

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i13.0155>

ANÁLISIS MODAL FALLA – EFECTO DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES DE UNA ESTACIÓN DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS

FAILURE MODAL ANALYSIS – EFFECT OF THE MAIN EQUIPMENT OF A HYDROCARBON PUMPING STATION

Velásquez-García Pedro Arturo ¹; Torres-Rodríguez Roberto Manuel ²

¹ Estudiante de la Maestría en Mantenimiento Industrial, Mención Gestión eficiente del Mantenimiento, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.
Correo: pvelasquez1622@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-0448-0662>

² Docente del departamento de Mecánica, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.
Correo: roberto.torres@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2582-6840>

Resumen

La Gestión de mantenimiento tiene como objetivo garantizar la continuidad de la operatividad de los procesos, evitando retrasos por averías de equipos y máquinas por medio de la gestión efectiva de sus diferentes recursos, con el fin de lograr un programa de mantenimiento efectivo y acorde a los objetivos empresariales, para ello, hace uso de diferentes metodologías para poder obtenerlo. El presente trabajo muestra como el Análisis Modal Falla – Efecto (AMFE) es una de las técnicas más útiles y versátil dentro de la gestión del mantenimiento al momento de establecer o replantear las actividades a ejecutar en un plan de mantenimiento, en este caso particular del sistema de bombeo de una estación de hidrocarburos, ya que no existen obligaciones, reglas o procedimientos específicos a seguir para desarrollar o implementar un AMFE, se plantea un método que consiste en 7 etapas y que nos permite obtener como resultado los modos de falla de los equipos principales de la estación bombeo como por ejemplo los de una Válvula ESDV (Emergency Shut Down Valves) donde se encontraron 6 diferentes modos de fallos entre los cuales destacaron por su alto IPR 4 de ellos, a los cuales se les establecieron sus respectivas acciones correctoras, por mencionar uno de los equipos. Estos resultados nos permiten observar la importancia de las metodologías en este caso particular del AMFE para lograr un efectivo programa de mantenimiento, por ende, garantizar la operatividad de los equipos y garantizar una buena gestión del mantenimiento.

Palabras clave: Modos de Fallo, AMFE, plan de mantenimiento.

Abstract

Maintenance Management aims to guarantee the continuity of the operation of the processes, avoiding delays due to equipment and machine breakdowns through the effective management of its different resources, in order to achieve an effective maintenance program in accordance with the business objectives, for this, it uses different methodologies to obtain it. This work shows how Failure Modal Analysis – Effect (FMEA) is one of the most useful and versatile techniques within maintenance management when establishing or rethinking the activities to be executed in a maintenance plan, in this particular case of pumping system of a hydrocarbon station, since there are no specific obligations, rules or procedures to follow to develop or implement an FMEA, a method is proposed that consists of 7 stages and that allows us to obtain as a result the failure modes of the main equipment of the pumping station such as those of an ESDV Valve (Emergency Shut Down Valves) where 6 different failure modes were found, among which 4 of them stood out for their high IPR, for which their respective corrective actions were established, to mention one of the teams. These results allow us to observe the importance of the methodologies in this particular case of FMEA to achieve an effective maintenance program,

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 18 de octubre de 2023.

Fecha de aceptación: 19 de diciembre de 2023.

Fecha de publicación: 10 de enero de 2024.



therefore, guarantee the operability of the equipment and guarantee good maintenance management.

Keywords: Failure Modes, FMEA, maintenance plan.

1. Introducción

A nivel mundial uno de los métodos más conocidos para transportar cantidades grandes de hidrocarburos es mediante tuberías de diferentes diámetros las cuales se pueden encontrar enterradas en ciertos tramos y en otros sobre la superficie del suelo, a estos se los conoce como poliductos los cuales, a su vez, cuentan con infraestructura necesaria para administrar los derivados del petróleo que se almacenan en el país como los son Terminales y estaciones de Bombeo. En Ecuador principalmente, para el transporte de hidrocarburos, además de autotanques se utilizan una gran infraestructura de poliductos ubicados estratégicamente por todo el territorio nacional y conectados entre sí de tal manera que se puede lograr distribuir los diferentes derivados del petróleo en todo el país, entre los cuales tenemos diésel, gasolinas, GLP, entre otros, (Granda Tirado, 2021; Núñez et al., 2019). Debido a la gran necesidad

operativa de las estaciones de bombeo de un poliducto para el cumplimiento de la actividad de transporte de hidrocarburos a nivel nacional es de suma importancia garantizar la misma, para ello se hace necesario contar con sistemas compuestos con equipos confiables lo cual se logra con una buena gestión de mantenimiento.

La gestión de mantenimiento consiste en la planificación y programación de un conjunto de tareas siguiendo criterios que depende del tipo de producción y de las políticas o normas de la empresa, para un conjunto de equipos de la planta (Unapanta Arias, 2020). El objetivo básico de cualquier gestión de mantenimiento, consiste en incrementar la disponibilidad de los activos a bajos costos, permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional (Useche et al., 2013). Para toda empresa es importante la eficiencia operativa y el crecimiento, para esto se desarrollan planes y estrategias que junto al

incremento de la demanda de producto, se vuelve necesario que se realice una actualización de sus planes con el fin de buscar mejoras en el rendimiento y asegurar la sostenibilidad del negocio (Zambrano Medina, 2021).

Para Hernández Gómez et al. (2015), una buena gestión del mantenimiento hace uso de diversos métodos para su análisis, entre los más conocidos se tiene el mantenimiento centrado en la confiabilidad, y el mantenimiento productivo total, de igual manera Martinez Monseco and Planagumá Vilamitjana (2021) recalca que la mayoría de estudios y estrategias actuales de optimización del mantenimiento se han basado en el RCM. De hecho, la base del RCM, que sería el análisis AMFE es una base sólida para conocer cualquier activo en la industria actual. Así mismo, menciona que una de las estrategias más útiles que podemos aplicar para la optimización en el día a día de la gestión del mantenimiento es el análisis de modos de fallo y efectos de los sistemas del activo físico.

Según Sosa et al. (2018) el método de análisis de modo y efecto de fallas

identifica de manera general las tendencias con las cuales se establecen las mejoras, sin olvidar la participación activa de cada uno de los sectores que intervienen en un proceso de mantenimiento. Así mismo, Izaguirre Neira and Párraga Velásquez (2017) menciona que el análisis de efectos y modos de falla es una de las técnicas más ampliamente utilizadas para enumerar los posibles modos mediante los cuales los componentes puedan fallar.

Por todo lo expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo resaltar el AMFE como una de las metodologías más convenientes para determinar las actividades y frecuencias más adecuadas en función de los modos de fallas que presentan los diferentes equipos en este caso particular en los del sistema de bombeo de una estación de hidrocarburos, para garantizar la operatividad continua de la estación.

2. Materiales y métodos

Para el desarrollo del presente trabajo se dividió el método en 7 etapas:

Etapa 1. Creación de grupo de trabajo conocedor del proceso en sus diferentes aspectos.

El equipo de trabajo fue multidisciplinario con integrantes de diferentes áreas y con un mínimo de experiencia de 2 años realizando tareas de operaciones o mantenimiento a los equipos que integran el sistema de bombeo de una estación de un poliducto.

Etapa 2. Recolección de la información necesaria del proceso productivo (esquemas, manuales, diagramas) y selección de los procesos, sistemas u operaciones claves.

Se realizó la búsqueda y recolección en la base de datos de la estación de

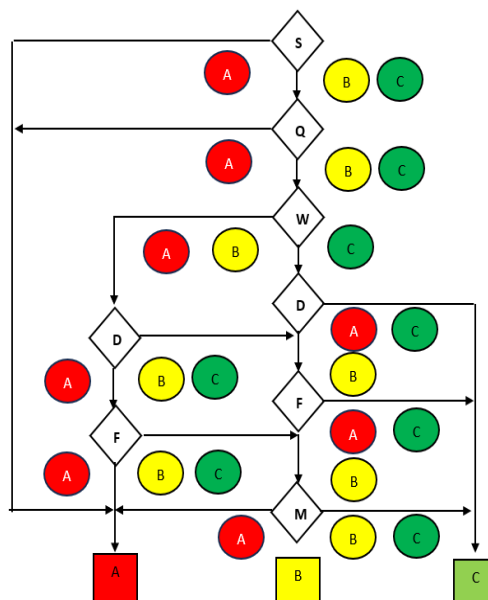
los diagramas de flujo de procesos PFD, los diagramas de tubería e instrumentación P&ID, filosofía de operaciones de la estación y según Martínez Morales (2019) en base al análisis de criticidad el cual es una herramienta que nos permiten identificar y jerarquizar los activos de una instalación por su importancia y sobre los cuales valdrá la pena asignar recursos ya sea humanos, económicos o tecnológicos, se seleccionaron los procesos o sistemas críticos que intervienen directamente en el sistema de bombeo de acuerdo a los siguientes criterios de evaluación y árbol de decisión para determinar la criticidad de sistemas o activos.

Tabla 1. Criterios de evaluación para criticidad de activos

		RANKING		
		A	B	C
S (Seguridad)	En caso de avería la persona, medio ambiente o la máquina está en riesgo	Riesgo alto Accidente registrable, solo o múltiples fatalidades, contaminación ambiental	Riesgo Bajo Baja exposición humana con baja probabilidad de primeros auxilios, sin emisiones ambientales.	No hay riesgo Casi no hay posibilidad de accidentes /enfermedad o daño al medioambiente.
Q (Calidad)	Si una avería ocurre podría afectar la calidad del producto o servicio.	Requerimiento legal	Relacionado con pérdida de calidad o del servicio	No relacionado con pérdidas de calidad o servicio
W (Trabajo)	Disponibilidad del equipo demandado por producción	Equipo trabaja a tres turnos (24 Horas)	Equipo trabaja a dos turnos (16 Horas)	Equipo trabaja a un turno (8 Horas)
D (Entrega)	En caso de avería impacta a la entrega del Producto o suspensión del servicio	Para todo el proceso de producción o servicio, Fuerte impacto en la eficiencia de la planta	Interrumpe el proceso de Producción o servicio impactando la eficiencia de la planta.	No afecta el proceso de Producción o servicio
F (Frecuencia)	Frecuencia de avería	Averías ocurrieron en los últimos 4 meses	Averías ocurrieron entre 4 y 8 meses	La última avería sucedió hace más de 8 meses.

M (Mantenibilidad)	Dato histórico de MTTR	MTTR sobre 2 horas	MTTR entre 45 min y 2 horas	MTTR debajo de los 45 min
-----------------------	------------------------	-----------------------	--------------------------------	------------------------------

Fig. 1. Árbol de decisión para determinar criticidad de activos



Etapas 3. Identificación y recopilación de información de los Ítems Mantenibles del sistema de Bombeo de la Estación (características de equipos, historial de fallas, manuales del fabricante, documentos de referencia, entre otros).

Para identificar los ítems mantenibles se utilizó la información del software de gestión mantenimiento de la empresa, donde se encontraron ciertos ítems o áreas de equipos, los cuales se encuentran bajo una estructura jerárquica recomendada por el estándar ISO 14224. De igual manera se

consideraron los ítems que no constan en el software de gestión de mantenimiento o que en el software se los considere dentro de las áreas de equipos que constan en el sistema y que de acuerdo a la revisión de los diferentes diagramas, observación de campo, historial de fallos y mantenimiento deben ser incluidos por la importancia e influencia que tienen dentro del proceso.

La información de los ítems mantenibles del sistema de bombeo como son características de equipos, funcionamiento, historial de fallas, manuales del fabricante,

documentos de referencia, entre otros, se obtuvieron mediante la búsqueda en la base de datos de la estación, al igual que del software de gestión de mantenimiento.

Etapas 4. Determinación de fallas funcionales, Modos de Fallas, análisis de efectos y causas.

Para determinar las fallas funcionales de los ítems mantenibles del sistema de bombeo de la estación se revisó el principio de funcionamiento de cada ítem y cuál es el propósito que cumple dentro del sistema mediante los manuales de operación o del fabricante que posee la estación y considerando los criterios previos mencionados.

Los modos de fallas se obtuvieron de la revisión de históricos de fallas de los ítems originados mediante la creación y registro de Solicitudes de servicio en el sistema de gestión de mantenimiento, también de los manuales de máquinas y de las experiencias de las personas que integran el equipo del AMFE.

El análisis de las causas y efectos fueron realizados por el equipo de trabajo mediante lluvias de ideas.

Etapas 5. Determinación de Medidas de ensayo y control previstas, Gravedad, Frecuencia, Detectabilidad e IPR (Índice de prioridad de riesgo).

Para determinar las medidas de ensayos y control previstas se revisaron los controles documentados en la estación de bombeo. De igual manera quedó a criterio del grupo de trabajo incluir o no estas medidas en la matriz o formulario del AMFE.

Para la clasificación y ponderación de la gravedad, frecuencia, detectabilidad e IPR el equipo de trabajo tomó como referencia las establecidas en la guía de buenas prácticas NTP 679 Análisis Modal de fallos y Efectos o AMFE, estableciendo las siguientes clasificaciones.

Tabla 2. Clasificación de la gravedad del modo de fallo

Gravedad	Criterio	Valor
Muy Baja	El fallo no origina inconvenientes en el proceso o equipo, ni detención en las operaciones.	1
Baja	El fallo si origina pequeños inconvenientes en el proceso o equipo, pero no genera detención en las operaciones.	2-3

Media	El fallo origina un pequeño inconveniente en el proceso o equipo, ocasionando ligero deterioro en el rendimiento del sistema o detención de operaciones menores a 30 minutos.	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico e inutilizar el proceso o equipo. Ocasiona detenciones entre 30 min a 1 hora.	7-8
Muy Alta	El fallo potencial es muy crítico, inutiliza el proceso o equipo, puede ocasionar incumplimiento de normas de seguridad salud y ambiente. Ocasiona detenciones mayores a 1 hora.	9-10

Tabla 3. Clasificación de la frecuencia/ probabilidad de ocurrencia del modo de fallo

Frecuencia	Criterio	Valor
Muy Baja	Ningún fallo se asocia a procesos o equipos casi idénticos, ni a ocurrido nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados ocurridos en procesos o equipos similares o casi idénticos, puede presentarse durante la vida útil del activo, pero es poco probable que suceda.	2-3
Media	Fallos ocurridos en procesos o equipos similares o previos al actual, probablemente aparecerá algunas veces en la vida útil del componente o proceso. 0.25 fallas/años.	4-6
Alta	Fallos se han presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos o equipos similares o previos procesos que han fallado. Falla ocurrida entre 0.25 y 1 fallas/años.	7-8
Muy Alta	Fallos casi inevitables, probablemente se presentarán o se han presentados con frecuencias mayores a 1 vez por año.	9-10

Tabla 4. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo

Detectabilidad	Criterio	Valor
Muy Baja	El Defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Baja	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Media	El defecto es detectable y muy posiblemente que se vea afectado de manera mínima el proceso o elemento.	4-6
Alta	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos de control establecidos hasta el momento.	7-8
Muy Alta	El defecto no puede detectarse, casi seguro que afectará gravemente al elemento o proceso.	9-10

IPR (Índice de prioridad de riesgo)

Definido como el producto entre los 3 factores gravedad, frecuencia y detectabilidad, un IPR inferior a 100 no requerirá intervención a no ser que la mejora o acción correctora sea fácil de introducir y aporte a mejorar el proceso o trabajo.

Etapas 6. Completar el formulario AMFE de acuerdo a la matriz, establecer las acciones correctoras, los responsables y los plazos.

En esta etapa se utilizó el formulario recomendado en la NTP 679 Análisis Modal de fallos y Efectos o AMFE

Las acciones correctoras fueron decididas y consideradas por el equipo de trabajo una vez analizado y de acuerdo al resultado del IPR al igual que los responsables de llevar a cabo las acciones.

Etapa 7. Elaboración de propuesta de adecuación del plan de mantenimiento.

De acuerdo a los resultados obtenidos por medio del AMFE se determinaron las acciones correctoras que evitaran o minimizaran el impacto de los posibles modos de fallos de los

diferentes equipos, de igual manera los mismos se implementaron en la propuesta del plan de mantenimiento preventivo utilizando el mismo formato o plantilla del plan de mantenimiento que se ejecuta en la estación de bombeo.

3. Resultados y discusión

Equipo de trabajo

La tabla 5 muestra la conformación del equipo de trabajo, entre lo que destaca la integración de las áreas de mantenimiento y operaciones, además de la vasta experiencia de sus integrantes en la interacción con los equipos de la estación de bombeo.

Tabla 5. *Equipo de trabajo*

Cargo	Área	Número	Experiencia (año)
Líder de Operaciones	Operaciones	3	7
Supervisor de Operaciones	Operaciones	1	7
Técnico Mecánico	Mantenimiento	1	7
Supervisor de Mantenimiento	Mantenimiento	1	7
Técnico de Instrumentación y Control	Mantenimiento	1	7
El AMFE estará liderado por 1 Líder de Operaciones			

Recolección de información y selección de los procesos u operaciones claves.

En la tabla 6 observamos los sistemas o procesos claves y de acuerdo al análisis de la información, de los criterios establecidos para la

criticidad de activos y al árbol de decisión establecidos en la metodología se obtuvo 4 sistemas o procesos de criticidad Alta.

Tabla 6. *Sistemas o procesos críticos claves*

SISTEMA O PROCESO	RANKING					
	S	Q	W	D	F	M
Trampa Receptora	A					
Bombas de Poliducto				A		
Trampa Lanzadora	A					
KOD – Chimenea de Venteo						C
Compresores					A	
Abastecimiento de Combustible						C
Red de Distribución de Agua Potable						C

Ítems Mantenibles del sistema de Bombeo de la Estación.

En la tabla 7 se muestra algunos de los ítems mantenibles pertenecientes a los sistemas o procesos que obtuvieron criticidad A (Alta).

Los ítems se clasificaron en grupos por la similitud de características que comparten, sin embargo, para el desarrollo del AMFE se considerará un único equipo por grupo, pero el historial de fallos de todos, lo cual permitirá estandarizar el plan de mantenimiento para los equipos que son similares.

Tabla 7. *Ítems Mantenibles de acuerdo a cada proceso*

Sistema o Proceso	Ítem	Cantidad	Características
Trampa receptora – Trampa Lanzadora	Válvula de Emergencia (ESDV)	2	Modelo 6D-002. Class 900. Size 8*8. Tipo de Actuador EH.1.1 (Electro-Hidráulico)
Trampa receptora – Trampa Lanzadora	Válvula Motorizada (línea)	6	Válvula de Bola 8". Class 900. Tipo de Actuador IQ 12NH B4. Modelo IQ3FM
Trampa receptora – Trampa Lanzadora	Válvula PSV	2	Tipo 26DA14L-920. Size and Orifice 1-1/2 D2. Set press 2058 psi

Trampa receptora – Trampa Lanzadora	Válvula Manuales – Actuador mecánico (Poliducto)	9	Válvula de Bola 8". Class 300. Body A105N. Tipo de Actuador Mecánico de Engranajes
Trampa receptora – Bombas de poliducto	Válvula TSV (Línea)	2	Size 1 ½ ". Modelo B10658 Set. 600 psi
Bombas de Poliducto	Válvula Motorizada (Bombas)	6	Válvula de Bola 6". Class 900. Tipo de Actuador SAExC 10.1-FA10/31B2111.
Bombas de Poliducto	Filtro tipo Y (Bombas)	3	Tipo Y. Size 6". Modelo A150/R90/216/YHD. 150 mu
Bombas de Poliducto	Bomba multietapa	3	Tipo: SM-BB3. Tamaño: 3*10*14. Flujo 450 GPM

Determinación de Fallas funcionales, Modos de Fallas, análisis de efectos y causas.

La tabla 8 muestra que en ciertos equipos cada modo de falla puede generar más de una causa y esta a

su vez diferentes efectos, lo cual se obtiene por el equipo de trabajo de acuerdo al análisis, evaluación de la documentación y datos recopilados de los diferentes ítems mantenibles como se destaca principalmente en la bomba multietapa.

Tabla 8. Fallas funcionales, Modos de Fallas, análisis de efectos y causas.

Ítems	Función Principal	Fallas funcionales	Modos de falla	Efectos de Falla	Causas de falla
Válvula de Emergencia (ESDV)	1	2	6	6	8
Válvula Motorizada (línea)	1	4	3	3	4
Válvula PSV	1	2	4	4	10
Válvula Manuales – Actuador mecánico (Poliducto)	1	4	5	5	6
Válvula TSV (Línea)	1	2	4	4	10
Válvula Motorizada (Bombas)	1	4	5	5	8
Filtro tipo Y (Bombas)	1	2	2	2	3
Bomba multietapa	1	2	7	17	12

Medidas de ensayo y control previstas, Gravedad, Frecuencia, Detectabilidad e IPR.

En la tabla 9 se muestra como ejemplo la determinación del IPR de

uno los ítems, en este caso particular de la válvula ESDV donde 4 de sus modos de falla obtuvieron resultados superiores a 100, por consiguiente

ameritan implementar acciones correctoras.

Tabla 9. Medidas de ensayo y control previstas, Gravedad, Frecuencia, Detectabilidad e IPR de Válvula ESDV

Ítem: Válvula de Emergencia (ESDV)					
Modo de falla	Gravedad	Frecuencia	Detectabilidad	IPR	
Fluído hidráulico insuficiente en el sistema	6	5	2	60	
Fluído hidráulico del sistema contaminado	9	7	3	189	
Falla del sistema eléctrico de la Válvula	10	2	6	120	
Fallo del interruptor de presión	9	5	5	225	
Liqueo de fluido transitante	10	2	2	40	
Pérdida de las propiedades del fluido Hidráulico del sistema	10	5	7	350	

Matriz AMFE

En la figura 2 se muestra un ejemplo de cómo se encuentra estructurada la matriz AMFE de la válvula ESDV

donde se encuentran plasmadas las acciones correctoras, resaltando las respectivas frecuencias establecidas con sus responsables de ejecutarlas.

Fig. 2. Matriz AMFE de válvula ESDV

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)																	
AMFE DE PROYECTO		AMFE DE PROCESO			DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / PARTE DEL PROCESO					CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE				Hoja: 1 de 1			
					Válvula de Emergencia (ESDV)					ESDV XXXX							
NOMBRE Y DPTO. DE LOS PARTICIPANTES Y/O PROVEEDOR					COORDINADOR: (Nombre / Dpto.)					MODELO/SISTEMA/FABRICACIÓN				FECHA INICIO:			
Departamento de Operaciones y Mantenimiento					Pedro Velásquez (Operaciones)					6D-002. CLASS 900. SIZE 8". TIPO DE ACTUADOR EH1.1				1/1/2024			
														FECHA REVISIÓN:			
OPERACIÓN O FUNCIÓN	FALLO Nº	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL					ACCIÓN CORRECTORA	RESPONSABLE	FRECUENCIA	SITUACIÓN DE MEJORA				
		MODOS DE FALLO	EFFECTOS	CAUSAS DEL MODO DE FALLO	MEDIDAS DE ENSAYO Y CONTROL PREVISTAS	G	F	D	IPR				ACCIONES IMPLANTADAS	G	F	D	IPR
Detener el flujo del fluido al detectar o presentarse una situación peligrosa	1.1	Fluido hidráulico insuficiente en el sistema	Válvula bloqueada (no permite cierre ni apertura)	Pérdida de fluido de fluido de hidráulico del sistema	Inspección Visual Diaria de nivel de fluido hidráulico	6	5	2	60	Implementarse en formato de registro diario control de nivel de fluido hidráulico	Operaciones	Diaria				0	
	1.2	Fluido hidráulico del sistema contaminado	No Permite cierre o apertura completa de la Válvula	Hermeticidad o empaquetadura del sistema defectuosa	Inspección Visual Diaria de color de fluido hidráulico	9	7	3	189	Verificación de estado del sistema de Hermeticidad y empaquetadura	Mantenimiento	Semestral				0	
	1.3	Falla del sistema eléctrico de la Válvula	Válvula sin respuesta de accionamiento	Conexiones eléctricas defectuosas	Ninguna	10	2	6	120	Revisión de terminales y conexiones eléctricas	Mantenimiento	Semestral				0	
	1.4	Fallo del interruptor de presión	Liqueo de fluido hidráulico en conexiones de interruptor	Atascamiento o de componentes internos	Ninguna	9	5	5	225	Verificación del estado del interruptor	Mantenimiento	Semestral				0	

Los resultados de realizar el AMFE muestran como se indican en la tabla 6 que de los 7 Sistemas o procesos

evaluados 4 de ellos arrojaron un criticidad A (Alta) entre ellos la trampa receptora, la trampa

lanzadora, las bombas de poliducto y los compresores, una vez determinados se procedió con la identificación de los ítems mantenibles que integran los respectivos sistemas como se observa en algunos ejemplos en la tabla 7, donde se pudieron obtener 45 equipos correspondientes a los 4 sistemas, dado que muchos de ellos comparten características idénticas o similares para la aplicación del AMFE se los agrupó en 13 equipos a los cuales se les determinó como se indican algunos en la tabla 8 sus funciones principales, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla y causas de falla, obteniendo los siguientes:

Para la válvula ESDV 6 modos de falla

- Modo de falla 1. Fluído hidráulico insuficiente en el sistema.
- Modo de falla 2. Fluído hidráulico del sistema contaminado.
- Modo de falla 3. Falla del sistema eléctrico de la válvula.
- Modo de falla 4. Fallo del interruptor de presión.
- Modo de falla 5. Liqueo de fluído transigente.

- Modo de falla 6 Pérdida de las propiedades del fluído hidráulico del sistema.

Para la válvula motorizada 3 modos de falla

- Modo de falla 1. Falla del sistema eléctrico de la válvula.
- Modo de falla 2. Fallo de comunicación controlador – actuador.
- Modo de falla 3. Fallo de asientos de válvulas.

Para la válvula PSV 4 modos de falla

- Modo de falla 1. Fallo de asientos de válvulas.
- Modo de falla 2. Presión de apertura incorrecta.
- Modo de falla 3. Bloqueo o pegado de válvula.
- Modo de falla 4. Falla de mecanismos internos.

Para la válvula manual – actuador mecánico (Poliducto) 5 modos de falla

- Modo de falla 1. Fallo de asientos de válvulas.
- Modo de falla 2. Falla de actuador mecánico.
- Modo de falla 3. Desincronización de eje - engranajes del actuador.

- Modo de falla 4. Falla por grasa lubricante contaminada en actuador.
- Modo de falla 5. Pérdida de grasa lubricante.

Para la válvula TSV (Línea) 4 modos de falla

- Modo de falla 1. Fallo de asientos de válvulas.
- Modo de falla 2. Presión de apertura incorrecta.
- Modo de falla 3. Bloqueo o pegado de válvula.
- Modo de falla 4. Falla de mecanismos internos.

Para la válvula motorizada (Bombas) 5 modos de falla

- Modo de falla 1. Falla del sistema eléctrico de la válvula.
- Modo de falla 2. Fallo de comunicación controlador – actuador.
- Modo de falla 3. Fallo de asientos de válvulas.
- Modo de falla 4. Liqueo de fluido transitante.
- Modo de falla 5. Fallo en posición final del actuador.

Para el filtro tipo Y (Bombas) 2 modo de falla.

- Modo de falla 1. Fallo de malla interna de filtro
- Modo de falla 2. Saturación de filtro

Para la bomba multietapa 7 modos de falla.

- Modo de falla 1. No hay censado de flujo.
- Modo de falla 2. Pérdida de propiedades de aceite de cajas de rodamientos.
- Modo de falla 3. Daño de rodamientos.
- Modo de falla 4. Falla sistema de refrigeración de sellos mecánicos.
- Modo de falla 5. Daño de sello mecánico.
- Modo de falla 6. Falla de motor accionador.
- Modo de falla 7. Vibraciones.

De acuerdo a los IPR obtenidos tal cual se muestra como ejemplo en la tabla 9 de la Válvula ESDV, se evalúan los que obtuvieron un valor superior a 100 a los cuales se le implementaran las respectivas acciones correctoras. Así entonces:

En la válvula ESDV 4 de 6 modos de fallos obtuvieron un IPR superior a 100.

- Para modo de falla 2. Verificación de estado del sistema de hermeticidad y empaquetadura.
- Para modo de falla 3. Revisión de terminales y conexiones eléctricas.
- Para modo de falla 4. Verificación del estado del interruptor.
- Para modo de falla 6. Cambio de Fluído hidráulico del sistema.

En la válvula motorizada 1 de 3 modos de falla obtuvo un IPR superior a 100, sin embargo, la medida de control actual cubre la acción correctora sugerida.

En la válvula PSV 3 de 4 modos de falla obtuvieron un IPR superior a 100.

- Para el modo de falla 2. Prueba de funcionamiento de PSV.
- Para el modo de falla 3. Revisión de componentes internos de PSV.
- Para el modo de falla 4. Revisión de componentes internos de PSV.

En la válvula manuales – actuador mecánico (Poliducto) 4 de 5 modos de falla obtuvieron un IPR superior a 100.

- Para el modo de falla 2. Revisión del correcto acople entre eje y engranajes (Mantenimiento de actuador).
- Para el modo de falla 3. Verificar indicador del posicionador con estado de cierre o apertura de válvula (Mantenimiento de actuador).
- Para el modo de falla 4. Revisión de hermeticidad, empaquetadura y estado de grasa lubricante de actuador (Mantenimiento de actuador).
- Para el modo de falla 5. Verificación de estado del sistema de hermeticidad y empaquetadura - lubricación de engranajes (Mantenimiento de actuador).

En la válvula TSV (Línea) los 4 modos de falla obtuvieron un IPR superior a 100.

- Para el modo de falla 1. Revisión de componentes internos de TSV.
- Para el modo de falla 2. Prueba de funcionamiento de TSV.
- Para el modo de falla 3. Revisión de componentes internos de TSV.

- Para el modo de falla 4. Revisión de componentes internos de TSV.

En la válvula motorizada (Bombas) 2 de 5 modos de falla obtuvieron un IPR superior a 100.

- Para el modo de falla 1. La medida de control actual cubre la acción correctora sugerida.
- Para el modo de falla 5. Verificar estado de posición de válvula y actuador con finales de carrera en posiciones abierta y cerrada (Mantenimiento de actuadores de válvulas).

En el filtro tipo y (Bombas) los 2 modo de falla obtuvieron un IPR inferior a 100, sin embargo, se sugiere una modificación en la ejecución de la actividad que ya se realiza como medida de control.

En la bomba multietapa 2 de 7 modos de falla obtuvieron un IPR superior a 100.

- Para el modo de falla 4. Revisión, limpieza y ajustes de sistema de enfriamiento de sellos.
- Para el modo de falla 5. La medida de control actual cubre la acción correctora sugerida.

Las acciones correctoras resultantes del AMFE serán aquellas que ingresarán como nuevas actividades en la propuesta del plan de mantenimiento.

De acuerdo al AMFE realizado podemos observar que hay ciertos equipos en los cuales existen modos de falla sin medidas actuales de control y con IPR alto de acuerdo al análisis y evaluación realizado, por ende, tienen alta posibilidad de ocasionar inconvenientes al proceso o sistema de bombeo como lo son principalmente la válvula ESDV, válvula PSV, válvula manual – actuador mecánico, válvula TSV (línea) y la bomba multietapa, en los cuales por citar algunos de sus modos de falla más importante tenemos pérdida de las propiedades del fluido hidráulico del sistema, bloqueo o pegado de válvula, falla de actuador mecánico, falla de asiento de válvula y falla de sello mecánico entre otros.

4. Conclusiones

El AMFE como herramienta para obtener un programa de mantenimiento exitoso es sin lugar a duda, una de las más versátiles y

útiles dentro de la gestión de mantenimiento debido a su flexibilidad, bajo costo de implementación, involucra a la mayor parte de personas que interactúan dentro del proceso con mantenimiento y logra establecer medidas para precautelar el estado de los activos de cualquier empresa y garantizar con ello su continua operatividad.

De acuerdo al AMFE los modos fallos más importantes detectados en los equipos del proceso o sistema de bombeo fueron en la válvula ESDV, válvula PSV, válvula manual – actuador mecánico, válvula TSV (línea) y la bomba multietapa, mismos que por no contar actualmente con medidas de control se les asignó las respectivas acciones correctoras para minimizar el impacto en la operatividad de los equipos, por ejemplo, por mencionar el modo de fallo pérdida de las propiedades del fluido hidráulico del sistema en la válvula ESDV le corresponde la acción correctora cambio del fluido hidráulico del sistema anualmente, el mismo procedimiento corresponde a cada modo de fallo de cada equipo

detectado en el AMFE realizado como se muestra en los resultados.

El AMFE también nos permite observar que existen modos falla que son cubiertos o neutralizados por las medidas de control actual que se ejecutan a los diferentes equipos del sistema de bombeo y otros modos de falla que solo ameritan alguna modificación en la frecuencia de la ejecución de su medida de control.

Bibliografía

- Granda Tirado, S. d. C. (2021). El contrato de transporte internacional de hidrocarburos y sus derivados y sus dimensiones jurídicas en el Ecuador Quito, EC: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador].
- Hernández Gómez, A., Escobar Toledo, C., Larios Prado, J. M., & Noriega Morales, S. (2015). Factores críticos de éxito para el despliegue del mantenimiento productivo total en plantas de la industria maquiladora para la exportación en Ciudad Juárez: una solución factorial. *Contaduría y administración*, 60, 82-106.
- Izaguirre Neira, J. G., & Párraga Velásquez, M. d. R. (2017).

- Aplicación de las metodologías 8D y AMFE para reducir fallos en una fábrica de refrigeradoras. *Industrial Data*, 20(2), 61-70. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81653909009> (IN FILE)
- Martínez Monseco, F. J., & Planagumá Vilamitjana, A. (2021). Innovando desde la Gestión del mantenimiento. El Remantenimiento. Caso práctico Central Hidroeléctrica. *Ingeniería Energética*, 42, 48-60. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012021000200048&nrm=iso
- Martínez Morales, O. F. (2019). Propuesta para la implementación de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para máquinas y equipos de mecanizado en el área de mantenimiento del SENA–Centro Metalmecánico Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia].
- Núñez, S. S., Jácome, R. M., & Tufiño, E. R. (2019). Programa de control de mantenimiento proactivo de equipos mecánicos utilizados en el transporte de hidrocarburos en Ecuador. *mktDESCUBRE*, 1(14), 111-118.
- Sosa, J. V. G., Quijada, J. L., Ontiveros, M. Á. L., Montoya, P. P., & Hernández, A. C. (2018). Mantenimiento industrial en máquinas herramientas por medio de AMFE. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3).
- Unapanta Arias, H. M. (2020). Gestión de Mantenimiento de los Sistemas de Bombeo Hidráulico tipo JET en una empresa Petrolera usando el ciclo PDCA Quito, 2020.].
- Useche, A. O., Monroy, C. R., & Izquierdo, H. (2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista venezolana de gerencia*, 18(61), 86-104.
- Zambrano Medina, R. E. (2021). Optimización del plan de mantenimiento para el sistema de bombas principales en la estación de bombeo Rubiales para la empresa Oleoducto de los Llanos SA Fundación Universidad de América].