

DESARROLLO Y ESTANDARIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO
IMPLEMENTANDO LA METODOLOGÍA “FMECA” PARA LOS EQUIPOS DEL
SISTEMA DE CONTROL DE POZO (ACUMULADORES DE PRESIÓN,
PREVENTORAS (ARIETE Y ANULAR), CHOKE MANIFOLD, SEPARADOR DE
GAS Y TEA) EN LAS OPERACIONES DE WORKOVER.

JUAN DAVID SALAZAR TRIANA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DESARROLLO Y ESTANDARIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO
IMPLEMENTANDO LA METODOLOGÍA “FMECA” PARA LOS EQUIPOS DEL
SISTEMA DE CONTROL DE POZO (ACUMULADORES DE PRESIÓN,
PREVENTORAS (ARIETE Y ANULAR), CHOKE MANIFOLD, SEPARADOR DE
GAS Y TEA) EN LAS OPERACIONES DE WORKOVER.

JUAN DAVID SALAZAR TRIANA

Monografía presentada como requisito para optar por el título de Especialista en
Gerencia de Mantenimiento

Director

ARIEL RICARDO PÉREZ GELVEZ
MAGISTER DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

A Dios.

Por estar siempre a mi lado brindándome amor, protección, sabiduría, salud y perseverancia para poder lograr mis objetivos como profesional.

A mis padres.

Gracias a mi madre “Elisa Triana Vargas” y mi padre “José Salazar Benavides” por ser pilares fundamentales en mi vida y por brindarme un amor incondicional durante el transcurso de mi vida como estudiante y profesional.

Juan David Salazar Triana

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2-OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. JUSTIFICACIÓN.....	18
4. MARCO TEÓRICO	19
4.1 QUE ES EL MANTENIMIENTO	19
4.2 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO	19
4.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO	21
4.3.1 Mantenimiento Correctivo.	21
4.3.1.1 Correctivo emergencia.	22
4.3.1.2 Correctivo programado.	22
4.3.2 Mantenimiento Progresivo.	23
4.3.3 Mantenimiento Periódico.....	23
4.3.4 Mantenimiento Preventivo.....	24
4.3.5 Mantenimiento Predictivo.....	25
4.3.6 Mantenimiento Mayor.....	25
4.3.7 Otros tipos de mantenimiento.	26
4.3.7.1 TPM (Mantenimiento productivo Total).	26
4.3.7.2 RCM (Mantenimiento centran en confiabilidad).	27
4.3.7.3 RCA (Análisis causa raíz).	27
4.3.7.4 FMECA (Análisis del modo, efecto de falla y criticidad).	28
4.4 PATRONES DE FALLAS	28

5. MARCO CONCEPTUAL	30
5.1 METODOLOGÍA FMECA	30
5.2 PASOS A DESARROLLAR DEL FMECA	31
5.3 INFORMACIÓN REQUERIDA POR FMECA	33
6. MARCO LEGAL	35
6.1 NORMA ISO 14224	35
6.2 NORMA SAE J1739.....	36
7. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	37
7.1 EQUIPOS DE ESTUDIO.....	37
7.1.1 Acumulador de Presión.....	39
7.1.2 Preventora Anular (BOP)	41
7.1.3 Preventora Anular (BOP)	42
7.1.4 Choke Manifold.....	44
7.1.5 Separador.....	45
7.1.6 TEA.....	46
7.2 SUBSISTEMAS Y FUNCIONES PRINCIPALES	48
7.2.1 Sistema Acumulador de presión función principal y subsistemas.....	48
7.2.2 Sistema Preventoras (Anular y Ariete) función principal y subsistemas.	49
7.2.3 Sistema separador de Gas y TEA portátil función principal y subsistemas. .	50
7.2.3.1 Choke Manifold función principal e ítems mantenibles.	50
7.2.3.2 Separador de gas función principal e ítems mantenibles.....	51
7.2.3.3 TEA función principal e ítems mantenibles.....	51
8. METODOLOGÍA	53
8.1 CREACIÓN PLANTILLA FMECA.....	53
8.1.1 Modo potencial de falla.....	53
8.1.2 Mecanismos de fallas.....	53
8.1.3 Métodos de detección.....	55
8.1.5 Efectos de la falla.....	56
8.1.6 Valoración de los modos de falla.....	56
8.1.6.1 Consecuencia.....	57

8.1.6.2 Probabilidad.....58

8.1.7 RPN.....58

8.1.8 Criticidad.....58

8.1.9 Tarea de mantenimiento.....59

8.1.10 Causa de la falla.....60

8.2 EQUIPO CONFORMADO PARA EL TALLER.....61

8.3 LISTADO DE TAREAS.....62

9. CONCLUSIONES.....68

BIBLIOGRAFÍA.....70

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Patrones de falla.....	29
Figura 2. Pasos a desarrollar del FMECA.....	33
Figura 3. Plantilla de caracterización.	38
Figura 4. Esquema y componentes del acumulador de presión.	39
Figura 5. Componentes Preventora Anular.....	41
Figura 6. Componentes Preventora Arite.....	43
Figura 7. Esquema y componente del Choke Manifold.....	44
Figura 8. Esquema y componentes del separador.....	45
Figura 9. Esquema y componentes de la TEA.....	47
Figura 10. Valoración RAM.....	59

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características técnicas Acumulador de Presión.....	39
Tabla 2. Características técnicas Preventora Anular.	41
Tabla 3. Características técnicas Preventora Anular.	42
Tabla 4. Características técnicas Choke Manifold.	44
Tabla 5. Características técnicas Separador de Gas.	45
Tabla 6. Características técnicas TEA.	46
Tabla 7. Funciones componentes Acumulador de presión.	48
Tabla 8. Funciones de los ítems mantenibles de los componentes del Acumulador de presión.	49
Tabla 9. Funciones de Preventora Anular y Ariete.....	49
Tabla 10. Funciones de los ítems mantenibles de las Preventoras Anular y Ariete	50
Tabla 11. Funciones componentes Sistema separador de Gas y TEA.....	50
Tabla 12. Funciones de los ítems mantenibles del Choke Manifold.	51
Tabla 13. Funciones de los ítems mantenibles del Separador de Gas.....	51
Tabla 14. Funciones de los ítems mantenibles de la TEA.	52
Tabla 15. Mecanismos de falla según la ISO 14224.....	54
Tabla 16. Métodos de detección según la ISO 14224.	56
Tabla 17. Consecuencias	57
Tabla 18. Probabilidad.	58
Tabla 19. Tareas de mantenimiento según la ISO 14224.....	60
Tabla 20. Causa de la falla según la ISO 14224.....	61
Tabla 21. Modos, Mecanismo y detección de falla con las actividades de mantenimiento para el sistema de control de pozo.....	62
Tabla 22. Actividades de Mantenimiento Sistema Acumulados.....	65

Tabla 23. Actividades de Mantenimiento Sistema separador de gas y TEA portátil.....66

Tabla 24. Actividades de Mantenimiento Sistema Preventoras.....67

RESUMEN

TITULO: DESARROLLO Y ESTANDARIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO IMPLEMENTANDO LA METODOLOGÍA “FMECA” PARA LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE POZO (ACUMULADORES DE PRESIÓN, PREVENTORAS (ARIETE Y ANULAR), CHOKE MANIFOLD, SEPARADOR DE GAS Y TEA) EN LAS OPERACIONES DE WORKOVER*.

AUTOR: JUAN DAVID SALAZAR TRIANA**

PALABRAS CLAVES: MANTENIMIENTO, FMECA, ISO 14224, MODO DE FALLA, MECANISMO DE FALLA, RAM, RPN, ACUMULADOR DE PRESIÓN, PREVENTORA ANULAR, PREVENTORA ARIETE, CHOKE MANIFOLD SEPARADOR, TEA.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

En esta monografía se expone el desarrollo y estandarización de los planes de mantenimiento implementando la metodología FMECA (Análisis del modo, efecto de falla y criticidad) a equipos del sistema de control de pozo en las operaciones de workover, con el fin de generar un plan de mantenimiento unificado para todos los equipos basado en confiabilidad, generando una disponibilidad a estos equipos críticos.

Inicialmente se procede a realizar una caracterización de los equipos con el fin de entender el funcionamiento de cada uno dentro del sistema de control de pozo en las operaciones de workover y a su vez comprender la función interna de cada componente dentro de los equipos, dándonos de esta forma la facilidad de poder agruparlos en sistemas y subsistemas.

Por medio de talleres implementando la metodología FMECA con las discriminaciones realizadas anteriormente mencionado, nos permite determinar los modos, efectos de fallas, criticidad y el impacto de estos dentro de los equipos y el sistema, proporcionando de esta forma estrategias de mantenimiento para una disponibilidad y extensión de vida útil de los equipos analizados.

* Monografía

** Facultad de ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Ariel Ricardo Pérez Gélvez

SUMMARY

TITLE: DEVELOPMENT AND STANDARDIZATION OF MAINTENANCE PLANS IMPLEMENTING THE “FMECA” METHODOLOGY FOR THE WELL CONTROL SYSTEM EQUIPMENT (PRESSURE ACCUMULATORS, PREVENTORS (RAM AND ANNULAR), CHOKE MANIFOLD, GAS SEPARATOR AND TEA. *) IN WORKOVER OPERATIONS*.

AUTHOR: JUAN DAVID SALAZAR TRIANA**

KEYWORDS: MAINTENANCE, FMECA, ISO 14224, FAILURE MODES, FAILURE MECHANISM, RAM, RPN, PRESSURE ACCUMULATORS, PREVENTOR ANNULAR, PREVENTOR RAM, CHOKE MANIFOLD, GAS SEPARATOR, TEA.

CONTENTS:

This monograph presents the development and standardization of maintenance plans by implementing the FMECA methodology (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis) to well control system equipment in workover operations, in order to generate a plan unified maintenance for all equipment based on reliability, generating availability to these critical equipment.

Initially, a characterization of the equipment is carried out in order to understand the operation of each one within the well control system in workover operations and in turn understand the internal function of each component within the equipment, giving us this forms the ease of being able to group them into systems and subsystems.

Through workshops implementing the FMECA methodology with the previously mentioned discriminations, it allows us to determine the modes, effects of failures, criticality and the impact of these within the equipment and the system, thus providing maintenance strategies for availability and useful life extension of the analyzed equipment.

* Monograph

** Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: Ariel Ricardo Pérez Gélvez

INTRODUCCIÓN

En el transcurso de los años, la industrialización mundial ha ido aumentando sus exigencias, apuntando siempre al mejoramiento, optimización, seguridad del personal y aseguramiento del medio ambiente, por lo cual es necesario adoptar nuevos métodos que puedan evitar problemas a sus equipos o sistemas, como, paradas imprevistas, pérdidas de producción, daños a la empresa o terceros. Es en este punto donde el mantenimiento ha cobrado fuerza generando una mayor confiabilidad y disponibilidad.

En la actualidad es necesario implementar metodologías de mantenimiento, las cuales nos proporcionan pautas primordiales a seguir, como, organización e información técnica de los equipos (generando un mayor orden dentro de la empresa), comunicación entre los diferentes departamentos (asegurando un mejor ambiente laboral y ampliación de información por diferentes puntos de vista), creación de historial de equipos (información a la mano de problemas anteriores, ya sean del equipo o afectaciones a terceros) y generación de actividades aprobadas por el personal con el fin de asegurar la confiabilidad y disponibilidad de un equipo o sistema a analizar.

Esta monografía tiene como objetivo la creación de un plan de mantenimiento para los equipos de control de pozo en operaciones de WorkOver, implementando la metodología FMECA partiendo del reconocimiento de los equipos e identificando sus componentes y funciones, lo cual genera un mejor análisis (modos, mecanismos y efectos de las fallas) y permite una toma de decisiones de las actividades que se deberían realizar para lograr la confiabilidad de los equipos.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria petrolera colombiana, se encuentra enfocada en la extracción y refinación de hidrocarburos, por lo cual se distribuye geográficamente por todo Colombia. Con el fin de proteger, mantener y aumentar el proceso de producción de crudo, es necesario intervenir los pozos con equipos especializados denominados WorkOver. Estos equipos se dividen en 5 sistemas:

- Sistema de levantamiento:
 - Estructura o torre.
 - Bloque Viajero.
 - Bloque de Corona.
 - Gancho.
 - Cable.
 - Malacate y Accesorios.
 - Elevadores.
 - Cuñas.
 - Llaves de esfuerzo.
 - Consola de instrumentos.
 - Winches.
 - Rampa.
- Sistema de rotación:
 - Mesa rotaria.
 - Tubería.
 - Broca.
 - Power Swivel (Unión giratoria).

- Sistema de potencia:
 - Motores primarios.
 - Generadores.
 - Transmisión de potencia.
- Sistema de circulación:
 - Tanques.
 - Bombas principales y auxiliares.
 - Tubo vertical.
 - Mangueras de circulación.
 - Línea de flujo.
 - Equipos de control de sólidos.
 - Fosas de asentamientos.
 - Desgasificadores.
 - Separadores de gas.
- Sistema de control de pozo:
 - Válvulas preventoras de ariete y anular (BOP'S).
 - Acumulador de presión.
 - Choke Manifold.
 - Válvula arresta llama.
 - TEA.

El sistema de control de pozo, es el más importante debido a su función principal, asegurar el cuidado del medio ambiente y proporcionar seguridad al personal implicado en la labor (cuadrilla) que se encuentra dentro del área de trabajo del pozo. Si se presenta un problema de contra flujo en el pozo a trabajar, el trabajador más próximo al equipo “acumulador de presión” debe accionar manualmente una válvula liberadora de fluido a alta presión (2,500 psi), el cual es transportado por medio de mangueras hacia el sistema hidráulico de las “válvulas preventoras (Ariete y Anular)” generando un cierre parcial en la boca del pozo, el fluido generado del pozo es re-dirigido hacia el “Choke Manifold” con el fin de disminuir la presión del

fluido generado por el pozo y posteriormente enviado hacia las “piscinas de residuos”. Si el pozo presenta a su vez gases tóxicos e inflamables, dichos gases son transportados hacia el “Choke Manifold” con el fin de disminuir la presión de ellos, redirigiéndolos hacia un separador, posteriormente hacia la “válvula arresta llama” (para evitar el regreso de la llama) y finalmente ser quemado controladamente en la “TEA”.

Los equipos dentro del sistema de control de pozo presentan una criticidad muy alta debido a las consecuencias que se pueden presentar (problema ambiental, afectación a personas, pérdidas económicas, reputación de la empresa y pérdida de inversionistas), por lo cual se deben intervenir y mantener en óptimas condiciones estos equipos.

El presente proyecto busca estandarizar la información necesaria que se debe implementar para realizar las actividades de mantenimiento de los equipos implicados en el sistema de control de pozo. Por medio de fichas técnicas, se procederá a la caracterización de cada equipo y se adoptará la metodología FMECA para identificar y analizar todos los modos de falla, causas de falla, efectos de falla, como evitarlos y/o mitigar dichos efectos en el sistema de control de pozo.

2-OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollo y estandarización de planes de mantenimiento implementando la metodología “FMECA” acorde a la Norma ISO 14224 (Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment) para los equipos del sistema de control de pozo (Acumuladores de presión, Preventoras (Ariete y Anular), Choke Manifold, Separador de gas y TEA) en las operaciones de WorkOver.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar y organizar información sobre los equipos implicados en el análisis del sistema de control de pozo (Acumulador de presión, Preventoras (Ariete y Anular), Choke Manifold, Separadores de Gas y TEA) con el fin de entender el funcionamiento de cada equipo dentro del sistema (se mostrará información de un equipo por cada clase de equipo):
 - Recopilar información sobre equipos (Normas y Manuales de fabricante).
 - Crear plantilla de caracterización de equipos (Información de placa y especificaciones de trabajo).
 - Recopilar información de las actividades de mantenimiento recomendadas por fabricante.
2. Realizar análisis de modos de falla, efecto y criticidad (FMECA) a los equipos involucrados en el sistema de control de pozo acorde a la norma ISO 14224.
 - Crear Subsistemas acorde a su función dentro del sistema de control de pozo.

- Crear Plantilla FMECA a implementar en los talleres acorde a la ISO 14224.
 - Diligenciar Plantilla FMECA dentro de los talleres a realizar, analizando los modos de falla, efectos de falla y la criticidad de los componentes de los equipos dentro del sistema.
 - Generar informe de las actividades y recomendaciones proporcionadas por el personal de los talleres a realizar.
3. Implementar las actividades de mantenimiento de cada equipo en plantillas Excel por medio de la creación de hojas de ruta y planes de mantenimiento, acorde a los resultados obtenidos en los talleres de FMECA.

3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente en nuestro país las compañías involucradas en la extracción de petróleo y gas, es una de las industrias más importantes e impulsadoras de economía en Colombia, debido a la cantidad de empleo que genera a la región en donde se encuentre laborando el personal que se capacita en la extracción, producción y refinación del crudo, como a su vez las regalías que le genera a nuestro país.

Para generar aumentar de regalías en la compañía es necesario realizar mantenimiento a los pozos, ya sea por problemas de funcionamiento o se desea aumentar la producción, por ello el servicio especializado de WorkOver debe intervenir adecuadamente, asegurando un correcto trabajo en un laxo de tiempo determinado. Si se presenta algún problema ya sea por alguna falla con los equipos a intervenir o durante el proceso de intervención, esto genera pérdidas millonarias para la compañía.

Es un punto importante para esta actividad contar con los equipos adecuados y sobre todo que se encuentren en óptimas condiciones al momento de desempeñar su labor, generando de esta forma un buen trabajo en la intervención del pozo, asegurando el bienestar del personal implicado en la actividad y de su alrededor. Esto nos motiva a realizar un análisis adecuado a los equipos que se encuentran en el sistema de control de pozo, por ello se desea implementar la metodología FMECA, determinando sus modos, causas y efectos de falla, como evitar y/o mitigar dichos efectos, con el fin de proporcionar actividades de mantenimiento para todos los equipos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 QUE ES EL MANTENIMIENTO

Se define como cualquier actividad o acción destinada a proteger o restaurarlo un activo a un estado en el que pueda realizar su función adquirida. Estas actividades pueden ser de pruebas, inspección, medición, calibración, reemplazo, ajuste y reparación, las cuales aseguran el correcto funcionamiento ya sea de una maquina o instalaciones que constituyen el proceso de producción de algún producto.

En la actualidad, las pequeñas y grandes industrias se encuentran continuamente en una lucha debido a la competencia entre ellas, por lo cual es necesario alcanzar, para cada una, altos niveles de calidad y rendimiento. Esta es la finalidad donde el mantenimiento juega un papel importante:

- Mayor confiabilidad, disponibilidad y efectividad de los equipos y sistemas.
- Asegurar el rendimiento máximo de los componentes internos de los equipos.
- Reducción de frecuencia y gravedad de fallas que pueden generar en la industria.
- Asegurar la integridad de los trabajadores y del medio ambiente.
- Reducción de costos generados en paradas no deseadas de los equipos y pérdidas de producción.

4.2 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO

Durante el transcurso de la historia el mantenimiento ha presentado diferentes avances acordes a las necesidades, llevando al personal encargado de los equipos a adoptar nuevas maneras de pensar. Es conveniente destacar, que al adoptar una

etapa más avanzada no significa que se abandone por completo las metodologías que se venían implementando, ya que siguen complementando las más actuales.

Estos grandes avances se separan en 4 generaciones cronológicamente.

- **Primera Generación:** La primera generación consta desde la existencia de la humanidad hasta la II guerra mundial. En este transcurso de tiempo la industria no era muy desarrollada, ya que se encontraban equipos muy básicos o sobredimensionados, donde el mantenimiento a implementar era muy básico, ya que podía constar de una limpieza, prueba y lubricación de algunos componentes si eran necesarios, donde el operario de la maquina era el que se hacía cargo de su reparación. Por lo cual la inactividad y prevenir fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de las industrias.

Este tipo de mantenimiento se puede asociar al correctivo.

- **Segunda Generación:** La segunda generación consta desde la II guerra mundial hasta finales de los años 70. En este transcurso de tiempo la industria aumento drásticamente debido a la necesidad de consumo en la población, generando un aumento en las máquinas y su complejidad. Este gran salto hizo que las industrias confiaran más en sus equipos y se centraran más en la inactividad que se podían provocar. Dando como resultado una nueva ideología en la cual se basaba en evitar fallas en los equipos por medio de inspecciones periódicas y cambio de componentes en intervalos definidos, provocando incremento en los costos de mantenimiento, sistemas de planeación y control del mantenimiento.

Este tipo de mantenimiento se puede asociar al preventivo.

- Tercera Generación: La tercera generación consta desde los años 70 hasta los años 90. En este transcurso de tiempo crecen las expectativas de mantenimiento ya que se centran en varios aspectos como:
 - Disponibilidad de los equipos y sistemas.
 - Fiabilidad de los equipos y sistemas.
 - Optimización de los costos.
 - Aumento de seguridad.
 - Incremento de calidad.
 - Preocupación por el medio ambiente.
 - Seguridad de las personas.

Este tipo de mantenimiento se puede asociar a condición, predictivo y nuevas metodologías (RCM, RCA, FMEA, FMECA).

- Cuarta Generación: La cuarta generación consta desde los años 90 a la actualidad. En este transcurso de tiempo el mantenimiento es automatizado por medio de sistematización de procedimientos, actividades y estrategias por medio de procesos computarizados, ayudando a alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos y sistemas. Surge también el mantenimiento basado en riesgo (MBR) y Mantenimiento productivo total (TPM).

4.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO

4.3.1 Mantenimiento Correctivo. Este mantenimiento consiste en realizar una actividad después de que se presenta la falla en el equipo o sistema con el fin de mejorar y evitar que vuelva a ocurrir.

Ventajas del mantenimiento correctivo:

- Poca intervención de los equipos.

- Costos bajos a corto plazo.
- Planificación mínima necesaria.
- Procesos más sencillos.

Desventajas del mantenimiento correctivo:

- Mayor disponibilidad del personal para atender fallas.
- Costos altos a largo plazo.
- Calidad de las reparaciones y vida útil de los equipos es baja.
- Incertidumbre de próximas fallas.

El mantenimiento correctivo se divide en dos.

4.3.1.1 Correctivo emergencia. Este mantenimiento consiste en actuar únicamente cuando se presenta la falla en el equipo o sistema. Este tipo de mantenimiento nos puede generar ciertos inconvenientes como:

- Incertidumbre: Debido a que puede ocurrir en cualquier momento y no se tiene contemplado la disminución y detención de la función del equipo o sistema.
- Daños: No se puede contemplar cual será la magnitud del daño generado, si al sistema que pertenece o maquinas anexas.
- Inventarios: Se debe contemplar un almacenamiento de los componentes de los equipos ya que no se puede establecer cuando son necesarios, generando aglomeración de repuestos en bodegas.
- Personal: Llamados del personal en cualquier momento sin tener contemplado tiempos por el tipo de actividad a realizar.

4.3.1.2 Correctivo programado. Se realiza cuando se tiene un historial de fallas del equipo y se determina si se amerita la intervención del equipo, por lo cual se realiza de forma programada.

4.3.2 Mantenimiento Progresivo. Este mantenimiento consiste en entender todas las actividades que se le debe realizar a un equipo o sistema, pero no se tiene contemplada una frecuencia de realización, es por ello que, cuando un equipo presenta una falla y es detenido, el personal entra a intervenir el equipo solucionando la falla presentada y realizando adicional las actividades correspondientes al equipo dependiendo del estado en que encuentren el equipo, se intentan realizar la mayor cantidad de actividades que no se pueden realizar mientras el equipo se encuentra en funcionamiento.

Ventajas del mantenimiento progresivo:

- Menor costo en las reparaciones.
- Mayor duración de los equipos.
- Disminución en tiempos muertos.

Desventajas del mantenimiento progresivo:

- Disminución en la eficiencia de los equipos.
- Cambios innecesarios de los componentes.
- Se requiere alta experiencia del personal.
- Ningún control en los tiempos de reparación.

4.3.3 Mantenimiento Periódico. Este mantenimiento consta en realizar actividades programadas en determinados lapsos de tiempo como revisiones, lubricación y cambios de componentes en lapsos de tiempos establecidos, ya sean por conocimiento normal de desgaste de las partes y normas del fabricante.

Ventajas del mantenimiento periódico:

- Alarga la vida de los equipos.
- Mejor manejo de presupuesto.
- Disminución de accidentes laborales.

- Previene averías imprevistas.

Desventajas del mantenimiento periódico:

- Intervención a equipos en buen estado.
- Perdida de precisión al intervenir los equipos.
- Gastos en cambio de componentes de los equipos.
- Disminuye la confiabilidad de los equipos.

4.3.4 Mantenimiento Preventivo. Este mantenimiento consta de una serie de actividades como inspección, detección y prevención de fallas planificadas acorde a las recomendaciones del fabricante, condiciones de operación e historial de falles que se tengan del equipo o sistema.

La idea principal del mantenimiento preventivo es extender la vida útil de un equipo o sistema por medio de actividades previamente establecidas.

Ventajas del mantenimiento preventivo:

- Disponibilidad del equipo.
- Mejor manejo de costos.
- Disminuye el paro de los equipos.
- Reducción de costos a comparación de los anteriores.

Desventajas del mantenimiento correctivo:

- Se requiere experiencia del personal.
- Cambios de componentes del equipo.
- Costos en inventario.

4.3.5 Mantenimiento Predictivo. Este mantenimiento consta de una serie de análisis, muestreo y registro de actividades que son realizados mientras el equipo se encuentra en funcionamiento:

- Análisis de Vibraciones.
- Muestreo de Aceite.
- Termografía a puntos clave del equipo y sistema.
- Análisis de humos.
- Boroscopias.

Generando una predicción sobre el estado del equipo o sistema con el fin de determinar la tendencia de falla de sus componentes y corregirlos antes que se produzcan.

Ventajas del mantenimiento predictivo:

- Mayor disponibilidad de los equipos.
- Mayor confiabilidad en los equipos.
- Requiere menos personal.
- Intervención en el momento adecuado.

Desventajas del mantenimiento predictivo:

- Requiere equipos especiales y costosos.
- Requiere personal muy bien capacitado.
- Programación de actividades inesperadas.

4.3.6 Mantenimiento Mayor. Este mantenimiento consta en realizar actividades mayores al equipo en un tiempo establecido (cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido), estas actividades consisten en entregar el equipo a cero horas de funcionamiento (equipo nuevo), es decir, entregar el equipo con todos sus componentes sustituidos o reparados los componentes sometidos a desgaste,

asegurando el equipo con una gran probabilidad de tiempo de funcionamiento sin presencia de fallas.

Ventajas del mantenimiento mayor:

- Mejor disponibilidad de los equipos.
- Mejor manejo de repuestos.
- Mayor confiabilidad de los equipos.

Desventajas del mantenimiento mayor:

- Se requiere personal calificado.
- Costos del equipo detenido.
- Costos de repuestos y mano de obra.

4.3.7 Otros tipos de mantenimiento. Recientemente se están implementando nuevos métodos de mantenimiento, los cuales con sus estrategias prometen mejores resultados debido al análisis que se les realiza a los equipos, descubriendo sus falencias y fortaleciéndolas con mejoras o nuevas actividades.

No se consideran tipos de mantenimiento, se consideran filosofías diferentes las cuales se aplican a los tipos de mantenimiento.

4.3.7.1 TPM (Mantenimiento productivo Total). Es una técnica que consiste en aumentar la eficiencia de los equipos o sistemas evitando los tiempos de parada no planificados, pérdidas de tiempo en marcha de los equipos o reparaciones.

Los pilares del fundamentales en los que se basan son:

- Mejora localizada.
- Mantenimiento autónomo por parte del operario encargado del equipo.
- Mantenimiento planeado.

- Capacitación de los empleados.
- Control inicial con el fin de reducir costos de mantenimiento y deterioro al momento de adquirir los equipos.
- Mejorar la calidad del producto.
- Comunicación entre las organizaciones de la empresa, mejorando la comunicación y disponibilidad de los equipos.
- Higiene y medio ambiente.

4.3.7.2 RCM (Mantenimiento centran en confiabilidad). Es una técnica para ayudar a formular nuevas estrategias con el fin de asegurar que cualquier equipo o sistema continúe haciendo la función por la cual fue implementado.

Para el desarrollo adecuado se deben realizar 7 preguntas:

- ¿Cuál es la función?
- ¿Cuál es la falla funcional?
- ¿Cuál es el modo de falla?
- ¿Cuál es el efecto de la falla?
- ¿Cuál es la consecuencia de la falla?
- ¿Qué se puede hacer para evitar o minimizar la consecuencia?
- ¿Qué se hace si no se encuentra ninguna tarea para evitar o minimizar la consecuencia de la falla?

4.3.7.3 RCA (Análisis causa raíz). Es una técnica implementada con el fin de descubrir las causas raíz de los problemas que presenta un equipo o sistema para identificar las soluciones adecuadas.

Para el desarrollo adecuado se deben utilizar tres preguntas básicas.

- ¿Cuál es el problema? (Definir las metas del equipo o sistema).
- ¿Por qué ocurrió? (Analizar causas).

- ¿Qué se hará para prevenirlo? (Generar soluciones).

4.3.7.4 FMECA (Análisis del modo, efecto de falla y criticidad). Es una técnica implementada para identificar y evaluar todos los posibles caminos en los cuales un equipo o sistema podría fallar.

Para el desarrollo adecuado se deben seguir los siguientes pasos:

- Planificación y preparación del equipo.
- Análisis de la estructura para identificar y descomponer el equipo o sistema.
- Análisis de la función de cada componente a analizar.
- Análisis del modo, mecanismo y efecto de falla de cada componente a analizar.
- Análisis de riesgo, es decir, evaluar la gravedad, ocurrencia y detección de cada falla.
- Desarrollo de acciones con el fin de reducir el riesgo del equipo o sistema analizado.
- Documentación de los resultados.

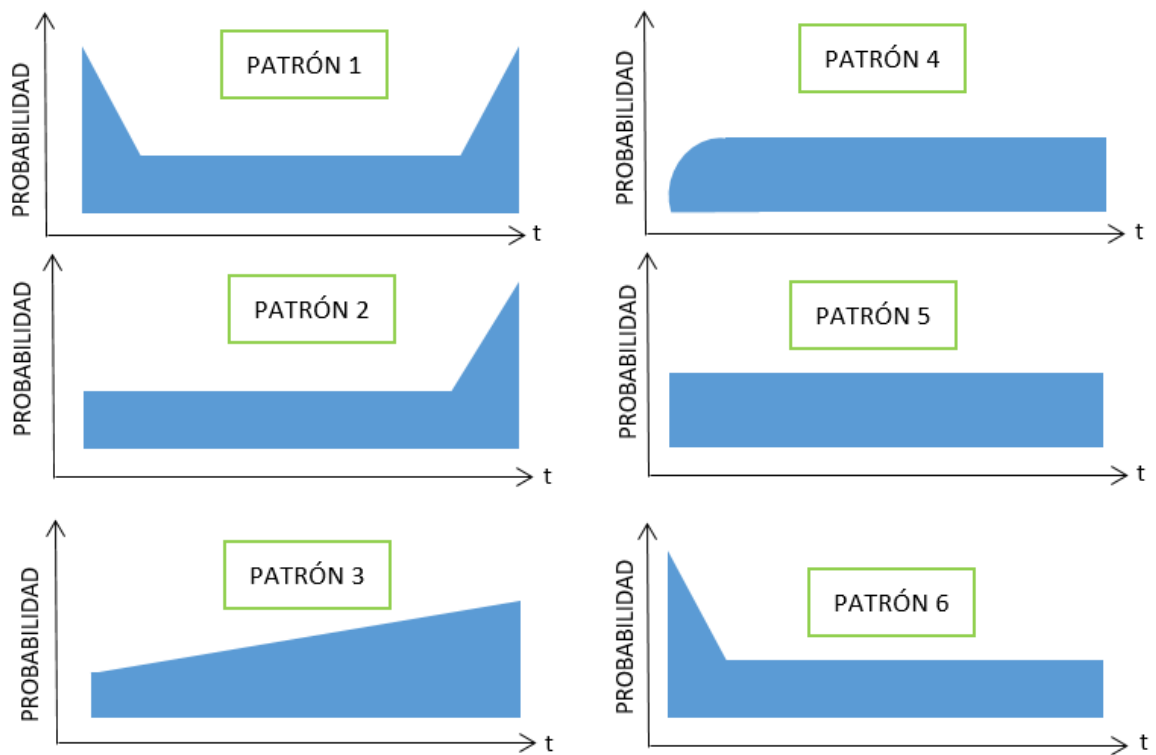
4.4 PATRONES DE FALLAS

A continuación, se mencionarán los 6 patrones que rigen la probabilidad de falla de un equipo o sistema

- Patrón 1 (Curva de la bañera): Alta mortalidad infantil, seguida de un bajo nivel de fallas aleatorias y terminando en una zona de desgaste.
- Patrón 2 (Desgaste por uso): Probabilidad de falla constante y terminando en zona de desgaste.
- Patrón 3 (Probabilidad de falla incremental): Incrementa constantemente la probabilidad de falla, pero no tiene edad de desgaste definida.

- Patrón 4(Incremental y aleatoria): Rápido incremento de la probabilidad de falla seguido de una probabilidad de falla constante.
- Patrón 5 (Aleatorio): Probabilidad constante de falla en todas las edades.
- Patrón 6 (Mortalidad infantil): Alta mortalidad infantil seguida de una constante probabilidad de falla.

Figura 1. Patrones de falla.



5. MARCO CONCEPTUAL

5.1 METODOLOGÍA FMECA

La metodología AMEFC (Análisis del modo, efecto de falla y criticidad) o en sus siglas en inglés FMECA (Failure mode, effect and criticality analysis), es una metodología la cual nos permite analizar todos los posibles modos de falla potenciales que se pueden encontrar en los componentes de los sistemas a analizar, los efectos que pueden generar y como evitarlos y/o mitigarlos.

Inicialmente esta metodología se denomina FMEA o AMEF, fue creada en Estados Unidos a finales de los años 40 por la NASA (National agency of space and aeronautical) el cual era empleado para evaluar la confiabilidad y determinar las fallas que se podían encontrar en los equipos, sistemas y seguridad del personal a bordo de la nave. Con el transcurso del tiempo esta metodología fue implementada por otras industrias y se fue estandarizando con la idea manejar un mismo lenguaje, una de ellas es la ISO 14224 (Petroleum, petrochemical and natural gas industries) utilizada en la industria del petróleo.

Con el transcurso del tiempo, la metodología FMEA se le ingreso un nuevo parámetro de análisis denominado “criticidad”, esto se realiza con el fin de indicar la gravedad de los diversos efectos de los fallos que se encuentran en el sistema, generando de esta forma el FMECA.

En el desarrollo del FMECA se puede utilizar de dos formas. FMECA del producto, donde se analiza el diseño de cada elemento y como las fallas de ellos afectan la operación del equipo o sistema. FMECA del proceso, donde se analiza el proceso

fabricación, mantenimiento y de trabajo, para determinar cómo las fallas afectan la operación del equipo o sistema.

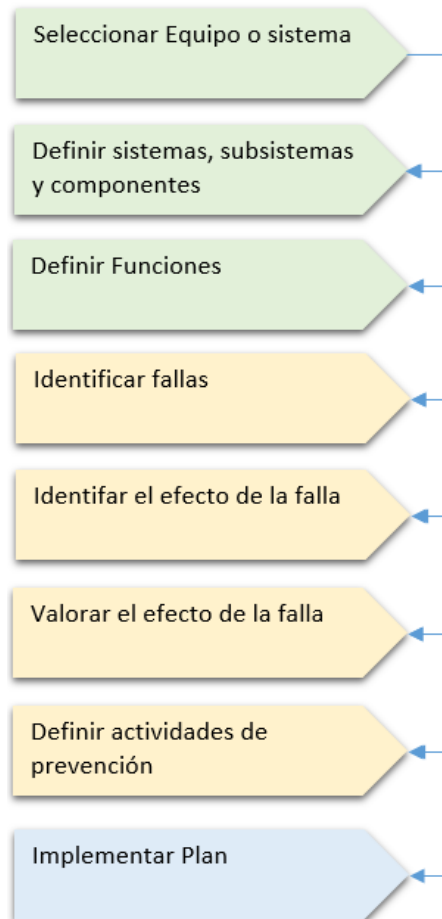
5.2 PASOS A DESARROLLAR DEL FMECA

Al implementar la metodología FMECA a un sistema a analizar, es necesario cumplir con unas determinadas pautas básicas (estas pautas pueden aumentar dependiendo de las normas que posea cada empresa), esto permitirá buenos resultados al momento de implementar las actividades de mantenimiento.

- Personal que participa en el taller: Personal que tenga conocimientos y la experiencia en el tema a trabajar, preferible que vengan de diferentes áreas implicadas al sistema (Mantenimiento, bodega, compras, producción, proveedores).
- Alcance del taller: Se debe establecer los límites de cada sistema, subsistema y componente que se va a analizar.
- Función: Definir la función de cada sistema, subsistema y componente al momento de iniciar el análisis acorde al ambiente de operación y objetivos, debido a que nos muestra los límites en los cuales se va a desarrollar el taller.
- Desarrollo del taller FMECA: Nos permite identificar y analizar los sistemas, subsistemas y componentes de acuerdo a las funciones ya establecidas de la siguiente forma:
 - Modos potenciales de falla: Por el cual el sistema falla en cumplir su función (Pueden ser varias).
 - Mecanismos de falla: Por el cual cada modo potencial de falla puede ocurrir.
 - Método de detección: Que actividad se encuentran implementando actualmente para detectar el modo potencial de falla.
 - Efectos de la falla: Cual sería el efecto más grave que pueda suceder si se presenta este modo de falla.

- Evaluar las consecuencias y probabilidad: Estos parámetros ya se encuentran preestablecidos por la empresa (Tabla RAM). Consecuencia determinar el nivel de impacto que puede generar en la empresa (Personas, Económica, Ambiental, Clientes, Reputación). Probabilidad nos indica que tanto se ha presentado el modo de fallo en la industria.
- Calcular el RPN: Número de prioridad de riesgo nos indica la prioridad que se le debe dar a cada modo de falla con el fin de eliminarlo, este valor se obtiene por medio de la consecuencia por la probabilidad por la detección del modo potencial de falla.
- Criticidad: La criticidad que obtenemos de la consecuencia por la probabilidad.
- Establecer las actividades: Determinar las actividades de mantenimiento (Correctivas, preventivas o predictivas) con su respectivo laxo de tiempo con el fin de evitar el modo de falla.
- Informe final: Se genera un informe final con todo lo realizado en el taller, en donde muestra lo realizado, las actividades a implementar y recomendaciones que se encontraran durante el taller.

Figura 2. Pasos a desarrollar del FMECA.



5.3 INFORMACIÓN REQUERIDA POR FMECA

Un desarrollo adecuado del taller es necesario contar con la siguiente información relacionada al equipo o sistema a analizar.

- Manuales de mantenimiento, manuales de partes, descripciones y representación gráfica, rangos de funcionamiento y descripción explícita del equipo o sistema a analizar.
- Historial de mantenimiento y cambios en los diseños (si fueron realizados por la empresa) al equipo o sistema a analizar.

- Historial de anteriores talleres realizados donde se especifique el historial de fallas, causas de las fallas, efecto de las fallas, frecuencia de fallas y ambiente de operación del equipo o sistema.
- Especificaciones de operación del equipo, donde se especifique sus límites operacionales, interfaz interna, programación y configuraciones que se realicen al equipo o sistema a analizar.
- Normativa y requerimientos solicitados por la empresa al desarrollo del FMECA.

6. MARCO LEGAL

Para un buen desarrollo y entendimiento del FMECA, se implementaron las siguientes normativas:

6.1 NORMA ISO 14224

La norma ISO 14224 (Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment) es una norma internacional la cual brinda lineamientos de especificación, recolección, calificación y estandarización de datos de confiabilidad y mantenimiento, los cuales nos permiten cuantificar la confiabilidad de los equipos en la industria del petróleo y gas natural en sus respectivas áreas (perforación, producción, refinación y transporte).

Los principales objetivos de esta normal son:

- Diseño y configuración del sistema, equipos y componentes.
- Seguridad, confiabilidad y disponibilidad.
- Costos del ciclo de vida.
- Planeación, optimización y ejecución del mantenimiento.
- Especificar datos en formato.
- Calificación, clasificación de fallas y actividades para evitarlas:
 - Modos de falla.
 - Mecanismos de falla.
 - Causa de falla.
 - Método de detección.
 - Actividades de mantenimiento.

6.2 NORMA SAE J1739

Esta norma nos brinda una guía general sobre el diseño y elaboración de un FMEA y FMECA, los cuales se pueden ser descritos como un grupo de actividades sistemáticas:

- Reconocer y evaluar una potencial falla y efecto, ya sea de un producto o proceso.
- Identificar actividades con las cuales se puede eliminar o reducir el potencial de falla previamente detectado.
- Realizar documentación complementaria del proceso acorde a las solicitudes del cliente o empresa.

7. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Al momento de la recolección de información se encontró que todos los equipos provienen del mismo fabricante y cumplen con las mismas especificaciones necesarias del trabajo, por lo cual solo se mencionara el análisis de un equipo por cada clase de equipo.

7.1 EQUIPOS DE ESTUDIO

Es necesario recolectar la información más precisa y correcta acorde a cada clase de equipo, por ello se implementó una plantilla de caracterización donde se puedan colocar dicha información por separado (dependiendo de la clase de equipo varían sus características) y almacenar de forma adecuada.

Figura 3. Plantilla de caracterización.

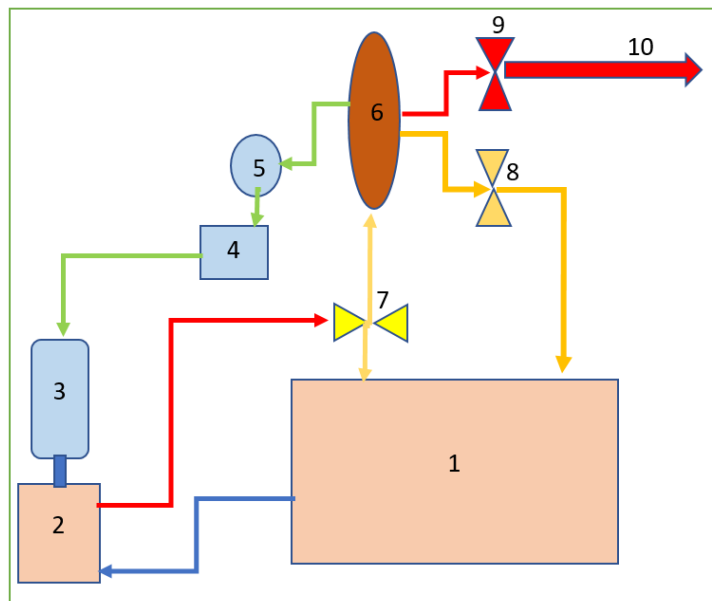
NOMBRE DE LA EMPRESA		
DATOS DEL EQUIPO: <ul style="list-style-type: none">- Número de Equipo- Nombre del equipo- Ubicación técnica- Denominación Ubicación técnica- TAG	Ubicación <ul style="list-style-type: none">- Región- Sección Empresa- Activo- Planta- Sistema- Producto	
Clasificación <ul style="list-style-type: none">- Tipo de Equipo- Centro de Costos- Tipo de Objeto- Criticidad- Estado del Equipo- Clase	DATOS DE FABRICACIÓN <ul style="list-style-type: none">- Marca- Modelo- Tamaño- Serie	
Fotografía placa del equipo	Fotografía Panorámica del equipo	
Fotografía placa motor	Fotografía panorámica motor	
Características	valor	Unidad

7.1.1 Acumulador de Presión.

Tabla 1. Características técnicas Acumulador de Presión.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ACUMULADOR DE PRESIÓN		
Característica	Valor	Unidad
Marca	CAMERON	
Modelo	II	
Serie	-----	
Sistema de Cargue	HIDRÁULICO	
Presión de Operación	3000	PSI
Número de Botellas	2	

Figura 4. Esquema y componentes del acumulador de presión.



- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| 1) Tanque de fluido. | 6) Botellas de Nitrógeno. |
| 2) Bomba hidráulica de 3 pistones. | 7) Regulador de presión. |
| 3) Motor Eléctrico. | 8) Válvula de seguridad. |
| 4) Presostato. | 9) Válvula direccional. |
| 5) Manómetro. | 10) Mangueras. |

Ya determinado los componentes más importantes del equipo, se procede a describir el funcionamiento general del equipo.

El tanque de fluido (1) contiene una mezcla de taladrina y agua (debido a que debe ser un fluido limpio el cual no presente oxidación y taponamiento dentro de la tubería del equipo) el cual es succionado por medio del sistema potencia, que consta de una bomba de pistones (2) y motor eléctrico (3) los cuales transportan a presión el fluido hacía el regulador de presión (7), encargado de regular la circulación del fluido hacía las botellas de nitrógeno (6) donde se almacena una determinada cantidad de fluido a una presión de 1.500 PSI (Cada uno).

Para no generar problemas dentro del equipo se tienen dos sistemas de seguridad, el primero consta de una válvula de seguridad (8), la cual al detectar un aumento de presión mayor a la calibrada en la línea de llenado a las botellas de nitrógeno (6) se abre generando una liberación de fluido hacía el tanque de fluido (1), volviéndose a cerrar hasta volver a su presión calibrada. El segundo consta de un manómetro (5) y el presostato (4), los cuales al determinar que el sistema se encuentra cargado a 3.000 psi por medio de la lectura de presión de las botellas de nitrógeno (6), el presostato (4) genera un cierre en el circuito eléctrico generando la detención del sistema de potencia, a su vez si ellos detectan que la lectura de presión se encuentra por debajo de los 2.700 psi, el presostato (4) conecta nuevamente el circuito eléctrico generando la activación del sistema de potencia hasta llegar a la presión deseada en el sistema de 3.000 psi.

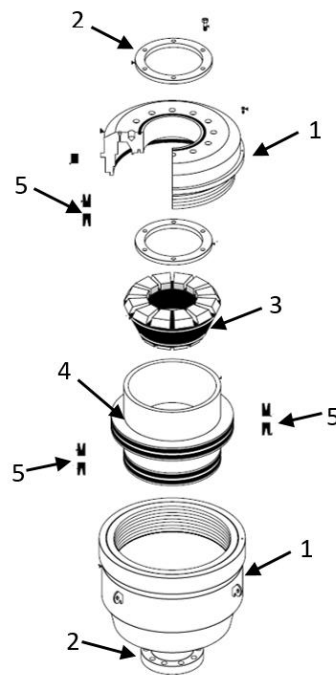
Para la liberación del fluido dentro de las botellas de nitrógeno (6), la válvula direccional (9) se debe abrir, permitiendo el paso de fluido a alta presión por medio de las mangueras (10) con el fin de accionar sistema BOP (Preventoras).

7.1.2 Preventora Anular (BOP)

Tabla 2. Características técnicas Preventora Anular.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PREVENTORA ANULAR		
Característica	Valor	Unidad
Marca	TOWNSEND	
Modelo	84	
Cavidad Interna	26	in
Serie	-----	
Presión de Operación	3000	PSI
Mecanismo	HIDÁULICO	

Figura 5. Componentes Preventora Anular.



- 1) Cuerpo.
- 2) Bridas.
- 3) Unidad de Empaque.
- 4) Pistón Hidráulico.
- 5) Sellos.

Fuente: PREVENTORES PAG 33

Ya determinado los componentes más importantes del equipo, se procede a describir el funcionamiento general del equipo.

La preventora anular se debe ubicar encima de la preventora de ariete, por lo cual la tubería del pozo debe pasar por el medio de ella, provocando de esta forma un aseguramiento de la boca del pozo ante cualquier reventón.

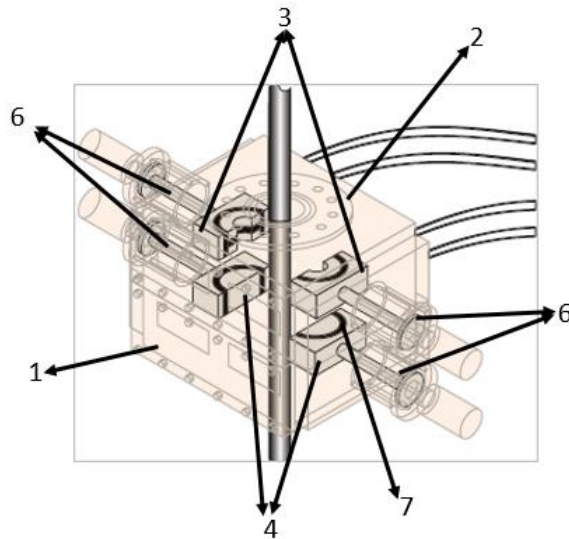
El cuerpo (1) posee dos orificios a los cuales se le conectan las mangueras que provienen del acumulador de presión (mencionado anteriormente), el primer orificio (cierre) recibe el fluido el cual genera un accionamiento hidráulico provocando un levantamiento del pistón (4), que a su vez contiene dentro de él la unidad de empaque (3) provocando un choque contra la tapa obligándola a deformarse sobre la tubería del pozo, dando cierre a presión. El segundo orificio (abrir) recibe el fluido el cual genera un accionamiento hidráulico descendente del pistón (4), que a su vez reduce la deformación de la unidad de empaque (3) reduciendo el cierre contra la tubería del pozo.

7.1.3 Preventora Anular (BOP)

Tabla 3. Características técnicas Preventora Anular.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PREVENTORA ARIETE		
Característica	Valor	Unidad
Marca	SHAFFER	
Modelo	SENTINEL II	
Ancho	10	in
Serie	-----	
Presión de Operación	1500	PSI
Mecanismo	HIDÁULICO	

Figura 6. Componentes Preventora Arite.



- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1) Cuerpo. | 5) Sellos de las Ram. |
| 2) Bridas. | 6) Pistón. |
| 3) Bloque Ram. | 7) Sellos. |
| 4) Cuchilla de corte. | |

Fuente: PREVENTORES PAG 8

Ya determinado los componentes más importantes del equipo, se procede a describir el funcionamiento general del equipo.

La preventora de ariete se debe ubicar encima de la boca del pozo, por lo cual la tubería debe pasar por el medio de ella, provocando de esta forma un aseguramiento de la boca del pozo ante cualquier reventón.

El cuerpo (1) posee 4 orificios donde son conectadas las mangueras provenientes del acumulador de presión (mencionado anteriormente), dos mangueras para accionar el cierre y dos para liberarlo. EL fluido a presión ingresa con el fin de impulsar los pistones (6) ubicados al costado de la preventora, los cuales generan 2 tipos de cierre, un cierre por medio de los bloques RAM (5) los cuales abrazan a presión la superficie de la tubería y el segundo cierre (si es necesario) por medio de

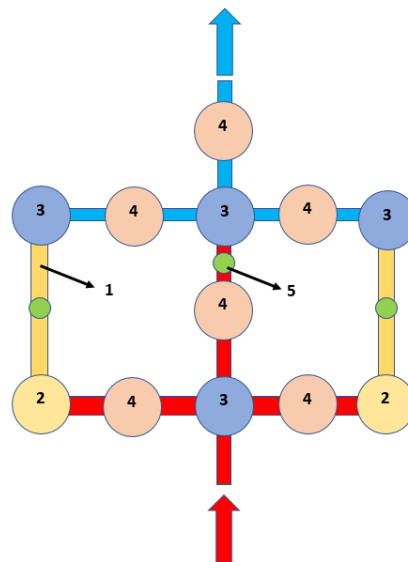
las chuchillas de corte (4), las cuales cortan la tubería provocando un cierre parcial dentro de la preventora y la boca del pozo.

7.1.4 Choke Manifold.

Tabla 4. Características técnicas Choke Manifold.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS CHOKE MANIFOLD		
Característica	Valor	Unidad
Marca	ECAMG	
Modelo	LLC	
Serie	-----	
Diametro	3 1/8	in
Presión	5000	PSI
Tipo de Choke	DOBLE	

Figura 7. Esquema y componente del Choke Manifold.



- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1) Tubería. | 4) Válvula manual. |
| 2) Válvula Choke. | 5) Manómetro. |
| 3) Cruz. | |

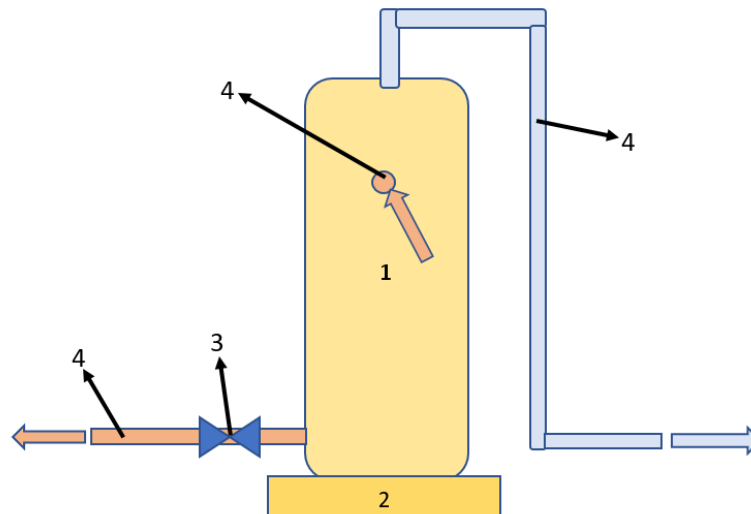
El choke manifold consta de un juego de válvulas manómetros (como se menciona en la parte superior) los cuales son usadas para controlar los cambios de presión producidos en el pozo, y a su vez redirigir los fluidos y gases provenientes de él hacia el separador.

7.1.5 Separador.

Tabla 5. Características técnicas Separador de Gas.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SEPARADOR DE GAS		
Característica	Valor	Unidad
Marca	ECAMG	
Modelo	LLC	
Serie	-----	
Presión de Operación	15,7	PSI
Longitud	157	in
Diametro	48	in
Capacidad	1,5	m3

Figura 8. Esquema y componentes del separador.



- 1) Cuerpo.
- 2) Soporte.

- 3) Válvula.
- 4) Tubería.

Ya determinado los componentes más importantes del equipo, se procede a describir el funcionamiento general del equipo.

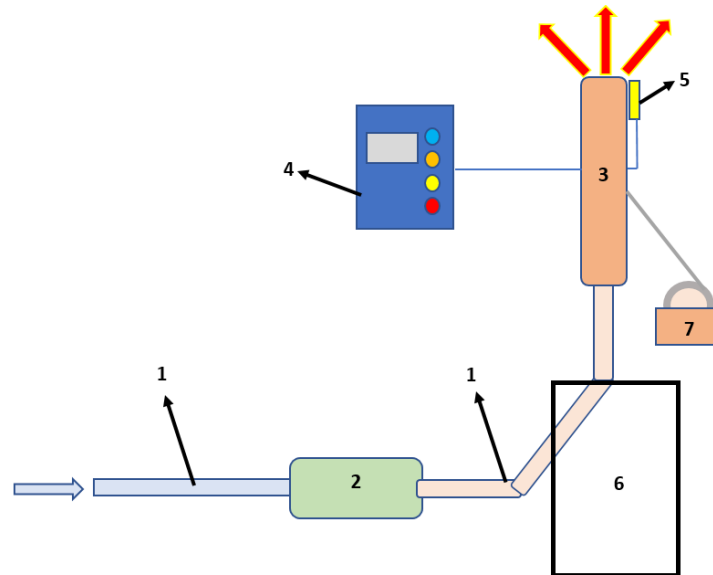
Los fluidos y gases provenientes del choke manifold (mencionado anteriormente) son transportados por medio de la tubería (4) al cuerpo (1) del separador de gas en un punto alto de él (como se aprecia en la imagen). Por medio de gravedad se procede a separar el fluido y el gas con el fin de darle su disposición final, el fluido se reposa en la parte inferior del separador y por la apertura de la válvula (3) es transportarlo hacia las piscinas de contención, el gas por su parte asciende a la parte superior del separador y por medio de la tubería (4) es transportado hacia la TEA.

7.1.6 TEA.

Tabla 6. Características técnicas TEA.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS TEA		
Característica	Valor	Unidad
Marca	ECAMG	
Modelo	LLC	
Serie	-----	
Presión	15,7	PSI
Diametro	6	in
Tubería	5	

Figura 9. Esquema y componentes de la TEA.



- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1) Tubería. | 5) Piloto de ignición. |
| 2) Válvula arresta llama. | 6) Tanque de contención. |
| 3) TEA. | 7) Winche. |
| 4) Sistema de control. | |

Ya determinado los componentes más importantes del equipo, se procede a describir el funcionamiento general del equipo.

Los gases provenientes del separador de gas son transportados por una tubería (1) hacia la válvula arresta llama (2), esta válvula consiste en permitir el paso del gas hacia la TEA (3) con el fin de ser quemado de forma controlada y a su vez evita que alguna llama o chispa se regrese a través de dicha válvula por la tubería hacia el origen del gas. Para poder quemar el gas de forma controlada se sostiene la TEA de forma vertical por medio de un winche (7) y su vez se ubica en la parte superior de la TEA (3) un piloto de ignición (5), el cual genera un pulso eléctrico o chispa provocada por el sistema de control (4).

7.2 SUBSISTEMAS Y FUNCIONES PRINCIPALES

Determinado los componentes principales y el funcionamiento de cada equipo, es necesario agrupar en subsistemas sus componentes con su función principal y a su vez los ítems mantenibles acorde a la ISO 14244 de cada componente, con el fin de facilitar el desarrollo de los talleres FMECA.

7.2.1 Sistema Acumulador de presión función principal y subsistemas. La función principal del acumulador de presión es proveer de forma rápida, confiable y practica el cierre del sistema BOP (Preventora y Anular) en caso de una emergencia.

El funcionamiento del equipo se puede distribuir en 3 Subsistemas con sus respectivas componentes y la función de cada una dentro del equipo como se aprecia a continuación:

Tabla 7. Funciones componentes Acumulador de presión.

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN
SISTEMA ACUMULADOR	SUBSISTEMA ACUMULADOR	BOTELLA DE NITRÓGENO	Contener y almacenar una determinada cantida de fluido a una presión de 3,000 psi para accionar la preventora.
		DEPOSITO DE TALADRINA	Contener y almacenar elfluido del sistema.
	SUBSISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA ACUMULADOR	MOTOR ELÉCTRICO	Convertir la energía eléctrica en energía mecánica y transmitirla a la bomba de pistones.
		BOMBA DE PISTONES	Convertir la energía mecánica en energía hidráulica, aumentando la presión del fluido.
	SUBSISTEMA DE CONTROL HIDRÁULICO ACUMULADOR	REGULADOR	Controlar y regular la circulación del fluido haciendolo reducir su velocidad.
		VÁLVULA DE PURGA	Liberar presión para aliviar de acumulación de presión interna. Ventear la presión de la conducción de señal a los manómetros, ventear la presión antes de retirar un componente y facilitar calibración de dispositivos.
		VÁLVULA DE SEGURIDAD	Contener, abrir y liberar un aumento de la presión interna del sistema.
		VÁLVULAS DIRECCIONALES	Bloquear y permitir el paso al fluido de alta presión hacia las preventoras.
		MANÓMETRO	Medir la presión del fluidos y gases contenidos en recipientes cerrados un sistema.
		PRESOSTATO	Permitir abrir o cerrar el circuito eléctrico del motor en función de los rango de 2,500 a 3,000 PSI del sistema.

Acorde a la ISO 14224 solo los siguientes componentes se consideran que tienen ítems mantenibles:

Tabla 8. Funciones de los ítems mantenibles de los componentes del Acumulador de presión.

SISTEMA	COMPONENTE	ITEM MANTENIBLE	FUNCIÓN
SISTEMA ACUMULADOR	BOTELLA DE NITRÓGENO	TANQUE DE NITROGENO	Almacenar y producir energía hidráulica con el fin de cerrar y abrir el BOP.
	DEPOSITO DE TALADRINA	DEPOSITO	Contener y almacenar el fluido del sistema.
		FILTROS	Controlar la contaminación por partículas sólidas de origen externas o generadas internamente por el proceso.
		TUBERÍA	Contener y transportar el fluido desde la bomba al deposito y tanques de nitrógeno.
	MOTOR ELÉCTRICO	CARCASA	Contener y proteger los componentes internos del motor.
		ESTATOR	Transmitir la energía eléctrica al rotor.
		ROTOR	Convertir la energía eléctrica en energía mecánica.
		RODAMIENTOS	Sostener, fijar y reducir fricción del rotor.
		ACOMETIDA	Proporcionar protección al motor.
	BOMBA DE PISTONES	SOPORTE	Soportar y asegurar la bomba con sus componentes.
		CARCASA	Contener y protege el fluido y los componentes de la bomba.
		EJE	Resibir la energía mecánica inercial del motor y convertirla en energía cinética hacia los pistones.
		RODAMIENTOS	Sostener, fijar y reducir fricción del rotor, Soportar cargas radiales del rotor brindando mínima resistencia al movimiento.
		SIST. TRANS. CORREAS	Transmitir la energía mecánica inercial del motor al eje de la bomba.
		SELLOS	Permitir unir mecanismos, evitar fuga de fluidos, contener presión y no permitir el ingreso de contaminación a la bomba.
VÁLVULA CHEQUE		Permitir el flujo del fluido en una dirección y cierre automático del fluido en dirección opuesta.	
TUBERÍA		Contener y transportar el fluido desde la bomba al deposito y tanques de nitrógeno.	
PISTONES	Transmitir la energía del fluido desde el deposito hasta los tanques de nitrógeno.		

7.2.2 Sistema Preventoras (Anular y Ariete) función principal y subsistemas.

Componente que permite un control rápido y seguro del pozo en caso de un reventón, sellando el espacio anular alrededor de cualquier elemento de la sarta de trabajo a una presión máxima de 1500 PSI, con el fin de controlar influjos de fluidos salientes de la boca del pozo durante las operaciones de WorkOver.

Tabla 9. Funciones de Preventora Anular y Ariete

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN
SISTEMA PREVENTORAS	SUBSISTEMA BOP ANULAR	PREVENTORA ANULAR	Componente que permite un control rápido y seguro del pozo en caso de un reventón, sellando el espacio anular alrededor de cualquier elemento de la sarta de perforación a una presión máxima de 3000 PSI que se puede encontrar dentro del pozo para controlar influjos de fluidos de formación, durante las operaciones de perforación, completamiento y pruebas.
	SUBSISTEMA BOP ARIETE	PREVENTORA ARIETE	Componente que permite un control rápido y seguro del pozo en caso de un reventón, sellando el espacio anular alrededor de una tubería específica de perforación con una presión de 1500 PSI para controlar influjos de fluidos de formación, durante las operaciones de perforación, completamiento y pruebas.

Acorde a la ISO 14224 solo los siguientes componentes se consideran que tienen ítems mantenibles:

Tabla 10. Funciones de los ítems mantenibles de las Preventoras Anular y Ariete

SISTEMA	COMPONENTE	ITEM MANTENIBLE	FUNCIÓN
SISTEMA PREVENTORAS	PREVENTORA ANULAR	CUERPO	Contener y proteger todos los componentes internos de la preventora.
		BRIDAS	Permitir la unión con otros elementos, contener y acceder a los componentes internos de la preventora.
		UNIDAD DE EMPAQUE	Permitir asegurar la tubería dentro del pozo y cierre completo de la cabeza de pozo ante presiones no aceptadas.
		PISTÓN	Producir presión y alivio a la unidad de empaque.
		SELLOS	Permitir unir mecanismos, evitar fuga de fluidos, contener la presión y no permitir el ingreso de contaminación.
	PREVENTORA ARIETE	CUERPO	Contener y proteger todos los componentes internos de la preventora.
		BRIDAS Y RING	Permitir la unión con otros elementos y contener los componentes de la preventora.
		BLOQUE RAM	Permitir asegurar la tubería dentro del pozo y cierre completo de la cabeza de pozo ante presiones no aceptadas.
		CUCHILLA DE CORTE	Permitir el cierre de la cabeza del pozo por medio del corte de la tubería.
		SELLOS DE LAS RAM	Permitir el acople entre los bloques de arietes y el pozo para contener la presión del pozo.
		PISTÓN	Permitir la apertura y cierre de los bloques de arietes con el fin de prevenir presiones no aceptadas en el pozo.
		SELLOS	Permitir unir mecanismos, evitar fuga de fluidos, contener la presión y no permitir el ingreso de contaminación.

7.2.3 Sistema separador de Gas y TEA portátil función principal y subsistemas. La función principal es proporcionar un seguro y controlado proceso de quemado del gas proveniente del pozo.

Tabla 11. Funciones componentes Sistema separador de Gas y TEA.

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN
SISTEMA SEPARADOR DE GAS Y TEA PORTÁTIL	SUBSISTEMA CHOKE MANIFOLD	CHOKE MANIFOLD	Contener y controlar la presión desde la cabeza del pozo y distribuir los fluidos y gases de acuerdo a la necesidad del pozo.
	SUBSISTEMA SEPARADOR	SEPARADOR	Poder separar el gas del crudo y otros elementos producidos por el pozo.
	SUBSISTEMA TEA	TEA	Proporcionar seguridad y protección al medio ambiente ya que permite liberar de manera controlada y segura los gases producidos por el pozo.

7.2.3.1 Choke Manifold función principal e ítems mantenibles. Contener y controlar la presión desde la cabeza del pozo y distribuir los fluidos y gases de acuerdo a la necesidad del pozo.

Acorde a la ISO 14224 el choke manifold no posee ítems mantenibles, pero debido a los componentes que posee el sistema se procede a analizar los componentes más importantes.

Tabla 12. Funciones de los ítems mantenibles del Choke Manifold.

SISTEMA	COMPONENTE	ITEM MANTENIBLE	FUNCIÓN
SISTEMA SEPARADOR DE GAS Y TEA PORTÁTIL	CHOKE MANIFOLD	TUBERÍA	Contener y transportar los fluidos y otros elementos producidos por el pozo al separador.
		VÁLVULA CHOKE	Contener y controlar la presión desde la cabeza del pozo y distribuir los fluidos y gases de acuerdo a la necesidad del pozo.
		CRUZ	Controlar y restringir el paso del fluido generado por el pozo.
		VÁLVULA MANUAL	Controlar y restringir el paso del fluido generado por el pozo.
		MANÓMETRO	Leer la presión en el colector del acumulador, el colector de presión y el regulador anular.

7.2.3.2 Separador de gas función principal e ítems mantenibles. Recipiente en forma vertical con el fin de separar el gas de, el crudo y otros elementos producidos por el pozo.

Acorde a la ISO 14224 solo los siguientes componentes se consideran que tienen ítems mantenibles:

Tabla 13. Funciones de los ítems mantenibles del Separador de Gas.

SISTEMA	COMPONENTE	ITEM MANTENIBLE	FUNCIÓN
SISTEMA SEPARADOR DE GAS Y TEA PORTÁTIL	SEPARADOR DE GAS	CUERPO	Recipiente en forma vertical con el fin de separar el gas de, el crudo y otros elementos producidos por el pozo.
		SOPORTE	Soportar y asegurar posición vertical del cuerpo del separador de gas.
		VÁLVULA	Regular el flujo del fluido canalizado en el separador.
		TUBERÍA	Contener y transportar los fluidos y otros elementos producidos por el pozo al separador.

7.2.3.3 TEA función principal e ítems mantenibles. Proporcionar seguridad y protección al medio ambiente ya que permite liberar de manera controlada y segura los gases producidos por el pozo.

Acorde a la ISO 14224 la TEA no posee ítems mantenibles, pero debido a los componentes que posee el sistema se procede a analizar los componentes más importantes.

Tabla 14. Funciones de los ítems mantenibles de la TEA.

SISTEMA	COMPONENTE	ITEM MANTENIBLE	FUNCIÓN
SISTEMA SEPARADOR DE GAS Y TEA PORTÁTIL	TEA	TUBERÍA	Contener y transportar los fluidos y otros elementos producidos por el pozo al separador.
		VÁLVULA ARRESTA LLAMA	Permitir el paso del gas obtenido por el separador en un sentido e impedir el paso de la llama en la dirección contraria.
		TEA	Proporcionar seguridad y protección en el proceso de quema del gas.
		SISTEM DE CONTROL	Suministrar señal de alto voltaje al piloto de ignición de forma controlado.
		PILOTO DE IGNICIÓN	Generar una llama controlada para el encendido seguro del quemador de la TEA.
		TANQUE DE CONTENCIÓN	Almacenar y contener residuos producidos por la quema del gas en la TEA y fluidos que pasaron por la tubería.
		WINCHE	Levantar y mantener vertical el piloto de ignición.

8. METODOLOGÍA

8.1 CREACIÓN PLANTILLA FMECA

Comprendiendo el funcionamiento de los equipos a analizar, se procede a la creación de la plantilla teniendo como base la norma ISO 14224, implementando las siglas, códigos y valores contemplados.

Para un mejor manejo del taller, se procede a entregarle a cada participante las tablas que se presentaran a continuación, acorde a los códigos asignados a la ISO 14224 con sus respectivas denominaciones, esto se realiza con el fin de manejar un mismo lenguaje entre todos los participantes, debido a que solo se debe mencionar el número asignado del texto (Especificación detallada de lo deseado) y se ingresa en la plantilla, la cual rellenara automáticamente su respectiva denominación, generando en el taller una buena comunicación en la cual se asegura un mismo lenguaje ante los lectores, comodidad en el desarrollo del taller y reducción de tiempo de trabajo al personal.

8.1.1 Modo potencial de falla. El modo de falla se define como un evento o manera como se manifiesta un objeto o proceso que se encuentra en falle y afecta la función principal del componente o sistema a analizar.

Estos modos de falla se dividieron según la especialidad acorde a la norma ISO 14224.

8.1.2 Mecanismos de fallas. Se defino como el mecanismo o mecanismos de deterioro que generan el modo de falla, procesos que generan cambios perjudiciales

ya sean por influencias externas o en el tiempo, provocando afectaciones en las condiciones y propiedades mecánicas de los materiales.

Estos mecanismos de falla se dividen en 6 grupos acorde a la ISO 14224 como se aprecia a continuación:

Tabla 15. Mecanismos de falla según la ISO 14224.

Numero	Notación	codigo	Notación	Descripción
1	Fallas mecánicas	1	General	Una falla relacionada con algún defecto mecánico pero donde no se conocen más detalles
		1.1	Fugas	Fuga externa e interna, ya sea líquida o gaseosa: si el modo de falla a nivel de unidad de equipo está Fuga, un mecanismo de falla orientado más causalmentecodificado como debe usarse siempre que sea posible.
		1.2	Vibración	Vibración anormal: si el modo de falla en el equipo el nivel es la vibración, que es una orientación más causal mecanismo de falla, la causa de la falla (causa raíz) debería ser grabado siempre que sea posible.
		1.3	Despeje/falla de alineación	Falla causada por una holgura o alineación defectuosa
		1.4	Deformación	Distorsión, flexión, pandeo, abolladuras, ceder, encogerse, ampollas, arrastramiento, etc.
		1.5	Soltura	Desconexión, artículos sueltos
		1.6	Pegar	Adherirse, incautarse, atascarse debido a razones que no sean fallas de deformación o despeje / alineamiento
2	Falla material	2	General	Una falla relacionada con un defecto material pero sin más detalles conocido
		2.1	Cavitación	Pertinente para equipos tales como bombas y válvulas
		2.2	Corrosión	Todos los tipos de corrosión, tanto húmeda (electroquímica) como seca
		2.3	Erosión	desgaste erosivo
		2.4	Desgaste	Desgaste abrasivo y adhesivo, p. puntuación, irritación, raspado, corrosión
		2.5	Rotura	Fractura, brecha, crack
		2.6	Fatiga	Si la causa de la rotura se puede remontar a la fatiga, este código debe ser utilizado.
		2.7	Sobrecalentamiento	Daño material debido a sobrecalentamiento / quema
		2.8	Estallidos	Explosión del artículo, soplado, explotado, implosionado, etc.
3	Falla de instrumentos	3	General	Falla relacionada con la instrumentación, pero no se conocen detalles
		3.1	Falla de control	No, o defectuoso, regulación
		3.2	Sin señal/indicación / alarma	Sin señal / indicación / alarma cuando se espera
		3.3	Señal defectuosa /indicador / alarma	La señal / indicación / alarma es incorrecta en relación con la real proceso. Puede ser espurio, intermitente, oscilante, arbitrario
		3.4	Fuera de ajuste	Error de calibración, deriva de parámetros
		3.5	Falla del software	Fallo, o no, control / monitoreo / operación debido a falla de software
		3.6	Causa común/modo de falla	Varios elementos del instrumento fallaron simultáneamente, p. detectores redundantes de fuego y gas; también fallas relacionadas con una causa común.

4	Falla Eléctrica	4	General	Fallas relacionadas con el suministro y transmisión de energía eléctrica, pero donde no se conocen más detalles
		4.1	Cortocircuito	Cortocircuito
		4.2	Circuito abierto	Desconexión, interrupción, cable / cable roto
		4.3	Sin potencia / voltaje	Falta o insuficiencia de suministro eléctrico
		4.4	Defectuoso potencia / voltaje	Suministro de energía eléctrica defectuoso, p. sobretensión
		4.5	Tierra / falla de aislamiento	Fallo a tierra, baja resistencia eléctrica
5	Influencias Externas	5	General	Falla causada por algunos eventos externos o sustancias fuera del límite, pero no se conocen más detalles
		5.1	Bloqueo / tapado	Flujo restringido / bloqueado debido a suciedad, contaminación, glaseado, aseguramiento de flujo (hidratos), etc.
		5.2	Contaminación	Líquido / gas / superficie contaminada, p. aceite de lubricación contaminado, cabeza del detector de gas contaminada
		5.3	Diverso Influencias externas	Objetos extraños, impactos, influencia ambiental de sistemas vecinos
6	Diversos	6	General	Mecanismo de falla que no cae en uno de los categorías mencionadas anteriormente
		6.1	No se encontró ninguna causa	Fracaso investigado pero causa no revelada o también incierto
		6.2	Causas combinadas	Varias causas: si hay una causa predominante esto debe ser codificado.
		6.3	Otros	Sin código aplicable: use texto libre.
		6.4	Desconocido	no hay información disponible

8.1.3 Métodos de detección. Método de detección se define como la actividad actual en la cual se detectó el modo de falla.

Estos métodos de detección se dividen en 10 actividades acorde a la ISO 14224 como se aprecia a continuación:

Tabla 16. Métodos de detección según la ISO 14224.

Numero	Notación	Descripción	Actividad
6	Mantenimiento periodico	Falla descubierto durante el servicio preventivo, reemplazo o revisión de un artículo al ejecutar el mantenimiento preventivo programa	Horario de actividades
5	Pruebas funcionales	Falla descubierto activando una función prevista y comparando la respuesta contra un estándar predefinido. Esto es un método típico para detectar fallas ocultas	
4	Inspección	Falla descubierta durante la inspección planificada, p. visual inspección, pruebas no destructivas	
3	Monitoreo de condición periodica	Fallas reveladas durante una condición planificada y programada monitoreo de un modo de falla predefinido, ya sea manualmente o automáticamente, p. termografía, medición de vibraciones, aceite análisis, muestreo	
1	Monitoreo de condición continua	Las fallas reveladas durante un monitoreo de estado continuo de un modo de falla predefinido	Monitoreos continuos
2	Interferencia de producción	Falla descubierto por trastorno de producción, reducción, etc.	
8	Observación casual	Observación casual durante controles rutinarios u ocasionales del operador, principalmente por los sentidos (ruido, olor, humo, fuga, apariencia, etc.)	Ocurrencias casuales
10	Mantenimiento correctivo	Falla observada durante el mantenimiento correctivo	
9	Bajo demanda	Falla descubierta durante un intento bajo demanda para activar un unidad del equipo (por ejemplo, la válvula de seguridad no se cierra con la señal ESD, falla iniciar una turbina de gas a demanda, etc.)	
7	Otros	Otro método de observación y / o combinación de varios métodos	Otras

8.1.5 Efectos de la falla. El efecto de la falla se define como el impacto que puede o genera el modo de falla en la función del componente o el sistema a analizar. Debido a que pueden variar los efectos de la falla en cada componente y sistema, se deja la opción abierta a criterio de los participantes del taller.

8.1.6 Valoración de los modos de falla. Se procede a asignar al efecto de la falla el grado de consecuencia (acorde a la categoría que más afecta) y la probabilidad de que esta falla se genera o se puede generar en la organización. Para este proceso se implementa la tabla RAM con sus respectivos valores.

8.1.6.1 Consecuencia. La consecuencia se realiza acorde a los estándares generales dividiéndose en 5 categorías:

- Consecuencia a personas: Enfocado a la vida e integridad humana, enfocado en la probabilidad de dañar de forma leve, severa o fatal a cualquier trabajador o personas de la comunidad.
- Consecuencia económica: Enfocado a valores de repuestos, mano de obra de mantenimiento y detención de las actividades que los equipos realizan.
- Consecuencia ambiental: Enfocado al impacto ambiental que puede generar alrededor de la zona que se está trabajando, ya sea en barriles de crudo, área superficial afectada, tiempo de limpieza y recursos naturales o especies afectadas.
- Consecuencia en clientes: Enfocado a pérdida a quejas, reclamos o pérdida de clientes e inversionistas en la empresa.
- Consecuencia en reputación: Enfocado en el trabajo y prestigio de la empresa, debido a que puede ser objeto de noticias y medios de comunicación nacionales e internaciones afectando directamente su reputación para próximos proyectos.

Tabla 17. Consecuencias

CONSECUENCIAS					
CATEGORÍAS					VALOR
PERSONAS	ECONÓMICA (USD\$)	AMBIENTAL	CLIENTES	REPUTACIÓN	
Una o más fatalidades de trabajadores o incapacidades permanentes a personal de la comunidad	$X > 10$ millones	Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Internacional	5
Incapacidad permanentes (total o parcial) de trabajadores o incapacidad temporal de personal de la comunidad	$1 \text{ millón} < X \leq 10$ millones	Importante	Pérdida de clientes de mercado sensible o prioritario	Nacional y con rechazo de un grupo de interés	4
Incapacidad temporal (mayor o igual a 1 día) de trabajadores y hospitalización en centros asistenciales de personal de la comunidad	$100.000 < X \leq 1$ millón	Localizada	Desabastecimiento y/o pérdida de clientes	Nacional y sin rechazo de un grupo de interés	3
Lesión menor trabajadores (sin incapacidad), sin hospitalización a personal de la comunidad	$10.000 < X \leq 100.000$	Menor	Quejas y/o reclamos	Nacional y baja importancia	2
Lesión leve trabajadores (primeros auxilios)	$X \leq 10.000$	Leve	Incumplimiento de especificaciones del cliente	Local y baja importancia	1
Sin lesión	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	0

8.1.6.2 Probabilidad. Es necesario clasificar las probabilidades de que las fallas ocurran en los equipos a analizar, por ello se analiza el historial de la empresa y en otras empresas, ya sean de nivel nacional o internacional.

Tabla 18. Probabilidad.

PROBABILIDAD	
CATEGORÍAS	Valor
Sucede varias veces al año en el departamento. Puede transcurrir en el transcurso del año	5
Sucede varias veces al año en la empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años	4
Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años	3
Ha ocurrido en la empresa o en la industria	2
No ha ocurrido en la industria	1

8.1.7 RPN. El número de prioridad de riesgo (RPN), es el valor que establece una jerarquización entre una escala de 1 a 1000, que nos indica la prioridad que se le debe dar a cada falla para eliminarla, donde 1 es el más bajo y 1000 el más alto. Este valor se obtiene a través de la multiplicación:

$$\text{NPR} = \text{Consecuencia} * \text{Probabilidad} * \text{Detección}$$

8.1.8 Criticidad. Criticidad se define como el grado de importancia del efecto de la falla. Este valor se obtiene a través de la multiplicación:

$$\text{Criticidad} = \text{Consecuencia} * \text{Probabilidad}$$

Acorde al valor obtenido se procede a definir en qué zona de la matriz RAM se encuentra, la cual se divide en 4 zonas de criticidad:

- Criticidad Nula (Color verde y valores entre 0 a 4).

- Criticidad Leve (Color rosa y valores entre 4 a 6).
- Criticidad Media (Color Amarillo y valores entre 5 a 12)
- Criticidad Alta (Color Naranja y valores entre 15 a 20)
- Criticidad Extrema (Color Rojo y valor de 25)

Figura 10. Valoración RAM.

RAM		PROBABILIDAD				
		1	2	3	4	5
C O N S E C U E N C I A	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
	0	0	0	0	0	0

8.1.9 Tarea de mantenimiento. Se define como las acciones preventivas, correctivas o de mejora que se deben implementar, para ello se especifica el responsable de la actividad, frecuencia, duración y cantidad de personas que se necesita para realizar la actividad establecida de mejora, ya sea para eliminar o reducir el riesgo del modo de falla.

Estas acciones recomendadas se agruparon en 12 categorías de mantenimiento acorde a la ISO 14224 como se aprecia a continuación:

Tabla 19. Tareas de mantenimiento según la ISO 14224.

Numero	Actividad	Descripción	Ejemplos
1	Reemplazar	Reemplazo del artículo por un artículo nuevo o restaurado del mismo tipo y hacer	Reemplazo de un cojinete desgastado
2	Reparar	Acción de mantenimiento manual realizada para restaurar un elemento a su apariencia original o estado	Rempaqué, suelde, enchufe, reconecte, rehaga, etc.
3	Modificar	Reemplace, renueve o cambie el artículo, o una parte del mismo, por un artículo / parte de un tipo, marca, material o diseño diferente	Instale un filtro con un diámetro de malla más pequeño, reemplace una bomba de aceite de lubricación con otro tipo, reconfiguración, etc.
4	Ajustar	Llevar cualquier condición fuera de tolerancia a tolerancia	Alinear, configurar y restablecer, calibrar, equilibrar
5	Reacondicionar	Menor actividad de reparación / servicio para devolver un artículo a una apariencia aceptable, interna y externa	Pulir, limpiar, moler, pintar, cubrir, lubricar, cambiar aceite, etc.
6	Comprobar (Chequear)	Se investiga la causa de la falla, pero no se realiza ninguna acción de mantenimiento o se pospone la acción. Capaz de recuperar la función mediante acciones simples, p. reiniciar o restablecer	Reiniciar, reiniciar, sin acciones de mantenimiento, etc. Especialmente relevante para fallas funcionales, p. detectores de fuego y gas, equipos submarinos
7	Servicio	Tareas de servicio periódico: normalmente no se desmantela el artículo	p.ej. limpieza, reabastecimiento de consumibles, ajustes y calibraciones
8	Probar	Prueba periódica de funcionamiento o rendimiento	Prueba de función del detector de gas, prueba de precisión del medidor de flujo
9	Inspeccionar	Inspección / verificación periódica: un escrutinio cuidadoso de un artículo llevado a cabo con o sin desmontaje, normalmente mediante el uso de los sentidos	Todos los tipos de cheque general. Incluye servicio menor como parte de la tarea de inspección
10	Revisión	Grandes reparaciones	Inspección / revisión general con desmontaje y reemplazo extensos de los artículos según se específica o se requiere
11	Combinación	Varias de las actividades anteriores están incluidas	Si una actividad domina, esto puede ser registrado alternativamente
12	Otros	Actividad de mantenimiento distinta de la especificada anteriormente	Dominar

8.1.10 Causa de la falla. La causa de falla se define como la circunstancia ya sea por diseño, fabricación, instalación o uso los cuales han conducido a la falla del componente o sistema a analizar.

Estas causas de falla se dividen en 6 grupos acorde a la ISO 14224 como se aprecia a continuación:

Tabla 20. Causa de la falla según la ISO 14224.

Numero	Notación	Codigo	Notación	Descripción
1	Causas relacionadas con el diseño	1	General	Diseño o configuración de equipos inadecuados (forma, tamaño, tecnología, configuración, operabilidad, mantenibilidad, etc.), pero no se conocen más detalles
		1.1	Capacidad inadecuada	Dimensionamiento / capacidad inadecuados
		1.2	Material inapropiado	Selección de material incorrecta
2	Causas relacionadas con instalación/ fabricación	2	General	Falla relacionada con la fabricación e instalación, pero no más detalles conocidos
		2.1	Error de fabricación	Falla de fabricación o procesamiento
		2.2	Error de instalación	Instalación o falla de ensamblaje (montaje después mantenimiento no incluido)
3	Fallas relacionadas con operación/ mantenimiento	3	General	Falla relacionada con la operación / uso o mantenimiento de la equipo pero no se conocen más detalles
		3.1	Servicio fuera de diseño	Condiciones de servicio no planificadas o no deseadas, p. operación del compresor fuera envoltorio, presión encima de la especificación, etc.
		3.2	Erro de operación	Error, mal uso, negligencia, descuidos, etc. Durante operación
		3.3	Error de mantenimiento	Error, errores, negligencia, descuidos, etc. Durante mantenimiento
		3.4	Desgaste esperado y desgarre	Falla causada por el desgaste resultante de operación normal de la unidad de equipo
4	Fallas relacionadas con la gestión	4	General	Falla relacionada con problemas de gestión, pero no más detalles conocidos
		4.1	Error de documentación	Falla relacionada con procedimientos, especificaciones, dibujos, informes, etc.
		4.2	Error de gestión	Falla relacionado con la planificación, organización, calidad aseguramiento, etc.
5	Diversos (miseláneo)	5	Miseláneo - General	Causas que no entran en una de las categorías listados arriba
		5.1	Ninguna causa encontrada	Fracaso investigado pero no se encontró una causa específica
		5.2	Causa común	Causa / modo común
		5.3	Causas combinadas	Varias causas están actuando simultáneamente. Si uno porque la causa es predominante, esta causa debe ser resaltado.
		5.4	Otros	Ninguno de los códigos anteriores aplica. Especifique causa como texto libre.
		5.5	Desconocido	No hay información disponible relacionada con la causa de la falla

8.2 EQUIPO CONFORMADO PARA EL TALLER

El equipo solicitado para el desarrollo del taller es personal multidisciplinario, con los cuales se realizaron reuniones acordes a la experiencia de trabajo que ellos realizan con los respectivos equipos a analizar:

- Personal de mantenimiento: Personal con conocimiento en los componentes del equipo y experiencia en las tereas de mantenimiento que han desarrollado durante el transcurso de su experiencia laboral.

- Personal de operaciones: Personal con conocimiento en el control y funcionamiento de los equipos debido a la interacción con ellos durante el transcurso de su experiencia laboral.
- Personal de confiabilidad: Personal con conocimiento en toda la información relacionada con los equipos dentro de la empresa (Información técnica, historial de fallas e intervenciones, actividades de mantenimiento actuales y recomendadas por el fabricante).

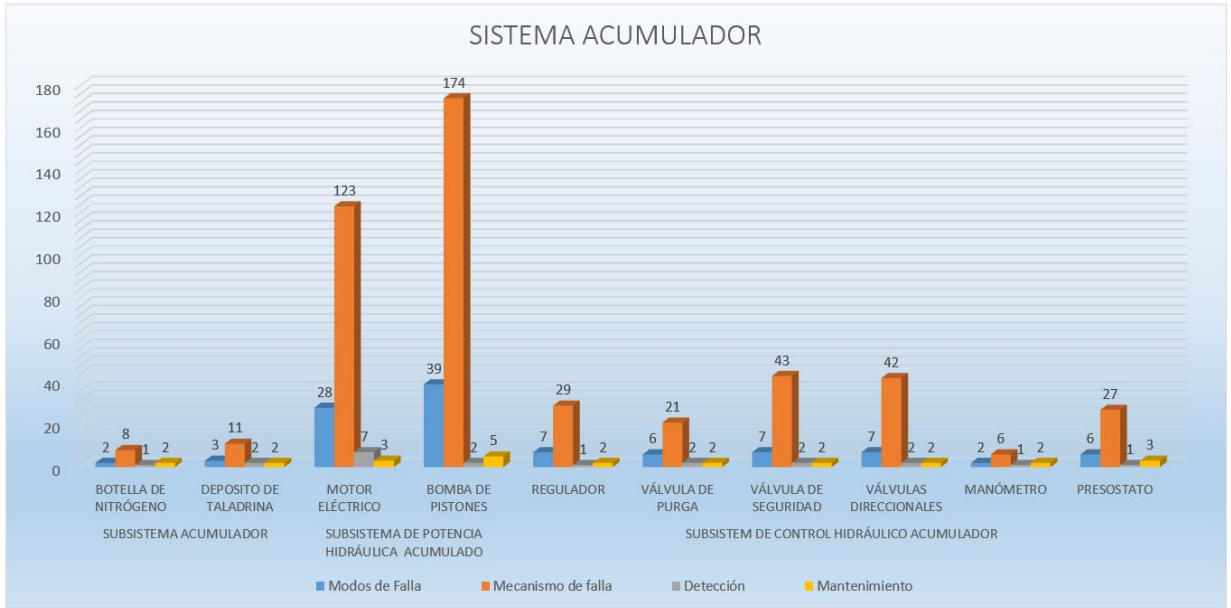
8.3 LISTADO DE TAREAS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a cada equipo analizado, donde se detalla los modos, mecanismos y métodos de detección de las fallas con las actividades de mantenimiento recomendadas.

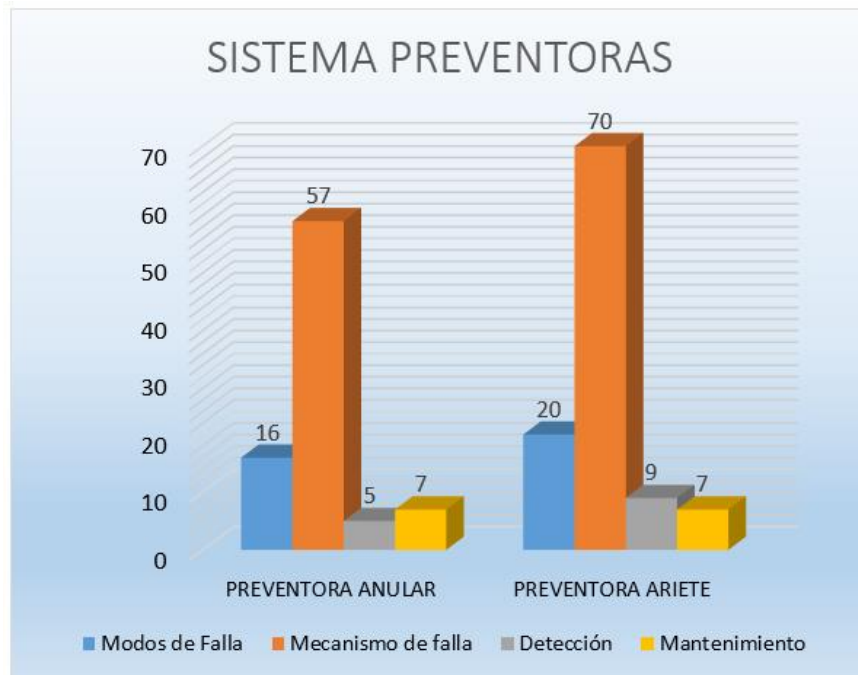
Tabla 21. Modos, Mecanismo y detección de falla con las actividades de mantenimiento para el sistema de control de pozo.

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	Modos de Falla	Mecanismo de falla	Detección	Mantenimiento
SISTEMA ACUMULADOR	SUBSISTEMA ACUMULADOR	BOTELLA DE NITRÓGENO	2	8	1	2
		DEPOSITO DE TALADRINA	3	11	2	2
	SUBSISTEMA DE POTENCIA HIDRÁULICA ACUMULADO	MOTOR ELÉCTRICO	28	123	7	3
		BOMBA DE PISTONES	39	174	2	5
	SUBSISTEMA DE CONTROL HIDRÁULICO ACUMULADOR	RÉGULADOR	7	29	1	2
		VÁLVULA DE PURGA	6	21	2	2
		VÁLVULA DE SEGURIDAD	7	43	2	2
		VÁLVULAS DIRECCIONALES	7	42	2	2
		MANÓMETRO	2	6	1	2
		PRESOSTATO	6	27	1	3
SISTEMA PREVENTORAS	SUBSISTEMA BOP ANULAR	PREVENTORA ANULAR	16	57	5	7
	SUBSISTEMA BOP ARITE	PREVENTORA ARIETE	20	70	9	7
SISTEMA SEPARADOR DE GAS Y TEA PORTÁTIL	SUBSISTEMA CHOKE MANIFOLD	CHOKE MANIFOLD	10	31	2	8
	SUBSISTEMA SEPARADOR	SEPARADOR DE GAS	4	11	2	3
	SUBSISTEMA TES	TEA	38	144	8	12

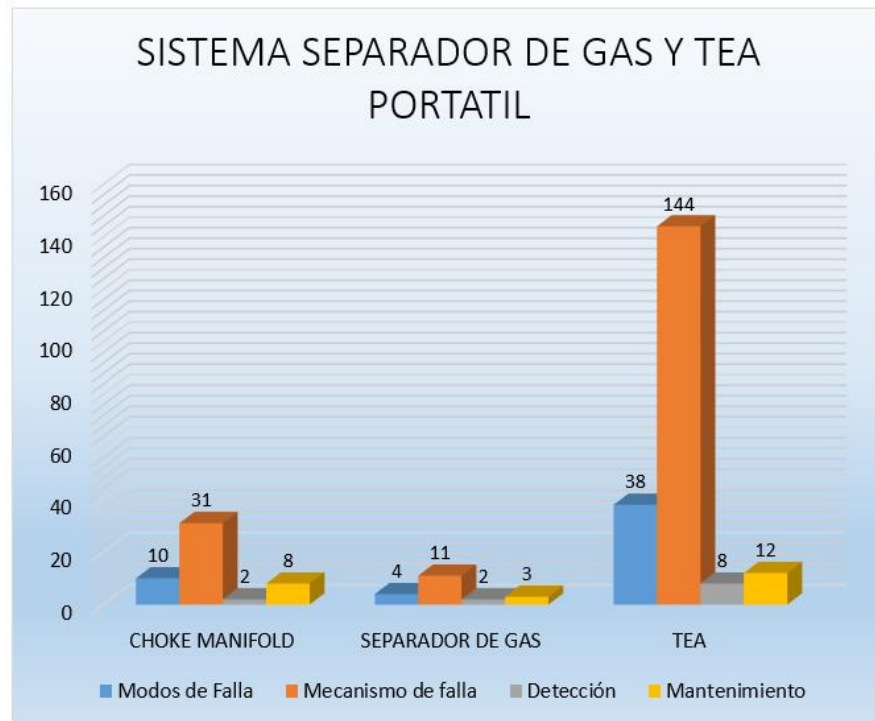
Gráfica 1. Resultados FMECA del Sistema Acumulador



Gráfica 2. Resultados FMECA del Sistema Preventoras.



Gráfica 3. Resultado FMECA del Sistema separador de gas y TEA portátil.



A continuación, se muestran las actividades de mantenimiento acorde a lo desarrollado en el taller FMECA y las recomendaciones dadas por el fabricante de cada equipo (Manual de mantenimiento).

Tabla 22. Actividades de Mantenimiento Sistema Acumulados

EQUIPO	Descripción de la operación	Número de personas	Duración	Unidad (Horas)	Frecuencia
ACUMULADOR	Cambiar Tubería Acumulador	2	7	H	6 Años
	Pintar Acumulador	2	16	H	1 Año
	Inspección Sistema Componentes Acumulador	2	0,5	H	2 Seamanas
	Medir presión de trabajo Tanque Nitrogen	2	0,5	H	1 Mes
	Realizar Mtto Deposito, drenar y limpiar	2	4	H	1 Año
	Revisar y llenar regularmente Deposito	2	4	H	1 Mes
	Limpiar filtros, cambiar por condición	2	0,5	H	1 Año
	Cambiar Bomba	2	2	H	3 Años
	Prueba de arranque sistema Hidráulico	2	2	H	6 Meses
	Reemplazar Correa de transmisión Bomba	2	0,5	H	3 Años
	Limpiar internamente la Válvula Cheque	2	2	H	6 Meses
	Cambiar la Válvula Cheque	2	1	H	3 Años
	Realizar Mtto General válvula reguladora	2	5	H	3 Años
	Cambiar Válvula de purga	2	1	H	3 Años
	Cambiar Válvulas Direccionales	2	2	H	3 Años
	Inspeccionar Visualmente de Tubería	2	0,5	H	2 Seamanas
	Mantenimiento Eléctrico Acumulador	2	3	H	2 Seamanas
	Mantenimiento Motor Eléctrico	2	2	H	3 Meses
	Mantenimiento Lampara	2	1	H	2 Seamanas
	Verificar Instrumentos Hidráulicos	2	1,5	H	4 Meses

Tabla 23. Actividades de Mantenimiento Sistema separador de gas y TEA portátil.

EQUIPO	Descripción de la operación	Número de personas	Duración	Unidad (Horas)	Frecuencia
CHOKE MANIFOLD	Verificar estado del Choke Ajustable	2	16	H	1 Año
	Verificar estado de Choke Manifold	2	16	H	1 Año
	Aplicar tintas penetrantes Choke Manif	2	7	H	1 Año
	Aplicar tintas penetrantes Choke Ajustab	2	7	H	1 Año
	Realizar Scan A y B pintura a la Tubería	2	2	H	1 Año
	Realizar insp calib manómetros Choke Aju	2	0,5	H	3 Meses
	Realizar insp calib manómetros Choke Man	2	0,5	H	3 Meses
	Realizar inspección y lubricación Winche	2	1	H	1 Mes
SEPARADOR	Realizar Scan A y B para separador	2	4	H	2 Años
	Lubricar válvula de bola Separador	2	1	H	6 Meses
	Inspeccionar válvula de bola Separador	2	1	H	2 Años
TEA	Realizar insp y limpieza Arrestallama	2	12	H	6 Meses
	Realizar limpieza general y tomar datos	2	3	H	1 Mes
	Revizar niveles de batería ajuste conect	2	1	H	1 Mes
	Realizar limpieza y ajuste Uniones Tuber	2	0,5	H	1 Año
	Realizar limpieza y ajuste rosca Tub TEA	2	2	H	1 Mes
	Scan A y pintura de Tubería	2	2	H	1 Año
	Medir resistencia de puesta a tierra	2	1	H	1 Año
	Realizar inspecc visual Puesta a Tierra	2	0,5	H	3 Meses
	Realizar inpecc y lubricación chumacera	2	0,5	H	1 Mes
	Realizar inspección y lubricación winche	2	1	H	1 Mes
	Limpieza general y pintura de Estructura	2	40	H	4 Años
	Realizar mantto y pintura TK contención	2	1	H	4 Años

Tabla 24. Actividades de Mantenimiento Sistema Preventoras.

EQUIPO	Descripción de la operación	Número de personas	Duración	Unidad (Horas)	Frecuencia
PREVENTORA ANULAR	Realizar Mantto preventora Anular	2	8	H	3 Años
	Revisar cuerpo cheque roscas BOP Anular	2	8	H	1 Años
	Cambiar y lubricar sellos BOP Anular	2	8	H	1 Años
	Revisar empaque linea BOP Anular	2	8	H	1 Años
	Revisar pistón y sellos BOP Anular	2	8	H	1 Años
	Revisar ring gaskets BOP Anular	1	0,3	H	1 Años
	Diagnostico y certificación BOP Anular			H	5 Años
PREVENTORA ARIETE	Realizar Mantto preventora de Areite	1	4	H	3 Años
	Revisar cuerpo chequeo roscas Prev Ariet	1	4	H	1 Años
	Revisar tapas laterales limpiar y lubric	1	4	H	3 Años
	Revisar pistón cambiar si es necesario	2	4	H	1 Años
	Cambiar sellos y lubricar BOP Ariete	2	16	H	1 Años
	Revisar bridas y ring gaskets BOP Ariete	2	4	H	1 Años
	Diagnostico y certificación BOP Ariete			H	5 Años

9. CONCLUSIONES

El pilar para el desarrollo de la metodología es partir por la base de datos de información, debido a la poca información encontrada, lo mínimo que se debe contemplar por la escasa información:

- Ficha técnica del equipo.
- Manual de mantenimiento.
- Manual de partes.

La distribución por sistemas, componentes e ítems mantenibles de cada equipo analizado con su determinada frontera (Función), proporcionó un desarrollo más versátil y entendible entre los participantes del taller al momento de identificar los efectos, consecuencias y probabilidad de las fallas determinadas.

La implementación de la norma ISO 14224 Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and Exchange of reliability and maintenance data for equipment, nos presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos, esta información nos permite cuantificar la confiabilidad del equipo y compararla con la confiabilidad de equipos de características similares.

Se pudo determinar que varios componentes de los equipos, no es necesario realizarle ningún plan de mantenimiento preventivo si no correctivo, debido al costo y tiempo que contemplaría, por ello es más factible realizar un cambio completo del componente acorde a la experiencia de los participantes.

Es necesario mantener un mismo lenguaje de escritura al momento de ingresar las actividades de mantenimiento, debido a que varias de estas actividades aplican a

varios componentes, por lo cual se agruparon para evitar un plan de mantenimiento extenso y repetitivo.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR-OTERO, José R.; TORRES-ARCIQUE, Rocío; MAGAÑA-JIMÉNEZ, Diana Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad *Tecnología, Ciencia, Educación*, vol. 25, núm. 1, 2010 pp. 15-26

ANGARITA PARRA Néstor Javier PORTILLA FUENTES Juan José Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para el equipo crítico del sistema de control de pozo de los taladros de perforación de pozos petroleros de la gerencia equipo pesado - Mansarovar Energy Colombia LTD. (M.E.C.L. – G.E.P.) Bucaramanga: universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela de Ingeniería Mecánica Especialización en Gerencia de Mantenimiento 2013

BLANCO-CÁCERES, Jurgen Stick, DUQUE- Oscar Manuel. Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos de la Empresa Comercializadora LICRATEX C.A Mundo Fesc, 15 (1) 2018, 41-48, Enero/Junio 2018, ISSN 2216-0353

CABEZA MANRIQUE Jaime Alfonso PADILLA MULFORD Sergio Andres Diseño de un plan para mejorar la confiabilidad de los equipos críticos de la empresa Inser Ltda mediante la metodología FMECA y RCA Cartagena D.T.C.: Universidad Tecnológica de Bolívar Especialización Gerencia de la Producción y Calidad. 2010

CASTIBLANCO-JIMÉNEZ, Ivonne Angélica MARTÍNEZ-CASTRO Natalia MENCOSIERRA Martha Liliana. Estrategias de aprendizaje de FMEA y elementos

productivos con Lego. Educación en Ingeniería, 14(28), pp. 7-17, Marzo - Julio de 2019

CURSO DE BOP El conjunto preventor de reventones (BOP) Pride Training Center Argentina

ECOPETROL. Equipo para el control del pozo ACT: 2006

ISO. Norma ISO. 14224 Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment 2006

MARTÍNEZ LUGO, Cesar Alejandro Implementación de un análisis de modo y efecto de falla en una línea de manufactura para juguetes. Proyecto de Grado. Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica División de Estudios de Postgrado. 2004

OSORIO CÁRCAMO Gastón Amavi. Análisis FMECA a sistema de posicionamiento de platinas de refinadora de pulpa de papel diseñada para papelera Gubelin LTDA. Tesis Valdivia – Chile: Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil Mecánica 2010

SÁNCHEZ SÁNCHEZ DE PUERTA, Benito Alberto Diseño de un plan de mantenimiento mediante metodología RCM para una línea de valorización de PEBD Convocatoria: Julio 2016