

FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN TÉCNICAS
DE CONFIABILIDAD RCM PARA EQUIPOS CRÍTICOS DE LA EMPRESA
CANACOL ENERGY EN LAS FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DE JOBO Y
POZOS.

CARLOS ALBERTO GRANADOS
JOHN FREDDY CORTÉS CORTÉS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2019

FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN TÉCNICAS
DE CONFIABILIDAD RCM PARA EQUIPOS CRÍTICOS DE LA EMPRESA
CANACOL ENERGY EN LAS FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DE JOBO Y
POZOS.

CARLOS ALBERTO GRANADOS
JOHN FREDDY CORTÉS CORTÉS

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de
Mantenimiento

Director
NICOLAS PACHON CABRERA
MSc Gas Engineering and Management, Awarded Distinction

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2019

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	27
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	28
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	28
2. OBJETIVOS.....	29
2.1.OBJETIVO GENERAL.....	29
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
3. JUSTIFICACIÓN.....	30
4. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA	31
4.1.MARCO CONCEPTUAL.....	31
5. DIAGNOSTICO DE LA GESTION DE MANTENIMIENTO – BLOQUE ESPERANZA	33
5.1.MUESTRA DEL DIAGNÓSTICO	33
5.2.RESULTADOS	34
5.3.RESULTADOS POR AREA DE GESTION Y PRINCIPALES HALLAZGOS. ..	37
5.3.1. Estrategia de mantenimiento	37
5.3.2. Administración y Organización	41
5.3.3. Planeación y Programación.....	42
5.3.4. Técnicas de Mantenimiento.....	44
5.3.5. Tecnología de la Información y su uso.	46
5.3.6. Equipos de Mejoramiento.	48
5.3.7. Análisis de Confiabilidad.....	49
5.3.8. Medidas de desempeño.	52
5.3.9. Análisis de Procesos.	53
5.3.10. Información de infraestructura e Instalaciones.	55
6. TAXONOMIA DE EQUIPOS	66
6.1.GENERALIDADES	66

6.2. PROCEDIMIENTO.	66
6.3. CLASIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN, Y CODIFICACIÓN DE LAS UBICACIONES TÉCNICAS.....	66
6.3.1. Nivel 1 – Compañía	67
6.3.2. Nivel 2 – Bloque	68
6.3.3. Nivel 3 – Instalación.....	69
6.3.4. Nivel 4 – Planta	70
6.3.5. Nivel 5 – Sistema.....	71
6.3.6. Nivel 6 – Subsistema.	72
6.3.7. Nivel 7 – Unidad Funcional.....	73
6.3.8. Nivel 8 – Posición Equipo.	74
6.3.9. Codificación completa de la ubicación técnica.	75
6.4. CLASIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	76
6.4.1. Categorías de equipos.....	77
6.4.2. Clases de equipos	77
6.4.3. Tipos de equipos.	78
6.4.4. Codificación del Equipo.	80
6.4.5. Descripción del Equipo.	80
7. CONTEXTO OPERACIONAL.....	81
8. DEFINICIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE FALLAS DE EQUIPOS.....	84
8.1. GENERALIDADES	84
8.2. MODOS DE FALLA.....	84
8.2.1. Definición.....	84
8.2.2. Relación con los niveles de taxonomía.....	84
8.2.3. Descripción y codificación de los modos de fallas por categorías y clases de equipos.	85
8.3. MECANISMO DE FALLA.....	92
8.3.1. Definición.....	92
8.3.2. Relación con los niveles de taxonomía.....	92
8.3.3. Categorías de mecanismos de falla.....	92

8.3.4.	Descripción y codificación de mecanismos de falla.	92
8.4.	CAUSAS DE FALLA	95
8.4.1.	Definición.....	95
8.4.2.	Relación con los niveles de taxonomía.....	95
8.4.3.	Categorías de causa de falla.	95
8.4.4.	Descripción y codificación de las causas de falla.	96
9.	ANÁLISIS DE CRITICIDAD	98
9.1.	GENERALIDADES	98
9.2.	ROLES Y RESPONSABILIDADES.	98
9.2.1.	Jefe de Campo/ Coordinador de Mantenimiento.	98
9.2.2.	Facilitador del Análisis de Criticidad.	99
9.2.3.	Ingeniero de Producción / Ingeniero de Mantenimiento / Ingeniero de HSEQ.	99
9.3.	DEFINICIÓN DE LA MATRIZ DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE EQUIPOS.....	100
9.4.	DEFINICIÓN DE LAS CATEGORIAS DE LAS CONSECUENCIAS.....	100
9.5.	DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE GRAVEDAD DE LAS CONSECUENCIAS.	101
9.5.1.	Definición de los niveles de gravedad de las consecuencias en la categoría Personas.....	101
9.5.2.	Definición de los niveles de gravedad de las consecuencias en la categoría Ambiental.	102
9.5.3.	Definición de los niveles de gravedad de las consecuencias en la categoría Económica.	104
9.6.	DEFINICIÓN DE NIVELES DE PROBABILIDAD	104
9.7.	DEFINICIÓN DE LOS NIVELES Y RANGOS DE CRITICIDAD	105
9.8.	MATRIZ DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE EQUIPOS.....	106
9.9.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS	108
9.9.1.	Diagrama Swimlane del proceso.	108

9.10.	DETALLE DE ACTIVIDADES	110
9.10.1.	Identificación y delimitación de los sistemas, subsistemas y los equipos asociados a los que se les va a hacer el análisis de criticidad.....	110
9.10.2.	Preparación y alistamiento de la información de los equipos.	110
9.10.3.	Conformación de un grupo de trabajo para el análisis.....	110
9.11.	RESULTADOS DEL ANALISIS DE CRITICIDAD	111
9.11.1.	Criticidad de equipos Planta 1A.....	111
9.11.2.	Criticidad por categoría de consecuencias	111
9.11.3.	Criticidad por clase y tipo de equipo.	113
9.11.4.	Equipos muy críticos por clase y tipo.....	114
9.11.5.	Equipos muy críticos por categorías de consecuencias.	114
9.11.6.	Equipos críticos por clase y tipo.	115
9.11.7.	Equipos críticos por categoría de consecuencias.....	115
9.11.8.	Equipos poco críticos por clase y tipo.....	116
9.11.9.	Equipos poco críticos por categoría de consecuencias.	116
9.11.10.	Equipos no críticos por clase y tipo.....	117
9.11.11.	Equipos no críticos por categoría de consecuencias.	117
10.	CONCLUSIONES	118
	BIBLIOGRAFÍA.....	119

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Nivel 1 - Compañía	68
Tabla 2. Nivel 2 – Bloque.....	69
Tabla 3. Nivel 3 – Instalación.....	70
Tabla 4. Nivel 4 - Planta.....	71
Tabla 5. Nivel 5 - Sistema.....	71
Tabla 6. Nivel 6 - Subsistema.....	72
Tabla 7. Categorías de equipos.....	77
Tabla 8. Ejemplo clases de equipos.....	78
Tabla 9. Ejemplo tipos de equipos.....	79
Tabla 10. Ejemplo clase - Tipo de equipos.....	79
Tabla 11. Contexto operacional.....	81
Tabla 12. Equipos rotativos.....	86
Tabla 13. Equipos eléctricos.....	87
Tabla 14. Equipo de instrumentación.....	88
Tabla 15. Equipo de control.....	89
Tabla 16. Equipo estático y dinámico.....	90
Tabla 17. Fallas mecánicas	93
Tabla 18. Fallas mecánicas	93
Tabla 19. Fallas en instrumentación.....	93
Tabla 20. Fallas de materiales	94
Tabla 21. Influencia Externa.....	94
Tabla 22. Misceláneos.....	95
Tabla 23. Causas de diseño.....	96
Tabla 24. Causas de fabricación/Instalación	96
Tabla 25. Fallas de operación/ mantenimiento.....	96
Tabla 26. Fallas de gestión.....	97

Tabla 27. Misceláneos.	97
Tabla 28. Especificación niveles de gravedad – Consecuencia personas.....	101
Tabla 29. Especificación niveles de gravedad – Consecuencia ambiental.	102
Tabla 30. Especificación niveles de gravedad – Consecuencia económica.	104
Tabla 31. Especificación niveles de probabilidad.....	105
Tabla 32. Niveles de criticidad.	105
Tabla 33. Tabla 6. Rangos valores de criticidad.	106

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Diagnostico mantenimiento.	34
Grafica 2. Diagnostico mantenimiento canacol	35
Grafica 3. Estrategia de mantenimiento	38
Grafica 4. Administración y organización	41
Grafica 5. Planeación y programación	43
Grafica 6. Técnicas de mantenimiento.....	45
Grafica 7. Tecnología de información y su uso	46
Grafica 8. Equipos de mejoramiento.....	48
Grafica 9. Análisis de confiabilidad.	50
Grafica 10. Medidas de desempeño.	52
Grafica 11. Análisis de procesos.....	54
Grafica 12. Información sobre infraestructura e instalaciones.	56
Grafica 13. Criticidad de equipos.	111
Grafica 14. Criticidad por Categoría de Consecuencias	112
Grafica 15. Criticidad planta 1 por clase y tipo de equipo	113
Grafica 16. Equipos muy Críticos por Clase y Tipo.....	114
Grafica 17. Equipos muy Críticos por Categoría de Consecuencias.	114
Grafica 18. Equipos Críticos por Clase y Tipo.	115
Grafica 19. Equipos Críticos por Categoría de Consecuencias.	115
Grafica 20. Equipos Poco Críticos por Clase y Tipo.	116
Grafica 21. Equipos críticos por categoría de consecuencias.....	116
Grafica 22. Equipos no críticos por clase y tipo.	117
Grafica 23. Equipos críticos por categoría de consecuencias.....	117

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Niveles de taxonomía para las ubicaciones técnicas de los equipos.....	67
Figura 2. Unidad funcional bombeo.	73
Figura 3. Ejemplo identificación de tag unidad funcional en P&D.	74
Figura 4. Ejemplo identificación de tag de equipo de P&D.	75
Figura 5. Ejemplo de codificación completa de ubicación técnica.	76
Figura 6. Planta 1A - Estación Jobo.....	83
Figura 7. Valores y niveles de criticidad en la matriz.	106
Figura 8. Matriz de evaluación de criticidad de equipos.	107
Figura 9. Diagrama swimlane de proceso.....	109

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Reporte y Herramienta Taxonomía Eq-GEO.

Anexo B. Descripción&Codificación CategoríasClasesEquipos-CNE.

Anexo C. Análisis Criticidad-GEO-Planta 1A-2019_02_08.

Anexo D. Gráficos Diagnostico Mantenimiento Canacol.

Anexo E. Matriz Evaluación Criticidad de Equipos.

Anexo F. Diagrama Swimlane De Análisis De Criticidad De Equipos.

“Los anexos están adjuntos en el CD ya que son macros y pueden ser visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”

GLOSARIO

Análisis de Causa Raíz: Procedimiento estructurado utilizado para la investigación de incidentes.

Análisis de Criticidad: Análisis cuantitativo de eventos y fallas con un ranking definido en términos de la severidad de las consecuencias.

Análisis de Modos y Efectos de Fallas (FMEA): Análisis usado para determinar las partes que fallan, el por qué y los efectos que tienen en el sistema.

Backlog: Cantidad de trabajos programados que no se logran ejecutar, cuantificado por OTs (Órdenes de Trabajo) o H/H (Horas - Hombre).

Balanced ScoreCard: Método utilizado para medir, analizar, realimentar y mejorar las actividades de la compañía en términos de su visión y estrategia.

Causa de falla: Conjunto de circunstancias que llevan a la falla. Una causa de falla puede originarse durante la especificación, diseño, fabricación, instalación, operación o mantenimiento de un ítem.

Clase de equipo: es la clasificación teniendo en cuenta los equipos similares que realizan una determinada función, por ejemplo, las bombas cumplen con bombear un fluido, los motores eléctricos cumplen con transformar la energía eléctrica en energía mecánica.

Confiabilidad: Es la medida de desempeño adoptada en los equipos que permite tomar acciones para reducir o eliminar paradas no planeadas. Implica que el equipo realice su función en el momento requerido.

Consecuencia: Resultado de la materialización de un incidente y/o evento expresado cualitativa o cuantitativamente, con afectación lesiones a las personas, daños a los activos o al medio ambiente, pérdidas de producción, desviaciones al desempeño operacional y/o financiero del negocio, y deterioro de la imagen corporativa.

Criticidad: Calificación de las consecuencias y probabilidad de ocurrencia que se da a una falla o evento en un equipo o sistema.

Datos de falla: Datos que caracterizan la ocurrencia de un evento de falla.

Disponibilidad: Es la certeza de que un equipo o sistema se pueda operar en cualquier momento. Implica que, por las tareas de los mantenedores, el equipo este operacionalmente listo para hacer su función.

Downstream: Categoría de negocios más comúnmente utilizada en la industria del petróleo para describir los procesos de post-producción. Ejemplo: Refinación, transporte y comercialización de productos petrolíferos.

Equipo mantenible: Activo trazable para Mantenimiento. La gestión de Mantenimiento de Canacol Energy. se realiza sobre los Equipos mantenibles. Ejemplo: motores, bombas, transformadores, compresores, etc.

Equipo: son los aparatos (motores, bombas, válvulas, transformadores, etc.) que desarrollan una determinada función dentro de la unidad funcional y se ubican en el último nivel de las ubicaciones técnicas de la taxonomía.

Evento: Situación específica o múltiple, que ocurre en un lugar particular durante un intervalo de tiempo determinado y que puede producir un impacto o consecuencias en la organización.

Falla de un ítem: pérdida de la capacidad para desempeñarse según lo requerido.

Falla evidente: falla que será evidente por sí mismo para los operarios en circunstancias normales.

Falla oculta: Fallo que no es inmediatamente evidente para el personal de operaciones y mantenimiento. Estas fallas se revelan cuando se realizan pruebas funcionales.

Falla: Incapacidad de un activo de cumplir parcial o totalmente la función requerida.

Frecuencia: número de sucesos o eventos que ocurren en un determinado periodo de tiempo y en una localización determinada.

Función principal: Tarea principal que se desarrollan en la planta y realizada por las unidades funcionales tales como el intercambio de calor, de bombeo, la separación, la generación de energía, la compresión, la distribución, almacenamiento, etc.

Función requerida: Función o combinación de funciones de un artículo que se considera necesaria para proporcionar un servicio dado.

Gestión de Activos: Conjunto de actividades y prácticas sistemáticas para administrar óptimamente el comportamiento, riesgos y gastos de los equipos durante su ciclo de vida.

Impacto de falla: Efecto de una falla en las funciones de un equipo o en la planta.

Indicador Clave de Desempeño 'KPI': Expresión cuantitativa que permite medir el

desempeño de un proceso, actividad, sistema, equipo o parte.

Mantenibilidad: Probabilidad de que un equipo sea restaurado completamente a su nivel operacional después de fallar. (Alta mantenibilidad: Equipo que se puede restaurar rápidamente).

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad 'RCM': "Reliability Centered Maintenance" Metodología principal utilizada para establecer la Estrategia global de Mantenimiento.

Mantenimiento Clase Mundial: Es el conjunto de las mejores prácticas de mantenimiento que recopilan elementos de diferentes enfoques organizacionales a nivel mundial.

Mantenimiento Correctivo: Hace referencia a las reparaciones realizadas cuando se presentan fallas o eventos no deseados en un equipo, restaurando así su capacidad de operación.

Mantenimiento Predictivo: Consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra, para así asegurar la confiabilidad operacional de los equipos. También se conoce como 'CBM' "Condition Based Maintenance".

Matriz de evaluación de riesgos: es una herramienta para la evaluación cualitativa de los riesgos y facilita la clasificación de las amenazas a la salud, seguridad, medio ambiente, relación con clientes, bienes y reputación de la Empresa. Los ejes de la matriz según la definición de riesgo corresponden a las consecuencias y a la probabilidad.

Matriz de excelencia de mantenimiento: Herramienta de gerenciamiento que

permite identificar el grado de madurez de la empresa en las mejores prácticas de mantenimiento.

Mecanismo de falla: proceso que conduce a la falla. El proceso puede ser físico, químico, lógico o una combinación de estos.

Método de detección: Método o actividad por la cual se descubre un fallo.

Midstream: categoría comercial que involucra a los sectores de procesamiento, almacenamiento y transporte de la industria del petróleo. Ejemplo: Tuberías de transporte, procesamiento y tratamiento de gas.

Modo de falla: Evento singular que causa una falla funcional.

Orden de Trabajo 'OT': Documento que identifica, autoriza y ordena los trabajos o tareas de mantenimiento a ser realizadas.

Overhaul: Reparación o reconstrucción mayor de un equipo.

Peligro: Es una fuente, elemento, condición o situación que tiene el potencial de causar daño a las personas (lesión o enfermedad), la economía, el ambiente o la imagen, como, por ejemplo: gasolina, energía eléctrica, trabajo en altura, entre otros.

Probabilidad de Ocurrencia: Posibilidad de que ocurra un evento con un resultado específico. Se expresa comúnmente como la función inversa de la frecuencia. La probabilidad varía entre cero (0) como la no ocurrencia del evento y uno (1) como la ocurrencia real de un evento.

Redundancia: En un ítem, la existencia de más de un medio, en un instante determinado de tiempo, para ejecutar una función requerida.

Riesgo: Combinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento y la severidad (Consecuencias) del mismo.

Sistema Crítico: Sistema de unidades funcionales cuya calificación de impacto y consecuencias adversas se ubica en dentro de los valores más altos de la matriz de criticidad.

Sub-Función Relevante: Sub-Función cuya pérdida genera consecuencias adicionales o de un mayor nivel a la pérdida de la función.

Sub-Función: Son funciones adicionales a la función principal que desarrollan los subsistemas o equipos de la unidad funcional.

Tag: Código único que identifica la posición de un equipo o unidad funcional.

Taxonomía: Clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores comunes como localización, categorías, clases.

Tiempo Medio entre fallas 'MTBF': Promedio de tiempo entre un arranque y la aparición de una falla.

Tiempo Medio entre reparación 'MTTR': Promedio de tiempo empleado para restaurar un activo a su capacidad operacional completa después de una falla.

Tipo de equipo: Dentro de cada una de las clases se desprenden los tipos, que en general se enfocan en los diferentes diseños que presentan los equipos que ejecutan una misma función. Por ejemplo, bombas centrífugas, reciprocantes, etc

Ubicaciones técnicas: es la estructura jerárquica de varios niveles, en donde se localizan los equipos

Unidad Funcional: Conjunto de equipos asociados que interactúan entre sí para desarrollar una función principal. Ejemplo: Unidades de bombeo, unidades de generación, etc.

Unidad Funcional: un conjunto de equipos que se encuentran interrelacionados para cumplir una función específica, de tal forma que la falla en alguno de ellos afectará el funcionamiento de la unidad principal.

Upstream: categoría de negocio de la industria del petróleo que incluye exploración y producción. Ejemplo: facilidad de producción de petróleo / gas Offshore, plataforma de perforación.

Valoración de riesgo: Producto de combinar la probabilidad de que un evento específico indeseado ocurra y la severidad de las consecuencias.

ABREVIATURAS

BSC: Balanced ScoreCard (Cuadro de Balance de Resultados).

CBM: Mantenimiento Basado en Condición.

CMMS: Computerized Maintenance Management System (Sistema Computarizado para administración de Mantenimiento).

FMEA: Failure mode effect analysis (Análisis de Modos y Efectos de Falla).

FMECA: Failure mode and critical effect analysis (Análisis de modos y efectos de falla con análisis de criticidad).

HAZID: Hazard Identification; Estudio de identificación de peligros.

HAZOP: Hazard and Operability Analysis; Análisis de peligros y operabilidad.

KPI: Key Performance Indicators (Indicadores Clave de Desempeño).

LCC: Life cycle Cost (Análisis del costo del ciclo de vida).

LOPA: Layer of Protection Analysis; Análisis de capas de protección.

MF: Main Function; Función Principal.

MTBF: Mean time between failure; Tiempo medio entre fallas.

P&ID: Piping and instrumentation diagram; Diagrama de tubería e instrumentación.

P&S: Planning and Scheduling; Planeación y Programación.

RAM: Risk Assessment Matrix; Matriz de evaluación de riesgos.

RBI: Risk Based Inspection; Inspección basada en Riesgos.

RCA: Root Cause Analysis; Análisis de Causa Raíz.

RCM: Reliability Centered Maintenance. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

RIM: Reliability Information Management; Gestión de información de mantenimiento y confiabilidad.

SF: Sub Function; Sub-Función.

RESUMEN

Título: FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN TÉCNICAS DE CONFIABILIDAD RCM PARA EQUIPOS CRÍTICOS DE LA EMPRESA CANACOL ENERGY EN LAS FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DE JOBO Y POZOS*.

Autores: Carlos Alberto Granados, John Freddy Cortés Cortés**.

Palabras Clave: Confiabilidad, criticidad, diagnostico, disponibilidad, mantenimiento, taxonomía.

Este proyecto formula un plan de mantenimiento basado en técnicas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para los equipos críticos de la compañía Canacol Energy, en las facilidades de producción de JOBO Y POZOS. Con el fin de aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los activos de dichas facilidades.

Para la implementación de esta estrategia, empezaremos por hacer un diagnóstico del proceso de mantenimiento actual de la compañía Canacol Energy. El paso siguiente, es descargar los datos existentes en el sistema de información para mantenimiento (CMMS) SAMM para identificar los sistemas no incluidos en layout de la planta. Como paso siguiente, esta, cargar en el sistema de información de mantenimiento los sistemas y equipos no incluidos. Seguido se marcarán los equipos de acuerdo con la nueva taxonomía. Después, se hará taller de técnicas RCM y análisis de riesgo por criticidad. Luego, se cargará masivamente los planes de mantenimiento al CMMS y se verificará que el sistema los esté ejecutando correctamente.

Se establecerán los indicadores a medir, se socializarán con el departamento de mantenimiento y operaciones. Respectivamente se hará la medición con los indicadores y se analizarán los resultados. Por último y para mantener el proceso se harán Análisis de Causa Raíz (RCA) para identificar fallos y posibles mejoras.

* Monografía de Especialización

** Facultad de Ingeniería Físico – Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director Ing. Nicolas Pachón Cabrera MSc Gas Engineering and Management.

SUMMARY

Title: FORMULATION OF A MAINTENANCE PLAN BASED ON RCM RELIABILITY TECHNIQUES FOR CRITICAL EQUIPMENT OF THE COMPANY CANACOL ENERGY IN THE PRODUCTION FACILITIES OF JOBO AND POZOS.*

AUTHORS: Carlos Alberto Granados, John Freddy Cortés Cortés.**

Keywords: Availability, Criticality, Diagnostic, Maintenance, Reliability, Taxonomy.

This project details a maintenance plan based on Reliability Centered Maintenance techniques (RCM) for critical equipment of the Canacol Energy company, at the production facilities at the JOBO and POZOS. This to augment the asset's reliability and availability for such facilities.

In order to implement the strategy, we will begin by running a current maintenance process diagnostic of the company. Following, we will download the information system's existing data for maintenance (CMMS) SAMM, to identify the systems not included in the plant's layout. Next, we will upload such systems and the non-included equipment to the information's maintenance system. After that, the equipment will be tagged according to its taxonomy. Then, a CRM techniques workshop will take place as well as an analysis of risk by criticality. The maintenance plans will be massively uploaded to the CMMS and we will verify that the system is running them correctly.

Measurement indicators will be established to associate them with the operations and maintenance department. The indicator measurements will be made and the results will be analyzed. Lastly, in order to keep the process a Root Cause Analysis (RCA) will take place to identify failures and possible improvements.

* Monograph Specialization.

** Faculty of Engineering Physical – Mechanical. Specialization in Maintenance Management, Director Eng. Nicolas Pachón Cabrera MSc Gas Engineering and Management.

INTRODUCCIÓN

La producción de gas en Colombia, es una fuente económica importante para el país, y como servicio público indispensable en el territorio nacional, lo cual lleva a un arduo trabajo y a un gran compromiso de las compañías productoras, teniendo en cuenta que esto determina la permanencia y posición en un mercado cada vez más complejo y competido, en el caso de Canacol, rodeado de grandes competidores, exigido cada vez más a mejorar sus procesos, de tal forma que lo identifique y le dé el valor agregado a su servicio. La alta confiabilidad en el proceso de mantenimiento hace que mantener la satisfacción del cliente sea más fácil.

Establecer estrategias de mantenimiento son de vital importancia cuando se busca aumentar la confiabilidad y disponibilidad de un activo físico, esto incide proporcionalmente en el aumento de la calidad del servicio y por ende en la rentabilidad de la compañía. Por tal motivo es necesario actualizar los procesos cada vez que la operación o el negocio lo requiera.

Un mantenimiento eficiente y eficaz consiste en seleccionar y aplicar la técnica adecuada, comenzando por el análisis de las condiciones de operación de los equipos. De ahí parte la elección correcta de la estrategia a implementar, manteniendo la operación continua y disminuyendo las fallas de los equipos.

La metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), trabaja en función de la operación del equipo y sus sistemas, con el objetivo de que los activos físicos hagan lo que el usuario desea que hagan (MOUBRAY)¹. Conocer el equipo, las funciones, las posibles fallas y sus modos de falla, para buscar reducir o eliminar su impacto si este llega a la falla. El RCM es reconocido por los profesionales de mantenimiento como una forma eficaz para desarrollar técnicas de mantenimiento de clase mundial (MOUBRAY).

¹ MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance. New York: Industrial Press INC, 1997.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Canacol Energy Ltd es una compañía de exploración y producción de petróleo y gas en el territorio colombiano, actualmente opera las estaciones de jobo y pozos productores de gas. Como es bien sabido el gas es un recurso esencial para para la economía del país. Un corte en el suministro de este puede llevar a pérdidas considerables tanto económicas como para la reputación de la compañía con el cliente.

Las cláusulas contractuales impuestas en los contratos por un cliente exigente llevan a Canacol a establecer prácticas rigurosas para la continua operación y el cumplimiento de dichas clausulas.

Una de esas prácticas es establecer planes de mantenimiento puntuales y precios a los activos físicos, para mantener una confiabilidad en los puntos más altos, mitigando así una parada no programada e inconformidades del cliente.

La compañía cuenta para su gestión de mantenimiento con un CMMS (Sistema de información de mantenimiento). Actualmente solo se encuentran incluidos en el sistema el 60% de los equipos, haciendo más complejo su control y administración. En general se está ejecutando un mantenimiento reactivo, el cual aumenta el riesgo en paradas no programadas, posibles daños en equipos, riesgo de accidentes, contaminación ambiental, aumento en los costos de logística y repuestos e imposibilidad para hacer una buena gestión del mantenimiento.

Por lo anterior se plantea una gestión de mantenimiento basada en RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), con el que se pretende abarcar la totalidad de equipos críticos, en las estaciones de Jobo y Pozos asociados a los bloques Esperanza, Vim 5 y Vim 21.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Actualizar el modelo actual de gestión de mantenimiento basado en las estrategias RCM para los equipos de las estaciones Jobo y Pozos de los bloques de gas asociados a Esperanza, Vim 5 y Vim 21.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico del plan de mantenimiento actual.
- Desarrollar taxonomía de la estación Jobo según disciplina.
- Elaboración de matriz de criticidad para los equipos de la estación Jobo.

3. JUSTIFICACIÓN

El gas es catalogado por la ley 142 de 1994 como uno de los servicios públicos esenciales y como fuente económica del país, en la medida del desarrollo del país se universaliza la prestación del servicio adquiere más importancia, las compañías productoras de gas han tenido que aumentar la confiabilidad y calidad, ya sea para la sostenibilidad del negocio o forzadas por la reglamentación.

La ley también determina que el servicio de gas debe prestarse bajo regulaciones constitucionales, debe ser constante e ininterrumpido. Las empresas prestadoras de este servicio deben actuar con libertad de competencia, aspectos que dichas empresas deben adoptar para su crecimiento, operación, administración y mantenimiento, estos elementos son la base del proyecto propuesto.

Canacol ha tenido que sortear contingencias en la operación de sus campos de producción de gas, por paradas no programadas, la poca información y la técnica de mantenimiento no adecuada de los sistemas y sus equipos hacen difícil la gestión del mantenimiento, se incurren en costos adicionales y multas por incumplimientos.

En los últimos años la compañía ha sufrido la disminución de la confiabilidad, debido a que se está haciendo un mantenimiento reactivo, incluso solo el 60% de los equipos se encuentran cargados en sistema de información de mantenimiento. Contemplando lo crítico de este proceso para la operación, se vuelve indispensable adoptar nuevas y mejores prácticas en el proceso de mantenimiento.

Por lo anteriormente descrito se adoptarán las técnicas de mantenimiento centradas en confiabilidad (RCM), las cuales buscan la anticipación a la falla y los menores tiempos de respuesta para solucionarla, para buscar una mayor confiabilidad en los equipos y la operación.

4. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA

4.1. MARCO CONCEPTUAL

El mantenimiento hoy en día se basa en nuevas técnicas, nuevas investigaciones y expectativas para hacer que los activos físicos sean más confiables y el negocio más productivo. A medida que crecen los activos fijos también crece el costo de operarlos y de mantenerlos, es necesario mantenerlos operando el máximo tiempo que se requiera (MOUBRAY)². El mantenimiento es el segundo ítem más costoso dentro de la operación, por esto en las últimas dos décadas han surgido nuevos conceptos y nuevas técnicas, incluso surgen en el día a día de la operación.

Con el avance de la automatización y la instrumentación nacen nuevas técnicas, herramientas que ayudan a la toma de decisiones; análisis de modos de falla y sus consecuencias, sistemas de gestión y estudios de riesgos.

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es una de esas técnicas actuales que se utilizan para la gestión del mantenimiento. Es una filosofía para establecer un plan de mantenimiento eficiente y eficaz que cumpla con los requerimientos de disponibilidad y confiabilidad de los equipos (BORRÁS PINILLA)³.

El primer sector industrial que tuvo que afrontar los retos de mantenimiento, de mantener una confiabilidad en sus más altos estándares, fue la aviación comercial Norte Americana (NOWLAN)⁴ y se venido trasladando a los demás sectores productivos. La metodología del RCM se está volviendo fundamental para conservación de los activos físicos, es una de las metodologías que determina la cantidad mínima de tareas que se deben ejecutar para preservar las funciones de los equipos.

² MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance. New York: Industrial Press INC, 1997.

³ BORRAS PINILLA, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga, 2013.

⁴ NOWLAN, Stanley. Reliability Ceneder Maintenance, United Airlines US D of C, Chicago, 1978.

La metodología se basa en dar respuesta a 7 preguntas lógicas de sentido común con un orden estricto (Daniel)⁵. Las repuestas están basadas en el conocimiento que se tenga del activo analizado. Las preguntas para responder se describen a continuación.

- ¿Cuáles son las funciones y estándares de ejecución asociados con el activo, en su actual contexto operacional?
- ¿En qué forma falla el equipo, con respecto a la función que cumple en el contexto operacional?
- ¿Qué causa la falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué puede hacerse para evitar la falla?
- ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea para evitar la falla?

Cuando se trata de resolver dudas, la clave es saber cuál es el problema, por tal forma se requiere definir bien el elemento de análisis, la mejor respuesta es la taxonomía, que según la norma ISO 14224 es la clasificación sistemática de ítems dentro de un grupo basado en factores posiblemente comunes a todos los ítems (The British Standards Institution)⁶. Por esto debemos empezar desde lo general de la planta hasta llegar a aquellos elementos que desempeñan la función principal.

Una buena aplicación del RCM transforma el concepto de la organización hacia los activos físicos, también lleva a un conocimiento más profundo de cómo funcionan. Desde el punto de vista de la rentabilidad los cambios son evidentes. Esto significa que los activos físicos se hacen más confiables por que se mantienen de la mejor forma. El resultado de la técnica se refleja cuando los operarios tienen la posibilidad de reaccionar rápida, correcta y confiadamente ante una falla (RELYABILITYWET.COM)⁷.

⁵ ORTIZ Daniel, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – MCC – Guía Practica. 2017

⁶ The British Standards Institution, BS EN ISO 14224: 2016. Bsi, 2006.

⁷ RELYABILITYWET.COM

5. DIAGNOSTICO DE LA GESTION DE MANTENIMIENTO – BLOQUE ESPERANZA

5.1. MUESTRA DEL DIAGNÓSTICO

Para desarrollo del Diagnóstico de la Organización de Mantenimiento, se utilizó la metodología de la Matriz de la Excelencia de Mantenimiento (PARRA Carlos)⁸, la cual es una de las herramientas más utilizadas a nivel mundial y muestra de manera gráfica y cuantitativa el estado de las organizaciones de mantenimiento en diferentes aspectos.

Con la Matriz de la Excelencia de Mantenimiento se evaluaron las siguientes áreas de gestión:

1. Estrategia de Mantenimiento
2. Administración y Organización
3. Planeación y Programación
4. Técnicas de Mantenimiento
5. Medidas de Desempeño
6. Tecnología de Información y su uso
7. Equipos de Mejoramiento
8. Análisis de Confiabilidad
9. Análisis de Procesos
10. Información sobre Infraestructura e instalaciones.

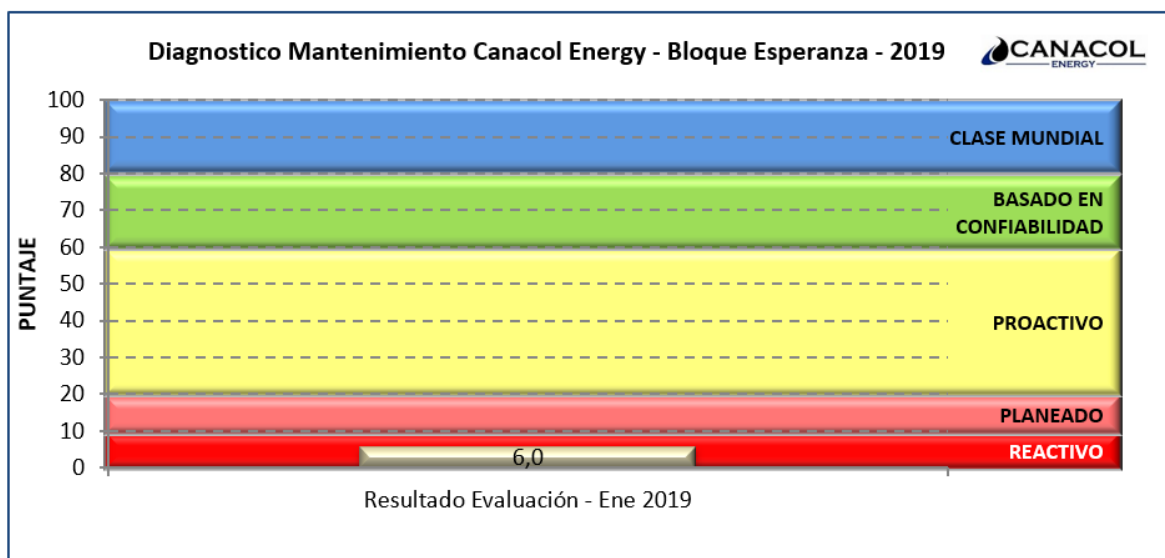
⁸ PARRA Carlos. CRESPO Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada a la Gestión de Activos. Sevilla. España: INGEMAN, 2012.

5.2. RESULTADOS

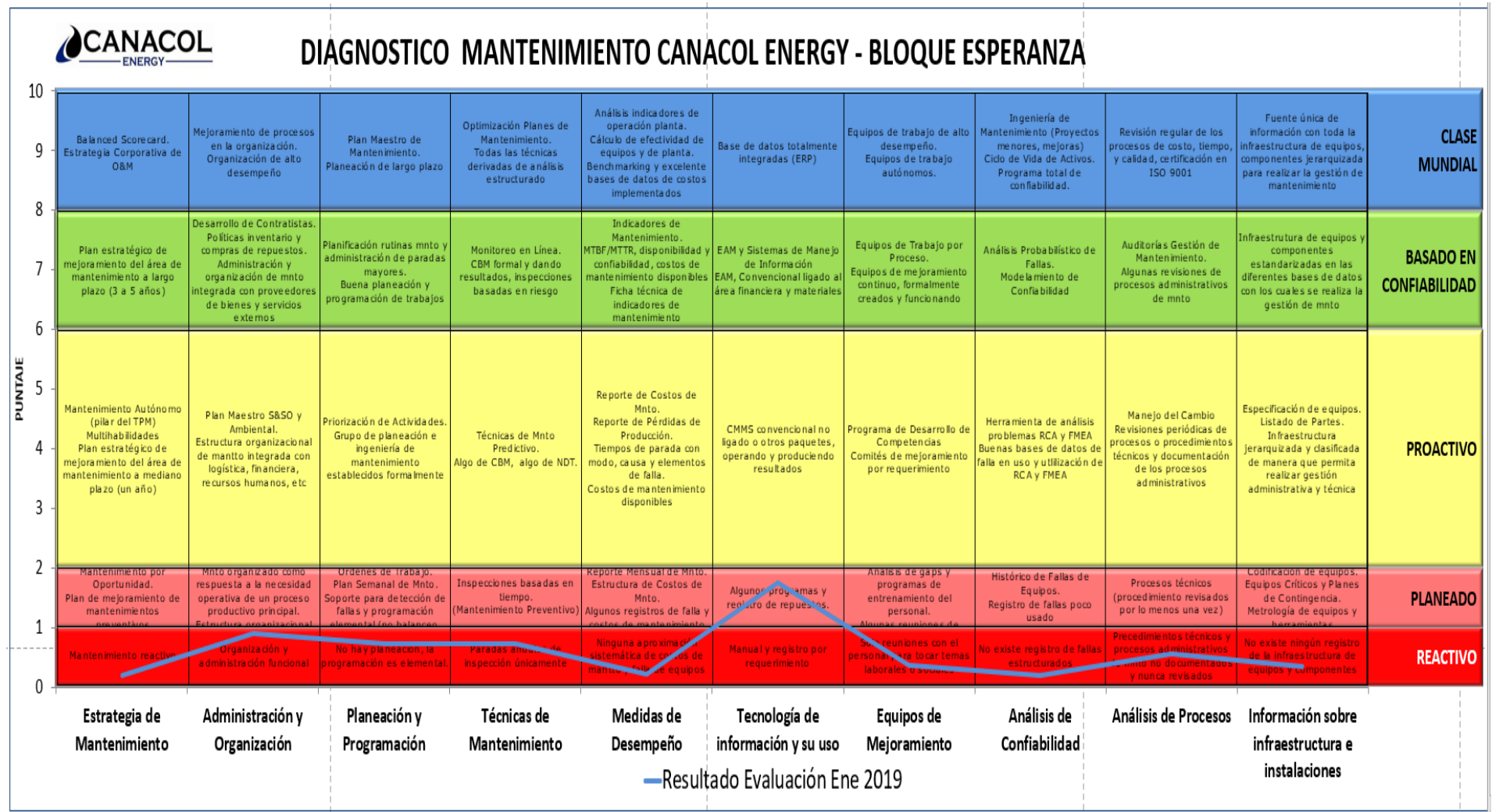
La Organización de Mantenimiento de Canacol Energy – Bloque Esperanza, se ha ubicado en el nivel de madurez **Mantenimiento Reactivo** con un **puntaje de 6 de 100**.

El Nivel de Madurez “**Mantenimiento Reactivo**” presenta a la organización de Mantenimiento de Canacol Energy – Bloque Esperanza, como una organización que requiere un cambio de enfoque desde el mantenimiento reactivo al mantenimiento proactivo, con grandes cambios culturales para llegar a la madurez deseada. Este cambio cultural para migrar al mantenimiento proactivo requiere el involucramiento de tres elementos específicos: Conocimiento, Creencia y Comportamiento.

Grafica 1. Diagnostico mantenimiento.



Grafica 2. Diagnostico mantenimiento Canacol Energy.



Ver Anexo D. Gráficos de Diagnostico Mantenimiento Canacol.

El diagnóstico de la organización de mantenimiento de Canacol Energy – Bloque Esperanza, fue realizado en campo desde el 08 hasta el 14 de enero 2019. Durante esta semana se desarrolló entrevistas, recolección y validación de información.

El presente reporte contiene los hallazgos del diagnóstico de mantenimiento y las recomendaciones asociadas. Los hallazgos, conclusiones y recomendaciones han sido desarrollados a partir de la revisión de información técnica, procedimientos y entrevistas con el personal de las áreas de Mantenimiento, Producción, Almacén, Proyectos y HSE de Canacol Energy – Bloque Esperanza.

La implementación de las recomendaciones contenidas en este reporte requiere que las diferentes áreas dentro de Canacol Energy – Bloque Esperanza, trabajen en conjunto y compartan la responsabilidad por el mejoramiento de la confiabilidad y la optimización del mantenimiento de los equipos de las facilidades de producción.

El resultado del diagnóstico de mantenimiento genero 16 planes de acción, los cuales son:

- Desarrollo de la estrategia corporativa de gestión de mantenimiento.
- Implementación de la taxonomía de equipos bajo lineamientos de la norma ISO 14224.
- Implementación del análisis de criticidad de equipos.
- Implementación del proceso de gestión de información de mantenimiento y confiabilidad (RIM).
- Implementación de Indicadores Claves de Desempeño (KPI) y Balanced Scorecard (BSC) de la gestión de mantenimiento.
- Implementación del proceso de Análisis de Causa Raíz (RCA).
- Desarrollo y optimización de estrategias de mantenimiento de los equipos.
- Implementación de materiales para mantenimiento.

- Implementación de los procesos de planificación y programación de mantenimiento (P&S).
- Actualización de los procedimientos técnicos de mantenimiento.
- Capacitaciones en Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad.
- Implementación del manejo del cambio dentro de la gestión de mantenimiento.
- Implementación del cuidado básico de equipos.
- Implementación de equipos de mejoramiento continuo.
- Seguimiento de la implementación y efectividad de las recomendaciones de los planes de mejoramiento.
- Implementación de análisis de confiabilidad probabilísticos y simulación.

5.3. RESULTADOS POR AREA DE GESTION Y PRINCIPALES HALLAZGOS.

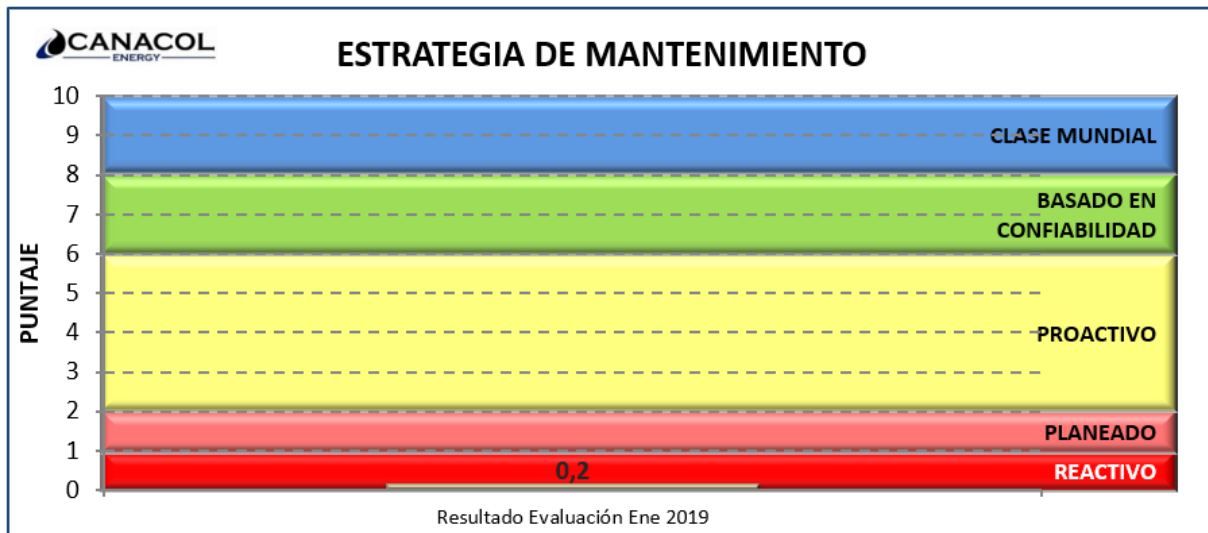
PROCESOS DE MANTENIMIENTO

El proceso del Diagnóstico ha tomado como referencia la Metodología de la Matriz de la Excelencia de Mantenimiento.

A continuación, se enumeran los requisitos exigidos por la Metodología, en cada uno de las áreas de gestión y su respectivo nivel de madurez, además se presentan las fortalezas y oportunidades de mejora.

5.3.1. Estrategia de mantenimiento

Grafica 3. Estrategia de mantenimiento



Esta área de gestión evalúa la existencia de una estrategia corporativa de gestión de mantenimiento que permita direccionar la forma como la organización debe enfrentar cada uno de los procesos de mantenimiento. También se tiene en cuenta la capacidad y madurez de la organización para definir e implementar efectivamente planes de mejoramiento a corto, mediano y largo plazo, con el fin de optimizar el desempeño de los niveles estratégico, analítico, administrativo y técnico de la organización de mantenimiento. El mantenimiento autónomo y por oportunidad. La revisión y optimización de los planes de mantenimiento de los equipos es otro aspecto considerado en esta área.

➤ Principales Hallazgos

Fortalezas:

- Existe un borrador de la política de mantenimiento, visión y misión.
- Se han desarrollado mejoras en los planes de mantenimiento por experiencia.
- Se ha realizado mantenimiento por oportunidad.
- Se han desarrollado estudios RCM.

Oportunidades de Mejora:

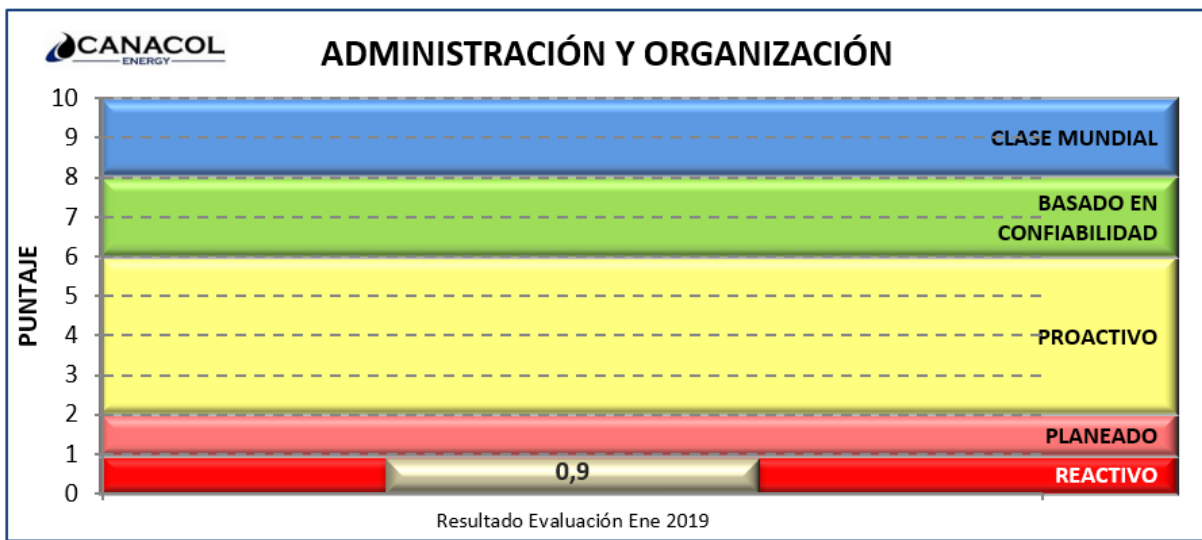
- Elaboración de la estrategia corporativa de gestión de mantenimiento que contenga las políticas de mantenimiento, misión, visión, metas basadas sobre políticas de la compañía, cooperación y relación con respecto a producción, nuevos procesos y tecnologías, requerimientos legales, HSE, entrenamientos, control de calidad, tercerización, modelamiento de procesos de gestión de mantenimiento, organigrama.
- Elaboración e implementación del plan estratégico de mejoramiento del área de mantenimiento que cubre las 10 áreas de la Matriz de Excelencia estableciendo recursos, responsables, fecha objetivo y entregables bien definidos a cada una de las actividades incluidas en el plan.
- Ejecutar reuniones periódicas de seguimiento del Plan Estratégico, documentando su alcance, asistentes, metodología y duración, con el fin de asegurar el cumplimiento efectivo de cada una de las actividades incluidas en el plan.
- Definición de los roles y responsabilidades para la implementación y ejecución de los procesos de confiabilidad y el proceso de planeación y programación de mantenimiento.
- Ejecución de Diagnósticos de la Gestión de Mantenimiento con una frecuencia anual.
- Diseño de arquitectura y elaboración de fichas técnicas de Indicadores Claves de Desempeño (KPI) y Balanced Scorecard (BSC) de la gestión de la función de mantenimiento (Desempeño de sistemas, gestión del trabajo, mejoramiento continuo, HSEQ, gestión económica) basados en “Best Practice Metrics” de la SMRP, ISO 14224 y BS EN 15341.
- Optimización del SAMM para el cálculo, tendencias y análisis de KPI y BSC y la generación de un reporte mensual de gestión de mantenimiento.

- Implementación del cuidado básico de equipos por el operador, apoyado por el departamento de producción.
 - Elaboración del plan de implementación y procedimiento de cuidado básico de Equipos por el Operador.
 - Realización del listado de tareas realizadas por los operarios.
 - Elaboración y desarrollo de un programa de entrenamiento de multihabilidades hacia operadores.
 - Reportes de ejecución de trabajos realizadas por los operarios.
- Implementación del control de ventanas operacionales (CVO).
 - Realización del plan de implementación de CVO.
 - Elaboración del listado de variables operacionales de equipos críticos con sus rangos permisib.
 - Entrenamientos en Control de Ventanas Operacionales.
 - Elaboración de un reporte mensual de control de ventanas operacionales (Tendencias, análisis, acciones, ejecución de OT generadas por CVO).
- Desarrollo y optimización de estrategias de mantenimiento de los equipos críticos mediante aplicación RCM/PMO.
 - Elaboración del plan y procedimiento para desarrollar y optimizar las estrategias de mantenimiento de los equipos críticos aplicando RCM y PMO.
 - Ejecución y reportes de estudios desarrollados.
 - Cargue en el SAMM los planes de mantenimiento desarrollados y optimizados.
 - Elaboración y montaje en el SAMM la estrategia de overhauls de equipos mayores.
 - Realización de reporte de análisis de indicadores de desempeño de los equipos con estudios de RCM/PMO, efectividad y ajustes de los planes de mantenimiento a partir de estos análisis.
- Implementación del mantenimiento por oportunidad (Trabajos de mantenimiento durante paradas no planeadas de producción).

- Identificación del mantenimiento de oportunidad en SAMM.
- Elaboración de un reporte periódico del mantenimiento de oportunidad.

5.3.2. Administración y Organización

Grafica 4. Administración y organización



Esta área evalúa la interacción de la organización de Mantenimiento con las demás áreas de la compañía (Producción, Materiales, Ingeniería, Proyectos, Logística, Financiera, Recursos Humanos, HSE, etc.) Se valoran las diferentes interrelaciones entre las áreas, los recursos tecnológicos disponibles para soportar la integración de los diferentes procesos, la frecuencia y alcance de las reuniones periódicas y la existencia de planes integrados de mejoramiento.

➤ Principales Hallazgos

Fortalezas:

- Se tiene una estructura organizacional del área de mantenimiento.
- Existen los roles y responsabilidades del personal de mantenimiento.

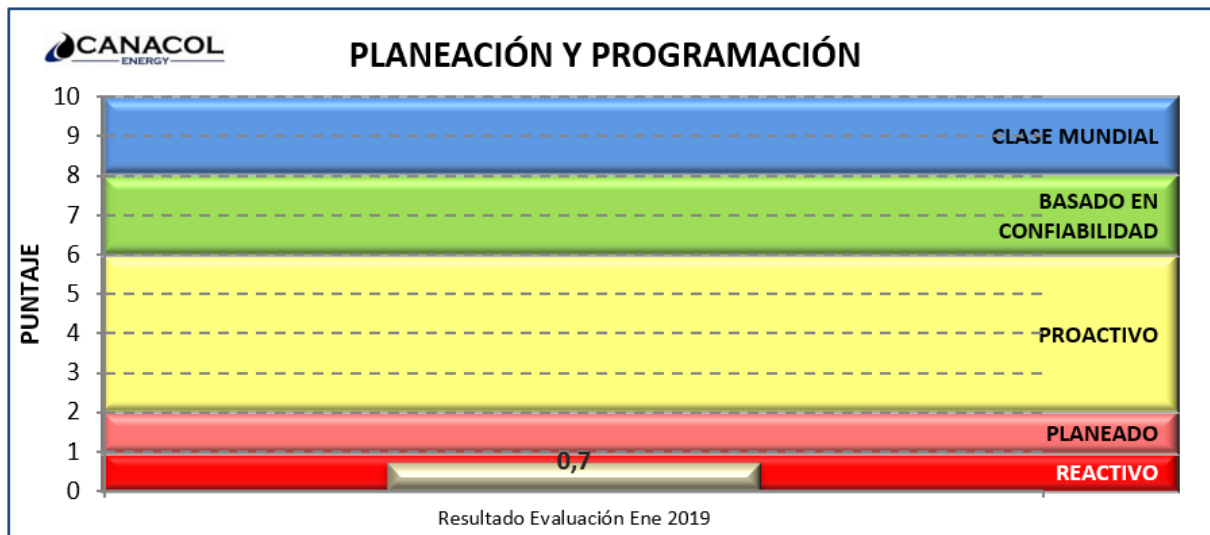
- Se realiza una reunión semanal entre mantenimiento y producción para revisión de la programación semanal y priorización de trabajos.
- El equipo de mantenimiento ha participado en el desarrollo de estudios HAZOP con el personal de proyectos e ingeniería.
- La accidentalidad del personal de mantenimiento es muy baja.
- El personal de mantenimiento participa en las investigaciones de HSE.
- Personal de producción y HSE generan solicitudes de trabajo en SAMM.
- Buena atención de solicitudes de trabajo de HSE y de producción.

Oportunidades de Mejora:

- Creación formal de equipos de mejoramiento por áreas de proceso productivo o áreas de gestión de tal forma que se tengan equipos multidisciplinarios que incluyan personal de diferentes áreas (mantenimiento, producción, almacén, etc.).
- Elaboración del procedimiento y plan de trabajo de los equipos de mejoramiento.
- Elaboración de reportes de casos estudiados por los equipos de mejoramiento.
- Identificación de los materiales a usar en un año para los mantenimientos preventivos y los de alto consumo.
- Determinación de los stocks mínimos de los equipos críticos.
- Realización de un diagnóstico de la gestión de materiales.
- Seguimiento de la implementación y efectividad de las recomendaciones de los planes de acción resultado de reuniones con producción y equipos de mejoramiento.

5.3.3. Planeación y Programación

Grafica 5. Planeación y programación



Esta área evalúa la capacidad y madurez de los procesos de planeación y programación de trabajos de mantenimiento y la existencia de grupos formales de Planeación y de Ingeniería de Mantenimiento que aseguren el correcto direccionamiento y la optimización de la estrategia de mantenimiento de la compañía.

➤ Principales Hallazgos

Fortalezas:

- Se tiene un CMMS (SAMM) en el cual se tiene montado las estrategias de mantenimiento de equipos y se generan las ordenes de trabajo.
- Existe un procedimiento de planeación y programación del mantenimiento (P&S).
- Se realiza programación semanal de trabajos de mantenimiento.

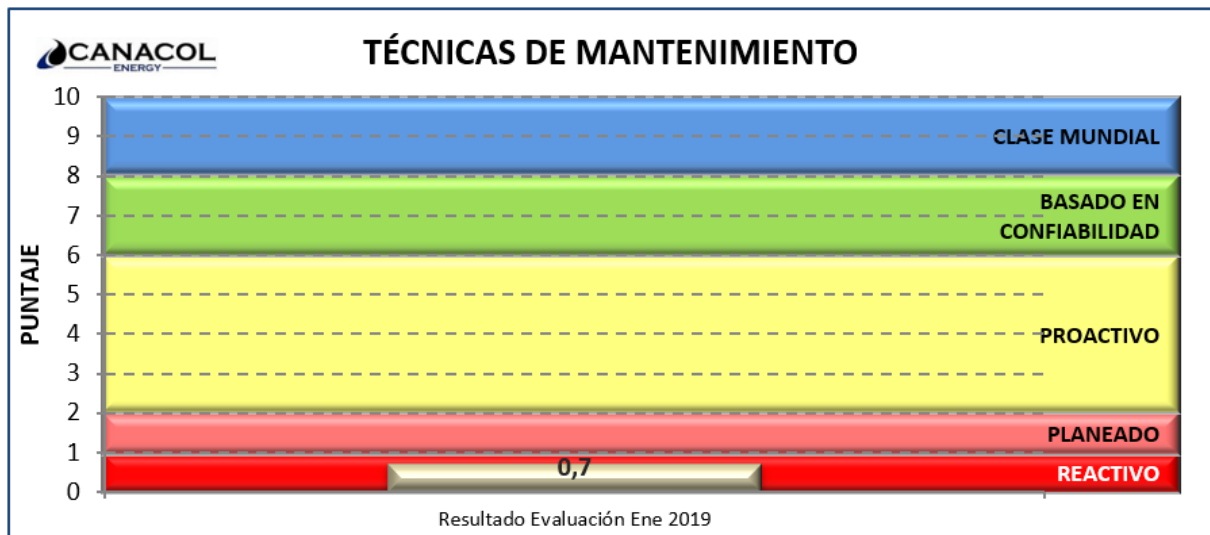
Oportunidades de Mejora:

- Elaboración de una metodología de priorización de trabajos de mantenimiento.
- Elaboración e implementación en SAMM, la matriz de Priorización de Trabajos de Mantenimiento.

- Actualización del procedimiento para la planificación y programación del mantenimiento (P&S), especificando las actividades, archivos y herramientas usadas, diagrama de flujo del proceso, roles y responsabilidades de todos los participantes del proceso y fichas técnicas de indicadores.
- Limpieza (Depuración) de OT en el SAMM.
- Diagnóstico del SAMM.
- Elaboración del procedimiento para las paradas programadas de planta, especificando las actividades, archivos y herramientas usadas, diagrama de flujo del proceso, roles y responsabilidades de todos los participantes del proceso y fichas técnicas de indicadores.
- Elaboración de la estrategia de overhauls de equipos mayores.
- Implementación de Indicadores Claves de Desempeño (KPI) para la gestión de trabajo.
- Seguimiento de la implementación y efectividad de las recomendaciones de los planes de acción resultado de análisis de KPI de gestión de trabajo y reuniones de planeación y programación.

5.3.4. Técnicas de Mantenimiento.

Grafica 6. Técnicas de mantenimiento



Esta área considera la correcta utilización de técnicas de mantenimiento predictivo y monitoreo de condiciones (CBM) para soportar los trabajos ejecutados sobre los equipos dinámicos de la compañía. Estos planes deben ser definidos a través de la ejecución de estudios RCM/PMO y deben ser optimizados utilizando técnicas de Modelamiento de Confiabilidad para asegurar que solo perduren las actividades que realmente agreguen valor.

➤ Principales Hallazgos

Fortalezas:

- Se tiene un CMMS (SAMM) en el cual se tiene montado estrategias de mantenimiento de equipos y genera las ordenes de trabajo
- Se realiza análisis de aceite usado en los compresores de los Chiller.

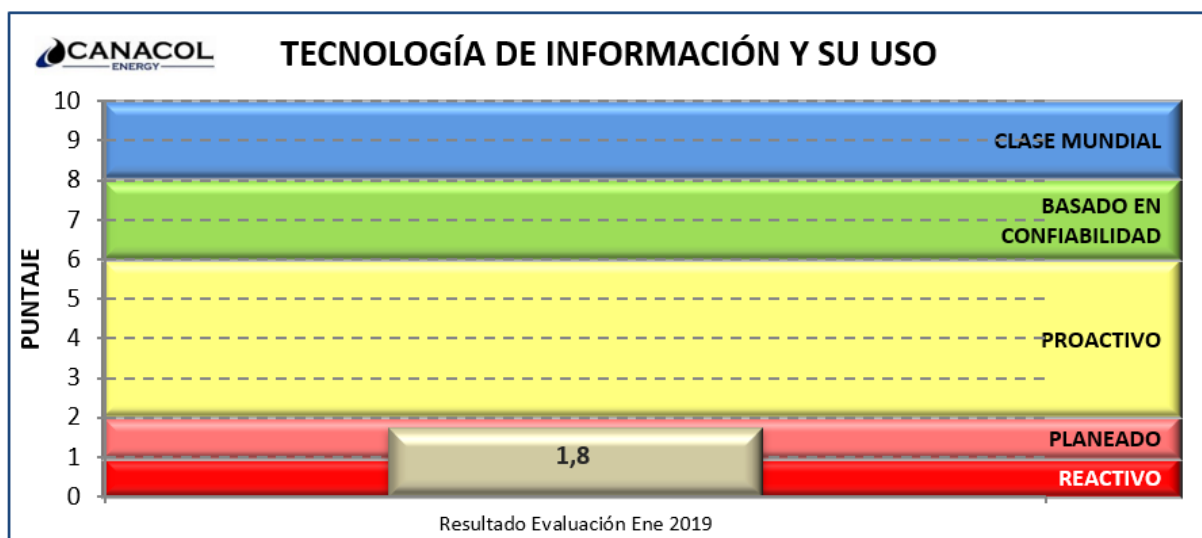
Oportunidades de Mejora:

- Desarrollo y optimización de estrategias de mantenimiento de los equipos críticos mediante aplicación RCM/PMO.

- Elaboración del plan y procedimiento para desarrollar y optimizar las estrategias de mantenimiento de los equipos críticos aplicando RCM y PMO.
- Ejecución y reportes de estudios desarrollados.
- Cargue en el SAMM los planes de mantenimiento desarrollados y optimizados.
- Elaboración y montaje en el SAMM la estrategia de overhauls de equipos mayores.
- Realización de reporte de análisis de indicadores de desempeño de los equipos con estudios de RCM/PMO, efectividad y ajustes de los planes de mantenimiento a partir de estos análisis.
- Implementación del control de ventanas operacionales (CVO)
 - Realización del plan de implementación de CVO.
 - Elaboración del listado de variables operacionales de equipos críticos con sus rangos permisibles.
 - Entrenamientos en Control de Ventanas Operacionales.
 - Elaboración de un reporte mensual de control de ventanas operacionales (Tendencias, análisis, acciones, ejecución de OT generadas por CVO).

5.3.5. Tecnología de la Información y su uso.

Grafica 7. Tecnología de información y su uso



Dentro de esta área se valora la existencia y utilización adecuada de un sistema computarizado de administración de mantenimiento (CMMS) y su interrelación con otros sistemas corporativos de gestión de materiales, costos, producción, etc.

➤ Principales Hallazgos

Fortalezas:

- Se tiene un CMMS (SAMM) en el cual se tiene montado estrategias de mantenimiento de equipos y se está generando ordenes de trabajo.

Oportunidades de Mejora:

- Cargue en SAMM:
 - La taxonomía de equipos desarrollada bajo la norma ISO 14224.
 - Análisis de criticidad desarrollado bajo el estándar Norsok Z-008 (NTC) .
 - La estrategia de overhauls de equipos mayores.
 - Los códigos de falla de equipos.
 - Listados de partes de equipos.
 - Las fichas técnicas de equipos.
 - Los planes de mantenimiento desarrollados y optimizados aplicando RCM y PMO.
- Implementación en SAMM el cargue de datos de mantenimiento y confiabilidad de equipos críticos.
- Optimización del SAMM para el cálculo, tendencias y análisis de KPI y BSC y la generación de un reporte mensual de gestión de mantenimiento.
- Identificación del mantenimiento de oportunidad en SAMM.
- Diligenciamiento de formatos de manejo del cambio en SAMM, cuando se realicen modificaciones en equipos o procesos.
- Diagnóstico del CMMS.

5.3.6. Equipos de Mejoramiento.

Grafica 8. Equipos de mejoramiento



Esta área evalúa el compromiso y la autonomía del personal de la compañía para colaborar en el logro de los objetivos de la empresa, mediante la definición de mecanismos formales de análisis y mejoramiento de los procesos de mantenimiento de la compañía.

➤ Principales Hallazgos

Fortalezas:

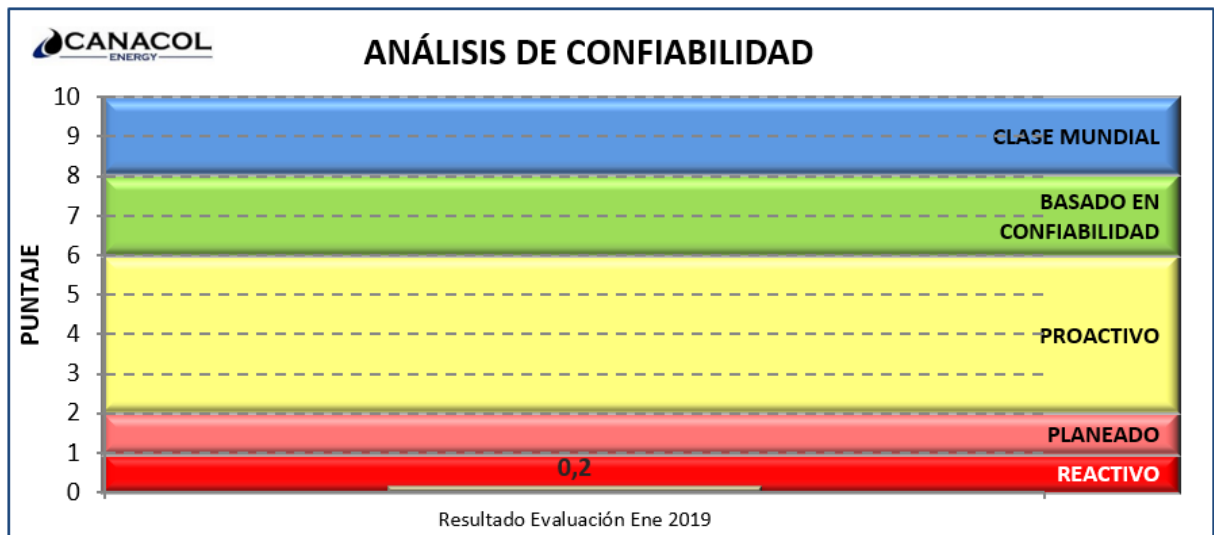
- Se tiene un programa de capacitaciones técnicas (medición y control de gas, RCA, RCM, generación con equipo recíprocante, termografía y análisis de vibraciones) para el personal de mantenimiento.
- Existe un procedimiento de RCA.
- En el último año se realizó un análisis de falla con la participación del personal de mantenimiento y producción.

Oportunidades de Mejora:

- Elaboración del procedimiento para el proceso de análisis de causa raíz (RCA), especificando las actividades, archivos y herramientas usadas, diagrama de flujo del proceso, roles y responsabilidades de todos los participantes del proceso y fichas técnicas de indicadores.
- Ejecución de estudios de Análisis de Causa Raíz en fallas repetitivas o esporádicas para identificación de causas raíces y planteamiento de soluciones efectivas.
- Creación formal de equipos de mejoramiento por áreas de proceso productivo o áreas de gestión de tal forma que se tengan equipos multidisciplinarios que incluyan personal de diferentes áreas (mantenimiento, producción, almacén, etc.)
- Elaboración del procedimiento y plan de trabajo de los equipos de mejoramiento.
- Elaboración de reportes de casos estudiados por los equipos de mejoramiento.
- Seguimiento de la implementación y efectividad de las recomendaciones de los planes de acción resultado de RCAs y equipos de mejoramiento.
- Ejecución de capacitaciones en diferentes métodos de ingeniería de confiabilidad (RIM, RCA, RCM/PMO y P&S) dirigido hacia el personal de mantenimiento y producción.

5.3.7. Análisis de Confiabilidad.

Grafica 9. Análisis de confiabilidad.



Esta área evalúa la utilización de técnicas de análisis de confiabilidad, como el Análisis de Causa Raíz de Falla (RCA), el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM, PMO) y el Modelamiento de Confiabilidad (RAM), para optimizar los procesos de mantenimiento, soportar la toma efectiva de decisiones y mejorar los indicadores de desempeño de la compañía.

➤ Principales Hallazgos

Fortalezas:

- Existe un procedimiento para el proceso de análisis de causa raíz (RCA).
- En el último año se realizó un análisis de falla con la participación del personal de mantenimiento y producción.

Oportunidades de Mejora:

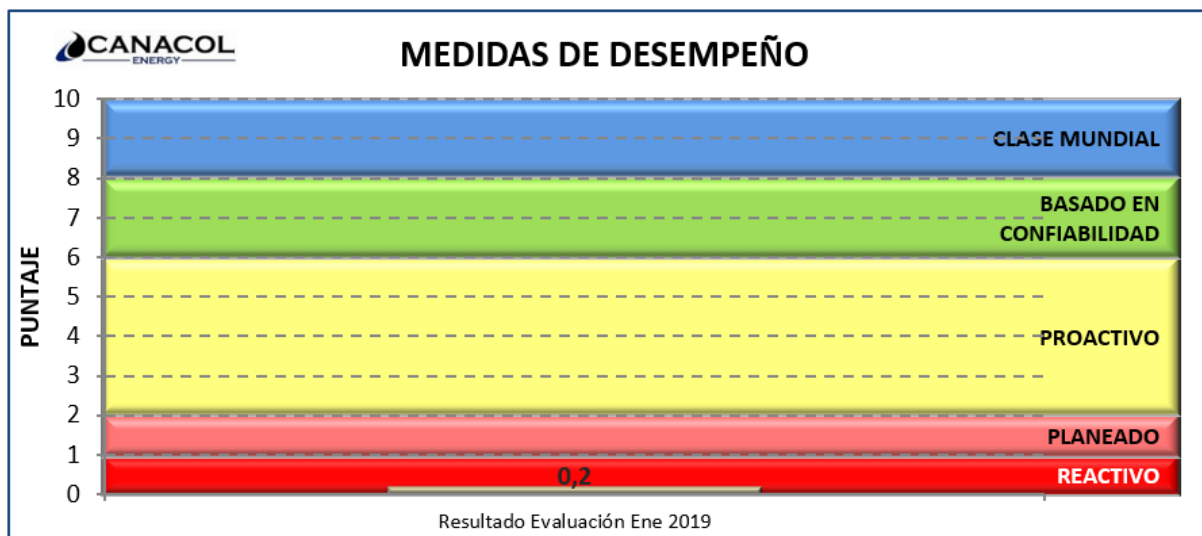
- Elaboración del procedimiento para el proceso de análisis de causa raíz (RCA), especificando las actividades, archivos y herramientas usadas, diagrama de flujo

del proceso, roles y responsabilidades de todos los participantes del proceso y fichas técnicas de indicadores.

- Ejecución de estudios de Análisis de Causa Raíz en fallas repetitivas o esporádicas para identificación de causas raíces y planteamiento de soluciones efectivas.
- Definición y Cargue en SAMM los códigos de falla de equipos bajo la norma ISO 14224 por clase y tipo de equipos.
- Implementación en SAMM el cargue de datos de mantenimiento y confiabilidad de equipos críticos.
- Optimización cuantitativa de planes de mantenimiento mediante análisis Weibull y aplicación de modelos matemáticos.
- Desarrollo de análisis Pareto por fallas de equipos para identificación de malos actores.
- Elaboración del plan y procedimiento para desarrollar y optimizar las estrategias de mantenimiento de los equipos aplicando RCM y PMO, especificando las actividades, archivos y herramientas usadas, diagrama de flujo del proceso, roles y responsabilidades de todos los participantes del proceso y fichas técnicas de indicadores.
- Ejecución y reportes de estudios desarrollados por RCM/PMO.
- Realización de estudios de modelamiento de confiabilidad para realizar un análisis cuantitativo del desempeño de los equipos y plantas y del impacto económico de cambios en el diseño o modificaciones, para establecer criterios objetivos en la toma de decisiones y el direccionamiento efectivo de los recursos de mantenimiento.
- Análisis del Costo de Ciclo de Vida (LCC) a equipos críticos para identificar oportunidades de mejoramiento.

5.3.8. Medidas de desempeño.

Grafica 10. Medidas de desempeño.



Esta área evalúa la gestión realizada por la organización de mantenimiento mediante el control y seguimiento de indicadores de desempeño de mantenimiento, confiabilidad y costos, obtenidos a partir de la recolección y análisis de información codificada de eventos de mantenimiento de los equipos y sistemas de las plantas.

➤ Principales Hallazgos

Fortalezas:

- Mantenimiento participa en la elaboración del presupuesto y se realiza control mensual.

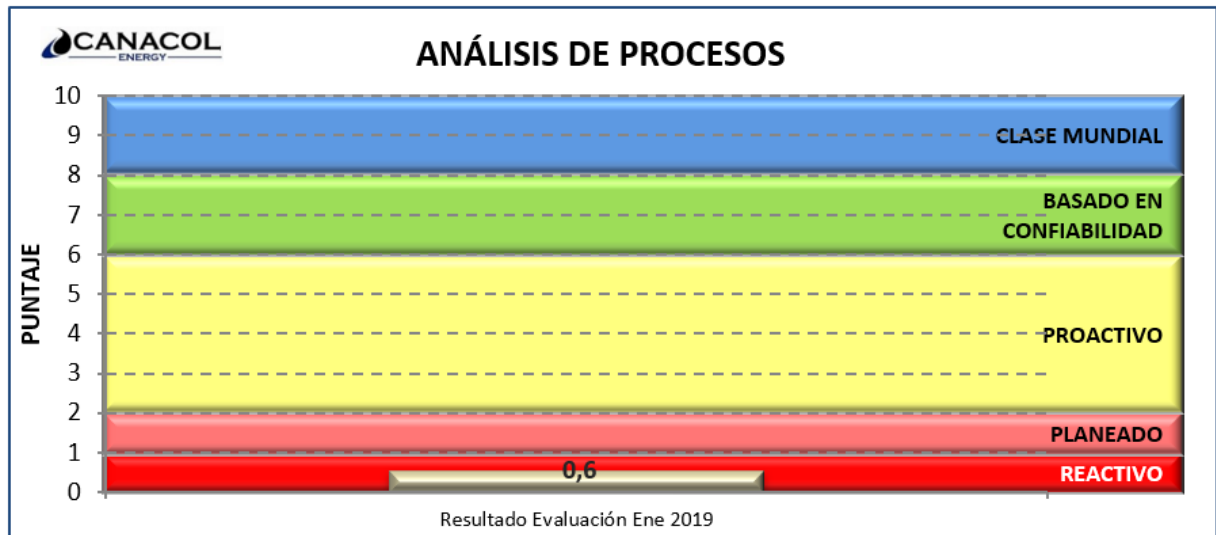
Oportunidades de Mejora:

- Definición y Cargue en SAMM los códigos de falla de equipos bajo la norma ISO 14224 por clase y tipo de equipos.

- Implementación en SAMM el cargue de datos de mantenimiento y confiabilidad de equipos críticos y el cálculo y análisis de KPI de confiabilidad de equipos.
- Elaboración del procedimiento para el proceso de gestión de información de mantenimiento y confiabilidad (RIM) especificando las actividades, archivos y herramientas usadas, diagrama de flujo del proceso, roles y responsabilidades de todos los participantes del proceso, fichas técnicas de indicadores del proceso.
- Diseño de arquitectura y elaboración de fichas técnicas de Indicadores Claves de Desempeño (KPI) y Balanced Scorecard (BSC) de la gestión de la función de mantenimiento (Desempeño de sistemas, gestión del trabajo, mejoramiento continuo, HSEQ, gestión económica) basados en “Best Practice Metrics” de la SMRP, ISO 14224 y BS EN 15341.
- Optimización del SAMM para el cálculo, tendencias y análisis de KPI y BSC y la generación de un reporte mensual de gestión de mantenimiento.
- Establecer una reunión mensual con el departamento de producción para la divulgación de los Indicadores Claves de Desempeño (KPI) de la gestión de la función de mantenimiento.
- Seguimiento de la implementación y efectividad de las recomendaciones de los planes de acción resultado de los análisis de KPI.

5.3.9. Análisis de Procesos.

Grafica 11. Análisis de procesos.



Esta área considera el grado de documentación y revisión de los procesos y procedimientos técnicos y administrativos del área de mantenimiento, de tal manera que permita asegurar que la compañía tenga el conocimiento y el control de estos procesos.

➤ Principales Hallazgos

Fortalezas

- Existen listas de chequeo de trabajos de mantenimiento.
- Se cuenta con procedimientos técnicos para las actividades de mantenimiento de equipos.
- Se tienen procedimientos para P&S y RCA.

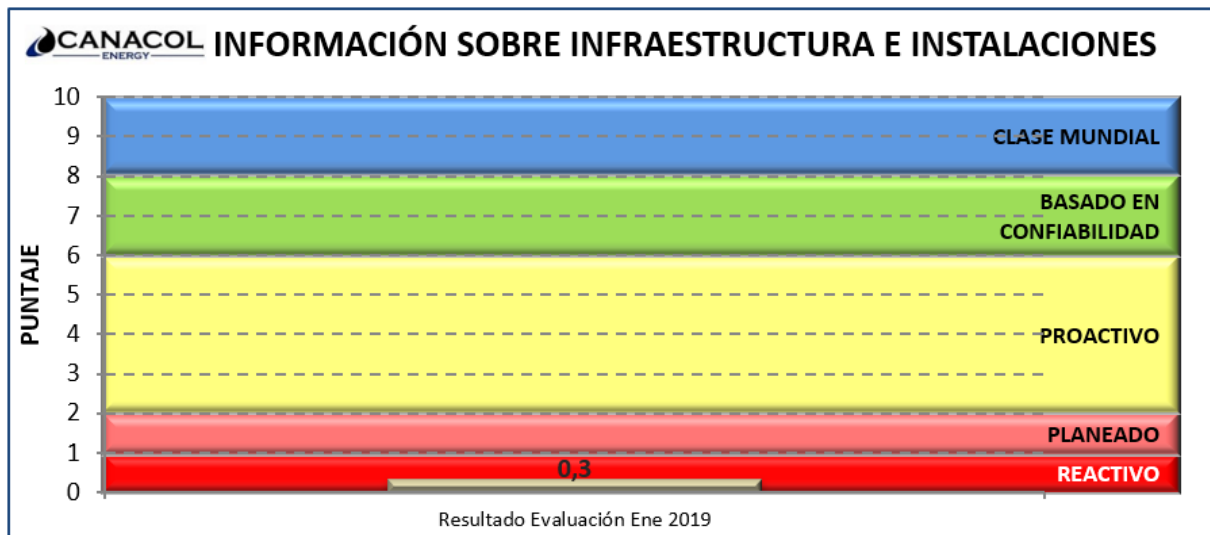
Oportunidades de Mejora:

- Ejecución de Diagnósticos de la Gestión de Mantenimiento con una frecuencia anual.

- Elaboración e implementación del plan estratégico de mejoramiento del área de mantenimiento que cubre las 10 áreas de la Matriz de Excelencia estableciendo recursos, responsables, fecha objetivo y entregables bien definidos a cada una de las actividades incluidas en el plan.
- Ejecutar reuniones periódicas de seguimiento del Plan Estratégico, documentando su alcance, asistentes, metodología y duración, con el fin de asegurar el cumplimiento efectivo de cada una de las actividades incluidas en el plan.
- Elaboración y actualización de los procedimientos de los procesos de gestión de mantenimiento y confiabilidad (RIM, análisis de criticidad, RCA, P&S, RCM/PMO, PdM, paradas programadas de planta, equipos de mejoramiento, diagnóstico de mantenimiento y manejo del cambio).
- Elaboración y ejecución de un plan para la actualización de los procedimientos técnicos de trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo (Standard Job) y para la realización de los procedimientos pendientes.
- Elaboración del procedimiento para el manejo del cambio dentro de la gestión de mantenimiento.
- Diligenciamiento de formatos de manejo del cambio en SAMM, cuando se realicen modificaciones en equipos o procesos.

5.3.10. Información de infraestructura e Instalaciones.

Grafica 12. Información sobre infraestructura e instalaciones.



Dentro de esta área se considera la disponibilidad dentro de un sistema computarizado de administración de mantenimiento de información estructurada y jerarquizada de las plantas y equipos de la compañía, incluyendo información técnica detallada, históricos, criticidad, códigos de falla, puntos de monitoreo, etc.

➤ Principales Hallazgos

Fortalezas:

- En SAMM se encuentra cargada una estructura de árbol de equipo.
- Se realizó un estudio de criticidad de equipos y se encuentra cargada en SAMM.
- Se cuenta con fichas técnicas de equipos cargadas en SAMM.

Oportunidades de Mejora:

- Desarrollo y montaje en el SAMM la taxonomía de equipos bajo la norma ISO 14224.
- Ejecución y montaje en el SAMM el estudio de criticidad de equipos bajo el estándar.

- Implementación en el SAMM los códigos de falla de equipos bajo la norma ISO 14224.
- Continuación del desarrollo y cargue en SAMM las fichas técnicas de equipos.
- Realización de listados de partes de equipos.
- Asociación de materiales de equipos a planes de mantenimiento.
- Planes de Acción.

Para la identificación de planes de acción es necesario valorar las recomendaciones que fueron planteadas para cada área de gestión, y poder determinar alguno de los siguientes escenarios:

- La existencia de planes de acción individuales para cada recomendación.
- La existencia de planes de acción que agrupen a más de una iniciativa, determinado por la similitud entre recomendaciones por lo que se considerará más apropiado realizarlas a través de un único esfuerzo coordinado.
- La existencia de dos o más proyectos para una misma recomendación ya sea por la complejidad de los temas a abordar o por la necesidad de asignar especialistas que controlen los esfuerzos de forma independiente.

El resultado fue 16 planes de acción sugeridos, requieren la validación de la compañía y están sujetos a los recursos, tiempo y costos que la organización desee implementar de acuerdo con el nivel de madurez que se pretende obtener.

- Desarrollo de la estrategia corporativa de gestión de mantenimiento.
- Implementación de la taxonomía de equipos bajo lineamientos de la norma ISO 14224.
- Implementación del análisis de criticidad de equipos.
- Implementación del proceso de gestión de información de mantenimiento y confiabilidad (RIM).

- Implementación de Indicadores Claves de Desempeño (KPI) y Balanced Scorecard (BSC) de la gestión de mantenimiento.
- Implementación del proceso de Análisis de Causa Raíz (RCA).
- Desarrollo y optimización de estrategias de mantenimiento de los equipos.
- Implementación de materiales para mantenimiento.
- Implementación de los procesos de planificación y programación de mantenimiento (P&S).
- Actualización de los procedimientos técnicos de mantenimiento.
- Capacitaciones en Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad.
- Implementación del manejo del cambio dentro de la gestión de mantenimiento.
- Implementación del cuidado básico de equipos.
- Implementación de equipos de mejoramiento continuo.
- Seguimiento de la implementación y efectividad de las recomendaciones de los planes de mejoramiento.
- Implementación de análisis de confiabilidad probabilísticos y simulación.

Desarrollo de la estrategia corporativa de gestión de mantenimiento

- Elaboración de la estrategia corporativa de gestión de mantenimiento que contenga las políticas de mantenimiento, misión, visión, metas basadas sobre políticas de la compañía, cooperación y relación con respecto a producción, nuevos procesos y tecnologías, requerimientos legales, HSE, entrenamientos, control de calidad, tercerización, modelamiento de procesos de gestión de mantenimiento, organigrama.
- Elaboración e implementación del plan estratégico de mejoramiento del área de mantenimiento que cubre las 10 áreas de la Matriz de Excelencia estableciendo recursos, responsables, fecha objetivo y entregables bien definidos a cada una de las actividades incluidas en el plan.
- Ejecutar reuniones periódicas de seguimiento del Plan Estratégico, documentando su alcance, asistentes, metodología y duración, con el fin de

asegurar el cumplimiento efectivo de cada una de las actividades incluidas en el plan.

- Definición de los roles y responsabilidades para la implementación y ejecución de los procesos de confiabilidad y el proceso de planeación y programación de mantenimiento.
- Elaboración del procedimiento y ejecución de Diagnósticos de la Gestión de Mantenimiento con una frecuencia anual.

Implementación de la taxonomía de equipos bajo lineamientos de la norma ISO 14224

- Identificación de ubicaciones técnicas y equipos en campo (recopilación de información técnica).
- Desarrollo y montaje en SAMM la taxonomía de equipos bajo la norma ISO 14224 “Petroleum and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment”.
- Elaboración del procedimiento de codificación y clasificación de ubicaciones y equipos bajo la norma ISO 14224.

Implementación del análisis de criticidad de equipos

- Ejecución de estudio y montaje en SAMM el análisis de criticidad de equipos bajo el estándar Norsok Z-008, para establecer las prioridades y el nivel de análisis para el establecimiento de las estrategias de mantenimiento, el nivel de servicio y focalizar los estudios y análisis de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad.
- Elaboración del procedimiento para el análisis de criticidad de equipos bajo el estándar Norsok Z-008.

Implementación del proceso de gestión de información de mantenimiento y confiabilidad (RIM)

- Definición y Cargue en SAMM los códigos de falla de equipos bajo la norma ISO 14224 por clase y tipo de equipos.
- Implementación en SAMM el cargue de datos de mantenimiento y confiabilidad de equipos críticos y el cálculo y análisis de KPI de confiabilidad de equipos.
- Desarrollo de análisis Pareto por fallas de equipos para identificación de malos actores.
- Elaboración del procedimiento para el proceso de gestión de información de mantenimiento y confiabilidad (RIM) especificando las actividades, archivos y herramientas usadas, diagrama de flujo del proceso, roles y responsabilidades de todos los participantes del proceso, fichas técnicas de indicadores y análisis Pareto.

Implementación de Indicadores Claves de Desempeño (KPI) y Balanced Scorecard (BSC) de la gestión de mantenimiento.

- Diseño de arquitectura y elaboración de fichas técnicas de Indicadores Claves de Desempeño (KPI) y Balanced Scorecard (BSC) de la gestión de la función de mantenimiento (Desempeño de sistemas, gestión del trabajo, mejoramiento continuo, HSEQ, gestión económica) basados en “Best Practice Metrics” de la SMRP, ISO 14224 y BS EN 15341.
- Optimización del SAMM para el cálculo, tendencias y análisis de KPI y BSC y la generación de un reporte mensual de gestión de mantenimiento.
- Establecer una reunión mensual con el departamento de producción para la divulgación de los Indicadores Claves de Desempeño (KPI) de la gestión de la función de mantenimiento.

Implementación del proceso de Análisis de Causa Raíz (RCA)

- Elaboración del procedimiento para el proceso de análisis de causa raíz (RCA), especificando las actividades, archivos y herramientas usadas, diagrama de flujo del proceso, roles y responsabilidades de todos los participantes del proceso y fichas técnicas de indicadores.
- Ejecución de estudios de Análisis de Causa Raíz en fallas repetitivas o esporádicas para identificación de causas raíces y planteamiento de soluciones efectivas.

Desarrollo y optimización de estrategias de mantenimiento de los equipos

- Equipos críticos mediante aplicación RCM/PMO.
 - Elaboración del plan y procedimiento para desarrollar y optimizar las estrategias de mantenimiento de los equipos críticos aplicando RCM y PMO.
 - Ejecución y reportes de estudios desarrollados.
 - Cargue en el SAMM los planes de mantenimiento desarrollados y optimizados.
 - Elaboración y montaje en el SAMM la estrategia de overhauls de equipos mayores.
 - Realización de reporte de análisis de indicadores de desempeño de los equipos con estudios de RCM/PMO, efectividad y ajustes de los planes de mantenimiento a partir de estos análisis.
- Equipos no críticos.
 - Elaboración del plan y procedimiento para desarrollar y optimizar las estrategias de mantenimiento de los equipos no críticos.
 - Cargue en el SAMM los planes de mantenimiento desarrollados.

Implementación de materiales para mantenimiento

- Realización de listados de partes de equipos.
- Asociación de materiales de equipos a planes de mantenimiento.
- Identificación de los materiales a usar en un año para los mantenimientos preventivos y los de alto consumo.
- Determinación de los stocks mínimos de los equipos críticos.
- Realización de un diagnóstico de la gestión de materiales.
- Continuación del desarrollo y cargue en SAMM las fichas técnicas de equipos.

Implementación de los procesos de planificación y programación de mantenimiento (P&S)

- Elaboración de una metodología de priorización de trabajos de mantenimiento.
- Elaboración e implementación en SAMM, la matriz de Priorización de Trabajos de Mantenimiento.
- Actualización del procedimiento para la planificación y programación del mantenimiento (P&S), especificando las actividades, archivos y herramientas usadas, diagrama de flujo del proceso, roles y responsabilidades de todos los participantes del proceso y fichas técnicas de indicadores.
- Limpieza (Depuración) de OT en el SAMM.
- Diagnóstico del SAMM.
- Elaboración del procedimiento para las paradas programadas de planta, especificando las actividades, archivos y herramientas usadas, diagrama de flujo del proceso, roles y responsabilidades de todos los participantes del proceso y fichas técnicas de indicadores.
- Implementación del mantenimiento por oportunidad (Trabajos de mantenimiento durante paradas no planeadas de producción).
 - Identificación del mantenimiento de oportunidad en SAMM.
 - Elaboración de un reporte periódico del mantenimiento de oportunidad.

Actualización de los procedimientos técnicos

- Elaboración de un plan para la actualización de los procedimientos técnicos de trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo (Standard Job) y para la realización de los procedimientos pendientes.
- Realización de un listado con todos los procedimientos técnicos de mantenimiento desarrollados y pendientes.
- Desarrollo y actualización de los procedimientos técnicos.

Capacitaciones en Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad

- Ejecución de capacitaciones en diferentes métodos de ingeniería de confiabilidad (RIM, RCA, RCM/PMO y P&S) dirigido hacia el personal de mantenimiento y producción.

Implementación del manejo del cambio dentro de la gestión de mantenimiento

- Elaboración del procedimiento para el manejo del cambio dentro de la gestión de mantenimiento.
- Diligenciamiento de formatos de manejo del cambio en SAMM, cuando se realicen modificaciones en equipos o procesos.

Implementación del cuidado básico de equipos

- Implementación del cuidado básico de equipos por el operador, apoyado por el departamento de producción.
 - Elaboración del plan de implementación y procedimiento de cuidado básico de Equipos por el Operador.

- Realización del listado de tareas realizadas por los operarios.
- Elaboración y desarrollo de un programa de entrenamiento de multihabilidades hacia operadores.
- Reportes de ejecución de trabajos realizadas por los operarios.
- Implementación del control de ventanas operacionales (CVO)
 - Realización del plan de implementación de CVO.
 - Elaboración del listado de variables operacionales de equipos críticos con sus rangos permisibles.
 - Entrenamientos en Control de Ventanas Operacionales.
 - Elaboración de un reporte mensual de control de ventanas operacionales (Tendencias, análisis, acciones, ejecución de OT generadas por CVO).

Implementación de equipos de mejoramiento continuo

- Creación formal de equipos de mejoramiento por áreas de proceso productivo o áreas de gestión de tal forma que se tengan equipos multidisciplinarios que incluyan personal de diferentes áreas (mantenimiento, producción, almacén, etc.).
- Elaboración del procedimiento y plan de trabajo de los equipos de mejoramiento.
- Elaboración de reportes de casos estudiados por los equipos de mejoramiento.

Seguimiento de la implementación y efectividad de las recomendaciones de los planes de mejoramiento

- Creación de una herramienta para seguimiento de la implementación y efectividad de las recomendaciones de los planes de acción resultado de RCAs, análisis de KPI, análisis Pareto, reuniones con producción y equipos de mejoramiento.

Implementación de análisis de confiabilidad probabilísticos y simulación

- Optimización cuantitativa de planes de mantenimiento mediante análisis Weibull y aplicación de modelos matemáticos.
- Realización de estudios de modelamiento de confiabilidad para realizar un análisis cuantitativo del desempeño de los equipos y plantas y del impacto económico de cambios en el diseño o modificaciones, para establecer criterios objetivos en la toma de decisiones y el direccionamiento efectivo de los recursos de mantenimiento.
- Análisis del Costo de Ciclo de Vida (LCC) a equipos críticos para identificar oportunidades de mejoramiento.

6. TAXONOMIA DE EQUIPOS

6.1. GENERALIDADES

La taxonomía de equipos es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores comunes como localización, categorías, clases (The British Standards Institution).

La taxonomía de equipos es el inicio para establecer los parámetros e indicadores de mantenimiento y confiabilidad, los cuales están relacionados con los niveles de la taxonomía de equipos establecidos en la planta. Por ejemplo, el parámetro de confiabilidad de los modos de falla se establece para el nivel de equipo.

La norma ISO 14224 agrupa la información de los equipos en dos:

- Información de localización o posición del equipo.
- Información propia del equipo.

6.2. PROCEDIMIENTO.

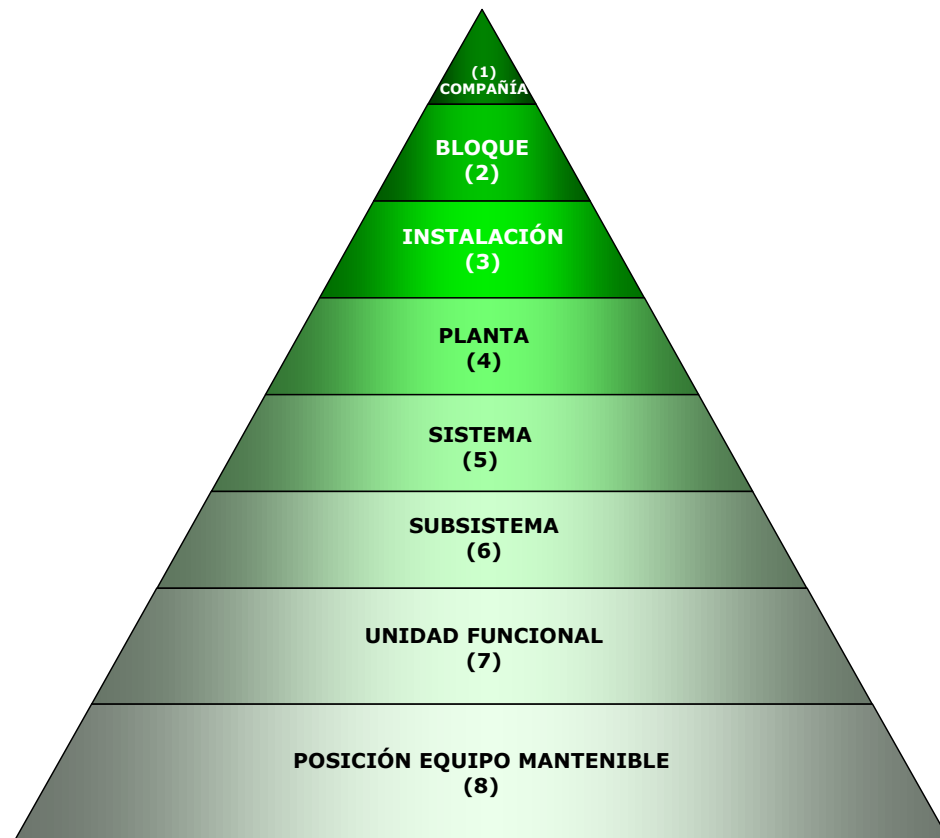
La taxonomía es la base fundamental para garantizar una buena gestión de los procesos de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad como RIM (Gestión de Información de Mantenimiento y Confiabilidad), P&S (Planeación y programación), RCA (Análisis de causa raíz) y es una base sólida para desarrollar los diferentes estudios que demandan las disciplinas de confiabilidad, integridad y optimización para una efectiva gestión de activos.

6.3. CLASIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN, Y CODIFICACIÓN DE LAS UBICACIONES TÉCNICAS.

Las ubicaciones técnicas es la estructura jerárquica de varios niveles, en donde se localizan los equipos.

Las ubicaciones técnicas de los equipos son fijas en la taxonomía mientras que los equipos se pueden mover de una ubicación técnica a otra, de forma analógica el sitio de parqueo (Ubicación técnica) de un vehículo (Equipo) en un estacionamiento. Soportada en las definiciones de la norma ISO 14224, se han definido 8 Niveles de jerarquía en la taxonomía de las ubicaciones técnicas de los equipos de Canacol Energy como se puede ver en la figura 1.

Figura 1. Niveles de taxonomía para las ubicaciones técnicas de los equipos.



6.3.1. Nivel 1 – Compañía

Este nivel de la taxonomía es el de la empresa

El código de compañía se estableció de dos caracteres, siguiendo las siguientes reglas:

- Si la descripción de la compañía es de una palabra se selecciona los dos primeros caracteres.
- Si la descripción de la compañía es de dos palabras se selecciona el primer carácter de cada palabra.

Ejemplo del código y la descripción definidos para el nivel de compañía se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Nivel 1 - Compañía

Nivel 1 – COMPAÑÍA	
Código	Descripción
CE	CANACOL ENERGY

En el Anexo 1: Reporte y Herramienta Taxonomía Eq-GEO. Se encuentra las compañías definidas.

6.3.2. Nivel 2 – Bloque

En este nivel de la taxonomía se clasifican los tipos de bloques que tiene Canacol Energy.

El código de Bloque se estableció de tres caracteres, siguiendo las siguientes reglas:

- Si la descripción del bloque es de una palabra se selecciona los tres primeros caracteres.
- Si la descripción del bloque es de dos palabras se selecciona el primer carácter de la primera palabra y los dos primeros caracteres de la segunda palabra.
- Si la descripción del bloque es de tres palabras se selecciona el primer carácter de cada palabra.

- Si la descripción del bloque es de cuatro palabras se selecciona el primer carácter de la primera palabra, segunda y tercera palabra.

Ejemplo del código y la descripción definidos para el nivel de Bloque se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Nivel 2 – Bloque.

Nivel 2 - Bloque	
Código	Descripción
BES	BLOQUE ESPERANZA

En el Anexo 1: Reporte y Herramienta Taxonomía Eq-GEO. Se encuentran los bloques definidos para Canacol Energy.

6.3.3. Nivel 3 – Instalación

En este nivel de la taxonomía se establecen las instalaciones, ya sean Campos de Producción, Facilidades centrales de procesamiento, Facilidades de Refinación y Petroquímica, Facilidades Offshore, etc.

El código de Instalación se estableció de tres caracteres, siguiendo las siguientes reglas:

- Si la descripción de la instalación es de una palabra se selecciona los tres primeros caracteres
- Si la descripción de la instalación es de dos palabras se selecciona el primer carácter de la primera palabra y los dos primeros caracteres de la segunda palabra
- Si la descripción de la instalación es de tres palabras se selecciona el primer carácter de cada palabra.

- Si la descripción de la instalación es de cuatro palabras se selecciona el primer carácter de la primera palabra y el primer carácter de la segunda y tercera palabra.

Ejemplo del código y la descripción definidos para el nivel instalación se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Nivel 3 – Instalación.

Nivel 3 - INSTALACIÓN	
Código	Descripción
EJO	ESTACIÓN JOBO

6.3.4. Nivel 4 – Planta

En este nivel de la taxonomía se establecen las áreas donde se desarrollan los principales procesos y están contenidos los sistemas y equipos de operación.

El código de Planta se estableció de cuatro caracteres, siguiendo las siguientes reglas:

- Si la descripción de la planta es de una palabra se selecciona los cuatro primeros caracteres.
- Si la descripción de la planta es de dos palabras se selecciona los dos primeros caracteres de cada palabra.
- Si la descripción de la planta es de tres palabras se selecciona los dos primeros caracteres de la primera palabra y el primer carácter de la segunda y tercera palabra.
- Si la descripción de la planta es de cuatro palabras se selecciona el primer carácter de cada palabra.

Ejemplo del código y la descripción definidos para el nivel planta se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Nivel 4 - Planta.

Nivel 4 - PLANTA	
Código	Descripción
PTG1	PLANTA TRATAMIENTO GAS 1

6.3.5. Nivel 5 – Sistema

En este nivel de la taxonomía se establecen los principales procesos dentro de las plantas.

El código de Sistema se estableció de cuatro caracteres, siguiendo las siguientes reglas:

- Si la descripción del Sistema es de una palabra se selecciona los cuatro primeros caracteres.
- Si la descripción del Sistema es de dos palabras se selecciona los dos primeros caracteres de cada palabra.
- Si la descripción del Sistema es de tres palabras se selecciona los dos primeros caracteres de la primera palabra y el primer carácter de la segunda y tercera palabra.
- Si la descripción del Sistema es de cuatro palabras se selecciona el primer carácter de cada palabra.

Ejemplo del código y la descripción definidos para el nivel sistema se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Nivel 5 - Sistema.

Nivel 5 -SISTEMA	
Código	Descripción
DEGA	DESHIDRATACIÓN GAS

6.3.6. Nivel 6 – Subsistema.

En este nivel de la taxonomía se identifica las características principales de los sistemas, que pueden ser los productos o materiales que maneja cada uno de los procesos o un grupo de unidades funcionales que desarrollen funciones de similares características son incluidas en este nivel

El código de Subsistema se estableció de cuatro caracteres, siguiendo las siguientes reglas:

- Si la descripción del Subsistema es de una palabra se selecciona los cuatro primeros caracteres.
- Si la descripción del Subsistema es de dos palabras se selecciona los dos primeros caracteres de cada palabra.
- Si la descripción del Subsistema es de tres palabras se selecciona los dos primeros caracteres de la primera palabra y el primer carácter de la segunda y tercera palabra.
- Si la descripción del Subsistema es de cuatro palabras se selecciona el primer carácter de cada palabra.

Ejemplo del código y la descripción definidos para el nivel Subsistema se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Nivel 6 - Subsistema.

Nivel 6 -SUBSISTEMA	
Código	Descripción
BOFE	BOMBAS FLUIDO ENFRIAMIENTO

6.3.7. Nivel 7 – Unidad Funcional.

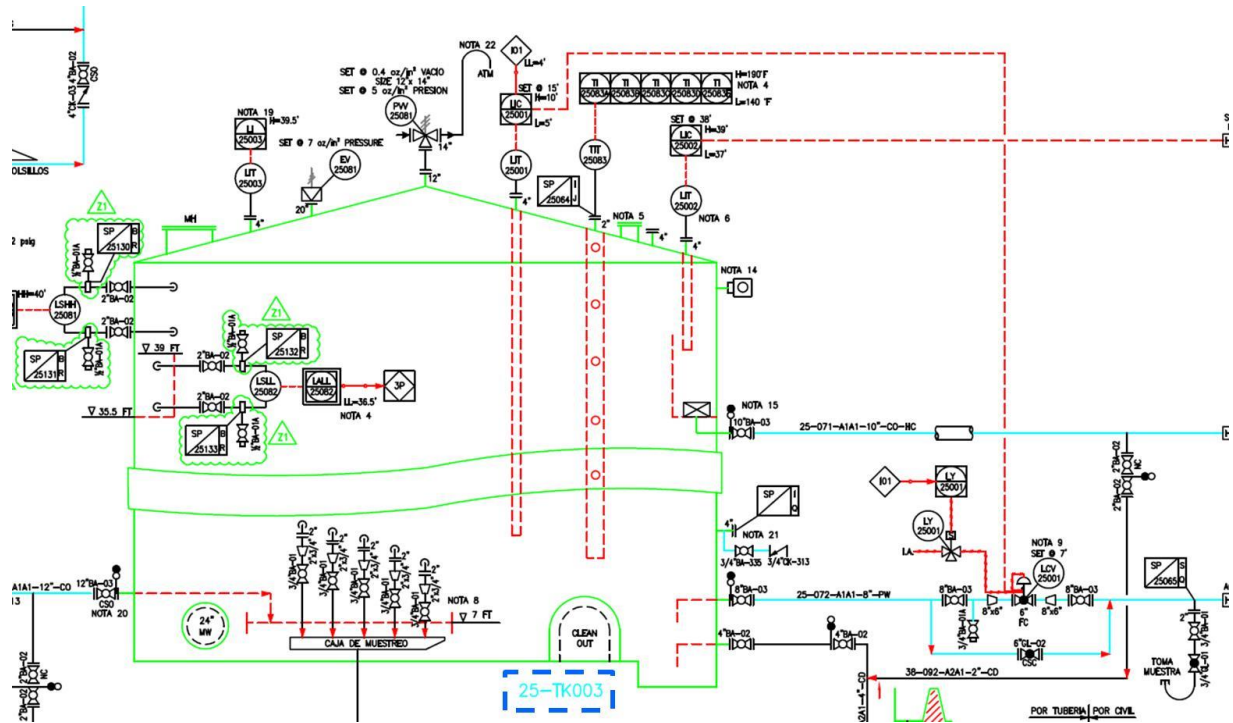
Unidad Funcional: Un conjunto de equipos que se encuentran interrelacionados para cumplir una función específica, de tal forma que la falla en alguno de ellos afectará el funcionamiento de la unidad (Figura 2).

Figura 2. Unidad funcional bombeo.



El código de la unidad funcional es el usado en la identificación en planos y diagramas.

Figura 3. Ejemplo identificación de tag unidad funcional en P&D.



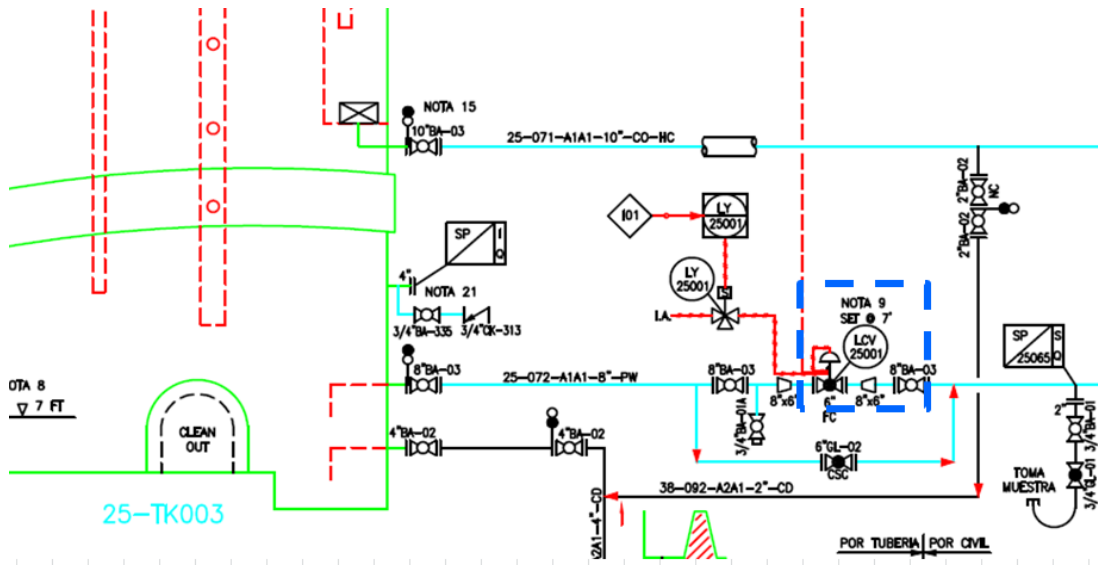
En la figura 3, se muestra un diagrama P&D en donde la unidad funcional es el tanque y tiene un tag 25TK003 que sería el código de la unidad funcional.

6.3.8. Nivel 8 – Posición Equipo.

La posición equipo es el último nivel de la taxonomía de las ubicaciones técnicas y es allí donde se ubican los diferentes equipos.

El código del equipo es el usado en la identificación en planos y diagramas.

Figura 4. Ejemplo identificación de tag de equipo de P&D.



En la figura 4, se muestra un diagrama P&D en donde se tiene resaltado una válvula de control de nivel que tiene un tag LCV25001 que sería el código de la posición del equipo.

La descripción de la posición del equipo se establece de acuerdo con la siguiente estructura:

Tag equipo Descripción Clase o Clase y Tipo de Equipo - Ubicación dentro de la unidad funcional (Opcional)

Ejemplo:

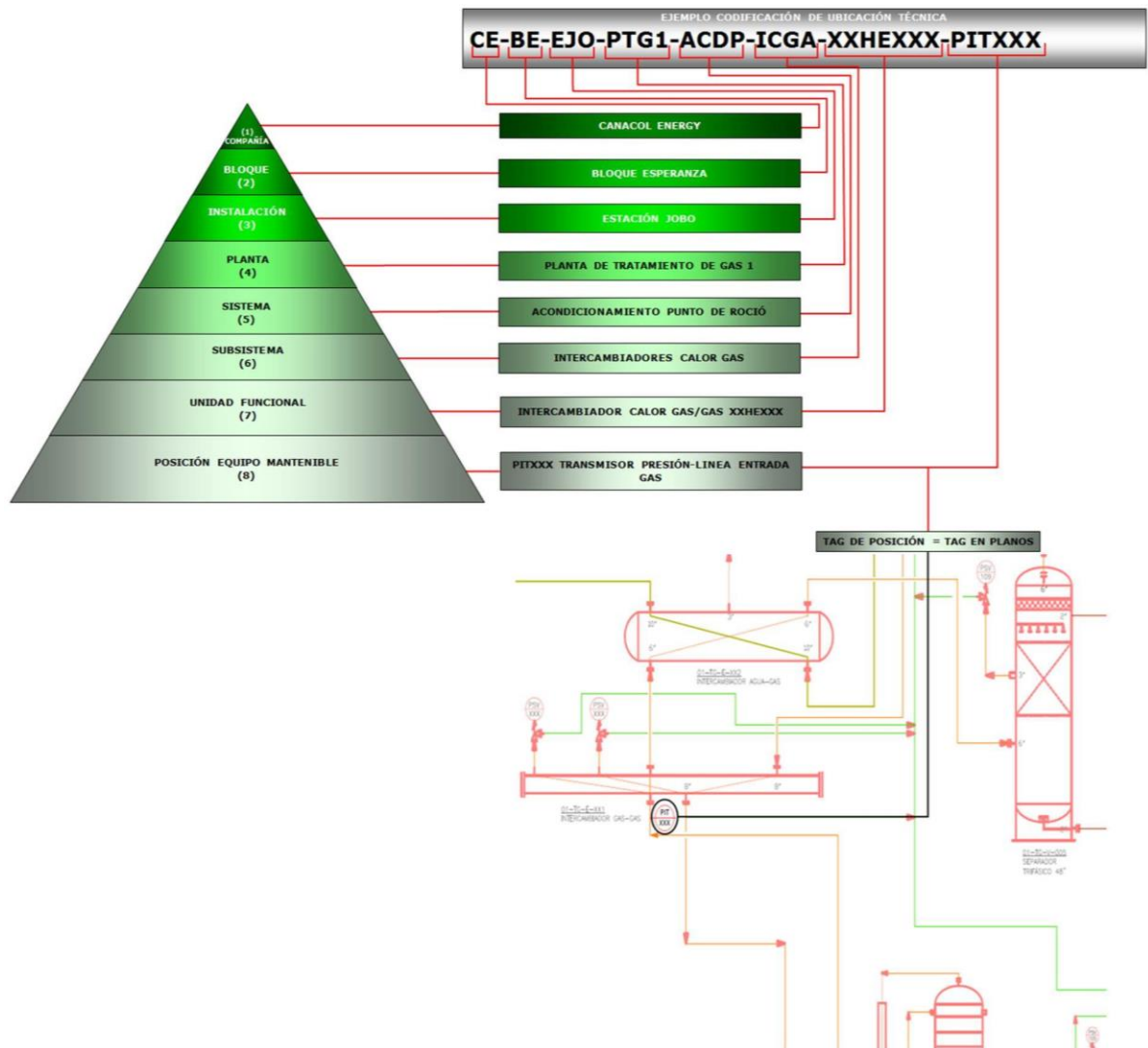
13PIT001 TRANSMISOR PRESIÓN-LÍNEA ENTRADA GAS.

6.3.9. Codificación completa de la ubicación técnica.

La codificación completa de la ubicación técnica es la unión de los códigos desde de compañía hasta la posición del equipo separados por guiones.

Ejemplo:

Figura 5. Ejemplo de codificación completa de ubicación técnica.



6.4. CLASIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS.

Los Equipos son los aparatos (motores, bombas, válvulas, transformadores, etc.) que desarrollan una determinada función dentro de la unidad funcional y se ubican en el último nivel de las ubicaciones técnicas de la taxonomía (Nivel 8), y es allí donde se deben gestionar las actividades del ciclo de vida de los activos, así mismo para efectos en el manejo de la información de mantenibilidad, confiabilidad e integridad se clasifican sus categorías, clases y tipos tomando como base la norma ISO 14224.

Nota:

Las ubicaciones técnicas de los equipos son fijas en la taxonomía mientras que los equipos se pueden mover de una ubicación técnica a otra, de forma analógica el sitio de parqueo (Ubicación técnica) de un vehículo (Equipo) en un estacionamiento.

6.4.1. Categorías de equipos.

Las categorías de equipos es la clasificación teniendo en cuenta la forma primaria de funcionamiento del equipo.

El código y la descripción definidos para las categorías de equipos se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Categorías de equipos.

CATEGORÍAS DE EQUIPOS	
Código	Descripción
RO	ROTATIVO
ES	ESTÁTICO
ME	MECÁNICO
EL	ELÉCTRICO
IN	INSTRUMENTACIÓN
CO	CONTROL
CL	CIVIL Y LOCATIVO

6.4.2. Clases de equipos

Las clases de equipos es la clasificación teniendo en cuenta los equipos similares que realizan una determinada función, por ejemplo, las bombas cumplen con bombear un fluido, los motores eléctricos cumplen con transformar la energía eléctrica en energía mecánica.

El código de las clases de equipos se estableció de dos caracteres teniendo en cuenta la descripción de la clase en inglés, siguiendo las siguientes reglas de acuerdo con la Norma ISO 14224:

- Si la descripción de la clase es de una palabra se selecciona los dos primeros caracteres.
- Si la descripción de la clase es de dos palabras se selecciona el primer carácter de cada palabra.

Ejemplo del código y la descripción definidos para las clases de equipos se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Ejemplo clases de equipos.

CLASES DE EQUIPOS	
Código	Descripción
EM	MOTOR ELÉCTRICO

Nota: Las clases y tipos para las válvulas, transmisores/indicadores, switches, dispositivos visualizadores de vidrio se realizó aplicando la ISO 14224 y ANSI/ISA 5.1.

En el Anexo B: Descripción&Codificación CategoríasClasesEquipos-CNE.docx. Se encuentra las clases de equipos definidos para Canacol Energy.

6.4.3. Tipos de equipos.

Dentro de cada una de las clases se desprenden los tipos, que en general se enfocan en los diferentes diseños que presentan los equipos que ejecutan una misma función. Por ejemplo, bombas centrífugas, reciprocantes, etc. La finalidad de esta clasificación es poder comparar comportamientos de falla y mantenimiento entre equipos que ejecutan las mismas funciones y cuentan con características similares.

El código de los tipos de equipos se estableció de dos caracteres teniendo en cuenta la descripción del tipo en inglés ver tabla 9, siguiendo las siguientes reglas de acuerdo con la Norma ISO 14224:

- Si la descripción del tipo es de una palabra se selecciona los dos primeros caracteres.
- Si la descripción del tipo es de dos palabras se selecciona el primer carácter de cada palabra.

Tabla 9. Ejemplo tipos de equipos.

TIPOS DE EQUIPOS	
Código	Descripción
AC	CORRIENTE ALTERNA

La descripción de la clase y tipo de equipo es la unión de la descripción de clase y la descripción del tipo, unidos por un guion.

Ejemplo del código y la descripción definidos para la clase y tipos de equipos se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Ejemplo clase - Tipo de equipos.

CLASES DE EQUIPOS		TIPOS DE EQUIPOS		CLASE – TIPO EQUIPO	
Código	Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción
EM	MOTOR ELÉCTRICO	AC	CORRIENTE ALTERNA	EM-AC	MOTOR ELÉCTRICO CORRIENTE ALTERNA

Nota: Las clases y tipos para las válvulas, transmisores/indicadores, switches, dispositivos visualizadores de vidrio se realizó aplicando la ISO 14224 y ANSI/ISA 5.1.

En el Anexo B Descripción&Codificación CategoríasClasesEquipos-CNE. Se encuentra los tipos de equipos definidos para Canacol Energy.

6.4.4. Codificación del Equipo.

La codificación del equipo se establece de acuerdo con la siguiente estructura:

Código de la Compañía - **Código de la Clase** – **Código del Tipo de equipo** - **Número consecutivo.**

Ejemplo:

CE-CO-RE-230.

6.4.5. Descripción del Equipo.

La descripción del equipo se establece de acuerdo con la siguiente estructura:

Clase y Tipo de equipo / **Fabricante Marca** / **Modelo.**

Ejemplo:

TRANSMISOR PRESIÓN/SIEMENS/SITRANS P-7MF4433.

7. CONTEXTO OPERACIONAL

Localización Planta: Municipio de Sahagún en el Kilómetro 12 vía el Viajano-San Marcos.

Tabla 11. Contexto operacional.

Parámetro de diseño	Valor	Unidades
Capacidad	50	MMSCFD
Gravedad Específica	0,562	
Presión de operación	800 - 900	psig
Presión nominal	850	psig
Temperatura de operación	50 - 100	°F
Temperatura nominal	70	°F
Contenido de agua en la corriente de entrada	108	lb/MMSCFD (Saturado)

El flujo de gas en la entrada de la planta 1^a (Figura 6), es una mezcla proveniente de la Subestación Betania y Clarinete y se regula de forma manual por medio de una válvula controladora de presión, los siguientes procesos son realizados al gas natural en la planta:

- Separación entrada
- Deshidratación gas
- Acondicionamiento punto rocío HC

Separación de entrada

Este primer proceso se desarrolla en un separador trifásico vertical donde, por medio de una separación primaria, se segregan los líquidos libres asociados al flujo de gas y se drenan hacia el tanque de almacenamiento para su posterior disposición y tratamiento.

Deshidratación gas

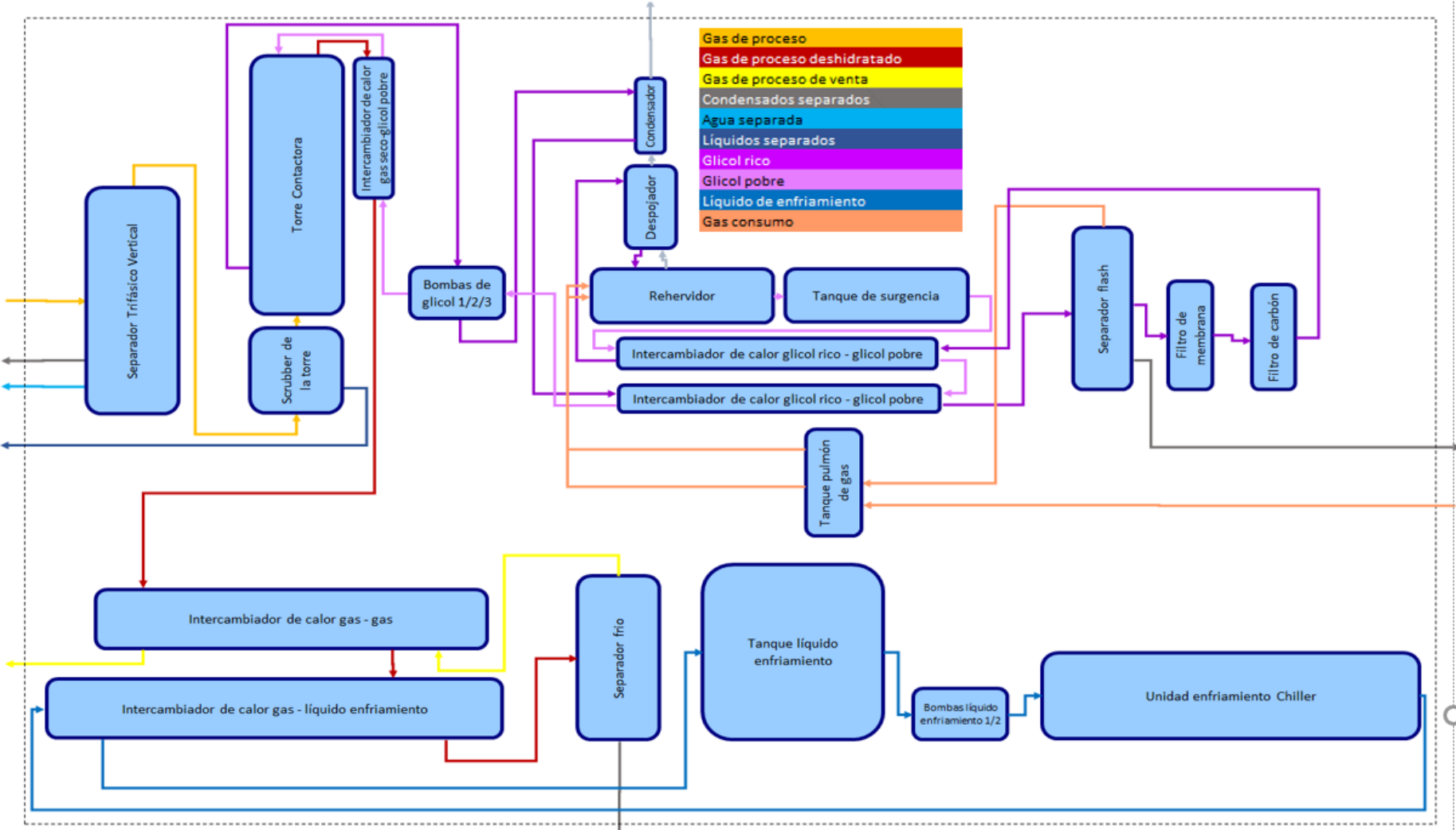
Este proceso se desarrolla en una torre contactora de platos donde, mediante absorción con trietilenglicol se obtiene gas deshidratado con una humedad máxima de 2 lb/MMscf.

El glicol saturado de humedad es regenerado por medio de un proceso cíclico cerrado en una unidad regeneradora en donde se separará en forma de vapor el agua que el glicol absorbe en el contactor y se regenera el glicol hasta un 98-99.5%.

Acondicionamiento punto rocío HC

Este último proceso consiste en remover los componentes pesados asociados al gas natural a un punto de Dew Point de hidrocarburos menor o igual a 7.2 °C (45 °F), el proceso es desarrollado por medio de intercambiadores de calor y un separador frío. El fluido de enfriamiento es una mezcla agua-glicol que enfría el gas en el intercambiador gas-líquido y es acondicionada por medio de un chiller de enfriamiento el cual, cuenta con un sistema tanque de almacenamiento y dos bombas para la recirculación de este fluido.

Figura 6. Planta 1A - Estación Jobo



8. DEFINICIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE FALLAS DE EQUIPOS

8.1. GENERALIDADES

Establecer los modos, mecanismos y causas de las fallas que se utilizaran para el registro de información de las fallas de los equipos de Canacol Energy, teniendo como base el estándar ISO 14224, de manera tal que permitan realizar una efectiva gestión de activos.

Estas definiciones aplican para los equipos rotativos, eléctricos, estático e instrumentación y control ubicados en las diferentes operaciones de Canacol Energy.

8.2. MODOS DE FALLA

8.2.1. Definición.

El modo de falla es el efecto por el cual una falla es observada en el equipo.

Existen tres tipos de modos de falla:

1. Función deseada no se logra (por ejemplo, falla al arrancar);
2. Función especificada perdida o fuera límites operativos aceptados (por ejemplo, parada inesperada, alto salida);
3. Indicación de falla se observa, pero no hay impacto inmediato y crítico en la función del equipo. Estos son típicas fallas no críticas relacionados con algo de degradación o condición de fallo incipiente.

8.2.2. Relación con los niveles de taxonomía.

Los modos de falla aplican principalmente a los niveles de equipo y unidades funcionales, también es posible aplicarlo a nivel de sistemas y subsistemas.

8.2.3. Descripción y codificación de los modos de fallas por categorías y clases de equipos.

8.2.3.1. Equipos rotativos.

Tabla 12. Equipos rotativos.

TIPO MF	CÓD MF	MODO DE FALLA	COMENTARIOS	MOTOR DE COMBUSTIÓN	COMPRESOR	GENERADOR ELÉCTRICO	MOTOR ELÉCTRICO	TURBINA A GAS	BOMBA	TURBINA A VAPOR	TURBOEXPANDER
1	FTS	Falla al arrancar en demanda	No arranca en demanda	X	X	X	X	X	X	X	X
1	STP	Falla al parar en demanda	No para en demanda	X	X	X	X				
2	UST	Parada inesperada		X	X	X	X	X	X	X	X
3	BRD	Daño severo (fractura, explosión, etc).		X	X	X	X	X	X	X	X
2	HIO	Alta salida	Exceso de velocidad / salida por encima de aceptación	X	X		X	X	X	X	X
2	LOO	Baja Salida	Salida por debajo de aceptación	X	X	X	X	X	X	X	X
2	ERO	Salida Errática	Oscilación, inestabilidad	X	X		X	X	X	X	X
3	ELF	Fuga externa de combustible		X				X		X	X
3	ELP	Fuga externa de medio de proceso	Aceite, gas, agua, condensado		X			X	X	X	X
3	ELU	Fuga externa de medio utilitario	Lubricante, agua de enfriamiento	X	X	X	X	X	X	X	X
3	INL	Fuga Interna	Fuga Interna de fluidos de proceso o utilitarios	X	X			X	X	X	X
3	VIB	Vibración	Vibración anormal	X	X	X	X	X	X	X	X
3	NOI	Ruido	Ruido anormal	X	X	X	X	X	X	X	X
3	OHE	Calentamiento excesivo	Piezas de máquinas, tubos de escape, agua de refrigeración	X	X	X	X	X	X	X	X
3 (2)	PLU	Restricción de flujo	Parcial o completa restricción de flujo		X			X	X	X	X
2 (3)	PDE	Desviación de parámetros	Parámetros monitoreados superan los límites, por ejemplo, alarma alta/baja	X	X	X	X	X	X	X	X
2 (3)	AIR	Lectura del instrumento anormal	Falsa alarma, indicación instrumento defectuoso	X	X	X	X	X	X	X	X
3	STD	Deficiencia estructural	Daños materiales (grietas, desgaste, fractura y corrosión)	X	X	X	X	X	X	X	X
3	SER	Problemas menores en servicio	Piezas sueltas, decoloración, suciedad	X	X	X	X	X	X	X	X
-	OTH	Otros	Modos de falla no especificado anteriormente	X	X	X	X	X	X	X	X
-	UNK	Desconocido	Muy poca información para definir un modo de falla	X	X	X	X	X	X	X	X
2	LBD	Baja presión del suministro de aceite							X		

8.2.3.2. Equipos eléctricos

Tabla 13. Equipos eléctricos.

TIPO MF	CÓD MF	MODO DE FALLA	COMENTARIOS	UPS	LÍNEA ELÉCTRICA	COMPARTIMIENTO/CELDA	TABLERO ELÉCTRICO	VARIADOR VELOCIDAD	TRANSFORMADOR	GENERAL
2	UST	Parada inesperada			X	X	X	X	X	X
3	BRD	Daño severo (fractura, explosión, etc).			X	X	X	X	X	X
2	HIO	Alta salida	Exceso de velocidad / salida por encima de aceptación	X	X	X	X	X	X	X
2	LOO	Baja Salida	Salida por debajo de aceptación	X	X	X	X	X	X	X
2	ERO	Salida Errática	Oscilación, inestabilidad	X	X	X	X	X	X	X
3	ELU	Fuga externa de medio utilitario	Lubricante, agua de enfriamiento						X	
3	OHE	Calentamiento excesivo	Piezas de máquinas, tubos de escape, agua de refrigeración	X	X	X	X	X	X	X
2 (3)	PDE	Desviación de parámetros	Parámetros monitoreados superan los límites, por ejemplo, alarma alta/baja	X	X	X	X	X	X	X
3	STD	Deficiencia estructural	Daños materiales (grietas, desgaste, fractura y corrosión)		X	X	X	X	X	X
3	SER	Problemas menores en servicio	Piezas sueltas, decoloración, suciedad	X						X
-	OTH	Otros	Modos de falla no especificado anteriormente	X	X	X	X	X	X	X
-	UNK	Desconocido	Muy poca información para definir un modo de falla	X	X	X	X	X	X	X
1	FTF	Falla la función en demanda	No arranca en demanda; Falla al responder Señal/Activación	X	X	X	X	X	X	X
2	FOF	Frecuencia de salida defectuosa	Mala o oscilación de frecuencia	X			X	X		X
2	FOV	Voltaje de salida defectuoso	Voltaje de salida inestable o defectuoso	X	X	X	X	X	X	X
2	LOR	Perdida de redundancia	Una o más unidades de redundancia no funcionan	X						X
2	HIO	Salida Alta	Ej. Exceso de velocidad / salida por encima de aceptación; Rotativo: Alta potencia o RPM del motor; Alto voltaje	X	X	X	X	X	X	X
2	SPO	Operación inesperada	Instrumentos: Ej. Falsa Alarma	X	X	X	X	X	X	X

8.2.3.3. Equipo de instrumentación.

Tabla 14. Equipo de instrumentación.

TIPO MF	CÓD MF	MODO DE FALLA	COMENTARIOS	VÁLVULA	TRANSMISOR/ INDICADOR/	BOQUILLA
2	LOO	Baja Salida	Salida por debajo de aceptación	X	X	
2	ERO	Salida Errática	Oscilación, inestabilidad		X	
3	ELP	Fuga externa de medio de proceso	Aceite, gas, agua, condensado	X	X	
3	ELU	Fuga externa de medio utilitario	Lubricante, agua de enfriamiento	X	X	
3	INL	Fuga Interna	Fuga Interna de fluidos de proceso o utilitarios	X		
3 (2)	PLU	Restricción de flujo	Parcial o completa restricción de flujo	X		X
2 (3)	AIR	Lectura del instrumento anormal	Falsa alarma, indicación instrumento defectuoso	X		
3	STD	Deficiencia estructural	Daños materiales (grietas, desgaste, fractura y corrosión)	X		X
3	SER	Problemas menores en servicio	Piezas sueltas, decoloración, suciedad	X	X	X
-	OTH	Otros	Modos de falla no especificado anteriormente	X	X	X
-	UNK	Desconocido	Muy poca información para definir un modo de falla	X	X	X
1	FTF	Falla la función en demanda	No arranca en demanda; Falla al responder Señal/Activación		X	
1	FTO	Falla al abrir en demanda	No abre en demanda	X		
1	FTC	Falla al cerrar en demanda	No cierra en demanda	X		
2	DOP	Operación retrasada	Apertura/cierre por debajo especificaciones	X		X
1	NOO	No hay salida			X	
2	HIO	Salida Alta	Ej. Exceso de velocidad / salida por encima de aceptación; Rotativo: Alta potencia o RPM del motor; Alto voltaje	X	X	
2	SPO	Operación inesperada	Instrumentos: Ej. Falsa Alarma	X	X	X

8.2.3.4. Equipo de control.

Tabla 15. Equipo de control.

TIPO MF	CÓD MF	MODO DE FALLA	COMENTARIOS	DETECTOR	UNIDAD LÓGICA DE CONTROL
2	LOO	Baja Salida	Salida por debajo de aceptación	X	X
2	ERO	Salida Errática	Oscilación, inestabilidad	X	X
3	SER	Problemas menores en servicio	Piezas sueltas, decoloración, suciedad	X	X
-	OTH	Otros	Modos de falla no especificado anteriormente	X	
-	UNK	Desconocido	Muy poca información para definir un modo de falla	X	X
1	FTF	Falla la función en demanda	No arranca en demanda; Falla al responder Señal/Activación	X	X
1	NOO	No hay salida		X	
2	SHH	Falso nivel de alarma alto	Ej. 60% LEL	X	
2	SLL	Falso nivel de alarma bajo	Ej. 20% LEL	X	
	LCP	Fuga en posición cerrada		X	
2	HIO	Salida Alta	Ej. Exceso de velocidad / salida por encima de aceptación; Rotativo: Alta potencia o RPM del motor; Alto voltaje	X	X
2	SPO	Operación inesperada	Instrumentos: Ej. Falsa Alarma		X

8.2.3.5. Equipo estático y dinámico.

Tabla 16. Equipo estático y dinámico.

TIPO MF	CÓD MF	MODO DE FALLA	COMENTARIOS	INTERCAMBIADOR CALOR	CALENTADOR Y CALDERA	TUBERÍA	VASIJA	GRÚA	WINCHE	TORRE	SWIVEL
1	FTS	Falla al arrancar en demanda	No arranca en demanda					X	X		
1	STP	Falla al parar en demanda	No para en demanda						X		
3	BRD	Daño severo (fractura, explosión, etc).				X		X	X		
2	LOO	Baja Salida	Salida por debajo de aceptación						X		
3	ELP	Fuga externa de medio de proceso	Aceite, gas, agua, condensado	X	X	X	X				X
3	ELU	Fuga externa de medio utilitario	Lubricante, agua de enfriamiento	X	X		X	X			X
3	INL	Fuga Interna	Fuga Interna de fluidos de proceso o utilitarios	X	X	X		X			X
3	VIB	Vibración	Vibración anormal			X		X	X		
3	NOI	Ruido	Ruido anormal					X	X	X	
3	OHE	Calentamiento excesivo	Piezas de máquinas, tubos de escape, agua de refrigeración		X	X		X	X		
3 (2)	PLU	Restricción de flujo	Parcial o completa restricción de flujo	X	X	X	X				X
2 (3)	PDE	Desviación de parámetros	Parámetros monitoreados superan los límites, por ejemplo, alarma alta/baja	X	X	X	X	X	X	X	X
2 (3)	AIR	Lectura del instrumento anormal	Falsa alarma, indicación instrumento defectuoso	X	X	X	X	X	X	X	X
3	STD	Deficiencia estructural	Daños materiales (grietas, desgaste, fractura y corrosión)	X	X	X	X	X	X	X	X
3	SER	Problemas menores en servicio	Piezas sueltas, decoloración, suciedad	X	X	X	X	X	X	X	X
-	OTH	Otros	Modos de falla no especificado anteriormente	X	X	X	X	X	X	X	X
-	UNK	Desconocido	Muy poca información para definir un modo de falla	X	X	X	X	X	X	X	X
2	IHT	Insuficiente transferencia de calor	Refrigeración / calefacción por debajo de aceptación	X			X				
1	FCO	Error al conectar								X	X

1 (2)	FTI	No funcionan como se esperaba	Falla de operación general					X		X	X
1	FRO	Falla al rotar						X	X	X	X
2	FDC	Falla al desconectar								X	
2	LBD	Baja presión del suministro de aceite									X
2	LOA	Carga caída						X	X		
2	LOB	Pérdida de la flotabilidad								X	
2	MOF	Falla en el amarre								X	
2	PTF	Falla transmisión de señal/potencia				X					X
2	SLP	Deslizamiento	Deslizamiento de cable					X	X		
2	SPO	Operación inesperada	Instrumentos: Ej. Falsa Alarma					X	X		

8.3. MECANISMO DE FALLA

8.3.1. Definición.

Mecanismo de falla es el proceso que conduce a la falla. El proceso puede ser físico, químico, lógico o una combinación de estos.

8.3.2. Relación con los niveles de taxonomía.

Los mecanismos de falla aplican principalmente al nivel de equipo, también es posible aplicarlo a nivel de unidades funcionales.

8.3.3. Categorías de mecanismos de falla.

Los mecanismos de falla están básicamente relacionados con una de las siguientes categorías de tipos de fallas:

- Fallas mecánicas
- Fallas eléctricas
- Fallas en la instrumentación
- Fallas de materiales
- Influencia externa
- Misceláneos

8.3.4. Descripción y codificación de mecanismos de falla.

8.3.4.1. Fallas mecánicas.

Tabla 17. Fallas mecánicas

CMEF	MECANISMO DE FALLA	COMENTARIOS
FM1	Falla mecánica general	Un fallo relacionado con algún defecto mecánico, pero en los que no se conocen más detalles
FM2	Fuga	Fugas externas e internas, ya sean líquidos o gases. Si el modo de fallo a nivel de equipo es fuga, un mecanismo de falla más orientado a la causa debe usarse siempre que sea posible
FM3	Vibración	Vibración anormal. Si el modo de fallo a nivel de equipo es fuga, un mecanismo de falla más orientado a la causa debe usarse siempre que sea posible
FM4	Falla alineación/holgura	
FM5	Deformación	Distorsión, deflexión, pandeo, fluencia, encogimiento, formación de ampollas, etc.
FM6	Soltura	Desconexión, ítems sueltos
FM7	Adherencia	Adherencia, interferencia debida a otras razones que deformación o fallas de alineación/holgura

8.3.4.2. Fallas eléctricas.

Tabla 18. Fallas mecánicas

CMEF	MECANISMO DE FALLA	COMENTARIOS
FE1	Falla eléctrica general	Fallas relacionadas con el suministro y la transmisión de energía eléctrica, pero en los que no se conocen más detalles
FE2	Cortocircuito	
FE3	Circuito Abierto	Desconexión, interrupción, rotura de cable
FE4	Sin voltaje/potencia	Suministro de potencia eléctrica insuficiente o ausente
FE5	Voltaje/Potencia defectuoso	Suministro de potencia eléctrica defectuoso, ej. sobretensión
FE6	Falla aislamiento/tierra	

8.3.4.3. Fallas en la instrumentación.

Tabla 19. Fallas en instrumentación.

CMEF	MECANISMO DE FALLA	COMENTARIOS
FI1	Falla instrumento general	Falla relacionada con instrumentos, pero detalles no son conocidos
FI2	Falla en el control	No, o defectuosa, la regulación
FI3	No señal/indicación/alarma	
FI4	Señal/indicación/alarma defectuosa	Señal/indicación/alarma defectuosa en relación con el proceso real. Podría ser falsa, intermitente oscilante, arbitraria
FI5	Fuera de ajuste	Error en la calibración o desviación de parámetros

FI6	Falla en el software	Defectuosa o no control/monitoreo de operación debido a falla del software
FI7	Falla causa/modo común	Varios instrumentos fallan simultáneamente, ej. Detectores de fuego y gas redundantes. También fallas relacionadas a causa común

8.3.4.4. Fallas de materiales.

Tabla 20. Fallas de materiales

CMEF	MECANISMO DE FALLA	COMENTARIOS
FL1	Falla material general	Un fallo relacionado con algún defecto del material, pero en los que no se conocen más detalles
FL2	Cavitación	Relevante para equipos como bombas y válvulas
FL3	Corrosión	Todos los tipos de corrosión, tanto húmeda (electroquímica) y seca (química)
FL4	Erosión	Desgaste erosivo
FL5	Desgaste	Desgaste abrasivo y erosivo, ej. Rayado, gripado, arañado fino, descarnado
FL6	Rotura	Fractura, fisura
FL7	Fatiga	Si la causa de la rotura se puede remontar a la fatiga, este código se debe utilizar
FL8	Sobrecalentamiento	Daño de material debido a sobrecalentamiento/quemadura
FL9	Inclusiones	Ítem soplado, inclusión, etc

8.3.4.5. Influencia externa.

Tabla 21. Influencia Externa.

CMEF	MECANISMO DE FALLA	COMENTARIOS
IE1	Influencia externa general	La falla es causada por algunos eventos externos o sustancias fuera de los límites, pero no se conocen más detalles
IE2	Conexión/bloqueo	Flujo restringido/bloqueado debido a la suciedad, contaminación, hidratos, etc.
IE3	Contaminación	Superficie/gas/fluido contaminado, ej. Aceite lubricante contaminado, cabeza del detector de gas contaminado
IE4	Misceláneas influencia externa	Objetos extraños, impactos, influencia del medio ambiente, de los sistemas de vecinos

8.3.4.6. Misceláneos.

Tabla 22. Misceláneos.

CMEF	MECANISMO DE FALLA	COMENTARIOS
MI1	Misceláneas generales	Mecanismo de falla que no se encuentra en ninguna de las categorías enlistadas anteriormente
MI2	Causa no encontrada	Falla investigada pero la causa o revelada o muy incierta
MI3	Combinación de causas	Varias causas. Si hay una causa predominante esta debe ser codificado.
MI4	Misceláneas Otras	Ningún código aplicable. Usar texto libre
MI5	Desconocida	Información no disponible

8.4. CAUSAS DE FALLA

8.4.1. Definición.

Conjunto de circunstancias que llevan a la falla. El objetivo de este dato es identificar el evento de inicio "causa raíz" en la secuencia que conduce a una falla de un elemento del equipo.

8.4.2. Relación con los niveles de taxonomía.

Las causas de falla aplican solamente al nivel de equipo.

8.4.3. Categorías de causa de falla.

Las causas de falla se clasifican en las siguientes categorías:

- Causas relacionadas con el diseño.
- Causas relacionadas con la fabricación / instalación.
- Fallas relacionadas con la operación / mantenimiento.
- Fallas relacionadas con la gestión.
- Misceláneos

8.4.4. Descripción y codificación de las causas de falla.

8.4.4.1. Causas relacionadas con el diseño.

Tabla 23. Causas de diseño.

CTCFF	CAUSA DE FALLA	COMENTARIOS
DI1	Diseño general	Fallas relacionadas con el diseño inadecuado para la operación y/o mantenimiento, pero sin más detalles conocidos
DI2	Capacidad inapropiada	
DI3	Material inapropiado	Selección del material inapropiado
DI4	Diseño inapropiado	Diseño de equipo inadecuado o configuración (Forma, tamaño, tecnología, configuración, operatividad, mantenimiento, etc.)

8.4.4.2. Causas con la fabricación/ Instalación.

Tabla 24. Causas de fabricación/Instalación

CTCFF	CAUSA DE FALLA	COMENTARIOS
FI1	Fabricación/Instalación general	Fallas relacionadas con la fabricación o instalación, pero sin más detalles conocidos
FI2	Error en la fabricación	Falla en el procesamiento o manufactura
FI3	Error en la instalación	Falla en el ensamblaje o la instalación (Ensamble después de mantenimiento no incluido)

8.4.4.3. Fallas Relacionadas con la Operación / Mantenimiento.

Tabla 25. Fallas de operación/ mantenimiento.

CTCFF	CAUSA DE FALLA	COMENTARIOS
OM1	Operación/Mantenimiento general	Fallas relacionadas con la operación/uso o mantenimiento del equipo, pero sin más detalles conocidos
OM2	Servicio fuera de diseño	Servicio fuera de diseño o condiciones de servicio no deseadas, por ejemplo, presión de salida de operación del compresor encima de la especificaciones de diseño
OM3	Error de operación	Error, mal uso, negligencia, descuido, etc. durante la operación
OM4	Error de mantenimiento	Error, mal uso, negligencia, descuido, etc. durante el mantenimiento
OM5	Desgaste y deterioro esperado	Falla causada por el desgaste y deterioro esperado por la normal operación del equipo

8.4.4.4. Fallas Relacionadas con la Gestión.

Tabla 26. Fallas de gestión.

CTCFF	CAUSA DE FALLA	COMENTARIOS
AD1	Administrativa general	Falla relacionada con cuestiones de gestión, pero no se conocen más detalles
AD2	Error en la documentación	Fallas relacionadas con procedimientos, especificaciones, planos, reportes, etc.
AD3	Error en la gestión	Fallas relacionadas con planeación, organización, calidad, garantía, etc.

8.4.4.5. Misceláneos

Tabla 27. Misceláneos.

CTCFF	CAUSA DE FALLA	COMENTARIOS
MI1	Miscelánea general	Causas que no caen en ninguna de las categorías listadas anteriores
MI2	Desconocida	Información no disponible relacionada con la causa de falla

9. ANALISIS DE CRITICIDAD

9.1. GENERALIDADES

Establecer la metodología y lineamientos para realizar la evaluación y definición de la criticidad de los equipos de Canacol Energy, basado en la norma Norsok Z-008 y mejores prácticas de la industria, con el fin de definir prioridades y el nivel de análisis para el establecimiento de las estrategias de mantenimiento, el nivel de servicio y focalizar los estudios y análisis de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad, buscando garantizar la confiabilidad, integridad y disponibilidad de los equipos según los requerimientos y funcionalidad del proceso.

Este procedimiento aplica para la calificación de la criticidad de los equipos rotativos, eléctricos, instrumentación y control ubicados en las diferentes operaciones de Canacol Energy, durante todo el ciclo de vida. Este procedimiento no aplica para equipos estáticos.

9.2. ROLES Y RESPONSABILIDADES.

9.2.1. Jefe de Campo/ Coordinador de Mantenimiento.

- Definir en conjunto con el facilitador los integrantes del equipo que participarán en el análisis de criticidad.
- Coordinar con los participantes del equipo de análisis de criticidad la obtención de la información relevante para el análisis.
- Utilizar la clasificación de criticidad de los equipos para definir prioridades para el establecimiento de las estrategias de mantenimiento, el nivel de servicio y focalizar los estudios y análisis de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad.

- Gestionar los recursos para la implementación de los planes de mitigación del riesgo que se encuentren durante el análisis de criticidad que puedan afectar la operación.
- Convocar la realización de los análisis de criticidad necesarios y actualizaciones.
- Revisión y aprobación de los resultados del análisis de criticidad.

9.2.2. Facilitador del Análisis de Criticidad.

El facilitador del análisis de criticidad es la persona capacitada y con experiencia de la metodología de análisis de criticidad de este procedimiento. Sus principales responsabilidades son:

- Asegurar el cumplimiento de los objetivos y la metodología de análisis de criticidad establecida en este procedimiento.
- Recopilar y analizar la información técnica de los sistemas, subsistemas y los equipos asociados que se les va a hacer el análisis.
- Cargar en la herramienta de análisis de criticidad la información necesaria para el análisis.
- Familiarizar al equipo de trabajo en la metodología análisis de criticidad durante los talleres.
- Motivar la participación de todos los integrantes del equipo de análisis de criticidad.
- Documentar el análisis de criticidad en la herramienta de análisis.
- Elaboración del informe del análisis de criticidad.

9.2.3. Ingeniero de Producción / Ingeniero de Mantenimiento / Ingeniero de HSEQ.

- Proporcionar la información relevante para el análisis de criticidad.

- Participar en los talleres de análisis de criticidad, siguiendo la metodología establecida en este procedimiento.
- Revisar, complementar y validar los resultados del análisis de criticidad.
- Implementar oportunamente las recomendaciones a su cargo, definidas y aprobadas de los planes de mitigación del riesgo resultado del análisis de criticidad.
- Comunicar los cambios realizados en los equipos o sistemas con el fin de actualizar los análisis de criticidad existentes.

9.3. DEFINICIÓN DE LA MATRIZ DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE EQUIPOS.

La Matriz de Evaluación de Criticidad de Equipos es una herramienta para la evaluación de los riesgos asociado a fallas en los equipos que está en concordancia con los lineamientos de la matriz RAM de la compañía.

La matriz de criticidad es una matriz de dos dimensiones; la primera es la consecuencia que corresponde al eje vertical y la segunda dimensión, es la probabilidad de ocurrencia que corresponde al eje horizontal.

9.4. DEFINICIÓN DE LAS CATEGORIAS DE LAS CONSECUENCIAS.

Para las categorías de consecuencias se definieron las siguientes:

- Personas (P)
- Económica (E)
- Ambiental (A)

9.5. DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE GRAVEDAD DE LAS CONSECUENCIAS.

Se establecieron 6 niveles para la gravedad de las consecuencias, ubicados en una escala de 1 a 6 en eje vertical de la matriz, siendo 6 el nivel superior y 1 el nivel más bajo.

9.5.1. Definición de los niveles de gravedad de las consecuencias en la categoría Personas.

Tabla 28. Especificación niveles de gravedad – Consecuencia personas

Nivel Gravedad	Descripción
6	En trabajadores, una o más fatalidades: Por accidente o enfermedad profesional; o En la comunidad, una o más fatalidades o incapacidades permanentes a personal de la comunidad.
5	En trabajadores, incapacidad permanente: incluyendo incapacidad permanente total o parcial y enfermedades ocupacionales; daños irreversibles en la salud con inhabilitación seria sin pérdida de vida; por ejemplo: hipoacusia provocada por ruidos, lesiones lumbares crónicas, daño repetido por realizar esfuerzos, síndrome y sensibilización; o En la comunidad, incapacidad temporal de personal de la comunidad.
4	En trabajadores, incapacidad temporal ≥ 1 día: lesiones que producen tiempo perdido): Afectan el rendimiento laboral, como la limitación a ciertas actividades o requiere unos días para recuperarse completamente (casos con tiempo perdido); o En la comunidad, hospitalización: en centros asistenciales de personal de la comunidad.

3	En trabajadores, lesión menor sin incapacidad: incluye tratamiento médico, trabajo restringido y enfermedades ocupacionales; no generan incapacidad; o En la comunidad, primeros auxilios: sin hospitalización a personal de la comunidad.
2	En trabajadores, lesión leve primeros auxilios: No afecta el rendimiento laboral ni causa incapacidad.
1	Ninguna Lesión

Nota:

- Trabajadores: Empleados de la Empresa, contratistas y subcontratistas.
- Comunidad: Todas aquellas personas que no son trabajadores.

9.5.2. Definición de los niveles de gravedad de las consecuencias en la categoría Ambiental.

Tabla 29. Especificación niveles de gravedad – Consecuencia ambiental.

Nivel Gravedad	Descripción
6	Afectación Masiva: Volumen de la sustancia derramada(barriles):>=1.000, o Área superficial impactada (m2): >=50.000, o Tiempo de limpieza (días): >=90, o Impactos (Consecuencias) a recursos naturales: Derrame de Hidrocarburo o sustancia en cuerpo de agua superficial que genera una restricción temporal del uso del agua a mayor o igual a 90 días, y/o Derrames de hidrocarburos o sustancia con afectación estuarios, manglares, y/o áreas ambientalmente sensibles en áreas de

	importancia ecológica declaradas, y/o afectación de fauna asociada a estos ecosistemas.
5	Afectación Mayor: Volumen de la sustancia derramada(barriles): 100 a <1.000, o Área superficial impactada (m2): 5.000 a <50.000, o Tiempo de limpieza (días): 60 a <90, o Impactos (Consecuencias) a recursos naturales o especies: Derrame de Hidrocarburo o sustancia en cuerpo de agua superficial que genera una restricción temporal del uso de agua menor de 90 días, y/o con mortandad de especies y/o Derrame de Hidrocarburo o sustancia en operación en puerto con afectación de línea costera o aguas marinas, y/o Derrame de Hidrocarburo o sustancia en operación offshore con afectación en aguas marinas, o en y/o bajo la superficie.
4	Efectos Localizados: Volumen de la sustancia derramada(barriles): 10 a <100, o Área superficial impactada (m2): 500 a <5.000, o Tiempo de limpieza (días): 30 a <60, o Impactos (consecuencias) a recursos naturales o especies: Derrame de hidrocarburo o sustancia en cuerpo de agua superficial sin generar restricciones de uso del recurso.
3	Efectos Menores: Volumen de la sustancia derramada(barriles): 1 a <10, o Área superficial impactada (m2): 50 a <500, o Tiempo de limpieza (días): 1 a < 30, o Impactos (consecuencias) a recursos naturales o especies: Afectación en predios de terceros (fuera de lo cercado por la compañía).
2	Efectos Leves: Volumen de la sustancia derramada(barriles): 0,1 a <1, o Área superficial impactada (m2): <50, o Tiempo de limpieza (días): <1, o

	Impactos (consecuencias) a recursos naturales o especies: Afectación dentro de las instalaciones (contenido).
1	Ninguno: No hay afectación ambiental.

Notas:

- Volumen de sustancia derramada: volumen total de Hidrocarburos o cualquier tipo de sustancia que genere un impacto ambiental.
- Mortandad de especies: más de 50 especies comunes ó 5 si se refiere a una especie en extinción declarada.

9.5.3. Definición de los niveles de gravedad de las consecuencias en la categoría Económica.

Tabla 30. Especificación niveles de gravedad – Consecuencia económica.

Nivel Gravedad	Descripción
6	Catastrófica: $\geq \text{USD\$1 millón}$
5	Grave: $\text{USD\$500mil} < \text{Impacto} < \text{USD\$1 millón}$
4	Severo: $\text{USD\$100mil} < \text{Impacto} < \text{USD\$500mil}$
3	Importante: $\text{USD\$10 mil} \leq \text{Impacto} < \text{USD\$100mil}$
2	Marginal: $\text{Impacto} < \text{USD\$10mil}$
1	Ninguna

9.6. DEFINICIÓN DE NIVELES DE PROBABILIDAD

Se establecieron 5 niveles para las probabilidades, ubicados en una escala de 1 a 5 en el eje horizontal de la matriz.

Tabla 31. Especificación niveles de probabilidad.

Nivel Probabilidad	Descripción Cualitativa	MTBF: Tiempo medio entre fallas (Años)
1	No ha ocurrido en la industria	$MTBF \geq 100$
2	Ha ocurrido en industria	$10 \leq MTBF < 100$
3	Ha ocurrido en la operación de nuestra Compañía	$3 \leq MTBF < 10$
4	Ocorre varias veces al año en la operación en la Compañía	$1 \leq MTBF < 3$
5	Ocorre varias veces al año en el sitio en la Compañía	$MTBF < 1$

9.7. DEFINICIÓN DE LOS NIVELES Y RANGOS DE CRITICIDAD

Se establecieron 4 niveles de criticidad, cada uno representado por un color diferente:

Tabla 32. Niveles de criticidad.

Abreviatura nivel criticidad	Descripción nivel criticidad
MC	Muy Critico
C	Critico
PC	Poco critico
NC	No critico

El valor de la criticidad se establece multiplicando el número de la escala de consecuencia por el número de la escala de probabilidad, de donde el valor máximo de criticidad sería de $6 \times 5 = 30$ y el mínimo de $1 \times 1 = 1$, por lo cual la escala de criticidad sería un numero de 1 a 30, a continuación, se presenta los niveles de criticidad y el rango correspondiente:

Tabla 33. Tabla 6. Rangos valores de criticidad.

Nivel Criticidad	Rango valor de criticidad
Muy Critico	Valor de criticidad ≥ 24 (Máximo*80% = 30*80%)
Critico	Valor de criticidad ≥ 15 (Máximo*50% = 30*50%) y < 24
Poco critico	Valor de criticidad > 6 y < 15
No critico	Valor de criticidad ≤ 6 (Máximo*20% = 30*20%)

Representación de los valores y niveles de criticidad en la matriz.

Figura 7. Valores y niveles de criticidad en la matriz.

		PROBABILIDAD				
		1	2	3	4	5
CONSECUENCIA	6	6	12	18	24	30
	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

9.8. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

Figura 8. Matriz de evaluación de criticidad de equipos.



ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

Descripción nivel criticidad		Rango valor de criticidad		PROBABILIDAD				
Muy Crítico		Valor de criticidad ≥ 24 (Máximo*80% = 30*80%)		MTBF (Mean time between failure): Tiempo medio entre fallas en Años				
Crítico		Valor de criticidad ≥ 15 (Máximo*50% = 30*50%) y < 24		MTBF ≥ 100 10 $\leq$ MTBF < 100 3 $\leq$ MTBF < 10 1 $\leq$ MTBF < 3 MTBF < 1				
Poco crítico		Valor de criticidad > 6 y < 15						
No crítico		Valor de criticidad ≤ 6 (Máximo*20% = 30*20%)						
CONSECUENCIAS								
PERSONAS	AMBIENTAL	ECONÓMICA	Nivel	1	2	3	4	5
- Trabajadores, una o más fatalidades por accidente o enfermedad profesional; o - Comunidad, una o más fatalidades o incapacidades permanentes	Afectación masiva: - Volumen derramada(barriles): ≥ 1000, o Área impactada (m2): ≥ 50.000, o Tiempo de limpieza (días): ≥ 90, o - Derrame en cuerpo de agua superficial con restricción temporal del uso del agua ≥ 90 días, y/o Derrames con afectación estuarios, manglares, y/o áreas ambientalmente sensibles en áreas de importancia ecológica declaradas, y/o afectación de fauna asociada a estos ecosistemas.	Catastrófica $\geq \text{USD\$1 millón}$	6	6	12	18	24	30
- Trabajadores, incapacidad permanente total o parcial y enfermedades ocupacionales; o - Comunidad, incapacidad temporal	Afectación Mayor: - Volumen derramada(barriles): 100 a < 1000, o Área impactada (m2): 5.000 a < 50.000, o Tiempo de limpieza (días): 60 a < 90, o - Derrame en cuerpo de agua superficial con restricción temporal del uso de agua < 90 días, y/o mortandad especies y/o Derrame en línea costera o aguas marinas	Grave $\geq \text{USD\$500mil}$ Y $< \text{USD\$1 millón}$	5	5	10	15	20	25
- Trabajadores, incapacidad temporal ≥ 1 día, lesiones que producen tiempo perdido; o - Comunidad, hospitalización en centros asistenciales	Efectos Localizados: - Volumen derramada(barriles): 10 a < 100, o Área impactada (m2): 500 a < 5.000, o Tiempo de limpieza (días): 30 a < 60, o - Derrame en cuerpo de agua superficial sin generar restricciones de uso del recurso	Severo $\geq \text{USD\$100mil}$ Y $< \text{USD\$500mil}$	4	4	8	12	16	20
- Trabajadores, lesión menor sin incapacidad, incluye tratamiento médico, trabajo restringido y enfermedades ocupacionales; o - Comunidad, primeros auxilios sin hospitalización	Efectos Menores: - Volumen derramada(barriles): 1 a < 10, o Área impactada (m2): 50 a < 500, o Tiempo de limpieza (días): 1 a < 30, o - Afectación en predios de terceros (fuera de lo cercado por la compañía)	Importante $\geq \text{USD\$10 mil}$ Y $< \text{USD\$100mil}$	3	3	6	9	12	15
Trabajadores, lesión leve primeros auxilios: No afecta el rendimiento laboral ni causa incapacidad	Efectos Leves: - Volumen derramada(barriles): 0,1 a < 1, o Área impactada (m2): < 50, o Tiempo de limpieza (días): < 1, o - Afectación dentro de las instalaciones (contenido)	Marginal $< \text{USD\$10mil}$	2	2	4	6	8	10
Ninguna Lesión	No hay afectación ambiental	Ninguna	1	1	2	3	4	5

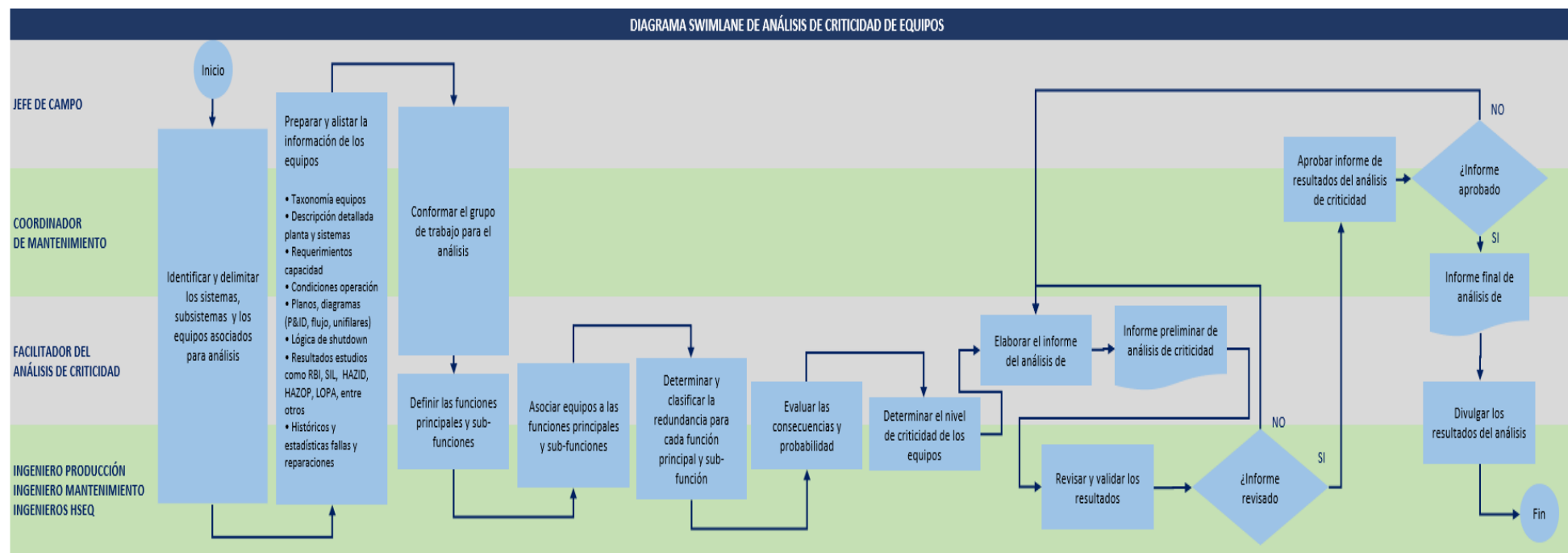
Ver Anexo E. Matriz Evaluación Criticidad de Equipos.

9.9. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

A continuación, se presenta las actividades para determinar la criticidad de equipos rotativos, eléctricos, instrumentación y control, basado en la norma Norsok Z-008 y mejores prácticas de la industria. Este procedimiento no aplica para equipos estáticos.

9.9.1. Diagrama Swimlane del proceso.

Figura 9. Diagrama swimlane de proceso.



Ver Anexo F. Diagrama Swimlane De Análisis De Criticidad De Equipos.

9.10. DETALLE DE ACTIVIDADES

9.10.1. Identificación y delimitación de los sistemas, subsistemas y los equipos asociados a los que se les va a hacer el análisis de criticidad.

En lo posible identificar y delimitar en diagramas los sistemas, subsistemas y los equipos asociados.

9.10.2. Preparación y alistamiento de la información de los equipos.

Recopilar en lo posible la siguiente información de los sistemas, subsistemas y los equipos asociados que se les va a hacer el análisis:

- Taxonomía de equipos.
- Descripción detallada de la planta y sistemas.
- Requerimientos de capacidad.
- Condiciones de operación.
- Planos, diagramas (P&ID, flujo, unifilares).
- Lógica de shutdown.
- Resultados de estudios como RBI, SIL, HAZID, HAZOP, LOPA, entre otros.
- Históricos y estadísticas de fallas y reparaciones.

9.10.3. Conformación de un grupo de trabajo para el análisis.

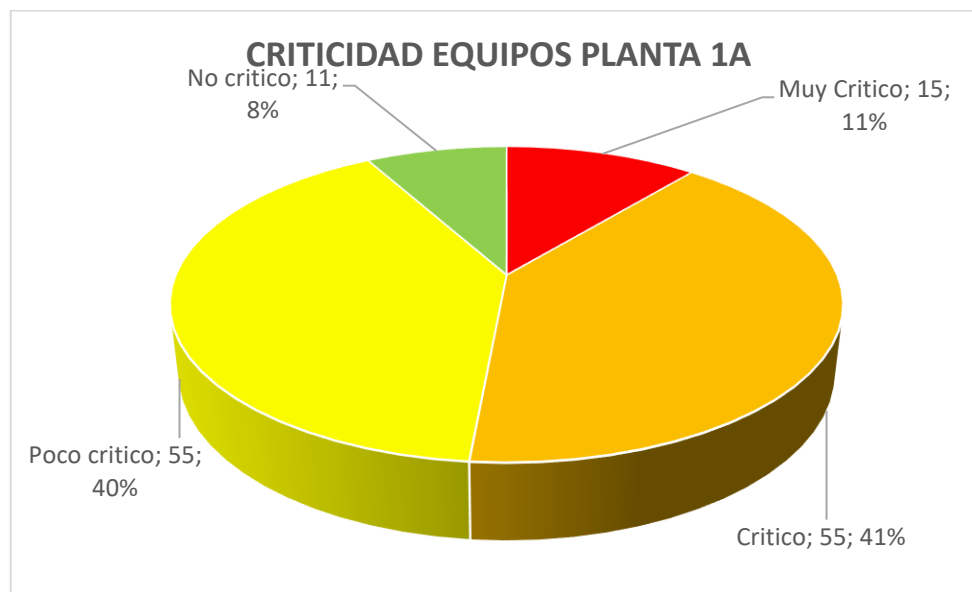
El equipo de trabajo de ser multidisciplinario con amplio conocimiento y experiencia en diseño, operación y mantenimiento del sistema(s) analizar, deberá conformarse como mínimo por los siguientes expertos:

- Ingeniero de Confiabilidad.
- Facilitador en la técnica de análisis (puede ser el mismo Ing. de Confiabilidad).
- Ingenieros de HSEQ.
- Operador e ingeniero de producción.
- Técnico, supervisor y/o ingeniero de mantenimiento.

9.11. RESULTADOS DEL ANALISIS DE CRITICIDAD

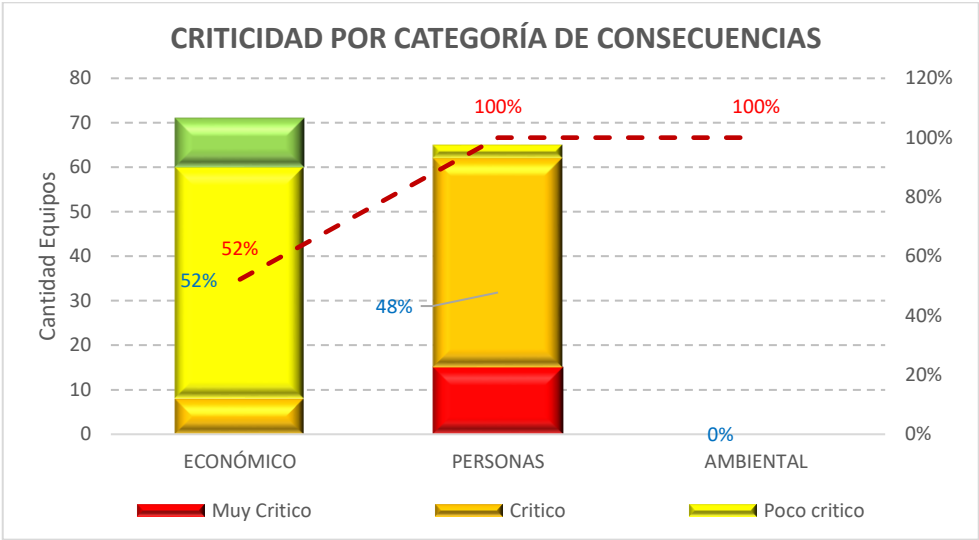
9.11.1. Criticidad de equipos Planta 1A

Grafica 13. Criticidad de equipos.



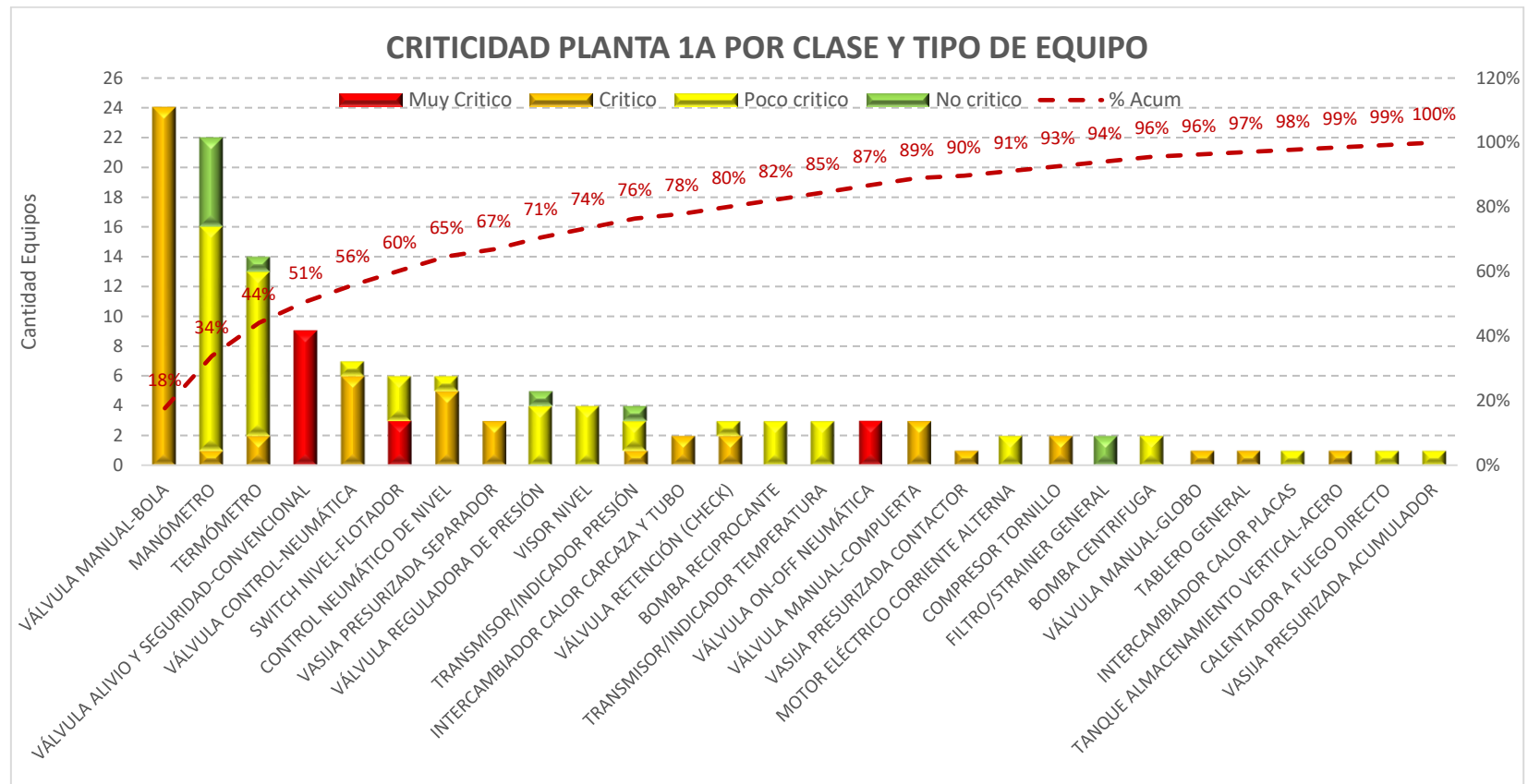
9.11.2. Criticidad por categoría de consecuencias

Grafica 14. Criticidad por Categoría de Consecuencias



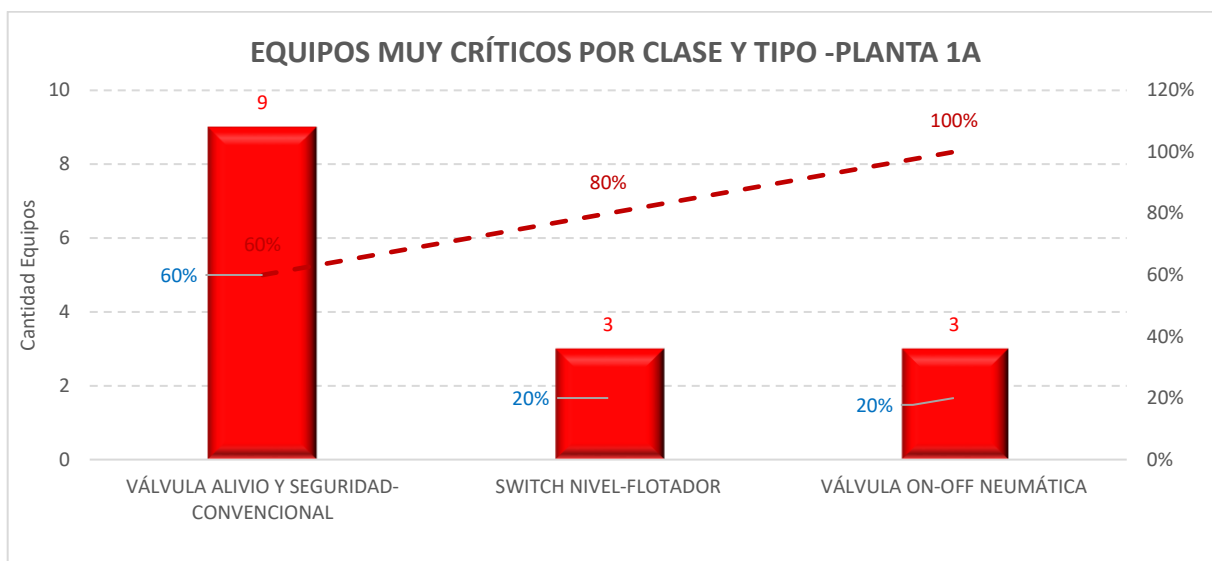
9.11.3. Criticidad por clase y tipo de equipo.

Grafica 15. Criticidad planta 1 por clase y tipo de equipo



9.11.4. Equipos muy críticos por clase y tipo.

Grafica 16. Equipos muy Críticos por Clase y Tipo.



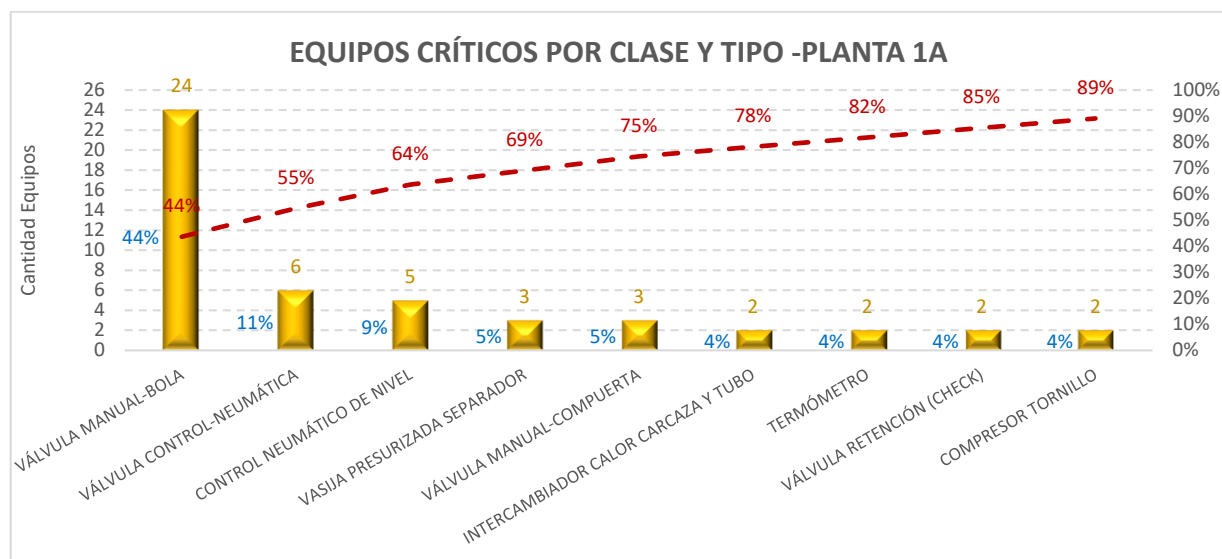
9.11.5. Equipos muy críticos por categorías de consecuencias.

Grafica 17. Equipos muy Críticos por Categoría de Consecuencias.



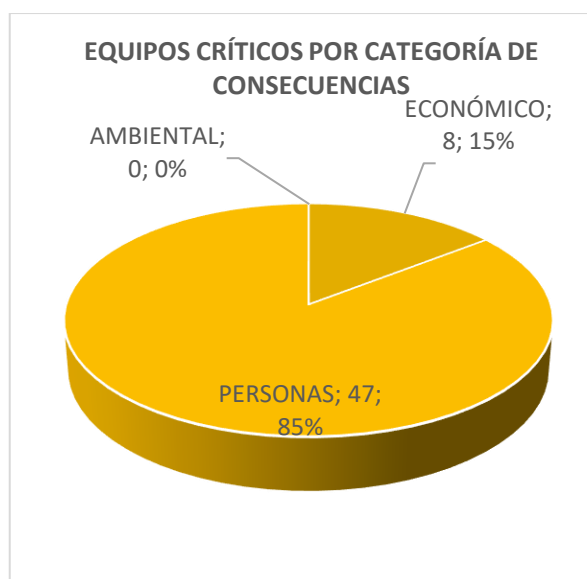
9.11.6. Equipos críticos por clase y tipo.

Grafica 18. Equipos Críticos por Clase y Tipo.



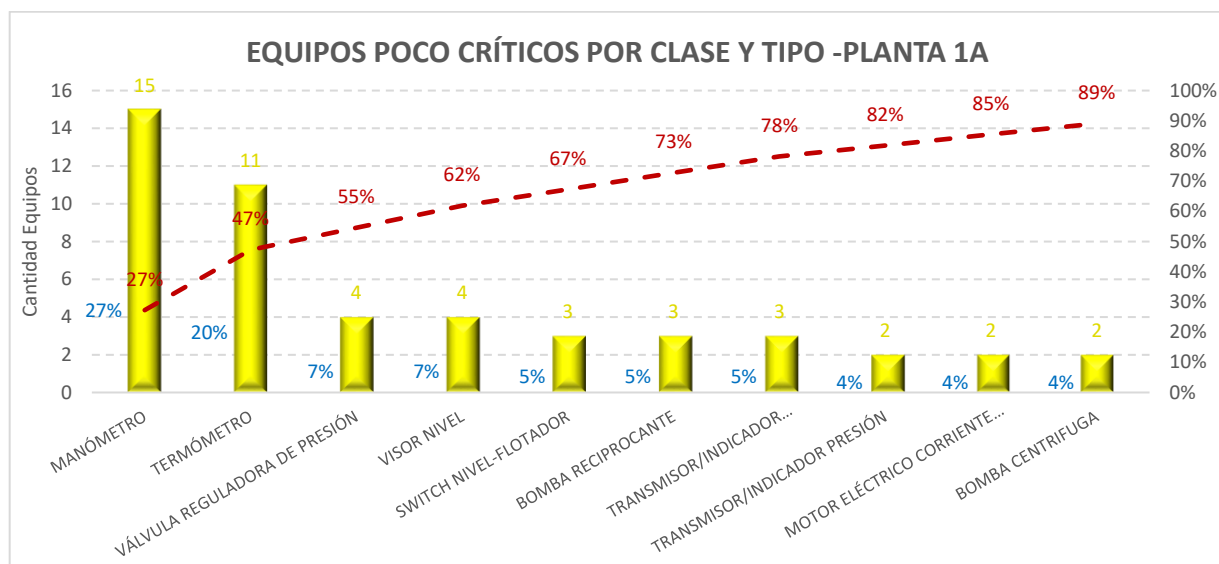
9.11.7. Equipos críticos por categoría de consecuencias.

Grafica 19. Equipos Críticos por Categoría de Consecuencias.



9.11.8. Equipos poco críticos por clase y tipo.

Grafica 20. Equipos Poco Críticos por Clase y Tipo.



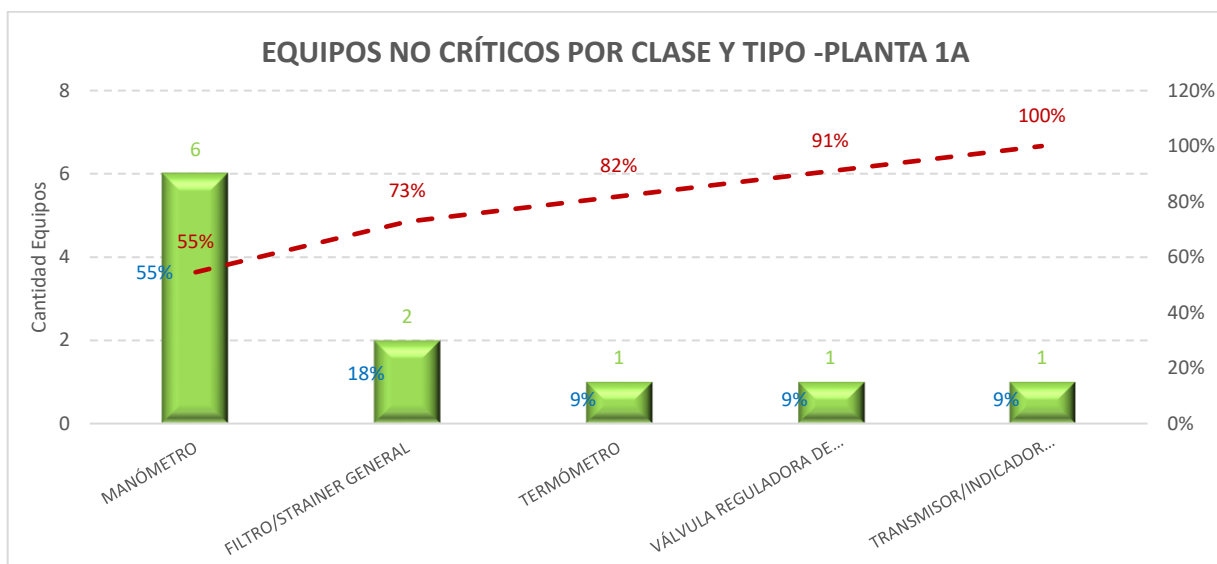
9.11.9. Equipos poco críticos por categoría de consecuencias.

Grafica 21. Equipos críticos por categoría de consecuencias.



9.11.10. Equipos no críticos por clase y tipo.

Grafica 22. Equipos no críticos por clase y tipo.



9.11.11. Equipos no críticos por categoría de consecuencias.

Grafica 23. Equipos críticos por categoría de consecuencias.



En el Anexo C: Análisis Criticidad-GEO-Planta 1A. Se encuentra el análisis completo de criticidad.

10. CONCLUSIONES

- El proyecto modela en particular un alcance sobre una de las 4 plantas instaladas para el tratamiento de gas natural. Se requiere dar continuidad al proyecto para incluir las otras 3 plantas.
- La sustentación del aporte de este proyecto radica en que aplicando criticidad basada en RCM se adquiere de forma inmediata mejoramiento en gestión de los activos que quedan reflejados en planes concretos de gestión y mantenibilidad.
- La estructura organizacional y la definición de los indicadores de gestión y planeación consolidaran en forma tangible. La gestión adecuada y la evolución e incremento dentro de la matriz de evaluación del proceso.
- Basados en el ciclo P-H-V-A este tipo de proyectos son totalmente fiables pues es un mejoramiento continuo operacional.
- El proyecto genera un entregable para metodológicamente y a través de técnicas implementadas como el RCA. Se identifiquen los modos, efectos y causa raíz que evite repetitividad de eventos. De igual forma el proyecto genera planes de mejoramiento que dan valor agregado en indicadores de disponibilidad y confiabilidad en la planta de tratamiento de gas natural.

BIBLIOGRAFÍA

BORRÁS PINILLA, Carlos. *Mantenimiento Preventivo*. Bucaramanga, 2013.

Daniel, ORTIZ. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - MCC - Guia practica*. 2017.

Lee, Hyunju y Ji Hwan Cha. «New stochastic models for preventive maintenance and maintenance.» *European Journal of Operational Research* (2016).

MOUBRAY, John. *Reliability centered Maintenance*. New York: Industrial Press INC, 1997.

NOWLAN, Stanley. *Reliability-Centered Maintenace*. United Airlines US D of C, Chicago, IL, USA: AD-A066-579, 1978.

NTC. SCRIBD. Noviembre de 2001. 31 de Marzo de 2019. <<https://es.scribd.com/document/331373537/z-008-Espanol>>.

PARRA Carlos, CRESPO Adolfo. *Ingenieria de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestion de Activos*. Sevilla, España: INGEMAN, 2012.

RELYABILITYWET.COM. *RELYABILITYWET.COM*. 2 de febrero de 2017. 19 de febrero de 2019. <<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm/>>.

SAE. «SAE JA1011 Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance (RCM) Processes.» USA, 1999-08.

SAE JA1012 A Guide to the Reliabilty Centered Maintenance (RCM) standard.» USA, 2002.

The British Standards Institution. «BS EN ISO 14224:2016.» bsi, 2006.