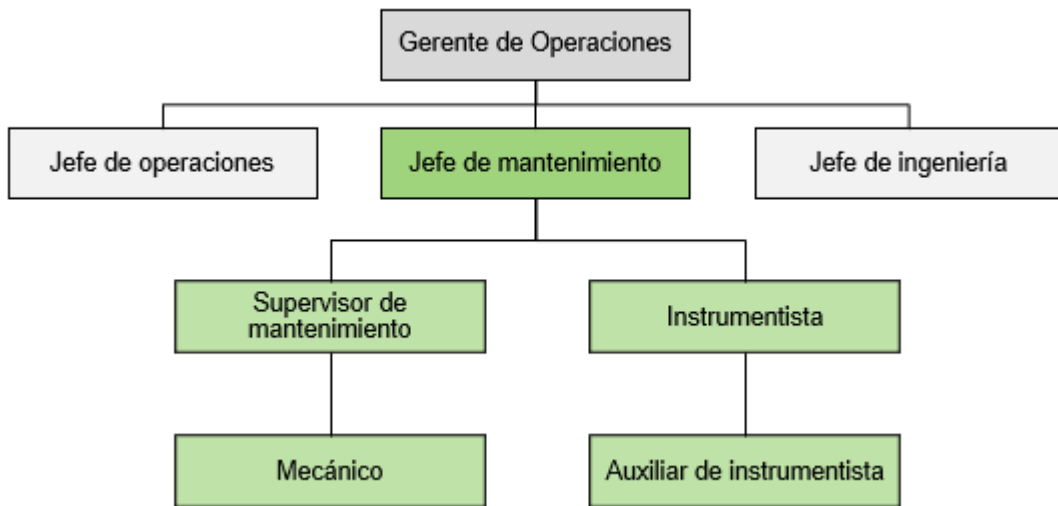
9. MODELO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Basados en la información recopilada y estudiada se procede a definir el plan de mantenimiento preventivo para unidad Jereh GJT70-34II.

9.1 ORGANIGRAMA

Como primer medida se realiza una reestructuración en el organigrama para establecer formalmente el departamento de mantenimiento como se observa en la figura 28. Este queda conformado por el jefe de mantenimiento, supervisor de mantenimiento, dos mecánicos, un instrumentista y un auxiliar de instrumentista.

Figura 28. Organigrama departamento de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia.

9.2 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS

Cada equipo cuenta con su código de identificación alfanumérico instalado mediante una calcomanía en cada uno de los costados y en la parte trasera del chasis. El código está compuesto de 3 letras que hacen referencia al tipo de

equipo al que representan y de dos números que son el consecutivo de estos. En el cuadro 5 se encuentra el código para cada uno de los diferentes equipos.

Cuadro 5. Codificación equipos CPVEN Sucursal Colombia.

ITEM	TIPO DE EQUIPO	CODIGO
1	UNIDAD DE CEMENTACION	CMT-01
2	BATCH MIXER	BMT-01
3	TOLVA DE CEMENTO	BUT-01
4	CISTERNA DE FLUIDOS	CIT-01
5	TRACTOCAMION	TRV-01
6	TURBO	SLV-01
7	CAMIONETA	ULV-01

Fuente: Elaboración propia.

El modelo de mantenimiento preventivo está diseñado para las unidades de cementación Jereh GJT70-34II identificadas con el código que se observa en el cuadro 6.

Cuadro 6. Código unidades de cementación Jereh GJT70-34II

ITEM	TIPO DE EQUIPO	CODIGO
1	UNIDAD DE CEMENTACION	CMT-22
2	UNIDAD DE CEMENTACION	CMT-23
3	UNIDAD DE CEMENTACION	CMT-24

Fuente: Elaboración propia.

9.3 FICHA TECNICA

Se elabora la ficha técnica de las unidades de cementación donde se encuentra información básica general del equipo y datos específicos de cada uno de sus componentes, al igual que los fluidos y filtros utilizados. Esta ficha técnica debe

estar impresa y archivada en la hoja de vida de cada uno de los equipos para su fácil consulta.

Figura 29. Ficha técnica unidad de cementación

		FICHA TÉCNICA DE UNIDADES LIVIANAS, PESADAS Y VEHICULOS					
INFORMACION BASICA							
CÓDIGO	CMT-22						
PLACA	R62235						
TIPO DE EQUIPO	Unidad de cementación						
MARCA	JEREH						
MODELO	GJT70-34II						
SERIAL / VIN	LJRHI2256A2011314						
AÑO FABRICACIÓN	2011						
DIMENSIONES	LARGO	11,7 metros					
	ANCHO	2,5 metros					
	ALTO	3,95 metros					
PESO	26,5 Ton						
VIDA ÚTIL	40 años						
MOTOR				TRANSMISIÓN			
MARCA	Caterpillar			MARCA	Allison		
MODELO	C15			MODELO	4700 OFS		
POTENCIA	540 hp			TORQUE MÁXIMO	2508 Nm		
ROTACIÓN	2100 rpm			ROTACIÓN MÁXIMA	2300 rpm		
SERIAL MOTOR LC	JRE11200			SERIAL LC	6610304631		
SERIAL MOTOR LP	JRE11201			SERIAL LP	6610304634		
BOMBA TRÍPLEX							
MARCA	OFM		TAMAÑO PISTÓN	4 1/2"	3 1/2"		
MODELO	OFM 600		PRESIÓN MÁXIMA	6.000 psi	10.000 psi		
NUMERO PISTONES	3		TASA MÍNIMA	0,5 bbl/min			
RECORRIDO MÁXIMO	6"		TASA MÁXIMA	13 bbl/min	8 bbl/min		
			SERIAL	11437	11259		
BOMBAS CENTRIFUGAS				CHASIS			
MARCA	Mission			TIPO	Semirremolque		
MODELO	SandMaster			NUMERO DE EJES	2		
RECIRCULACIÓN	6" x 5" x 11"			LLANTAS	295/80R22.5		
DESCARGA	6" x 5" x 11"			RIN	Disco - 10 pernos		
INYECCIÓN	4" x 3" x 13"			NUMERO DE LLANTAS	8		
TANQUES							
TANQUE DE MEZCLA	11 barriles			TANQUE DESPLAZAMIENTO	2 tanques de 12 bbl		
FLUIDOS							
FLUIDO	TIPO	CANTIDAD	FLUIDO	TIPO	CANTIDAD		
COMBUSTIBLE	Diesel	317 gal	ACEITE TRÍPLEX	80W90	90 gal		
ACEITE MOTOR	15W40	32 gal	ACEITE HIDRÁULICO	ISO 68	160 gal		
ACEITE TRANSMISIÓN	ATF Dexron III	37 gal	REFRIGERANTE	Corriente	37 gal		
FILTROS							
USO	MARCA	REFERENCIA	CANTIDAD	USO	MARCA	REFERENCIA	CANTIDAD
COMBUSTIBLE	DONALDSON	P551311	2 UN	REFRIGERANTE	DONALDSON	P554685	2 UN
SEPARADOR	CAT	323-1643	2 UN	TRANSMISIÓN	DONALDSON	P560971	2 UN
ACEITE	DONALDSON	P551808	2 UN	TRÍPLEX	DONALDSON	P170546	2 UN
AIRE PRIMARIO	DONALDSON	P532509	2 UN	HIDRÁULICO	DONALDSON	P165354	3 UN
AIRE SECUNDARIO	DONALDSON	P532510	2 UN	SECADOR AIRE	DONALDSON	P953571	1 UN

Fuente: Elaboración propia.

9.4 HOJA DE VIDA

Se designa una carpeta como hoja de vida para cada uno de los equipos la cual estará conformada por la ficha técnica y los registros de todos los mantenimientos que se realicen, ya sean preventivos o correctivos.

9.5 PLAN DE MANTENIMIENTO

Luego de identificar las actividades requeridas para el óptimo funcionamiento del equipo, se generan una serie de rutinas, formatos y documentos para la ejecución y control del proceso.

9.5.1. Orden de trabajo. Este documento debe diligenciarse al realizar toda actividad de mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo. Este es mediante el cual el jefe de mantenimiento asigna tareas a su personal. Contiene información valiosa como detalles del trabajo realizado, tiempo de intervención por cada técnico y materiales utilizados, que servirá de fuente para indicadores y permitirá realizar trazabilidad de las actividades programadas y realizadas.

9.5.2. Rutinas de mantenimiento. Como se mencionó en el ítem 8.3, al no contar con un líder definido del departamento, responsable de realizar control a las ordenes de trabajo y la recopilación de la información, no se tiene seguridad suficiente en los resultados obtenidos en el análisis de Pareto. Por tal motivo, las rutinas se establecen teniendo en cuenta principalmente los manuales de operación y mantenimiento de la unidad y la experiencia del personal de mantenimiento, y en segunda medida los resultados obtenidos en el análisis de fallas. Se establecen 6 rutinas como se observa en el cuadro 7.

Cuadro 7. Rutinas de mantenimiento

Rutina de mantenimiento	Frecuencia
Preoperacional	Preoperacional
A	Cada 100 horas
B	Cada 200 horas
C	Cada 400 horas
D	Cada 800 horas
E	Cada 1600 horas

Fuente: Elaboración propia

Rutina de mantenimiento preoperacional: Esta rutina es realizada por el operador de la unidad. Se debe realizar antes de cada operación para garantizar la operación.

Rutina de mantenimiento A: Es la rutina más sencilla de todas. Esta se realiza cada 100 horas por un mecánico y un instrumentista. Consiste en una revisión general de todos los sistemas de la unidad.


Rutina de mantenimiento B: Es una rutina más avanzada que la anterior. Se deben realizar las actividades de la rutina A y las actividades correspondientes a esta rutina. Se realiza cada 200 horas por un mecánico y un instrumentista. Como actividad principal se tiene el cambio de filtros de combustible junto con la revisión general de todos los sistemas de la unidad.

Rutina de mantenimiento C: En esta rutina se deben realizar las actividades de la rutina A y B junto con las de la C. Se realiza cada 400 horas por un mecánico y un instrumentista. Como actividad principal se tiene el cambio de aceite y filtros de motor, cambio de filtro secador de aire, cambio de grasa de rodamientos de las llantas y una revisión general de todos los sistemas de la unidad.

Rutina de mantenimiento D: En esta rutina se suman las actividades de la rutina A, B, C junto con las de la D. Se realiza cada 800 horas por un mecánico y un instrumentista. Como actividad principal tiene el cambio del refrigerante y el lavado del tanque de combustible y la revisión general de todos los sistemas de la unidad.

Rutina de mantenimiento E: Es la última rutina y la más avanzada. Se deben realizar las actividades de todas las rutinas anteriores junto con las de esta rutina. Es realizada por un mecánico y un instrumentista. En sus actividades se destacan la calibración de válvulas e inyectores de los motores, limpieza al radiador, cambio de aceite y filtros de las transmisiones, bombas tríplex y sistema hidráulico, y la revisión general de todos los sistemas de la unidad.

Figura 32. Formato F-MA-003 (CO) Rutina mantenimiento preventivo para las unidades de cementación Jereh GJT70-34II

	Mantenimiento Rutina mantenimiento preventivo para las unidades de cementación Jereh GJT70-34II	Código: F-MA-003 (CO)
		Versión: 02
		Fecha: 01/02/2021

Código de unidad	Horas		Rutina de Mtto	Fecha inicio de mantenimiento	Fecha final de mantenimiento
	Motor LC	Motor LP			

Nota: Indique el estado al momento de realizar el mantenimiento: Conforme (✓), No Conforme (X), No aplica (-), o registre los datos solicitados. Reporte toda falla encontrada.

No.	Actividades	Rutina de Mtto	Estado		Observaciones
			Motor LC	Motor LP	
1	Revisar nivel y estado de aceite de motor	A			Cantidad:
2	Inspeccionar posibles fugas de aceite	A			
3	Revisar partes sueltas, pérdidas y faltantes del motor	A			
4	Inspeccionar estado de soportes de motor	A			
5	Revisar estado de componentes electrónicos	A			
6	Reemplazo de filtro de aceite	C			Referencia:
7	Reemplazo de aceite de motor	C			Tipo y cantidad:
8	Calibrar válvulas e inyectores de motor	E			
No.	Sistema de admisión de aire del motor	Clase de Mtto	Motor LC	Motor LP	Observaciones
9	Inspeccionar filtro de aire	A			
10	Revisar fugas y/o daños en tuberías, mangueras y conexiones	A			
11	Inspeccionar anomalías del turbo compresor	A			
12	Revisar soportes y suciedad interna del intercooler	A			
13	Reemplazar filtro de aire externo	C			Referencia:
14	Reemplazar filtro de aire interno	D			Referencia:
No.	Sistema de escape de aire del motor	Clase de Mtto	Motor LC	Motor LP	Observaciones
15	Inspeccionar posibles fugas y fisuras del múltiple de escape	A			
16	Revisar estado de silenciador y soportes	A			
17	Revisar estado de tapa lluvias	A			
No.	Sistema de refrigeración del motor	Clase de Mtto	Motor LC	Motor LP	Observaciones
18	Revisar y/o completar nivel de fluido	A			Cantidad:
19	Revisar condición del fluido	A			
20	Revisar fugas y/o daños en tuberías, mangueras y conexiones	A			
21	Verificar aspas del ventilador	A			
22	Inspeccionar poleas y correas del ventilador	A			
23	Revisar ajustes del rodamiento del cubo del ventilador	A			
24	Revisar tapa de radiador	A			
25	Revisar estado del radiador y soporte	A			
26	Realizar limpieza externa del radiador	A			
27	Reemplazar refrigerante	D			Tipo y cantidad:
28	Reemplazar filtro de refrigerante	D			Referencia:
29	Servicio interior y exterior de radiador	E			

Fuente: Elaboración propia

Adicional a las actividades de la rutina C y E, se debe tomar una muestra de los aceites que serán cambiados según corresponda para realizar su respectivo análisis y así verificar las condiciones fisicoquímicas del propio aceite y el estado del propio componente y/o sistema. Esto se realiza para evidenciar prematuramente posibles fallas incipientes que se estén presentando en el motor, de igual manera nos servirá para captar información que nos permitiría con el pasar del tiempo realizar un análisis para determinar si la frecuencia del cambio de aceite es la adecuada.

9.5.3. Cronograma de mantenimiento. Al no contar con un software de mantenimiento, se establece en Excel un cronograma que permite realizar seguimiento al mantenimiento preventivo de cada unidad. A medida que se van actualizando las horas de cada equipo, este emite una señal amarilla 15 horas antes de cumplidas las horas del mantenimiento que permite realizar toda la logística para realizar ejecutarlo. Cumplidas las horas de mantenimiento este emite una alerta roja. En el momento que se ejecuta el mantenimiento preventivo e ingresamos las horas en el cual se ejecutó, este cambia su color a verde.

Figura 33. F-MA-004 (CO) Cronograma mantenimiento preventivo para las unidades de cementación Jereh GJT70-34II

Rutina de mto		A	B	A	C	A	B	A	D	A	B	A	C	A	B	A	F	CUMPLIMIENTO
UNIDADES	HORAS ACTUALES	Planado	Ejecutado	Planado	Ejecutado	Planado	Ejecutado	Planado	Ejecutado	Planado	Ejecutado	Planado	Ejecutado	Planado	Ejecutado	Planado	Ejecutado	
263C	LC 2423																	
	LP 2680																	25%
264C	LC 2490		1	1		1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	
	LP 2780		2492	2592	2692	2792	2892	2992	3092	3192	3292	3392	3492	3592	3692	3792	3892	
265C	LC 2751					1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	
	LP 2928		2751	2851	2951	3051	3151	3251	3351	3451	3551	3651	3751	3851	3951	4051	4151	

Fuente: Elaboración propia

9.5.4. Consumibles. Se tiene establecidos los consumibles necesarios para realizar cada uno de los mantenimientos. Al igual que con las rutinas, los consumibles se deben ir sumando desde los que son necesarios para la rutina A hasta los necesarios para realizar la rutina correspondiente. Al no contar con la autorización para mantener un stock mínimo de repuestos, esto nos permite agilizar la solicitud de materiales durante la coordinación para la ejecución del mantenimiento.

Tabla 2. Consumibles para rutinas de mantenimiento

Rutina de Mtto	Material	Referencia	Marca	Cantidad	Unidad
A	Grasa	LITIO	BEG	5	LB
A	Limpia contactos	N/A	SIMONIZ	1	UN
A	Lubricante en aerosol	WD-40	WD-40	1	UN
A	Trapo cocido	N/A	N/A	2	KG
B	Filtro de combustible	P551311	DONALDSON	2	UN
B	Filtro separador	326-1644	CAT	2	UN
C	Filtro aceite motor	P551808	DONALDSON	2	UN
C	Filtro de aire externo	P532509	DONALDSON	2	UN
C	Filtro secador de aire	P953571	DONALDSON	1	UN
C	Aceite de motor	15W40	MOBIL	25	GAL
C	Grasa	LITIO	BEG	10	LB
C	Desengrasante	N/A	BIOVEG	1	GAL
D	Filtro aire interno	P532510	DONALDSON	2	UN
D	Filtro refrigerante	P554685	DONALDSON	2	UN
D	Refrigerante	CORRIENTE	TERPEL	20	GAL
E	Filtros de transmisión	P560971	DONALDSON	2	UN
E	Aceite de transmisión	D/M ATF	MOBIL	20	GAL
E	Filtros triplex	P170546	DONALDSON	2	UN
E	Aceite triplex	80W90	MOBIL	105	GAL
E	Filtros hidráulicos	P165354	DONALDSON	3	UN
E	Aceite hidráulico	DTE26	MOBIL	165	GAL

Fuente: Elaboración propia

9.6 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO

Se establece un formato que permitirá tener toda la información consolidada de manera digital de las ordenes de trabajo, ya sean de mantenimientos preventivos o correctivos, para su fácil consulta y trazabilidad.

Figura 34. F-MA-006 (CO) Historial de mantenimiento

cpven		Mantenimiento Historial de mantenimiento							Código: F-MA-006 (CO)	
									Versión: 01	
									Fecha: 01/02/2021	
Fecha	Equipo	Horas / Kilometraje	Tipo de orden	Trabajo realizado	Materiales	Sistema	Realizado por	Tiempo de reparación (mins)	Estado	Observaciones / Documentos de apoyo

Fuente: Elaboración propia.

9.7 INDICADORES

Con el fin de realizar una medición del plan de mantenimiento y en busca de la mejora continua se establecen los siguientes indicadores que serán medidos cada 3 meses.

Tiempo medio entre fallas (TMEF): Es conocido como MTBF por sus siglas en ingles de Mean Time Between Failures. Nos permite conocer la frecuencia con la que se presentan fallas.

$$MTBF = \frac{T_o}{\# Fallas}$$

$T_o =$ Tiempo total de operacion

Tiempo medio para reparación (TMPR): Es conocido como MTTR por sus siglas en ingles de Mean Time To Repair. Nos permite conocer el tiempo promedio que se requiere para la solución de una falla.

$$MTTR = \frac{T_F}{\# \text{ Fallas}}$$

$T_F =$ *Tiempo total de fallas*


Disponibilidad (D): Está basada en el tiempo total de operación y el tiempo total de fallas.

$$D = \frac{T_o - T_F}{T_o}$$

9.8 PROCEDIMIENTO

Toda la información de mantenimiento preventivo se encuentra consignado en un procedimiento general donde se encuentra el objetivo y alcance, definiciones de términos principales, normas que se deben cumplir y mencionan los diferentes formatos y la descripción del procedimiento propio del mantenimiento preventivo y correctivo.

Figura 35. Procedimiento de mantenimiento

	Mantenimiento Procedimiento de mantenimiento	Código: PR-MA-001 (CO)
		Versión: 2
		Fecha: 01/02/2021
		Página: 1 de 4

1. Objetivo y alcance

Establecer y estandarizar el mecanismo para la ejecución de tareas de mantenimiento preventivo a la unidad de cementación Jereh GJT70-34II usadas en el desarrollo del objeto social de la empresa, estableciendo los lineamientos en cada una de las actividades a realizar, garantizando actos y condiciones seguras.

Este procedimiento aplica para las actividades de mantenimiento ejecutadas a las unidades de cementación Jereh GJT70-34II de la empresa y es de cumplimiento obligatorio por todo el personal que en él interviene.

2. Definiciones

- **Mantenimiento (MTTO):** Conjunto de técnicas y sistemas que se dedica a la conservación de los equipos de producción para asegurar que este se encuentre constantemente y por el mayor tiempo posible, en óptimas condiciones de confiabilidad y que sea seguro de operar.
- **Mantenimiento preventivo:** Es el que se ejecuta periódicamente según intervalos predeterminados con el fin de evitar fallas, garantizando su continua operatividad.
- **Mantenimiento correctivo:** Reparación que corrige fallas observadas en las unidades con el fin que pueda realizar su función.
- **Orden de trabajo:** Documento mediante el cual se asignan tareas al personal del departamento.

3. Responsables:

- Departamento de Mantenimiento: jefe de mantenimiento / Supervisor de mantenimiento / Instrumentista / Mecánico / Auxiliar de mecánico / Auxiliar de instrumentista.

4. Normas

- 4.1. Toda actividad de mantenimiento será solicitada por parte del jefe de mantenimiento mediante F-MA-001 (CO) Orden de trabajo.
- 4.2. La frecuencia para el mantenimiento de la unidad está especificada en la siguiente tabla, esta se ejecutará de manera cíclica:

Rutina de mantenimiento	Frecuencia
Preoperacional	Preoperacional
A	Cada 100 horas
B	Cada 200 horas
C	Cada 400 horas
D	Cada 800 horas
E	Cada 1600 horas

No controlado a la impresión

Fuente: Elaboración propia

9.9 COSTOS

9.9.1. Aceites y filtros. Inicialmente se realiza una revisión del costo de los aceites y filtros que se están usando dado que los materiales con el valor más representativo para la ejecución de los mantenimientos.

En primera medida se encuentra que los aceites se están comprando mediante un intermediario. Para reducir costos se realiza una negociación con un distribuidor autorizado de aceite Mobil donde se establece una alianza comercial y se le otorga a la empresa un descuento en el valor de compra de sus productos. En la figura 33 se observa los precios acordados para la compra de los aceites. Estos precios están dados en pesos colombianos al igual que todos los precios que se usaran en adelante.

Figura 36. Listado de precios de aceites Mobil



CPVEN

Lista de Precios Vigente a partir de 1 de Octubre de 2020

113066	M-DTE 26 PAIL 18.9L/5USG	Premium	197.000
113068	M-LUBE HD 80W90 DRUM-L 208.2L/55USG	Standard	2.666.000
113076	M-LUBE HD 80W90 PAIL 18.9L/5USG	Standard	263.000
113091	M-LUBE HD 85W140 PAIL 18.9L/5USG	Standard	271.000
113098	M-DTE 26 DRUM-L 208.2L/55USG	Premium	2.039.999
121553	M-ATF D/M PAIL 18.9L/5USG	Standard	389.000
122514	M-DEL MX ESP 15W-40 PAIL 18.9L/5USG.	Premium	279.000
122515	M-DEL MX ESP 15W-40 DRUM 208.2L/55USG.	Premium	2.781.000
112930	M-LUBE HD 85W140 DRUM-L 208.2L/55USG	Standard	2.713.000

Fuente: Lista de precios Districol para CPVEN Sucursal Colombia

Por otro lado, se realiza una comparación de precios de los filtros CAT, los cuales son los que se vienen utilizando, y los filtros DONALDSON como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Comparación precios filtros CAT vs DONALDSON

Material	Referencia	Marca	Valor CAT	Referencia	Marca	Valor DONALDSON
Filtro de combustible	1R0749	CAT	\$ 240.000	P551311	DONALDSON	\$ 114.000
Filtro separador	326-1644	CAT	\$ 490.000	326-1644	CAT	\$ 702.000
Filtro aceite motor	1R-1808	CAT	\$ 382.000	P551808	DONALDSON	\$ 123.600
Filtro de aire externo	6I-2509	CAT	\$ 890.000	P532509	DONALDSON	\$ 401.000
Filtro aire interno	6I-2510	CAT	\$ 722.000	P532510	DONALDSON	\$ 372.400

Fuente: Elaboración propia

Al realizar esta comparación de precios se observa un ahorro del 37% al usar filtros DONALDSON. Por esta razón, junto con la experiencia del personal del departamento y asesorías de proveedores se toma la decisión de continuar trabajando con estos.

Tabla 4. Valores totales

TOTAL CAT	\$ 2.724.000
TOTAL DONALDSON	\$ 1.713.000
DIFERENCIA	\$ 1.011.000
AHORRO	37%

Fuente: Elaboración propia.

9.9.2. Presupuesto. Al tener definido materiales y cantidades necesarias por rutina de mantenimiento, se procede a realizar el presupuesto total del mantenimiento preventivo.

En la tabla 5 se encuentra el costo total, teniendo en cuenta materiales y mano de obra, de cada una de las rutinas de mantenimiento.

Tabla 5. Costo total por rutina de mantenimiento

Rutina	Horas	Costo Materiales	Costo MO	Costo por rutina
A	100	\$ 125.000	\$ 210.000	\$ 335.000
B	200	\$ 950.000	\$ 220.000	\$ 1.170.000
C	400	\$ 3.200.000	\$ 430.000	\$ 3.630.000
D	800	\$ 3.800.000	\$ 500.000	\$ 4.300.000
E	1600	\$ 18.000.000	\$ 700.000	\$ 18.700.000

Fuente: Elaboración propia

Para definir el costo total de un ciclo completo de mantenimiento preventivo se debe tener en cuenta las horas que trabajan las unidades por año. Para esto se saca un promedio en base a las horas trabajadas de cada una de las unidades durante el año 2019. Como se observa en el cuadro 8, el promedio de horas trabajadas son 395 h, las cuales serán aproximadas a 400 h para realizar el cálculo.

Cuadro 8. Horas promedio trabajadas por unidad

Unidad	Horas trabajadas 2019	Horas promedio
CMT-22	355	395
CMT-23	465	
CMT-24	364	

Fuente: Elaboración propia

Al promediar 400 horas de trabajo por año, se determina que se ejecutarán 4 rutinas durante el mismo periodo de tiempo. En la tabla 6, se observa el costo por año desglosando las rutinas que se realizarían durante todo el ciclo del mantenimiento preventivo.

Tabla 6. Costo de mantenimiento por año

Año	Rutina	Horas	Costo por rutina	Costos por año
1	A	100	\$ 335.000	\$ 5.470.000
	B	200	\$ 1.170.000	
	A	300	\$ 335.000	
	C	400	\$ 3.630.000	
2	A	500	\$ 335.000	\$ 6.130.000
	B	600	\$ 1.170.000	
	A	700	\$ 325.000	
	D	800	\$ 4.300.000	
3	A	900	\$ 335.000	\$ 5.470.000
	B	1000	\$ 1.170.000	
	A	1100	\$ 335.000	
	C	1200	\$ 3.630.000	
4	A	1300	\$ 335.000	\$ 20.540.000
	B	1400	\$ 1.170.000	
	A	1500	\$ 335.000	
	E	1600	\$ 18.700.000	

Fuente: Elaboración propia.

Al final del ciclo, es decir, desde que se realiza la primera rutina de mantenimiento tipo A a las 100 horas hasta que se realiza la rutina de mantenimiento tipo E a las 1600 horas, el costo total del mantenimiento preventivo es de \$ 37.610.000.

En la tabla 7 se observa la inversión inicial, la cual corresponde al valor en libros de la unidad aplicado al cual se la realizado la respectiva depreciación, los costos anuales de mantenimiento y el ingreso anual generado por la unidad. Para este ingreso, se tiene en cuenta que por trabajo la unidad genera \$ 70.000.000 y se

promedia que cada unidad realice 30 trabajos por año por cual se obtiene que el ingreso anual que genera la unidad es de \$ 210.000.000.

Tabla 7. Flujo de fondos

Año	Inversión	Costos por año	Ingreso de las unidades
0	-\$ 300.000.000	\$ -	\$ -
1	\$ -	-\$ 5.470.000	\$ 210.000.000
2	\$ -	-\$ 6.130.000	\$ 210.000.000
3	\$ -	-\$ 5.470.000	\$ 210.000.000
4	\$ -	-\$ 20.540.000	\$ 210.000.000

Fuente: Elaboración propia

Actualmente para constancia de la tasa de descuento a la cual se va a aplicar el flujo de fondos podemos constatar que la misma obedece al costo promedio ponderado de capital de la empresa, la cual corresponde al costo promedio de los pasivos y a la rentabilidad promedio esperada por los inversionistas incluyendo el costo de oportunidad. Para nuestro caso la tasa con riesgo es alrededor del 10%.

Al realizar el calculo del valor presente neto y de la tasa interna de retorno con los datos que se encuentran en la tabla 7 obtenemos como resultado \$ 306.812.829 y 12% respectivamente.

Con estos valores podemos determinar la eficiencia del modelo ya que se observa una TIR mayor a la tasa de descuento y se obtuvo un valor presente neto positivo.

10. CONCLUSIONES

- Al revisar el historial de fallas para realizar el análisis de criticidad de estas se puede evidenciar la importancia de mantener una información clara y veraz que permita realizar análisis y manejar indicadores para tomar decisiones en pro de realizar mejoras al proceso de mantenimiento.
- Se realizó una reestructuración al organigrama donde se estableció claramente el departamento de mantenimiento, lo que permite tener más independencia para gestión del recurso humano y toma de decisiones para beneficio del departamento.
- Se realiza el modelo de ficha técnica de las unidades la cual contiene datos generales como marca, código interno, placa vehicular, dimensiones, capacidades, seriales y características de sus componentes, tipos de fluidos y filtros con sus respectivas cantidades. Esta ficha técnica permite tener la información más relevante consolidada para facilitar su consulta.
- Se define el procedimiento de mantenimiento y los formatos necesarios para la planificación, ejecución, control, seguimiento y recopilación de información pertinente para posterior análisis.
- Con el modelo de mantenimiento preventivo propuesto se busca incrementar la disponibilidad de los equipos reduciendo la aparición de fallas. Sin embargo, toda falla que se presente debe ser analizada y tenida en cuenta para realizar mejoras al plan.

- Al realizar el análisis costo beneficio del proyecto, se determina la eficiencia del modelo de mantenimiento propuesto demostrando la rentabilidad de este.
- Con base a los resultados obtenidos, donde se observa que la tasa interna de retorno es mayor que la tasa de descuento y el valor presente neto es mayor que cero, se logra demostrar que el modelo desarrollado es eficiente.

11. RECOMENDACIONES

- Replicar el modelo de mantenimiento preventivo a todos los equipos de la empresa.
- Realizar una adecuada recopilación de información relevante que permita realizar análisis de los datos y mejoras al proceso.
- Definir la taxonomía completa de cada equipo para lograr realizar un análisis puntual del componente que falla. Esto llevaría a ajustar las rutinas del plan para no realizar actividades que no se requieren.
- General una base de datos de repuestos completa por equipo donde se encuentre la información relevante para su identificación, como serial, numero de parte, marca, medidas, etc., y cantidades. Esto agilizaría el proceso de solicitud de materiales y su posterior compra.

BIBLIOGRAFÍA

Allison 5th Gen Vocational Model Guide 2017. p. 53. [En línea] (Recuperado en 15 septiembre 2020). Disponible en: https://www.allisontransmission.com/docs/default-source/marketing-materials/sa7943en_-2017-vocational-model-guide_-vmg-lr9af07359281567eeb272ff0000a566aa.pdf?sfvrsn=13

BARRETO CASTAÑEDA, Yeison Fabian y VILLAMIZAR DIAZ, Samuel Fabian. Plan de mantenimiento para la maquinaria amarilla de la alcaldía de Monterey Casanare. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2017. 148 p. (Recuperado en 8 septiembre 2020). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2017/166219.pdf>

BARROS NAVARRO, Melcon Andres. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para maquinas sopladoras de envases PET. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2018. 82 p. (Recuperado en 8 septiembre 2020). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173159.pdf>

BETANCOURT, Diego. Cómo hacer un árbol de objetivos: Ejemplo práctico. [En línea]. [Citado 12 de septiembre de 2020]. Disponible en: www.ingenioempresa.com/arbol-de-objetivos.

BETANCOURT, Diego. Cómo hacer un árbol de problemas: Ejemplo práctico. [En línea]. [Recuperado 12 de septiembre de 2020]. Disponible en: www.ingenioempresa.com/arbol-de-problemas.

BOHORQUEZ RANGEL, Cristian David. Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria y equipos de la empresa GMP Ingenieros S.A.S. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2016. 208 p. (Recuperado en 8 septiembre 2020). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/163434.pdf>

BORRAS PINILLAS, Carlos. Mantenimiento preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 162 p.

CABARCAS MARTINEZ, Ivonne Raquel y ESCOBAR ALBARRACIN, Gabriel Albeiro. Modelo del plan de mantenimiento de las unidades de bombeo tipo VSH 2 del campo Casabe. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2018. 121 p. (Recuperado en 8 septiembre 2020). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173817.pdf>

CASTRO URREA, Giovanni Reiner y HERNANDEZ CAGUEÑAS, Javier Leonardo. Mejoramiento de la gestión en mantenimiento en la compañía Perenco Colombia Limited usando indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2018. 128 p. (Recuperado en 8 septiembre 2020). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173808.pdf>

CENTRAL. El diagrama de Pareto. [En línea] (Recuperado en 12 septiembre 2020). Disponible en: <http://ingenieriaindustrialeasy.blogspot.com/2018/01/el-diagrama-de-pareto.html>.

CPVEN. [En línea] (Recuperado en 20 agosto 2020). Disponible en: <http://www.cpven.com/quienes-somos/mision-vision-valores/>

ESPITIA GONZALEZ, Juan Camilo y MOLINA BARRERA, Lino Andres. Modelo de mantenimiento preventivo, predictivo aplicado a buldócer de la empresa Rex Ingeniería S.A. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2018. 136 p. (Recuperado en 8 septiembre 2020). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173151.pdf>

GARCIA GARRIDO, Santiago. ¿Que son los indicadores de mantenimiento? En: Instituto Renovetec de ingeniería del mantenimiento [base de datos en línea]. 2019, n. 16. pp 6-18 (Recuperado en 10 septiembre 2020). Disponible en: <http://www.renovetec.com/irim/revista/indicadores/mobile/index.html#p=17>

GARCIA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Diaz de Santos, 2003. 321 p.

Jacome, Marco. Ingeniería de cementaciones. 129 p.

JEREH. Manual de operación y mantenimiento. 16 capítulos.

LIZARAZO CORONEL, Victor Alfonso y VARGAS RINCON, Geovanny Ronaldo. Modelo gerencial del programa de mantenimiento preventivo para la base Schlumberger - Guafilla. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de

Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2016. 152 p. (Recuperado en 8 septiembre 2020). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/165291.pdf>

Lopez, Fazael. CPVEN Seminario de cementación de pozos de petróleo y/o gas. Bogotá, 2014. 350 p.

MEDRANO MARQUEZ, José Á.; GONZALEZ AJUECH, Víctor L. y DIAZ DE LEON SANTIAGO, Vicente M. Mantenimiento, Técnicas y aplicaciones industriales. México: Grupo editorial Patria, 2017. 305 p.

NAVARRO ELOLA, Luis; PASTOR TEJEDOR, Ana Clara y MUGABURU LACABRERA, Jaime MIGUEL. Gestión integral de mantenimiento. Barcelona: Marcombo, 2009. 113 p.

ORGANO SUPERIOR DE FISCALIZACION ESTADO DE MEXICO. Metodología de matriz de marco lógico para la matriz de indicadores de resultados. Toluca. 65 diapositivas.

PALOMINO ANAYA, Leonardo Fabio. Plan de mantenimiento preventivo para una empresa de servicio de transporte interdepartamentales. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2018. 104 p. (Recuperado en 4 diciembre 2019). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/172002.pdf>

PEREZ CORZO, EDUARD FREDDY. Plan de intervención preventivo basado en histórico de mantenimiento para componentes en vehículos de la flota de Unión Andina de Transportes. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de

Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2018. 58 p. (Recuperado en 4 diciembre 2019). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173020.pdf>

QUIROGA MATEUS, Diego Mauricio y GALLO SUAREZ, Jonathan Ernesto. Diseño de un programa predictivo basado en análisis de aceite en motores diésel para el parque automotor de Transportes Líquidos de Colombia, TLC S.A. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2019. 216 p. (Recuperado en 4 diciembre 2019). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2019/177322.pdf>

RODRIGUEZ MERCHAN, Luis Diego. Modelo de plan de mantenimiento preventivo para la flota de volquetas de la empresa Valorcon S.A. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2019. 183 p. (Recuperado en 4 diciembre 2019). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2019/176622.pdf>

SARMIENTO BARRIOS, Jose David. Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para cargador frontal Liu Gong CLG 862 de la planta de concretos de Ultracem. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2018. 126 p. (Recuperado en 4 diciembre 2019). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173170.pdf>

TECNICATURA EN GESTION UNIVERSITARIA. Árbol de objetivos. [En línea] [Recuperado 12 de septiembre de 2020]. Disponible en:

<http://patgu.eco.catedras.unc.edu.ar/unidad-3/herramientas/arbOL-de-objetivos-y-tormenta-de-ideas/>

UNESCO. Árbol de problemas. [En línea]. (Recuperado en 20 de enero de 2020).
Disponible en: <http://www.unesco.org/new/es/culture/themes/%20cultural-diversity/diversity-of-cultural%20expressions/tools/policy-guide/planificar/diagnosticar/arbOL-de-problemas/>