

MODELO GERENCIAL PARA MEJORAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO
DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS ROTATIVOS QUE INTERVIENEN EN EL
PROCESO DE TRATAMIENTO DE GAS NATURAL EN LA EMPRESA
TURGAS S.A. E.S.P.

CARLOS EMEL MORENO CÁRDENAS
WILLINTON DÍAZ FORERO

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

2016

MODELO GERENCIAL PARA MEJORAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO
DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS ROTATIVOS QUE INTERVIENEN EN EL
PROCESO DE TRATAMIENTO DE GAS NATURAL EN LA EMPRESA
TURGAS S.A. E.S.P.

CARLOS EMEL MORENO CÁRDENAS
WILLINTON DÍAZ FORERO

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de especialista
en Gerencia de Mantenimiento

Director:
JAVIER FERNANDO VILLEGAS
Ingeniero Electricista

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

2016

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La empresa TURGAS S.A. E.S.P por el apoyo brindado para la culminación de este proyecto.

Al ing. Javier Fernando Villegas por su orientación y apoyo como director de este proyecto.

Al cuerpo docente de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento, por los conocimientos transmitidos.

A todos los compañeros de la especialización por permitirnos crecer como personas y aprender de sus experiencias tan valiosas.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA TURGAS	19
1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA TURGAS	19
1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	20
1.3 PROCESOS PRODUCTIVOS DE LA COMPAÑÍA	20
1.3.1 Deshidratación de gas natural	21
1.3.2 Producción de gasolina natural	22
1.3.3 Producción de gas GLP	22
1.3.4 Generación de energía eléctrica	23
1.4 DESCRIPCIÓN GLOBAL DE LA EMPRESA TURGAS	23
1.4.1 Organigrama de la compañía	24
1.4.2 Misión	24
1.4.3 Visión	24
1.4.4 Certificación RUC	25
1.4.5 Sistemas de información	25
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
1.6 JUSTIFICACIÓN	27
1.7 OBJETIVOS	27
1.7.1 Objetivo general	27
1.7.2 Objetivos específicos	27
2. ASPECTOS TEÓRICOS DEL MANTENIMIENTO	29
2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO	29
2.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	30
2.3 IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO	33
2.4 INDICADORES DE MANTENIMIENTO	34
2.5 MANTENIMIENTO PREDICTIVO	37
2.5.1 Análisis de vibraciones	38

2.5.2	Análisis de termografía	39
2.5.3	Análisis de lubricantes	40
2.5.4	Tintas penetrantes	42
2.6	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	43
2.6.1	Criticidad de equipos	45
2.7	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	47
2.8	NORMA ISO 14224	48
3.	SISTEMAS DE INFORMACIÓN	52
3.1	DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN	53
3.2	EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN	55
3.3	IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN	57
3.3.1	Sistema SCADA	60
4.	ESTADO DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA TURGAS	63
4.1	SISTEMA DE INFORMACIÓN	63
4.2	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	66
4.3	COSTOS DEL MANTENIMIENTO	66
4.4	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	66
4.5	DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN	67
5.	MODELO GERENCIAL PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS ROTATIVOS DE LA EMPRESA TURGAS S.A.	68
5.1	MATRIZ DE CODIFICACIÓN DE EQUIPOS	68
5.2	EVALUACIÓN DE CRITICIDAD	73
5.2.1	Aplicación de la ecuación para ponderación de la criticidad de equipos	73
5.2.2	Matriz de criticidad de equipos	74
5.3	DIAGRAMA DE PARETO SOBRE EL SISTEMA	78
5.4	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	80
5.4.1	Mantenimiento diario operacional	82
5.4.2	Mantenimiento preventivo 1500 horas	83
5.4.2.1	Muestra de aceite lubricante para análisis de laboratorio	83
5.4.2.2	Limpiar el respiradero del Carter	83

5.4.2.3 Limpieza del cárter	83
5.4.2.4 Torque de los pernos de anclajes, bielas, volante y acople	84
5.4.2.5 Verifique tolerancia de bielas y pistones	84
5.4.2.6 Desaire del sistema de agua de refrigeración de los cilindro	85
5.4.2.7 Inspección de fugas de gas por las empaquetaduras de presión	85
5.4.2.8 Limpieza Interior del motor eléctrico	85
5.4.2.9 Limpieza exterior del motor eléctrico	86
5.4.3 Mantenimiento preventivo de 3000 horas	87
5.4.3.1 Muestra de aceite lubricante para análisis de laboratorio	87
5.4.3.2 Limpiar el respiradero del Carter	88
5.4.3.3 Limpieza del cárter	88
5.4.3.4 Torque de los pernos de anclajes, bielas, volante y acople	88
5.4.3.5 Verifique tolerancia de bielas y pistones	89
5.4.3.6 Desaire del sistema de agua de refrigeración de los cilindros	89
5.4.3.7 Inspección de fugas de gas por las empaquetaduras de presión	89
5.4.3.8 Cambio de lubricante del cárter y filtros	90
5.4.3.9 Inspección de lubricación Forzada de cilindros compresores	90
5.4.3.10 Lubricar el eje que desplaza el bolsillo	91
5.4.3.11 Limpieza Interior del motor eléctrico	91
5.4.3.12 Limpieza exterior del motor eléctrico	92
5.4.3.13 Engrase de los rodamientos del motor eléctrico	93
5.4.4 Mantenimiento preventivo de 4500 horas	93
5.4.4.1 Muestra de aceite lubricante para análisis de laboratorio	93
5.4.4.2 Limpiar el respiradero del Carter	94
5.4.4.3 Limpieza del cárter	94
5.4.4.4 Torque de los pernos de anclajes, bielas, volante y acople	94
5.4.4.5 Verifique tolerancia de bielas y pistones	95
5.4.4.6 Desaire del sistema de agua de refrigeración de los cilindros	95
5.4.4.7 Inspección de fugas de gas por las empaquetaduras de presión	95
5.4.4.8 Revisar válvulas de primera, segunda, tercera y cuarta etapa	96

5.4.4.9 Inspección de los medidores presión	97
5.4.4.10 Inspección de holguras y tolerancias de cruceta	98
5.4.4.11 Revisión de anillos de pistón de primera, segunda, tercera y cuarta etapa	99
5.4.4.12 Metrología de los cilindros de primera, segunda, tercera y cuarta etapa	100
5.4.4.13 Inspección del Acople del Cigüeñal	100
5.4.4.14 Limpieza Interior del motor eléctrico	101
5.4.4.15 Limpieza exterior del motor eléctrico	101
5.4.4.16 Devanado del motor eléctrico	102
5.4.5 Mantenimiento preventivo de 9000 horas	104
5.4.5.1 Muestra de aceite lubricante para análisis de laboratorio	104
5.4.5.2 Limpiar el respiradero del Carter	104
5.4.5.3 Limpieza del cárter	104
5.4.5.4 Torque de los pernos de anclajes, bielas, volante y acople	105
5.4.5.5 Verifique tolerancia de bielas y pistones	105
5.4.5.6 Desaire del sistema de agua de refrigeración de los cilindros	106
5.4.5.7 Inspección de fugas de gas por las empaquetaduras de presión	106
5.4.5.8 Revisar válvulas de primera, segunda, tercera y cuarta etapa	106
5.4.5.9 Cambio de lubricante del cárter y filtros	108
5.4.5.10 Inspección de lubricación Forzada de cilindros compresores	109
5.4.5.11 Cambio de empaquetadura de presión	109
5.4.5.12 Cambio de rascadores de aceite del vástago	110
5.4.5.13 Cambio de anillos de pistones compresores de primera, segunda, tercera y cuarta etapa	110
5.4.5.14 Inspección de holguras y tolerancias de cruceta	112
5.4.5.15 Acople entre el motor y el compresor	113
5.4.5.16 Limpieza Interior del motor eléctrico	113
5.4.5.17 Limpieza exterior del motor eléctrico	114
5.4.5.18 Engrase de los rodamientos del motor eléctrico	115

5.4.5.19 Devanado del motor eléctrico	116
5.5 SISTEMA DE INFORMACIÓN	117
5.5.1 Módulo de administración del equipo	119
5.5.2 Módulo de control de órdenes de trabajo	120
5.5.3 Módulo de administración de las especialidades y costos del mantenimiento.	122
5.5.4 Módulo de suministro y control de materiales	125
5.5.5 Módulo de indicadores del área de mantenimiento	126
5.5.6 Módulo de reporte de gestión del área de mantenimiento	128
6. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS PARA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	130
6.1 RECURSOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS	130
6.1.1 Costos para implementar el proyecto	130
6.2 CRONOGRAMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA MONOGRAFÍA	132
6.2.1 Estructura de desglose del trabajo (EDT).	132
6.2.2 Plan de trabajo (PDT)	133
7. CONCLUSIONES	134
8. RECOMENDACIONES	135
BIBLIOGRAFÍA	136
ANEXOS	138

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Logo de la Empresa TURGAS S.A E.S.P	19
Figura 2. Ubicación TURGAS S.A E.S.P	20
Figura 3. Cadena de valor TURGAS S.A E.S.P	21
Figura 4. Organigrama TURGAS S.A E.S.P	24
Figura 5. Evolución del Mantenimiento	31
Figura 6. Curva de la bañera	32
Figura 7. Tiempo medio entre fallas	35
Figura 8. Espectro de vibraciones	38
Figura 9. Termografía motor eléctrico	40
Figura 10. Análisis con tintas penetrantes	42
Figura 11. Mantenimiento preventivo	44
Figura 12. Matriz de criticidad	45
Figura 13. Árbol de clasificación ISO 14224	49
Figura 14. Ciclo del mantenimiento	54
Figura 15. Evolución de los sistemas de mantenimiento	55
Figura 16. Actividades soportadas por el módulo de mantenimiento	58
Figura 17. Sistema SCADA	61
Figura 18. Sistema Integral de Información TURGAS	63
Figura 19. Módulo de Mantenimiento	65
Figura 20. Pareto de Criticidad de Equipos Rotativos	79
Figura 21. Niveles del módulo de mantenimiento	118
Figura 22. Administración del equipo	119
Figura 23. Control de órdenes de trabajo	120
Figura 24. Administración de especialidades y costos	122
Figura 25. Suministro y control de materiales	126

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tipo de clasificación – Generadores Eléctricos. ISO 14224	50
Tabla 2. Subdivisión de equipo – Generadores eléctricos. ISO 14224	51
Tabla 3. Taxonomía de codificación de equipos	69
Tabla 4. Clasificación de Compresores	71
Tabla 5. Clasificación de motores eléctricos	71
Tabla 6. Clasificación de bombas	71
Tabla 7. Matriz de codificación equipos rotativos	72
Tabla 8. Método de factores ponderados basados en el riesgo	74
Tabla 9. Matriz de criticidad	75
Tabla 10. Matriz de criticidad	76
Tabla 11. Pareto de Criticidad de Equipos Rotativos	78
Tabla 12. Programa de mantenimiento preventivo de los compresores de gas natural basado en el tiempo	81
Tabla 13. Costo total para la implantación del proyecto	131
Tabla 14. Costos fijos para implementación del proyecto	131
Tabla 15. Costos fijos para implementación del proyecto	131

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Estructura de Desglose del Trabajo (EDT)	138
Anexo B. Plan de trabajo para implementar los objetivos del proyecto	139

GLOSARIO

COMPRESOR: Máquina que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como gases y los vapores.

CRITICIDAD DE EQUIPOS: Es una metodología que permite establecer jerarquías entre equipos y elementos de un equipo.

EQUIPO ESTACIONARIO: Aparatos o dispositivos de poca movilidad o que carecen de ella.

ELASTOHIDRODINÁMICA: Es la lubricación de se presenta en sistemas de alta carga donde la presión es tal que la deformación elástica influye de manera considerable en la película de lubricante.

EQUIPO ROTATIVO: Aparatos, máquinas o dispositivos cuyo funcionamiento se basa en el movimiento o giro alrededor de un eje.

GAS NATURAL: Es una mezcla de hidrocarburos gaseosos ligeros que se extrae, bien de yacimientos independientes (gas libre), bien junto a yacimientos petrolíferos o de carbón (gas asociado a otros hidrocarburos y gases).

GASOLINA NATURAL: Producto resultante del procesamiento de gas natural. Compuesta básicamente por pentano, hexano y heptano.

GENERADOR ELÉCTRICO: Dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica.

GLICOL: Es un compuesto químico que pertenece al grupo de los dioles. El etilenglicol es un líquido transparente, incoloro, ligeramente espeso como el almíbar y leve sabor dulce.

GLP: Gas Licuado del Petróleo. Es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo.

INDICADOR DE GESTIÓN: Son medidas utilizadas para determinar el éxito de un proyecto en una organización.

JERARQUIZACIÓN: Ordenamiento de tareas de acuerdo con su prioridad.

MATRIZ DE CRITICIDAD: Herramienta utilizada para establecer jerarquía o prioridad de sistemas, instalaciones, procesos o equipos.

PARETO: Principio que establece que un grupo minoritario formado por el 20% de una población ostenta el 80% de algo, y el grupo mayoritario formado por un 80% de esa población ostenta el 20% de ese algo.

PROBABILIDAD: Método por el cual se obtiene la frecuencia de un acontecimiento determinado mediante la realización de un experimento aleatorio, del que se conocen todos los resultados posibles.

SCADA: Supervisión, Control y Adquisición de Datos. Software que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.

TURBOEXPANSOR: son turbo maquinas destinadas a disminuir la presión y la temperatura de los gases, aumentando su volumen para así poder licuarlos o condensarlos, aprovechando el trabajo producido para generar potencia.

RESUMEN

TITULO: MODELO GERENCIAL PARA MEJORAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS ROTATIVOS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE GAS NATURAL EN LA EMPRESA TURGAS S.A. E.S.P.*

AUTORES: CARLOS EMEL MORENO CÁRDENAS
WILLINTON DÍAZ FORERO**

PALABRAS CLAVE: CRITICIDAD, MATRIZ, PREVENTIVO, INDICADORES, SISTEMA DE INFORMACIÓN, JERARQUIZACIÓN.

DESCRIPCIÓN:

El presente documento tiene como finalidad realizar una mejora en la estrategia de mantenimiento que se tiene implementada en la empresa TURGAS S.A, identificando puntos débiles en el personal, la planta y los equipos, y así reducir el número de paradas no programadas que se presentan. De igual manera la jerarquización de los equipos y la mejora en el sistema de información promueven un análisis más detallado en la prevención de las fallas que se puedan presentar. El modelo de mantenimiento preventivo basado en el tiempo parte del análisis de las fallas de los componentes ya que la mayoría de estos tienen una duración fácilmente identificable, con lo cual se concluye que este modelo es el que más se adapta a la empresa.

Al determinar los equipos rotativos críticos mediante la utilización de una matriz de consecuencia por probabilidad, se logra aumentar el índice de tiempo medio entre fallas con lo cual los recursos de mantenimiento pueden ser mejor direccionados de una forma más eficiente y segura. En el análisis del sistema se utiliza la herramienta de Diagrama de Pareto la cual indica de acuerdo al análisis de criticidad cuales son los más vitales (20%) y cuales los más triviales (80%).

La clasificación de los equipos, sus partes y componentes se realiza teniendo como base la norma ISO 14224, esto permite una recopilación de datos confiable en un formato estándar con lo cual no solo se garantiza el tratamiento interno de esta información, análisis de tendencias y registros, sino también a futuro poder acceder a la base internacional de datos OREDA, información disponible para la industria de hidrocarburos.

*Monografía.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Javier Fernando Villegas, Ingeniero Electricista.

SUMMARY

TITLE: MANAGEMENT MODEL TO IMPROVE PREVENTIVE MAINTENANCE OF CRITICAL ROTARY EQUIPMENT INVOLVED IN THE PROCESS OF NATURAL GAS TREATMENT IN THE COMPANY S.A. TURGAS E.S.P. *

AUTHORS: CARLOS EMEL MORENO CÁRDENAS
WILLINTON DÍAZ FORERO**

KEYWORDS: CRITICALITY, MATRIX, PREVENTIVE, INDICATORS, INFORMATION SYSTEM, NESTING.

DESCRIPTION:

This document aims to make an improvement in the maintenance strategy that is implemented in the company TURGAS S.A, identifying weaknesses in personnel, plant and equipment, and reduce the number of unplanned shutdowns that occur. Similarly the ranking of the teams and improving the system promote more detailed information on preventing failures that may arise analysis. Preventive maintenance model based on the time of the analysis of component failures since most of these have an easily identifiable duration, which concludes that this model is the best suited to the company.

In determining the critical rotating equipment using a matrix result by chance, it is possible to increase the rate of mean time between failures with which maintenance resources can be better addressed in a more efficient and safer. In system analysis tool Pareto diagram which indicates according to criticality analysis which are the most vital (20%) and which the most trivial (80%) is used.

The classification of equipment, parts and components is carried out on the basis of the ISO 14224 standard, this allows a collection of reliable data in a standard format with which not only the internal processing of this information is guaranteed, trend analysis and records but also in the future to access international OREDA database, data available for the hydrocarbon industry.

*Monograph.

** Faculty of Mechanical Engineering and Physical. Specialization in Management of Maintenance, Director: Fernando Javier Villegas, Electrical Engineer.

INTRODUCCIÓN

En un país tan competitivo donde las empresas de recursos energéticos son cada vez más calificadas especialmente aquellas que se dedican a la refinación de gas natural y producción de energía eléctrica con motogeneradores, es de vital importancia tener un modelo de mantenimiento que se adapte a este tipo de industria, a sus necesidades, y a sus riesgos. Las estrategias de mantenimiento preventivo correctamente implementadas ayudan a evitar daños en los equipos al anticiparse a las fallas, a clasificar y organizar de manera clara los equipos que intervienen en el proceso, a agilizar los tiempos de ejecución de los trabajos y maximizar los tiempos de operación. Cuando se conoce que equipos son los más importantes en una planta, se pueden priorizar los recursos de mantenimiento orientando estos a aquellas necesidades que son más relevantes e indispensables para el buen funcionamiento de la empresa.

Este proyecto nace de la necesidad de mantener los equipos rotativos en correcto funcionamiento, disminuir las paradas no programadas ocasionadas por fallas de componentes, jerarquizar y realizar el análisis de criticidad, y agilizar el proceso del ciclo del mantenimiento mediante órdenes de trabajo gestionadas por un sistema de información eficiente.

Para poder lograr los objetivos propuestos se realiza la codificación de los equipos mediante un sistema de jerarquización bajo la norma ISO, se diseña una matriz de criticidad para identificar los equipos rotativos que tienen más relevancia, se escoge la estrategia de mantenimiento basado en tiempo, toda vez que se tienen datos e información con la cual se puede calcular la vida útil de un componente, y se propone un módulo de mantenimiento en el sistema de información para mejorar la gestión y el control del área mantenimiento. Este modelo abarca únicamente los equipos rotativos que intervienen en el proceso de producción de gas natural, los cuales son los compresores recíprocos y las bombas.

1. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA TURGAS

1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA TURGAS

El proyecto nace del conocimiento y experiencia del Ingeniero Elkin Yepes, Gerente General de TURGAS S.A. E.S.P. quien realizó la estructuración organizacional de la empresa y lideró la búsqueda de recursos para el desarrollo y ejecución del proyecto para la construcción de la planta de tratamiento de gas.¹

Figura 1. Logo de la Empresa TURGAS S.A E.S.P



Fuente: TURGAS S.A .E.S.P

En Enero de 2011, entra en operación la Planta de Envasado de cilindros de GLP, como proyecto de Responsabilidad Social de la Organización, para el beneficio de la comunidad sin acceso al combustible por otras vías y a precios asequibles a sus Condiciones socio-económicas.

2012 fue un año en el cual se llevaron a cabo proyectos muy importantes para nuestra empresa, para el Departamento del Tolima y para el país; dentro de estos proyectos llevados a cabo, el más relevante fue la construcción del Gasoducto Toqui - Toqui – Cemex, con lo cual se evitó que los Departamentos de Tolima y Huila se vieran sometidos a un racionamiento de gas.

¹ Tomado de: <http://www.turgas.com/>

1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

TURGAS S.A. E.S.P. es una Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios fundada el 19 de Mayo de 2005, con el objeto principal de tratar el gas natural asociado a la producción de petróleo del campo Toqui - Toqui ubicado en el municipio de Piedras, Departamento del Tolima.

Figura 2. Ubicación TURGAS S.A E.S.P



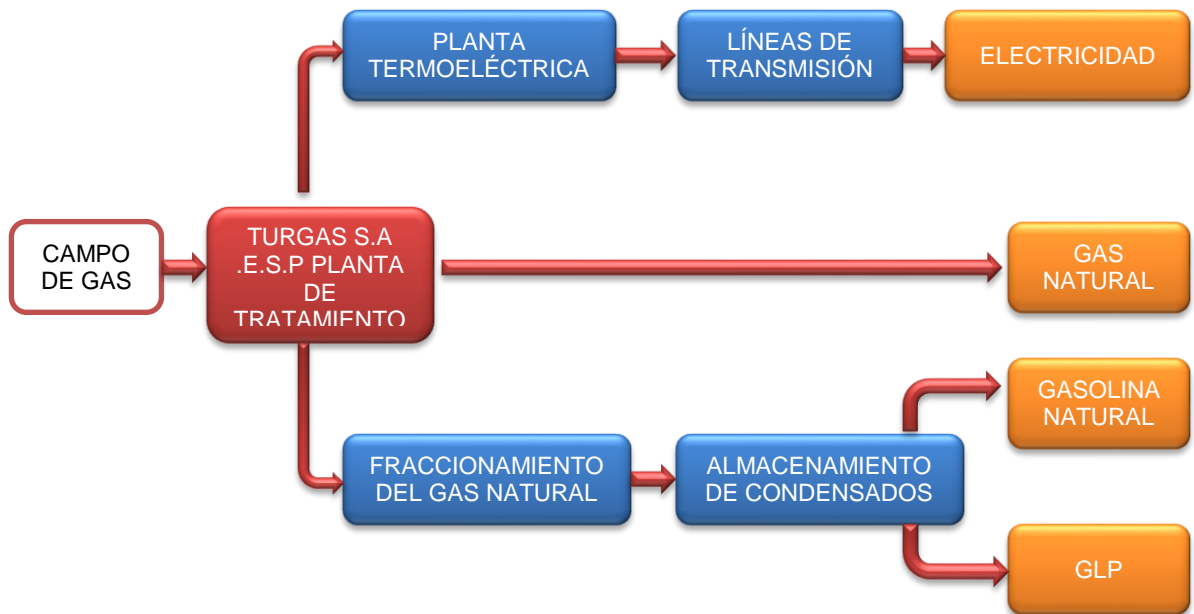
Fuente: <https://www.google.com.co/maps/place/Piedras,+Tolima>

1.3 PROCESOS PRODUCTIVOS DE LA COMPAÑÍA

TURGAS S.A. E.S.P. ha realizado una integración de maquinaria que le ha permitido realizar un proceso tripartito donde se destaca la utilización del gas asociado para la generación de energía eléctrica y, mediante el tratamiento y fraccionamiento de gas obtener productos tales como:

- Gas Natural para uso doméstico e industrial.
- Gasolina Natural.
- Gas Licuado de Petróleo (GLP).
- Generación de electricidad a través de procesos termoeléctricos mediante el uso de motores de generación.²

Figura 3. Cadena de valor TURGAS S.A E.S.P



Fuente: TURGAS S.A E.S.P

1.3.1 Deshidratación de gas natural. Los compresores recíprocos toman el gas natural que viene de los yacimientos a una presión de 20 psi y lo llevan hasta 600 psi, presión ideal para la planta de proceso, donde mediante el uso de glicol y bombas que intervienen en los procesos de refrigeración y transporte de fluidos se retiran los líquidos presentes.

² Tomado de: <http://www.turgas.com/>

El gas natural es un combustible fósil incoloro e inodoro compuesto principalmente por metano CH_4 , el cual es el hidrocarburo más simple.

Es un producto seguro, eficiente, confiable y conveniente para muchas aplicaciones:

- Comercial: Catering, secado, calefacción y agua caliente.
- Industrial: Manufactura y procesamiento.
- Generación de energía: en estaciones de generación por medio de turbinas y plantas de cogeneración.
- Transporte: Como combustible para vehículos tales como camiones y buses.

1.3.2 Producción de gasolina natural. La gasolina natural es obtenida a partir del gas natural, licuando los elementos constitutivos que hierven en el intervalo de la gasolina, bien sea por compresión y enfriamiento o por absorción en aceite.

La gasolina natural es demasiado volátil para el uso general, pero se pueden conseguir características apropiadas por destilación o por mezcla.

Frecuentemente se mezcla con gasolinas menos volátiles para mejorar sus características y propiedades, este hidrocarburo está constituido principalmente por pentano, C_5H_8 .

1.3.3 Producción de gas GLP. El gas licuado del petróleo, es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo, aunque a temperatura ambiente estos gases son fáciles de licuar, es el combustible preferido para aplicaciones que demanden un “quemado limpio” tales como calderas, estufas y hornos en las industrias de turismo, alimentos y lácteos; y para aplicaciones directas de cocción en las industrias cerámicas vidrieras, está constituido principalmente por propano, C_3H_8 y butano, C_4H_{10} .

El gas licuado de petróleo es superior a los combustibles líquidos por razones económicas y ambientales. A continuación se hace una breve comparación:

- Quemado limpio: El GLP se consume eficientemente, con muy bajas emisiones de combustión, de ahí que no se encuentren depósitos de carbón en los quemadores y al interior de las calderas; emisión limpia de gases de escape.
- Alta Eficiencia: Debido a su completa combustión, el GLP no deja depósitos en las superficies de intercambio de calor, en consecuencia, proporciona alta eficiencia de combustión y transferencia de calor comparado con el Diésel.

1.3.4 Generación de energía eléctrica. La generación de electricidad se desarrolla a través de procesos termoeléctricos mediante el uso de motores de generación.

La capacidad instalada de generación es de 5 MW, lo cual permite según el precio del KW-h en el mercado y la nominación de gas existente decidir la mejor rentabilidad para el activo.

1.4 DESCRIPCIÓN GLOBAL DE LA EMPRESA TURGAS

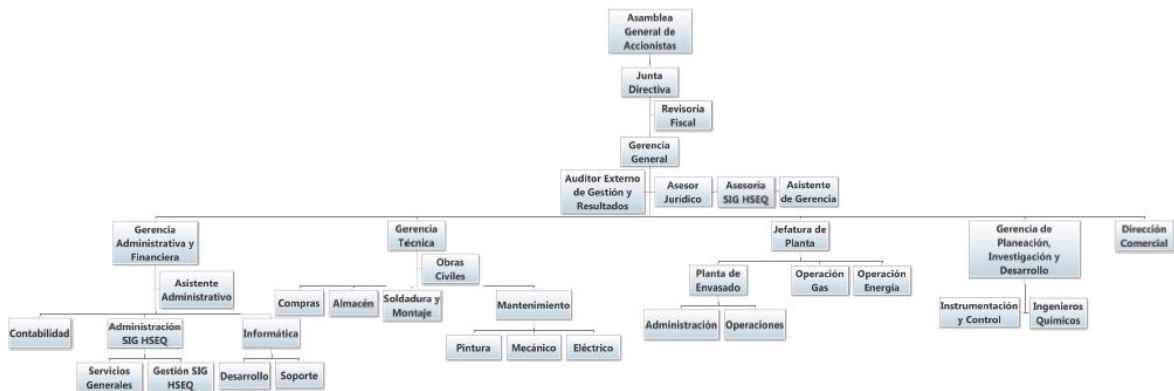
Con un muy buen establecido sistema de HSE y prácticas que garantizan la seguridad de nuestros trabajadores, contratistas y consumidores en todo momento, TURGAS S.A. E.S.P. trabaja fuertemente para lograr la consecución de las certificaciones ISO 9001:2008 Sistema de Gestión de la Calidad, ISO 14001:2004 Sistema de Gestión Ambiental y OHSAS 18001:2007 Sistema de Gestión de la Seguridad y la Salud en el Trabajo; con el objeto de otorgar la más alta prioridad a la seguridad. Siempre estamos listos para atender cualquier tipo de emergencia en el lugar en el que se presente.

1.4.1 Organigrama de la compañía

Figura 4. Organigrama TURGAS S.A E.S.P



ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL



Fuente: TURGAS S.A E.S.P

1.4.2 Misión. TURGAS S.A. E.S.P. es una empresa enfocada en el uso racional de recursos energéticos, con una voluntad de cumplir responsablemente la labor dentro de un ambiente seguro y normativo; buscamos la productividad a través de la satisfacción de nuestros clientes con información oportuna, productos de calidad y utilización de tecnologías confiables y acordes a las necesidades; en un ambiente de seguridad y mejora continua, procurando el desarrollo personal de nuestro talento humano y la generación de valor a nuestros accionistas.

1.4.3 Visión. En 2018 TURGAS S.A. E.S.P. será reconocida como líder internacional en el tratamiento de gas natural a pequeña escala, así como en el uso racional de productos de la cadena del negocio energético; identificada como una Organización Inteligente, adaptable y competitiva en el entorno, con un personal comprometido, logrando la preferencia de nuestros clientes.

1.4.4 Certificación RUC. Dentro del compromiso con las políticas enmarcadas en las seguridad, con que la empresa TURGAS S.A E.S.P. cuenta como empresa contratista de Ecopetrol S.A. está el Registro Uniforme de Evaluación del Sistema de Gestión en Seguridad, Salud Ocupacional y Ambiente, SSOA, para Contratistas, RUC®, que es la herramienta de evaluación del desempeño en SSOA, aplicada en empresas contratistas del sector hidrocarburos y de otros sectores contratantes, con el objetivo principal de impulsar el desempeño y la mejora continua en la gestión del riesgo y el cumplimiento de los aspectos legales y de otra índole.

Esta certificación genera beneficios para las empresas tanto contratistas como contratantes, manteniendo una información permanente, impulsando la mejora continua en la seguridad, estandarizando las buenas practicas, mejorando la permanencia y oportunidad en el mercado, dando herramientas para disposiciones legales, logrando el reconocimiento del consejo colombiano de seguridad, entre otras.

1.4.5 Sistemas de información. El sistema de información que TURGAS S.A E.S.P tiene implementado se denomina SIIT (Sistema Integral de Información TURGAS), el cual está basado en los sistemas ERP (*Enterprise Resource Management*), siendo utilizado como una herramienta de apoyo para las diferentes áreas de la compañía.

Está constituido por módulos dentro de los cuales se destacan: módulo de gestión de proyectos, módulo de requisición y compras, módulo de activos dados de baja, módulo de recursos humanos, módulo de nómina, y el módulo de mantenimiento el cual se encuentra en construcción.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

TURGAS S.A. E.S.P. es una Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios fundada el 19 de Mayo de 2005, con el objeto principal de tratar el gas natural asociado a la producción de petróleo del campo Toqui – Toqui, con una capacidad instalada de deshidratación de 15 Mft³ de gas natural, ubicada en el municipio de Piedras del departamento del Tolima.

Los equipos rotativos son parte vital de la cadena productiva de deshidratación de gas natural; los compresores reciprocantes son los responsables de suministrar el gas a la planta de proceso tomándolo a 20 psi y llevándolo a 600 psi presión normal de operación de la planta de proceso, los compresores de refrigeración suministran el frío requerido para la separación de los líquidos y las bombas además de formar parte de los sistemas de refrigeración, transportan líquidos térmicos y los subproductos a asociados a la cadena de valor del gas natural.

En la empresa TURGAS S.A. E.S.P. se presentan paradas no programadas de manera frecuente de los equipos rotativos que intervienen en el proceso de tratamiento de gas natural a consecuencia de fallas funcionales de tipo infantil, aleatorias o por desgaste de los componentes.

Todos los equipos que integran el sistema de producción de la compañía carecen de un Tag y un análisis del nivel de criticidad que esté basado en un estándar del sector petróleo y gas. Adicionalmente, el sistema de información que existe para el seguimiento y control del área de mantenimiento es manual, formando parte de este A zetas con registros físicos del proceso, dificultando el análisis de tendencias y la implementación de modelos gerenciales de mantenimiento basados en condición de los equipos o en estadísticas y confiabilidad.

1.6 JUSTIFICACIÓN

El resultado de este trabajo de investigación tiene una aplicación concreta y proyecta mejorar el modelo gerencial que existe para el área de mantenimiento de la empresa TURGAS S.A. E.S.P.

Facilitará la identificación de todos los equipos rotativos que intervienen en el proceso de deshidratación de gas natural y los subproductos asociados a la cadena de valor de la organización, además de determinar el nivel de criticidad para cada uno de ellos.

El diseño de un sistema de información que mejore el análisis de datos y tendencias en el comportamiento de los equipos rotativos, facilitará de forma significativa la gestión administrativa, el control y toma de decisiones en el área de mantenimiento de la organización.

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 Objetivo general. Proponer un modelo gerencial para mejorar el mantenimiento preventivo de los equipos críticos rotativos que intervienen en el proceso de tratamiento de gas natural en la empresa TURGAS S.A. E.S.P.

1.7.2 Objetivos específicos

- Proponer la codificación para los equipos rotativos que intervienen en el proceso de gas natural de la empresa TURGAS S.A. E.S.P. de acuerdo a la norma ISO 14224.
- Diseñar una matriz para identificar el nivel de criticidad de cada uno de los equipos rotativos que intervienen en proceso de tratamiento de gas natural.

- Presentar una propuesta de mantenimiento preventivo basado en tiempo, fundamentada en el análisis del estado actual del mantenimiento en la empresa TURGAS S.A E.S.P para los equipos rotativos de nivel crítico que intervienen en el proceso de tratamiento de gas natural.
- Proponer un modelo de sistema de información para mejorar la gestión, el seguimiento y el control del área de mantenimiento.

2. ASPECTOS TEÓRICOS DEL MANTENIMIENTO

2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento se puede definir como el conjunto de acciones, operaciones y actitudes encaminadas a poner o restablecer un activo a un estado específico y que permitan asegurar un servicio determinado.³

Su importancia radica en que se encuentra ligado de manera natural a la existencia de las máquinas, justificando su necesidad en la medida que:

- Mantiene los equipos con alta disponibilidad.
- Optimiza los costos.
- Mejora el rendimiento de los equipos.
- Incrementa la productividad.

Para que las metodologías de mantenimiento sean exitosas es importante que involucren y beneficien a las personas, las máquinas y el entorno, esta interacción debe procurar la total satisfacción de operadores y mantenedores que en el caso del mantenimiento autónomo son quienes permanecen más tiempo con los equipos de trabajo, esta condición mejora su conocimiento sobre el funcionamiento de la máquina y por ende su mejor punto de productividad.

Cuando la función básica de limpiar, inspeccionar y lubricar se realiza con motivación y compromiso genera un impacto positivo en toda la organización, mejorando no solo la comodidad para el trabajo de los operarios sino también para la planeación y ejecución de las labores de mantenimiento.

³ BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento, Gerencia de mantenimiento, UIS. 2014.

Las actividades de planeación que la filosofía del mantenimiento requiere para hacer el mejor uso de los recursos son:⁴

- Filosofía de mantenimiento.
- Pronóstico de la carga de mantenimiento.
- Capacidad de mantenimiento.
- Organización del mantenimiento.
- Programación del mantenimiento.

Una filosofía de mantenimiento adecuada debe procurar tener un personal que sea consiente con el mejoramiento de la disponibilidad y la producción sin que comprometa la seguridad, para que se pueda lograr esto se pueden estudiar y combinar las siguientes estrategias:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento de oportunidad.
- Mantenimiento predictivo.
- Modificación del diseño.

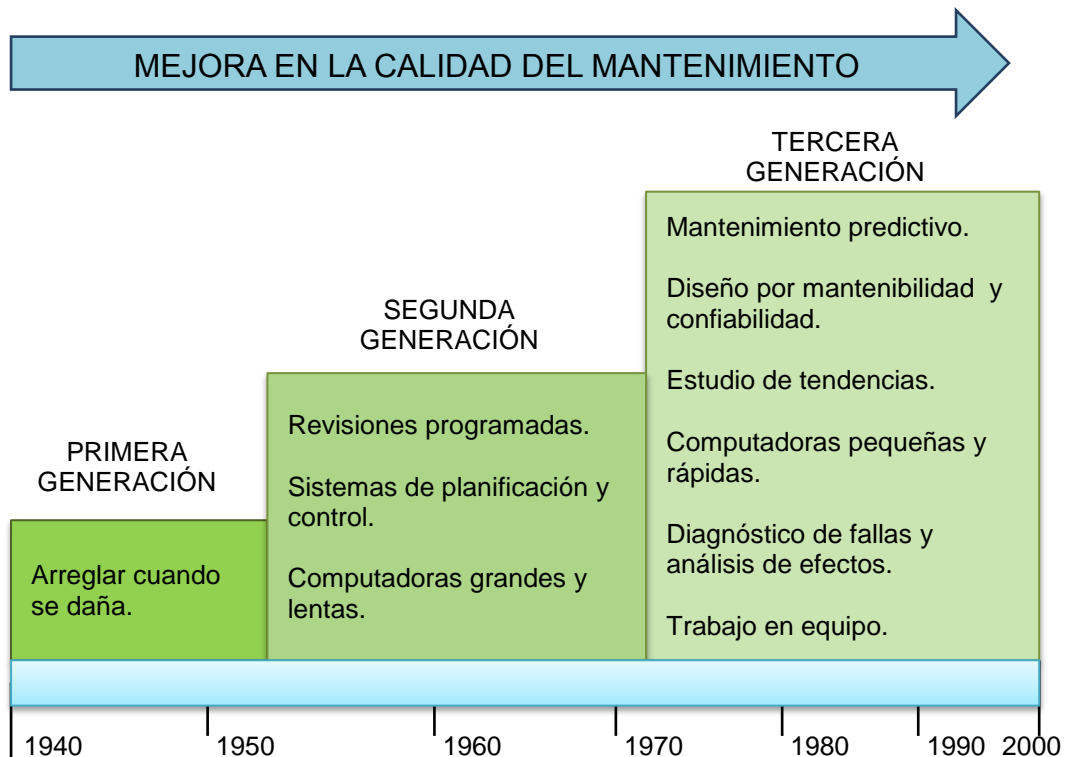
2.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

A través de la historia el mantenimiento ha pasado por diferentes técnicas y maneras de interpretarlo y concebirlo, entre estas tenemos: el mantenimiento accidental, el mantenimiento progresivo, y el mantenimiento preventivo sistemático.

⁴ DUFFUAA, Raouf y Dixon. Sistemas de mantenimiento planeación y control. 2000.

En el mantenimiento accidental, primera generación, los encargados de la operación consideraban que el funcionamiento debía seguir hasta que los equipos estuvieran completamente defectuosos y perdieran la capacidad de generar algún tipo de servicio, este tipo de mantenimiento generaba altas pérdidas ya que no se tomaban en cuenta los costos asociados a los daños y paradas no planeadas.

Figura 5. Evolución del Mantenimiento

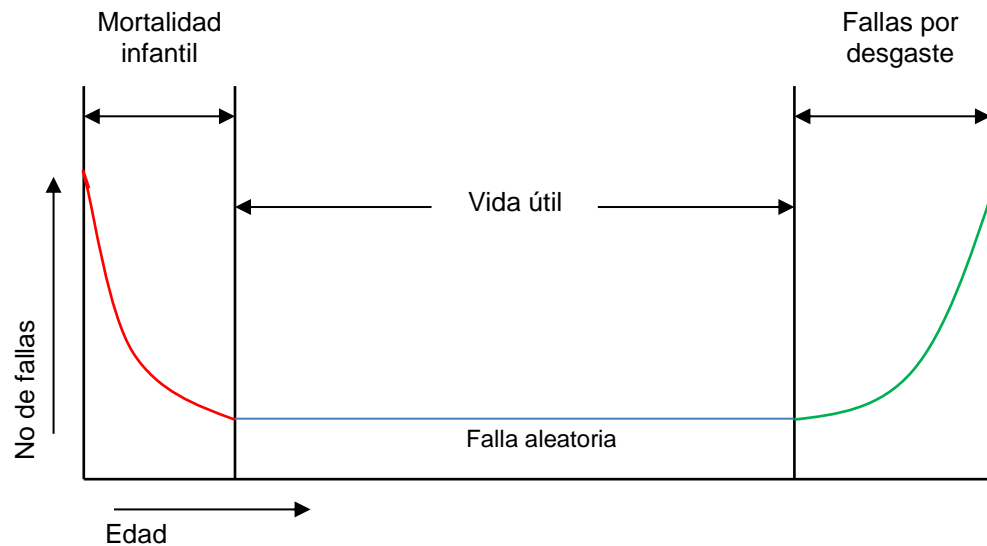


Fuente: Principios de mantenimiento

La siguiente generación es el mantenimiento progresivo, en el cual un equipo se subdivide en partes o repuestos los cuales al cabo de un determinado tiempo son retirados y cambiados por unos nuevos o por piezas que con anterioridad se habían retirado para ser inspeccionadas y reparadas; con este método se lograba alta disponibilidad pero no se aprovechaba en su totalidad la vida útil de los componentes ni existía una forma de protección preventiva.

La tercera generación es el mantenimiento preventivo sistemático, se realiza de acuerdo al análisis de una variable independiente, este tipo de mantenimiento evoluciona hacia el mantenimiento predictivo basado en condición; también se puede hacer referencia al mantenimiento periódico en el cual la probabilidad de falla se puede determinar utilizando recursos como la curva de la bañera la cual establece tres etapas típicas en el funcionamiento de un equipo: la número uno es la mortalidad infantil, esta etapa se destaca por presentar un número superior de fallas durante la marcha, la segunda es la etapa de vida útil donde las fallas ocurren de manera aleatoria, y la tercera etapa se caracteriza por presentar un aumento de probabilidad de falla progresivo debido al desgaste de los componentes.⁵

Figura 6. Curva de la bañera



Fuente: Sistemas de mantenimiento planeación y control

⁵ BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento, Gerencia de mantenimiento, UIS. 2014.

2.3 IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Una buena estrategia de mantenimiento parte de la planeación, que es la capacidad de determinar los recursos como materiales, herramientas, mano de obra, repuestos, necesarios para satisfacer la demanda de trabajos de mantenimiento; para lograr una buena planeación se puede acudir a métodos analíticos como los pronósticos que nos ayudan a comprender y predecir la carga de mantenimiento, estos pueden clasificarse en cualitativos que son los que se basan en la experiencia y en el juicio, y los cuantitativos que son modelos matemáticos que a partir de datos históricos establecen una tendencia.⁶

Paso siguiente es la programación del mantenimiento, donde se asignan los recursos a los trabajos que se tienen que realizar en determinados momentos, es prioritario tener la disponibilidad de los trabajadores, los repuestos, los materiales y herramientas para lograr una efectiva labor; esta programación debe diseñarse para que se pueda adaptar a cambios imprevistos originados por la prioridad del mantenimiento en los equipos críticos.

Hay que tener en cuenta el pronóstico de la carga de mantenimiento el cual se encarga de predecir, desafortunadamente esta carga varía de manera aleatoria y depende de factores como: la edad del equipo, nivel de uso, calidad del mantenimiento, competencias de los trabajadores, el clima, para poder lograr el mejor aprovechamiento de los recursos.

⁶ DUFFUAA, Raouf y Dixon. Sistemas de mantenimiento planeación y control. 2000.

2.4 INDICADORES DE MANTENIMIENTO

La humanidad a través de la historia se ha dado cuenta que la única manera de mejorar de forma objetiva es analizando todo aquello que se pueda medir, ya sea en campos como la medicina el deporte o el mantenimiento no basta únicamente con medir sino hay que saber cómo, cuándo y que se debe medir, algunas reglas para definir de manera eficaz los indicadores son:⁷

- Los resultados deben medir lo que la organización espera del área de mantenimiento.
- Los indicadores deben ser fáciles de medir.
- Crear la cultura de medición en los trabajadores.
- Utilizar los indicadores que sean indispensables.
- Analizar la eficacia de cada indicador.

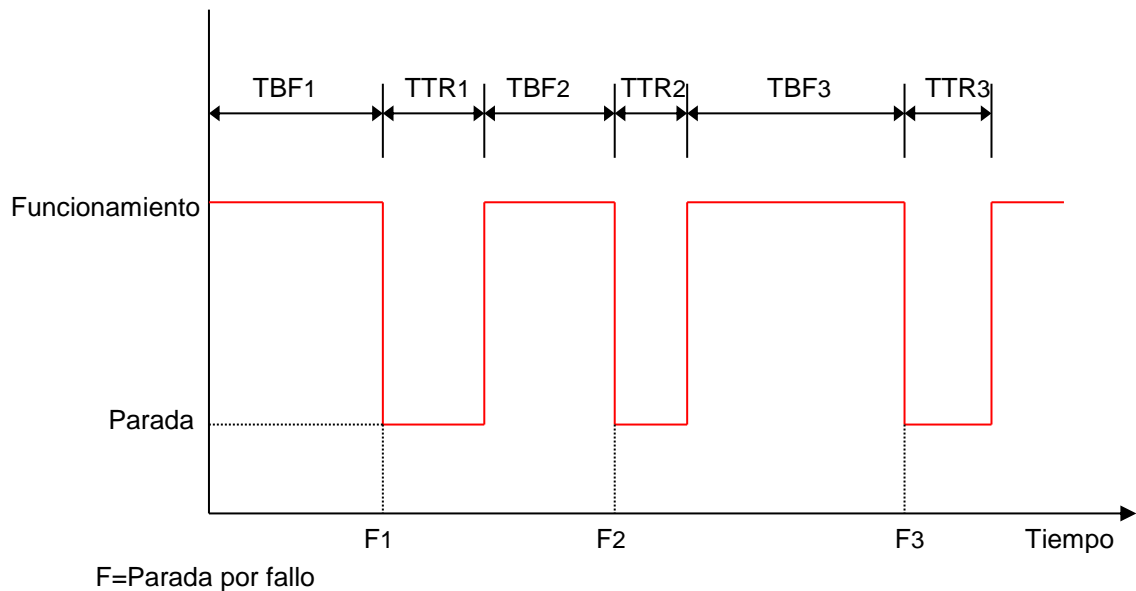
Para el área de mantenimiento se pueden analizar e implementar los siguientes indicadores:

- **MTBF.** Tiempo medio entre fallas, el objetivo primordial para este indicador es poder extenderlo en el tiempo lo máximo que sea posible.
- **MTTR.** Tiempo medio de reparación, lo que se busca con este indicador es reducir el tiempo que dura una reparación o tipo de mantenimiento.

⁷ GONZALES FERNÁNDEZ, Francisco Javier. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión 2004.

Además de los indicadores anteriormente vistos se puede destacar uno de los más importantes, no solo para el área de mantenimiento sino para toda el área productiva, la Disponibilidad.

Figura 7. Tiempo medio entre fallas



$$MTBF = \frac{\sum TBF}{n} = \frac{TBF1+TBF2+TBF3}{3}$$

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{n} = \frac{TTR1+TTR2+TTR3}{3}$$

Fuente: Auditoría de mantenimiento e indicadores de gestión

La disponibilidad “D”, se define como “la probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente en el momento que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo, tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico”.⁸

$$D = \frac{\sum UT}{\sum UT + \sum DT}$$

⁸MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento industrial efectivo. 2014.

UT: Tiempo del equipo funcionando

DT: Tiempo del equipo no funcionando

También se puede hacer referencia a otro indicador muy importante para mejorar el desempeño de los equipos y la mejora en la producción, la Confiabilidad “C”; esta se define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un periodo de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno.

La función del mantenimiento se puede resumir en el siguiente indicador: la mantenibilidad “M”, y se define como la probabilidad de que un elemento, maquina o dispositivo, pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva mediante una reparación que incluye tareas de mantenimiento para eliminar las causas que generan la interrupción.

Los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad se pueden relacionar de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$D = \frac{C}{C + M}$$

En cuanto al tema de la producción el indicador más importante es la eficiencia global de la planta “OEE”, este indicador también puede ser utilizado para analizar la eficiencia de los equipos o componentes principales de un equipo y así llevar un mejor registro y control integral del proceso, la ecuación que define este indicador es:

OEE= Disponibilidad * Rendimiento * Calidad

2.5 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Se puede definir como el conjunto de actividades de seguimiento y monitorización a un equipo que permite una intervención de reparación al detectar un síntoma o señal de una posible falla, para lograr este objetivo se utilizan herramientas tecnológicas con las cuales se obtienen las condiciones reales de operación de un equipo o una planta.⁹

El mantenimiento predictivo aprovecha el hecho que la mayoría de las fallas presentan en su etapa temprana indicios o pistas con las cuales se puede prever una falla futura, este análisis se puede realizar mediante inspecciones visuales, auditivas o con la utilización de herramientas más avanzadas que muestran que parámetros ya sea de temperatura, vibración, resistencia eléctrica, viscosidad puedan estar generando alguna falla potencial.

Una estrategia de mantenimiento basada en la condición o la utilización de modelos predictivos consta de las siguientes etapas:

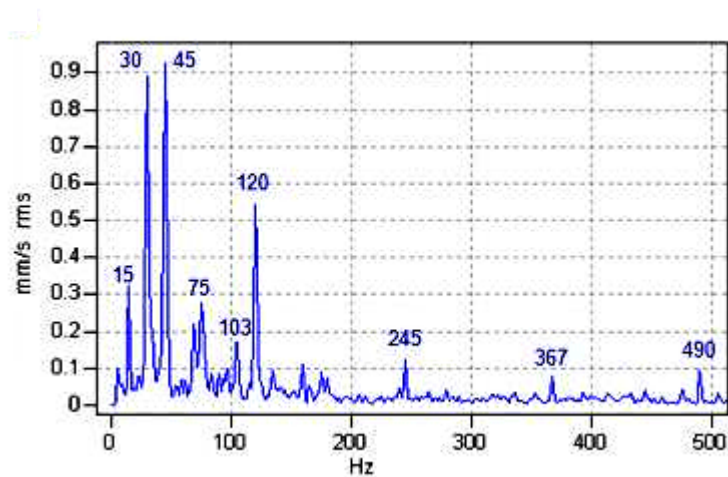
- Conocimiento del equipo a intervenir.
- Recolección de datos de la variable a analizar.
- Procesamiento e interpretación de los datos.
- Construcción del modelo predictivo.
- Recomendaciones para corregir la falla.

Algunos modelos matemáticos que se pueden utilizar para establecer pronósticos en el mantenimiento predictivo son: Regresión lineal, Modelo de Holt, la suavización exponencial, la distribución de Weibull.

⁹ JARAMILLO, Julián. Mantenimiento predictivo. UIS. 2013.

2.5.1 Análisis de vibraciones. La vibración es la oscilación de un sistema físico alrededor de una posición de equilibrio o de referencia; la vibración mecánica es la oscilación de un sistema mecánico alrededor de su posición de equilibrio; las vibraciones son un indicio de que algo funciona mal en una máquina y por tanto existe la posibilidad de una falla.¹⁰

Figura 8. Espectro de vibraciones



Fuente: <http://scielo.sld.cu/img/revistas/im/v13n1/f0102110.gif>

Las magnitudes mediante las cuales se caracteriza y se define una vibración son: la amplitud la frecuencia y la fase, y los parámetros cinemáticos en los cuales se expresa son: desplazamiento, velocidad y aceleración; el desplazamiento es la medida dominante en las bajas frecuencias y se utiliza para determinar el movimiento relativo entre ejes, la velocidad está relacionada con la fatiga del material, y la aceleración dominante en las altas frecuencias se relaciona con las fuerzas presentes en los componentes de la máquina.

¹⁰ GARCÍA CASTRO, Alfonso. Mantenimiento predictivo: Análisis de vibraciones y termografía. UIS. 2013.

Los dominios para la descripción y el análisis de las vibraciones son el tiempo y la frecuencia, a la representación en el dominio del tiempo se le llama oscilograma u onda de tiempo y a la representación en el dominio de la frecuencia se le denomina espectro.

En el análisis de vibraciones periódicas un patrón se repite cada cierto intervalo de tiempo y se le denomina frecuencia de oscilación, estas pueden ser representadas con funciones trigonométricas; en las vibraciones no periódicas se utiliza la transformada de Fourier con el objeto de determinar las amplitudes de las funciones trigonométricas y las frecuencias armónicas que componen la señal periódica.

Para realizar correctamente el análisis de vibraciones se deben tener en cuenta las siguientes etapas:

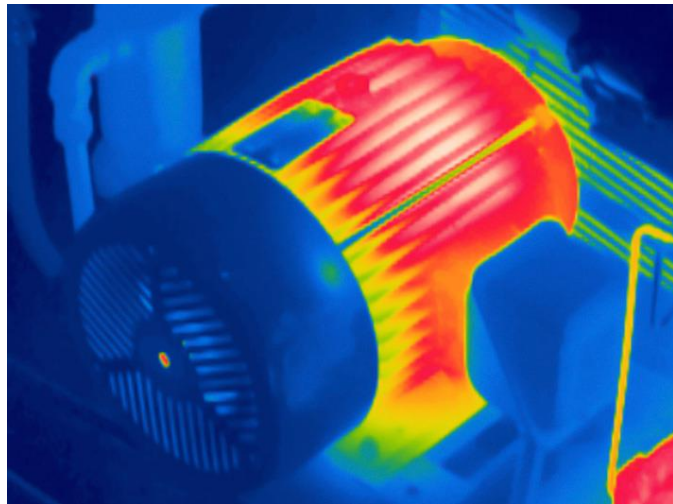
- Capacitación.
- Acondicionamiento de la señal.
- Visualización.
- Medición, indicación y registro.
- Análisis.

2.5.2 Análisis de termografía. La Termografía infrarroja es una técnica que estudia el registro gráfico del calor emitido por la superficie de un cuerpo, se ocupa de la adquisición y el análisis de ondas infrarrojas que emiten los cuerpos.

La termografía es aplicada para analizar sistemas, equipos o componentes en los cuales la temperatura es una evidencia o la posible causa de una falla, para un circuito eléctrico el aumento de la temperatura podría indicar una mala conexión y en un rodamiento de un equipo mecánico podría significar el aumento de fricción por falta de lubricación.

Se pueden destacar dos técnicas principales de termografía: la cualitativa, que es la que se realiza con instrumentos que solo muestran la imagen térmica, ejemplo: la pistola térmica, y la cuantitativa, que es la que muestra la imagen térmica y la medición de la temperatura, ejemplo: la cámara de termovisión.

Figura 9. Termografía motor eléctrico



Fuente: http://www.tbn.es/templates/images/pictures/30_7_o.jpg

2.5.3 Análisis de lubricantes. Al hablar de lubricación necesariamente hay que hacer referencia a la fricción; la fricción es la oposición que presentan dos zonas materiales en contacto durante el inicio, desarrollo y fin del movimiento entre ellas, esto trae como consecuencia el consumo de energía, generación de calor y desgaste que si no se controlan de la manera adecuada traen como consecuencia una falla catastrófica.

Esta falla catastrófica en las maquinas se presenta como resultado del contacto metal-metal entre dos superficies que no han sido lubricadas correctamente ya sea porque este aceite pueda no tener la viscosidad adecuada, esté contaminado o haya una baja en el nivel.¹¹

Un lubricante es una sustancia que se interpone entre dos superficies que se encuentran en movimiento una con respecto a la otra evitando que haya rozamiento entre ellas, el espesor de la película lubricante aumenta con la viscosidad, los tipos de lubricación presentes en los mecanismos son: solida, fluida elastohidrodinámica e hidrostática.

Una analogía comúnmente vista es la comparación entre la curva de la bañera de Davis y la curva de tribología que es también conocida como la curva de desgaste de los componentes de una maquina a través del tiempo, esta curva tiene relación directa con la metalurgia de las partes en contacto y su contenido se especifica en ppm que pueden estar presentes en el aceite que se usa para realizar la tarea de lubricación; las tres etapas que la identifican son: asentamiento del componente, vida a la fatiga y vida remanente.

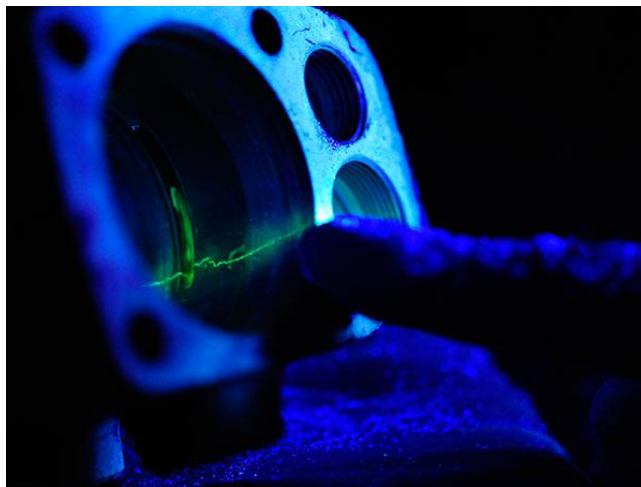
Para lograr una alta confiabilidad y evitar las fallas catastróficas originadas por el desgaste se utiliza la técnica de análisis de la condición del lubricante, contaminación y nivel de desgaste de los componentes lubricados, así como también la implementación de rutas de confiabilidad para el monitoreo de variables operativas, además de la identificación del tipo de máquina, si es crítica, esencial, o de propósito general.

¹¹ ALBARRACÍN AGUILÓN, Pedro Ramón. Lubricación centrada en confiabilidad. UIS. 2013.

2.5.4 Tintas penetrantes. La técnica de análisis por condición con tintas penetrantes pertenece a la categoría de monitoreo de efectos físicos, en esta técnica el líquido penetrante se aplica a las superficies de prueba y se espera que penetre en las deformidades, luego se limpian los excesos en la superficie y se aplica un revelador que obliga a que el líquido penetrante salga nuevamente hacia la deformidad en la superficie donde se realiza el análisis y la interpretación correspondiente.¹²

Este tipo de monitoreo nos muestra condiciones como: discontinuidades en la superficie o grietas consecuencia de la fatiga, el desgaste, tratamiento térmico, o la corrosión; se puede aplicar a estructuras de acero, materiales ferrosos y no ferrosos, estructuras plásticas tanques, etcétera.

Figura 10. Análisis con tintas penetrantes



Fuente: <http://www.herrickontrol.com/imagenes/liquidos-penetrantes.jpg>

¹² MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. 2004.

Los líquidos penetrantes se pueden clasificar en: tinta visible, tinta fluorescente, lavable con agua, y lavable con disolvente, para poderlos aplicar es necesario que la persona que haga el análisis esté debidamente capacitado y entrenado.

Las ventajas que poseen las tintas penetrantes son su bajo costo para las tintas visibles y la alta sensibilidad de las tintas fluorescentes, las desventajas que presentan son en el caso de las tintas fluorescentes la necesidad de un área oscura para su análisis, no es una condición de monitoreo en línea, solo se monitorean roturas superficiales y se necesita de personal altamente calificado.

2.6 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Son todas aquellas tareas planeadas previamente que se realizan con el propósito de reparar todas las fallas potenciales que presenta un equipo, esto con el fin de que los activos continúen desarrollando la labor para la que fueron diseñados y fabricados; los beneficios que trae la implementación del este tipo de mantenimiento son:¹³

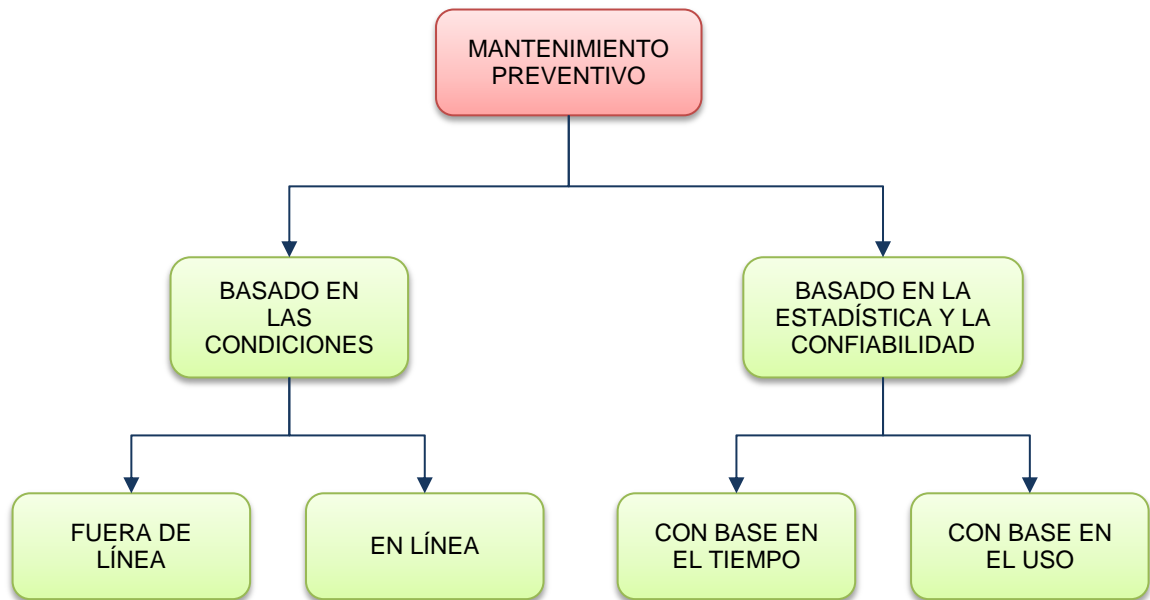
- Prevenir una falla prematura y prevenir que vuelva a suceder.
- Reducir la severidad de la falla y disminuir sus consecuencias.
- Proporcionar información de una falla inminente o anticipada.
- Reducir el costo de la administración de los activos.

El principal objetivo del mantenimiento preventivo es lograr una alta Disponibilidad y Confiabilidad basada en altos estándares de productividad y Mantenibilidad de los equipos, esta estrategia de mantenimiento se puede subdividir en dos categorías: primera, basado en las condiciones, y segunda, basada en la estadística y la confiabilidad.

¹³DUFFUAA, Raouf y Dixon. Sistemas de mantenimiento planeación y control. 2000.

Para realizar una planificación correcta del mantenimiento preventivo hay que tener en cuenta y realizar un minucioso estudio de factores como el costo, tiempo de servicio, seguridad de mantenimiento y conocer cómo se deben medir y cuál es su variabilidad, de esta manera se logra la mejora en los plazos de entrega, se simplifica la planificación del mantenimiento, se aprovechan mejor los recursos improductivos y se mejora la gestión de calidad.¹⁴

Figura 11. Mantenimiento preventivo



Fuente: Sistemas de mantenimiento planeación y control.

¹⁴ REY SACRISTÁN, Francisco. Hacia la excelencia en mantenimiento. 1996.

Para identificar cual tarea de mantenimiento preventivo tiene una mejor implementación, se debe tener en cuenta para el caso del mantenimiento basado en tiempo, que la falla dominante se base en la edad o el uso, y para el caso del mantenimiento basado en condición, que no exista relación con la edad o el uso, que exista una degradación gradual de la falla dominante y que el tiempo desde la aparición de la falla hasta que esta ocurre permita que se programe la respectiva reparación.

2.6.1 Criticidad de equipos. El análisis de criticidad se realiza con herramientas que permiten jerarquizar o priorizar los activos económicos, tecnológicos y humanos, este proceso ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los fallos potenciales que afectan los procesos; dentro de los tipos de técnicas de análisis de criticidad se destacan: técnicas cualitativas, técnicas semicuantitativas, y cuantitativas.

Figura 12. Matriz de criticidad



Las técnicas cualitativas son aquellas que obedecen al razonamiento mediante la experiencia o el sentido común, aquí la probabilidad (frecuencia de fallos) y la consecuencia no se establecen con rangos numéricos, estas variables nacen a partir de términos o conceptos.¹⁵

Las técnicas cuantitativas se utilizan para lograr una alta objetividad en el proceso de análisis de criticidad, son más complejas que las demás técnicas y requieren más tiempo para su correcta aplicación.

- **Método de criticidad semicuantitativo, CRT, criticidad total por riesgo.**
Esta técnica de fácil manejo y comprensión permite obtener valores numéricos proporcionales a la probabilidad y a la consecuencia, pero no valores absolutos que son más adecuados para determinar la tolerabilidad al riesgo.

En este método la probabilidad de riesgo se entiende como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad del mismo, a continuación se detallan las ecuaciones que describen este método de análisis de criticidad:

$$\text{CRT} = \text{FF} \times \text{C}$$

Donde:

CRT: Criticidad total por riesgo.

FF: Frecuencia de fallos (fallos/año), (Probabilidad).

C: Consecuencia de los eventos de fallos.

$$\text{C} = (\text{IO} \times \text{FO}) + \text{CM} + \text{SHA}$$

¹⁵ Tomado de: www.mantenimientomundial.com

Donde:

IO: Factor de impacto en la producción.

FO: Factor de flexibilidad operacional.

CM: Factor de costos de mantenimiento.

SHA: Factor de impactos en seguridad, higiene y ambiente.

Los parámetros y factores que intervienen en este método de análisis de criticidad, se seleccionan en reuniones de trabajo donde participan las personas involucradas en el contexto operacional del equipo en estudio, ellas son: personal de operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y medio ambiente.

2.7 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

En este tipo de mantenimiento se busca que un equipo funcione hasta el punto en que ya no puede desempeñar su función con normalidad, se repara hasta corregir la falla y no se vuelve a tener ningún control hasta que presenta nuevamente pérdida de su función.¹⁶

Es muy común y conocido por el personal de mantenimiento, normalmente requiere un alto conocimiento del equipo para generar un diagnóstico rápido y acertado de las causas de la falla; en algunas ocasiones se puede justificar su uso:

- Cuando el equipo no hace parte de ningún punto crítico del proceso.
- El equipo se encuentra en una edad avanzada.
- Tiene un equipo de respaldo.
- El costo del cambio del equipo no es alto.

¹⁶ BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento, Gerencia de mantenimiento, UIS. 2014.

Cuando se aplica esta metodología de mantenimiento es necesario revisar periódica y efectivamente que la parada del quipo no ocasiona ninguna afectación grave al proceso; en una visión más global se podría decir que todo mantenimiento termina en correctivo, por tanto podríamos asumir que existen dos clasificaciones: planeado y no planeado, el mantenimiento correctivo no planeado se considera el más costoso porque:

- Requiere más personal de mantenimiento.
- Paros consecutivos que afectan la producción.
- El lucro cesante es mayor.
- Crea conflicto y malestar entre los trabajadores.
- El equipo puede sufrir una falla catastrófica.

2.8 NORMA ISO 14224

La ISO 14224 es una norma internacional para la recopilación de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para las industrias de perforación, producción, refinación de petróleo y gas natural, su objetivo final es hacer parte de la base de datos OREDA.¹⁷

Esta norma tiene políticas claramente definidas para que la recolección de los datos se ajuste a las normas de calidad que permitan cuantificar la confiabilidad y compararla con información de características similares, sus objetivos más importantes son:

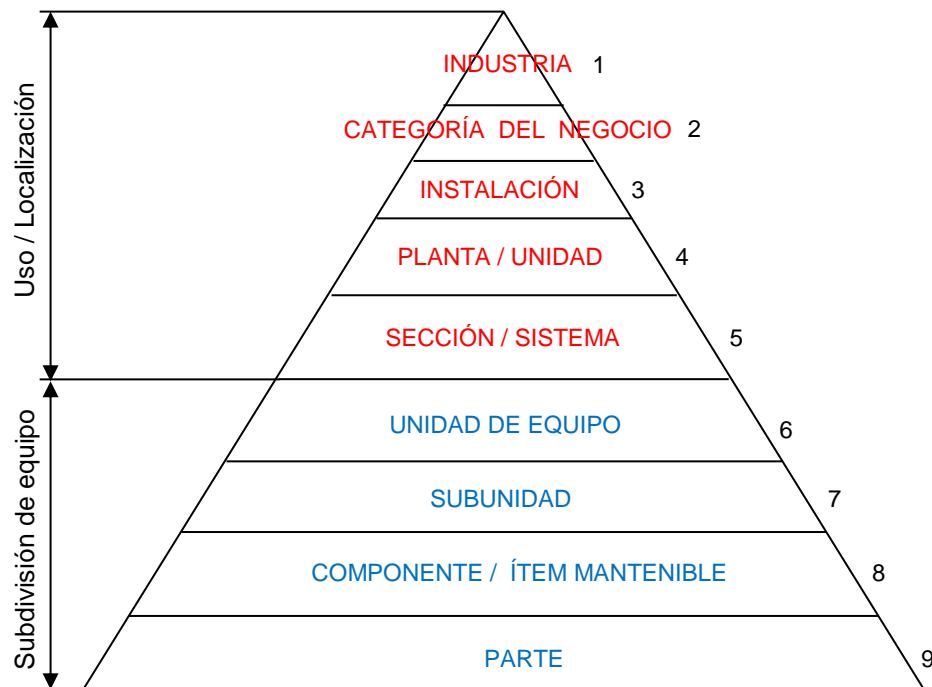
- Especificar y recolectar datos de diseño, seguridad, confiabilidad y disponibilidad de plantas, costo del ciclo de vida, planeamiento y ejecución del mantenimiento.

¹⁷ Tomado de: www.mantenimientomundial.com

- Recopilar datos en un formato estandarizado para permitir el intercambio de datos entre plantas, y garantizar que los datos sean de calidad para su correcta interpretación.

Generalmente esta norma se aplica al registro de fallas, pero también se puede aplicar para definir los límites y jerarquías de los equipos de operación y sus modos de falla, la estructura de jerarquías se realiza tomando el equipo y dividiéndolo de mayor a menor grado de detalle: sistema, unidad, subunidad, ítem mantenible, parte.

Figura 13. Árbol de clasificación ISO 14224



Fuente: ISO 14224

- **Nivel 5, Sección / sistema.** Hace referencia al principal sistema o sección de la planta, ejemplo: compresión, licuefacción, gas natural, sección de oxidación, sección de destilación, sección de reacción.¹⁸
- **Nivel 6, Unidad de equipo.** Son unidades de equipo similares, equipos que se pueden comparar entre sí, ejemplo: compresor, bomba, caldera, turbina de gas, turbina de vapor.
- **Nivel 7, Subunidad.** Es un subsistema necesario para que la unidad de equipo funcione, ejemplo: sistema de lubricación, sistema de enfriamiento, sistema de control y monitoreo, subunidad de refrigeración.
- **Nivel 8, Componente / ítem mantenible.** Son el grupo de partes de la unidad de equipo que son comúnmente reparadas, ejemplo: enfriador, bomba de lubricación, reductor, filtro, válvula, motor, sensor de temperatura.
- **Nivel 9, Parte.** Es una sola pieza del equipo, ejemplo: tubo, casco, impulsor, tornillo, sello.

Tabla 1. Tipo de clasificación – Generadores Eléctricos. ISO 14224

Clase de equipo - nivel 6		Tipo de equipo	
Descripción	Código	Descripción	Código
Generador Eléctrico	EG	Impulsado por turbina de gas	TD
		Impulsado por turbina de vapor	SD
		Turboexpander	TE
		Motor impulsor, Ej. motor diésel, motor a gas	MD

Fuente: ISO 14224

¹⁸ Organización Internacional de Normalización. ISO 14224. 2006.

Tabla 2. Subdivisión de equipo – Generadores eléctricos. ISO 14224

Unidad de equipo	Generadores eléctricos					
Subunidad	Transmisión de potencia	Generador eléctrico	Control y monitoreo ¹	Sistema de lubricación	Sistema de enfriamiento	Misceláneos
Ítem mantenible	Reductor	Estator	Dispositivo de accionamiento	Consola	Intercambiador de calor	Carcasa
	Rodamiento axial	Rotor	Unidad de control AVR	Bomba	Ventilador	Aire de purga
	Rodamiento de empuje	Rodamiento radial	Fuente interna de potencia	Motor	Motor	
	Sellos	Rodamiento de empuje	Monitoreo	Filtro	Filtro	
	Lubricación	Excitación	Sensores ²	Enfriador	Válvulas	
	Acople a impulsor	Cableado y caja de conexiones	Válvulas	Válvulas	Tubería	
	Acople a unidad impulsada		Tubería	Tubería	Bomba	
			Sellos	Aceite		
<p>1 El regulador automático de voltaje AVR, es un elemento dentro del control. Los indicadores de temperatura y vibración son elementos dentro del monitoreo.</p> <p>2 Especificar tipo de sensor. Ej. Presión, temperatura, nivel.</p>						

Fuente: ISO 14224

3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Hoy en día para mantener y mejorar los niveles de productividad, calidad, efectividad y competitividad, las empresas deben implementar nuevos sistemas que permitan garantizar que los productos y servicios que ofrecen mantengan características con altos estándares.¹⁹

Gracias al manejo de grandes volúmenes de información, es necesario para las empresas que esta se lleve de manera organizada para tener mejoras en el desempeño del área de mantenimiento, para lo cual es recomendable tener un sistema informático o software que asegura el buen manejo de todos los datos e información.

Algunos beneficios que puede traer la implementación de un sistema computacional de información son:

- Generar informes oportunos sobre los trabajos de mantenimiento.
- Generar historiales con los cuales se mide el desempeño y se toman acciones de mejora.
- Disminuir costos al agilizar el acceso a la información.
- Mejorar y garantizar la continuidad de los programas de mantenimiento preventivo.
- Garantizar la continuidad de los procesos productivos.

¹⁹ FUENTES DÍAS, David. Sistemas de información en mantenimiento, UIS. 2014.

3.1 DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN

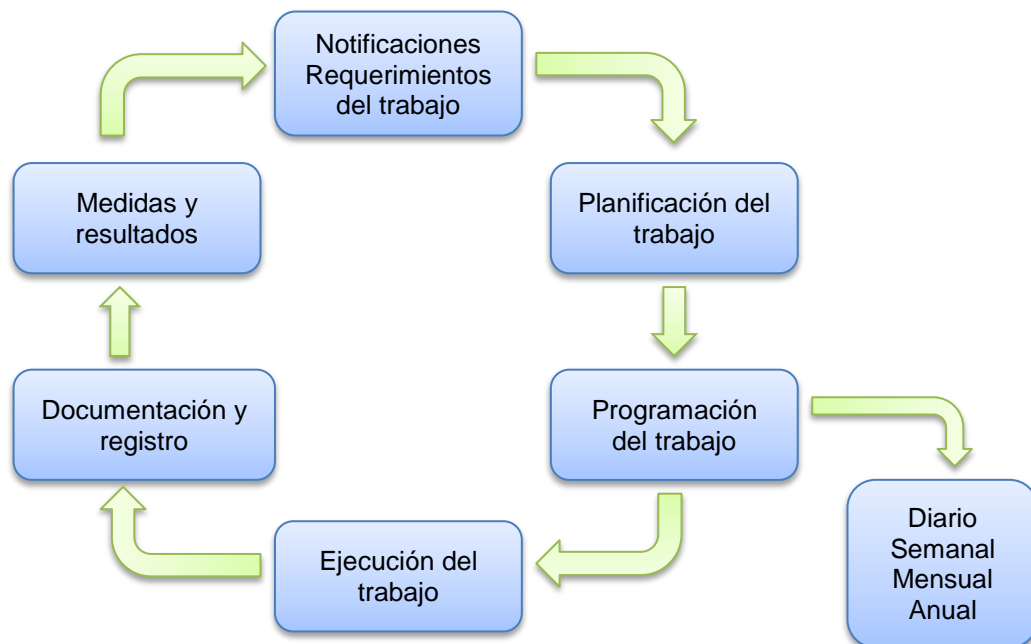
Un sistema se puede definir como el conjunto de elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr una meta, poseen una entrada en forma de datos o energía, y una salida en forma de datos o energía.

Los sistemas de información se definen como el conjunto de elementos que interactúan entre sí para dar soporte a las actividades de una empresa, pueden ser de tipo escrito o de tipo informático, las tareas básicas que intervienen en un sistema de información son: entrada, almacenamiento, procesamiento y salida de la información.

- En la entrada de la información, el sistema toma los datos que necesita para realizar el procesamiento, las entradas pueden ser manuales y automáticas, las manuales son las que ingresa el usuario y las automáticas son aquellas que vienen de otros módulos.
- En el almacenamiento, la información se guarda para ser leída cuando el sistema la requiera, se puede almacenar en discos duros, discos compactos.
- En el procesamiento de la información, el sistema efectúa los cálculos de acuerdo a unas operaciones preestablecidas con datos almacenados, o con datos que ingresan en tiempo real.
- En la salida de la información, el sistema muestra los datos procesados, las salidas pueden ser: impresoras, la voz, terminales, plotters; es bueno tener en cuenta que la salida de un sistema puede ser la entrada de otro sistema o modulo.

Los sistemas de información para mantenimiento o CMMS, son bases de datos computarizadas diseñadas para mejorar la gestión del mantenimiento, mediante el uso de documentos estandarizados para dar prioridad a las necesidades de los equipos y realizar seguimiento a las metas cumplidas, es una herramienta que involucra la planeación, el presupuesto, actualización de activos, reparación y reemplazo de equipos.

Figura 14. Ciclo del mantenimiento



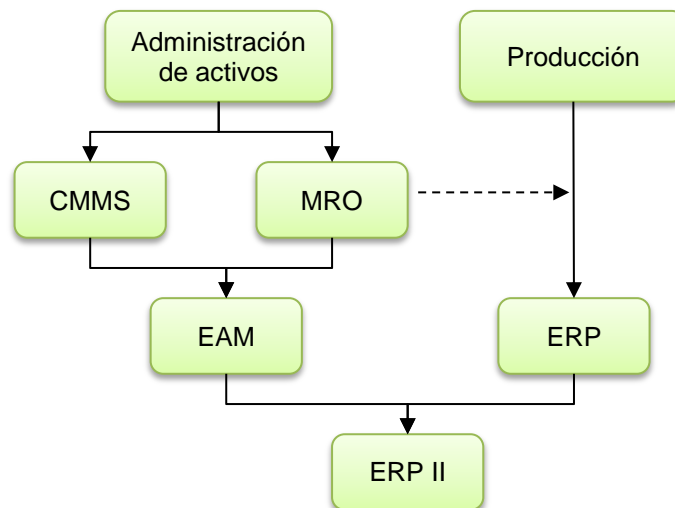
Fuente: Sistemas de información en mantenimiento

Un CMMS debe estar estructurado con contenidos que le permitan al planeador de mantenimiento efectuar seguimiento a los trabajos de manera organizada, también debe ser capaz de interactuar con el usuario para mantener el costo del mantenimiento lo más bajo posible, buscar que los equipos críticos estén siempre disponibles, mejorar la manera de realizar los trabajos de mantenimiento, dar pautas para que los operadores realicen mantenimiento autónomo.

3.2 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Los primeros sistemas de información que se desarrollaron fueron de forma manual, en la medida que la cantidad de datos iba aumentando, se vio la necesidad de desarrollar los sistemas de información computarizados que satisficieran las nuevas necesidades; estos sistemas para mantenimiento llegaron a partir de dos grupos: la gestión de activos (mantenimiento), y la necesidad de producir (planes de producción).²⁰

Figura 15. Evolución de los sistemas de mantenimiento



Fuente: Sistemas de información en mantenimiento

El primer grupo, requerimiento de gestión de activos, se empezó a observar en empresas que dependen fuertemente del rendimiento de sus activos físicos, como ejemplo podríamos citar: minería, defensa, petróleo, electricidad etc. estas empresas vieron que de un cambio pequeño en disponibilidad y confiabilidad surgieron grandes cambios en el área productiva.

²⁰ FUENTES DÍAS, David. Sistemas de información en mantenimiento, UIS. 2014.

- **Los CMMS.** (*Computerised Maintenance Management Systems*), eran el principal sistema para la gestión de activos, en principio eran básicos y diseñados para reemplazar los sistemas manuales, en ese momento solo se gestionaba el mantenimiento de manera electrónica, y con el paso del tiempo se fueron añadiendo funciones como la gestión de materiales, en nuestros tiempos aún hay empresas que utilizan este tipo de sistema básico para la gestión de mantenimiento.
- **El MRO.** (*Maintenance Repair and Overhaul*), estos sistemas poseían características de los CMMS, pero incluyeron funciones como: planeación avanzada, programación avanzada, gestión avanzada de inventarios y funciones como paradas de equipos.
- **EAM.** (*Enterprise Asset Management*), descienden de los sistemas CMMS y MRO, poseen las características de sus antecesores y además de estar orientados al área de mantenimiento, están orientados con un enfoque corporativo y empresarial.

El segundo grupo, requerimientos de producción, se desarrollaron a partir de las necesidades de las empresas hacia una planeación de producción, y control de recursos que pudieran incrementar la rentabilidad de sus procesos.

- **Los ERP.** (*Enterprise Resource Management*), son una metodología que empezó en los años setentas, a partir del método MRP (*Materials Resource Planning*), el cual estaba basado en la planeación de recursos materiales y humanos que dependían de las necesidades de la producción; algunos ERP incluyen módulos de mantenimiento, y aunque los sistemas de mantenimiento son de vital importancia, no son parte de la metodología ERP, lo cual origina desventajas competitivas.

- **Los sistemas ERP II.** Son una metodología nueva que aún no se ha desarrollado en su totalidad, están basados en funcionalidades de conexión con individuos virtuales y de interconectividad con otras aplicaciones, están orientados a interactuar con los mercados en internet.

3.3 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN

En la actualidad la mayoría de las empresas utilizan sistemas de información que se adaptan a las necesidades del mercado, la producción, los recursos, etc. y que se caracterizan por que suelen coincidir con las divisiones de las áreas funcionales de la empresa, gracias a estas divisiones los sistemas de información se pueden dividir en módulos dentro de los cuales se pueden destacar los siguientes:

- Módulo de recursos humanos.
- Módulo de ventas.
- Módulo de compras.
- Módulo de mercadeo y marketing.
- Módulo de contabilidad y finanzas.
- Módulo de producción.
- Módulo de inventarios.
- Módulo de mantenimiento.

El objetivo del módulo de mantenimiento es vincular directamente el área de mantenimiento en el flujo de información de la empresa, y así disponer de forma inmediata de la información que se genera; este módulo debe dar soporte a actividades de programación de mantenimientos preventivos, historial de trabajos realizados, codificación de equipos, emisión de órdenes de trabajo, programas de lubricación, etc.

El módulo de mantenimiento dentro de la estructura jerárquica de la organización se divide en nivel operativo, nivel táctico y nivel estratégico.

Figura 16. Actividades soportadas por el módulo de mantenimiento



Fuente: Sistemas de información en mantenimiento

Para realizar la correcta selección de un CMMS, que atienda las necesidades de la empresa sea organizado y preciso, con el objeto que provea una planeación correcta del mantenimiento e historiales, se pueden tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Formar un equipo para la selección del CMMS.
- Identificar la funcionalidad y especificaciones en un documento.
- Revisar propuestas de los proveedores.
- Solicitar una demostración de los CMMS ofrecidos.
- Escoger el CMMS.

La selección del CMMS debe estar basada en funcionalidades y en necesidades específicas, donde no solamente participe el área de sistemas y compras sino todas las áreas involucradas de la empresa, además se debe establecer un cronograma de implementación para minimizar las fallas por deficiencias en la planeación y falta de entendimiento del software, esta selección debe dar como resultado la utilización de un software que haya estado en el mercado por cierto tiempo.²¹

Existen algunas características que se deben tener en cuenta al determinar la funcionalidad de un CMMS:

- Lo que debe tener, son requerimientos esenciales del sistema, al carecer de ellos la selección del sistema se hace inviable.
- Lo que debería tener, requerimientos que deberían ser parte del sistema pero no todos los proveedores entregan.
- Lo que sería bueno que tuviera, funcionalidades que gerentes y administradores pudieran necesitar o aprovechar.

Para que la implementación de un CMMS cumpla con los objetivos establecidos, existen características de gran importancia como: la Administración, la Parametrización y el Entrenamiento.

- **Administración.** Este sistema documenta el ciclo de vida de la orden de trabajo, define e involucra el personal de forma más efectiva, y comparte recursos con otros sistemas.

²¹ FUENTES DÍAS, David. Sistemas de información en mantenimiento, UIS. 2014.

- **Parametrización.** Después de ser instalado el CMMS, y evaluada la necesidad de software, hardware, y entrenamiento de los empleados, se recopila e ingresa la información, se identifica cual es útil y cual se puede descartar.
- **Entrenamiento.** Debe estar estructurado de acuerdo a las necesidades y roles, solamente se debe entrenar al personal en el área que le compete, la capacitación debe ir a la par de la implementación y evitar que sea en reuniones demasiado largas.

3.3.1 Sistema SCADA. El sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), es cualquier software que bajo la adquisición de datos remotos permite su control, mediante la utilización de herramientas de comunicación, no es un sistema de control, sino un sistema de monitoreo y supervisión de las interfaces de control, generalmente de controles realizados por PLC's.²²

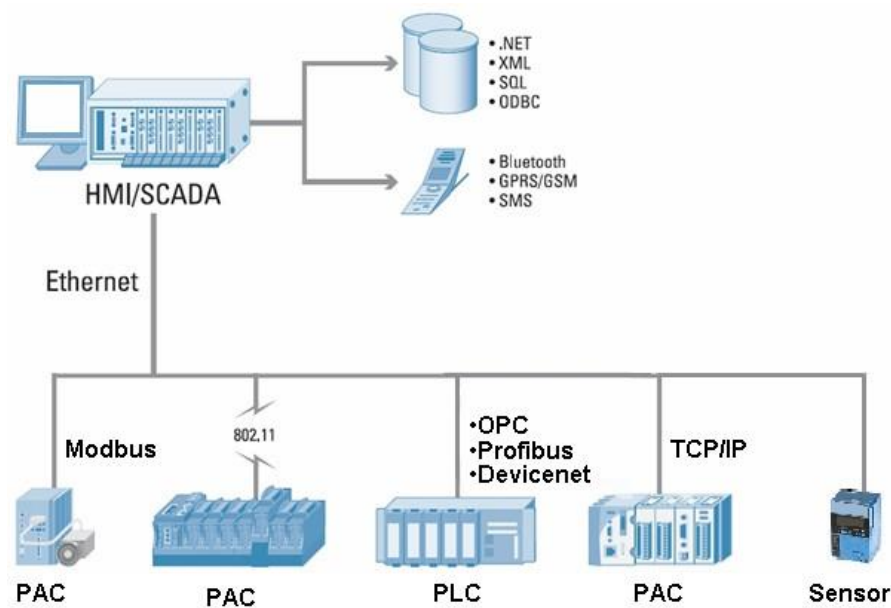
Los principales objetivos del sistema SCADA son:

- **Economía.** Gracias a la facilidad de observar desde una oficina los datos generados por los procesos.
- **Accesibilidad.** Se puede verificar y analizar que equipos de un proceso pueden presentar fallas y realizar en el momento acciones de mejora.
- **Mantenimiento.** Da herramientas de tendencias y trazabilidad de los equipos y procesos, e informa la proximidad de un mantenimiento preventivo.
- **Ergonomía.** No hay necesidad de permanecer en campo todo el tiempo.

²² PENIN RODRÍGUEZ, Aquilino. Sistemas SCADA guía práctica, 2007.

- **Flexibilidad.** Las modificaciones del sistema de visualización no implican cambios en los equipos en campo.
- **Conectividad.** Existen estándares de comunicación compatibles entre las marcas que ofrecen los proveedores.

Figura 17. Sistema SCADA



Fuente: <http://www.ni.com/cms/images/devzone/tut/wer1.jpg>

La forma de comunicación que el sistema SCADA establece entre las personas y los equipos, se basa en funciones y utilidades que hacen de la relación del proceso y los operarios una integración clara y permanente; algunas prestaciones que se pueden identificar son:

- **Monitorización.** Visualización de variables en tiempo real.

- **Supervisión.** Provee herramientas para la gestión de decisiones, posibilita ejecutar y modificar tareas asociadas a los PLC's.
- **Adquisición de datos.** Estos datos se almacenan para realizar análisis de variables y tendencias.
- **Visualización de alarmas y eventos.** Se identifican eventos que estén fuera de control y se toman las acciones necesarias.
- **Mando.** Desde el software se permite realizar paros o arranques según requerimientos del proceso.
- **Seguridad de datos.** Los datos que se reciben y se envían están protegidos de fallos en la programación o intrusos.
- **Seguridad en los accesos.** Se pueden restringir zonas de programación o visualización a usuarios no autorizados.

4. ESTADO DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA TURGAS

4.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN

El SIIT o Sistema Integral de Información TURGAS es un software de tipo ERP (*Enterprise Resource Management*), esta herramienta fue diseñada e implementada por el área de informática con el objetivo de satisfacer necesidades específicas de la empresa y sirve como apoyo de las diferentes áreas que conforman la organización.

Figura 18. Sistema Integral de Información TURGAS



Fuente: http://190.145.36.219/turgas/index-logged_in.php

El software está conformado por dieciséis módulos, cuatro de ellos están en diseño y desarrollo:

- Módulo 1 de gestión de proyectos: Este módulo está en desarrollo y tiene una implementación del 40% de su aplicación; está diseñado para realizar la formulación de los diferentes proyectos de inversión de la empresa.
- Módulo 2 de movimientos de almacén.
- Módulo 3 de requisiciones y compras: empleado para realizar la solicitud de repuestos, materiales y equipos de la compañía; la solicitud se realiza y posteriormente debe ser aprobada por los jefes producción, mantenimiento o administración.
- Módulo 4 en desarrollo.
- Módulo 5 en desarrollo.
- Módulo 6 de activos: Está vinculado con el módulo de inventarios y contabilidad; el objetivo principal es ingresar o desvincular los activos de la compañía con un control adecuado.
- Módulo 7 de recursos humanos: Está diseñado para almacenar y controlar la información correspondiente a talento humano, como son las hojas de vida, fichas de personal y contratos laborales.
- Módulo 8 de nómina: Este módulo es la herramienta sistemática que facilita la gestión y el control de la nómina de los empleados de la compañía.
- Módulo 9 o documental.
- Módulo 10 o de sistema SCADA.

- Módulo 11 de mantenimiento: Este módulo está en desarrollo y el objetivo de esta unidad es suministra una herramienta informática que facilite la planeación, la ejecución y el control del mantenimiento de la empresa. La planeación del mantenimiento actualmente se está elaborando en hojas de Excel y las ordenes de trabajo se generan en forma manual, al igual que su archivo; esta práctica dificulta la gestión gerencial del área de mantenimiento y genera dificultad para realizar análisis estadísticos, que faciliten la toma de decisiones y análisis técnicos, de las fallas que se presentan en los equipos rotativos de la planta de proceso.

Figura 19. Módulo de Mantenimiento



Fuente: Sistema Integrado de Información TURGAS S.A. E.S.P.

- Módulo 12 de correspondencia.
- Módulo 13 de Comercial.
- Módulo 14 de producción.
- Módulo 15 de noticias.
- Módulo 16 de correo empresarial.

4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo consiste en realizar una serie de tareas planeadas previamente, que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de las fallas potenciales²³; este tipo de mantenimiento se ejecuta con el objetivo de asegurar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos rotativos críticos que intervienen en el proceso de deshidratación de gas natural:

- Previene las fallas prematuras y disminuye la frecuencia.
- Disminuye la severidad de las fallas.
- Genera una alerta y permite una reparaciones planeadas
- Reduce el costo de la gestión de mantenimiento de la empresa.

4.3 COSTOS DEL MANTENIMIENTO

El costo de mantenimiento de los equipos rotativos críticos es variable y este tiene un monto aproximado del 15 % de los costos totales de la empresa. El costo total corresponde a la suma de los costos fijos, costos variables, costos financieros y los costos generados por las fallas.

4.4 INDICADORES DE MANTENIMIENTO

Para medir el desempeño del área de mantenimiento de la empresa TURGAS S.A. E.S.P. se tienen indicadores de gestión; estas expresiones son de tipo cuantitativo y resultan de medir la gestión y analizar el cumplimiento de las metas respecto al objetivo propuesto por el área y sobre los resultados se toman acciones preventivas o correctivas según se requiera.

²³ DUFFUAA, Raouf y Dixon. Sistemas de mantenimiento planeación y control. 2000. Pág. 75.

- Ordenes de trabajo planeado y programado del mantenimiento preventivo mensual.

$$\% = \frac{\textit{Ordenes de Trabajo Ejecutadas}}{\textit{Ordenes de Trabajo Programadas}} * 100$$

- Ordenes de mantenimiento correctivo ejecutado comparado con el preventivo programado mensual.

$$\% = \frac{\textit{Ordenes de Trabajo Ejecutadas Correctivas}}{\textit{Ordenes de Trabajo Total Ejecutadas}} * 100$$

4.5 DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN

En la empresa TURGAS S.A. E.S.P. todos los equipos críticos rotativos que integran el sistema de deshidratación de gas natural de la compañía, carecen de un código y una matriz de jerarquía para el nivel de criticidad, basado en un estándar del sector petróleo y gas. Además el sistema de información existente del área de mantenimiento es manual, conformado por formatos y registros físicos del proceso, dificultando el análisis de tendencias y la implementación de modelos gerenciales de mantenimiento basados en condición de los equipos o en estadísticas y confiabilidad.

Esta monografía tiene como objetivo principal mejorar el modelo gerencial existente para el área de mantenimiento, el cual facilitará la identificación de todos los equipos rotativos críticos, determinar el nivel de criticidad y diseñar un sistema de información que facilite el análisis de datos y tendencias, permitiendo de forma eficiente la gestión, el control y la toma de decisiones en el área de mantenimiento de la organización.

5. MODELO GERENCIAL PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS ROTATIVOS DE LA EMPRESA TURGAS S.A.

5.1 MATRIZ DE CODIFICACIÓN DE EQUIPOS

En las industrias del petróleo, gas natural y petroquímico, se está prestando gran atención a la seguridad, confiabilidad y mantenimiento de los equipos²⁴. La norma internacional ISO14224 del 2006 proporciona una base amplia para la recolección de datos en un formato estándar de todo el ciclo de vida útil de los equipos asociados al sector de hidrocarburos y petroquímicos. La estandarización de la recolección de datos facilita el intercambio de información entre empresas del sector, propietarios, fabricantes y contratistas.

La aplicación de esta norma permite una clasificación taxonómica de todos los equipos en grupos genéricos y está representada en niveles jerárquicos; los niveles de 1 a 5 representan los datos de uso o localización y categorizan el nivel de jerarquía en la taxonomía de los equipos. Los niveles del 6 al 9 están relacionados con el equipo y la subdivisión de los niveles más bajos en la relación padrea a hijo hasta llegar al componente o parte que presenta a falla.

²⁴ Organización Internacional de Normalización. ISO 14224. 2006.

Tabla 3. Taxonomía de codificación de equipos

CATEGORÍA	NIVEL	DESCRIPCIÓN	CATEGORÍA	
Uso / Localización	1	Industria	O1	Petróleo
			O2	Gas natural
			O3	Petroquímica
	2	Categoría del Negocio	O1	Exploración y producción
			O2	Proceso
			O3	Refinería
			O4	Petroquímica
	3	Categoría de la Instalación	O1	Instalación de petróleo y gas
				Procesamiento de gas
				Plataforma y perforación
				Buque de intervención
				Terminal
				Tubería
			O2	Planta de gas natural licuado (GNL)
				Planta de gas licuado de petróleo (GLP)
				Planta de gas a líquidos (GTL)
				Calefacción combinada y eléctrica
				Terminal
				Almacenamiento
				Despacho
				Tuberías
			O3	Refinería
				Procesamiento de gas
				Tubería
				Envió
				Terminal
			O4	Complejo petroquímico
	Envió			
Tubería				
4	Planta / Unidad	O1	Plataforma marina	
			Planta de producción en tierra	
			Producción flotante, almacenamiento y descargue	
			Unidad de almacenamiento	
		O2	Estación de compresión	
			Estación de bombeo	
		O3	Proceso	

			Utilidad
			Soporte Externo
			Instalaciones
			O4 planta de metanol
			planta de etileno
			Planta de ácido acético
			planta de polietileno
			planta de polipropileno
			planta de cloruro de polivinilo
	5	Sección / Clasificación del Sistema	O1 Exploración y Producción - Proceso General
			Exploración y Producción - Instalaciones
			O1 Exploración y Producción - Sistemas de seguridad y control
			Exploración y producción - Instalaciones costa a fuera
			Exploración y producción - Sistemas submarinos
			O2 Proceso de gas natural licuado (LNG)
			Instalaciones LNG
			O3 Refinería - proceso general
			Refinería - Instalaciones
			O4 Petroquímico - Proceso general
			Petroquímico - Instalaciones
Subdivisión del Equipo	6	Clase de Equipo (Rotativos)	O1 Motores de combustión
			O2 Compresores
			O3 Generadores eléctricos
			O4 Motor eléctrico
			O5 Las turbinas de gas
			O6 Bombas
			O7 Las turbinas de vapor
			O8 Turboexpansor
			O9 Sopladores y ventiladores
			10 Expansores de líquidos
			11 Mezcladores

Tabla 4. Clasificación de Compresores

Clase de Equipo - Nivel 6		TIPO DE EQUIPO	
Descripción	Código	Descripción	Código
Compresor	CO	Centrífugo	CE
		Reciprocante	RE
		Tornillo	SC
		Neumático	BL
		Axial	AX

Fuente: Norma ISO 14224:2006

Tabla 5. Clasificación de motores eléctricos

Clase de Equipo - Nivel 6		TIPO DE EQUIPO	
Descripción	Código	Descripción	Código
Motor Eléctrico	EM	Corriente Alterna	AC
		Corriente Directa	DC

Fuente: Norma ISO 14224:2006

Tabla 6. Clasificación de bombas

Clase de Equipo		TIPO	
Descripción	Código	Descripción	Código
Bomba	PU	Centrífuga	CE
		Reciprocante	RE
		Rotativa	RO

Fuente: Norma ISO 14224:206

Tabla 7. Matriz de codificación equipos rotativos

MATRIZ DE CODIFICACIÓN DE EQUIPOS ROTATIVOS DE LA PLANTA DE PROCESO TURGAS S.A. E.S.P.							
Ítem	USO/LOCALIZACIÓN					SUBDIVISIÓN DEL EQUIPO	
	Nivel					Nivel	
	1	2	3	4	5	6	Clase de Equipo / Unidad
1	O2	O2	O2	O3	O2	CORE W1	Compresor de Gas Natural Worthington 1
2	O2	O2	O2	O3	O2	EMAC W1	Motor Eléctrico AEHF UW005 de 800 Hp para el compresor Worthington 1
3	O2	O2	O2	O3	O2	CORE W2	Compresor de Gas Natural Worthington 2
4	O2	O2	O2	O3	O2	EMCAW2	Motor Eléctrico AEHF UW005 de 800 Hp para el compresor Worthington 2
5	O2	O2	O2	O3	O2	CORE W3	Compresor de Gas Natural Worthington 3
6	O2	O2	O2	O3	O2	EMCAW3	Motor Eléctrico AEHF UW005 de 800 Hp para el compresor Worthington 3
7	O2	O2	O2	O3	O2	CORE R1	Compresor Gas Natural Ingersoll Rand 2RDS - N°1
8	O2	O2	O2	O3	O2	EMCA R1	Motor Eléctrico Modelo WWE500-12-586/7UZ de 500 Hp para el compresor 2RDS N°1
9	O2	O2	O2	O3	O2	CORE R2	Compresor Gas Natural Ingersoll Rand 2RDS - N°2
10	O2	O2	O2	O3	O2	EMCA R2	Motor Eléctrico Modelo WWE500-12-586/7UZ de 500 Hp para el compresor 2RDS N°2
11	O2	O2	O2	O3	O2	CORE G1	Compresor de Refrigeración Grasso RC4211 N°1
12	O2	O2	O2	O3	O2	CORE G2	Compresor de Refrigeración Grasso 6312 N°2
13	O2	O2	O2	O3	O2	CORE G3	Compresor de Refrigeración Grasso 8412E N°3
14	O2	O2	O2	O3	O2	CORE S1	Compresor de Refrigeración Sabroe SMC100-8 N°1
15	O2	O2	O2	O3	O2	CORE M1	Compresor de Refrigeración Mycom JG2 N°1
16	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE F1	Bomba N°1 para Aceite térmico de la Caldera Fulton FT 0120C
17	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE F2	Bomba N°2 para Aceite térmico de la Caldera Fulton FT 0120C
18	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE F3	Bomba N°1 para Aceite térmico de la Caldera Fulton FT 0240
19	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE F4	Bomba N°2 para Aceite térmico de la Caldera Fulton FT 0240
20	O2	O2	O2	O3	O2	PURE S1	Bomba N°1 para Glicol sistema Sabroe 1
21	O2	O2	O2	O3	O2	PURE S2	Bomba N°2 para Glicol sistema Sabroe 1
22	O2	O2	O2	O3	O2	PURE G1	Bomba N°1 para Glicol sistema Grasso 2 y 3
23	O2	O2	O2	O3	O2	PURE G2	Bomba N°2 para Glicol sistema Grasso 2 y 3
24	O2	O2	O2	O3	O2	PURO D1	Bomba N°1 para Reflujo de la torre Debutanizadora
25	O2	O2	O2	O3	O2	PURO D2	Bomba N°2 para Reflujo de la torre Debutanizadora
26	O2	O2	O2	O3	O2	PURO D3	Bomba N°1 para Reflujo de la torre Depropanizadora
27	O2	O2	O2	O3	O2	PURO D4	Bomba N°2 para Reflujo de la torre Depropanizadora
28	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE R1	Bomba N°1 para Reflujo de la torre Regeneradora
29	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE R2	Bomba N°2 para Reflujo de la torre Regeneradora

5.2 EVALUACIÓN DE CRITICIDAD

5.2.1 Aplicación de la ecuación para ponderación de la criticidad de equipos.

Para la evaluación del nivel de criticidad de los equipos rotativos críticos que intervienen en proceso de deshidratación de gas natural de la empresa TURGAS S.A. se empleó el modelo semicuantitativo CTR o criticidad total por riesgo y es un análisis obtenido de multiplicar la frecuencia de la falla por la severidad de la misma.

$$CTR = FF * C$$

Dónde:

CTR = Criticidad total por el riesgo

FF = Frecuencia de la falla en un tiempo determinado

C = Consecuencia de los efectos de la falla

Y la consecuencia es el resultado de despejar la ecuación:

$$C = (IO * FO) + CM + SHA$$

Dónde:

IO = Factor del impacto en la producción

FO = Factor de flexibilidad operacional

CM = Factor del costo del mantenimiento

SHA = Factor del impacto en seguridad, higiene y ambiente

Tabla 8. Método de factores ponderados basados en el riesgo

VALORACIÓN PARA CRITICIDAD DE EQUIPOS			
Criticidad Total = Frecuencia de Falla x La Consecuencia			
Consecuencia = ((Impacto operacional x Flexibilidad) + Costo de Mtto + Impacto SAH)			
Frecuencia de Falla		Costo de Mantenimiento	
Pobre Mayor a 2 fallas / año	4	Mayor o igual a \$2.000 USD	2
Promedio de 1 - 2 fallas / año	3	Inferior a \$ 2.000 USD	1
Buena de 0.5 - 1 falla / año	2		
Excelente menos de 0.5 fallas / año	1		
Impacto Operación		Impacto en seguridad - Ambiente - Higiene (SAH)	
Perdida de todo el despacho	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7	Afecta el ambiente / Instalaciones	7
Impacta en niveles de inventario y calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1		
Flexibilidad Operacional		Provoca daños menores (Ambiente - Seguridad)	3
No existe opción de producción y no hay función de repuestos	4		
Hay opción de repuestos compartidos/ almacén	2	No provoca ningún tipo de daño a personas,	1
Función de repuestos disponible	1	instalaciones o al ambiente	

Fuente: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Metodos-basicos-de-criticidad-activos.pdf>

5.2.2 Matriz de criticidad de equipos. Para la elaboración de la matriz de criticidad de los equipos rotativos. Se realiza una reunión de trabajo con la participación de personas del área de mantenimiento, producción, HSEQ y administración de la empresa; se selecciona cada sistema y se genera una tormenta de ideas, obteniendo como resultado los valores correspondientes para cada equipo.

El resultado obtenido, permite clasificar de forma jerárquica el sistema en tres niveles:

- Área no crítica (NC)
- Área de media criticidad (MC)
- Área crítica (C)

La matriz obtenida tiene un tamaño de 200 unidades, de las cuales:

- El área crítica corresponde al 20% y está en el rango de 161 a 200 unidades.
- El área de media criticidad corresponde al 40% y está en el rango de 81 a 160 unidades.
- El área no crítica corresponde al 40% y está en el rango de 0 a 80 unidades.

Tabla 9. Matriz de criticidad

FRECUENCIA DE FALLA	4	MC	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	MC	C
			1	10	20	30	40
		CONSECUENCIA					

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos

Tabla 10. Matriz de criticidad

MATRIZ DE CRITICIDAD SEMICUANTITATIVO CTR (CRITICIDAD TOTAL POR RIESGO)														
Ítem	Tag						Clase de Equipo/Unidad	FF	IO	FO	CM	SHA	C	Criticidad
1	O2	O2	O2	O3	O2	CORE W1	Compresor de Gas Natural Worthington 1	4	10	2	2	8	30	120
2	O2	O2	O2	O3	O2	EMAC W1	Motor Eléctrico AEHF UW005 de 800 Hp para el compresor Worthington 1	2	10	2	2	8	30	60
3	O2	O2	O2	O3	O2	CORE W2	Compresor de Gas Natural Worthington 2	4	10	2	2	8	30	120
4	O2	O2	O2	O3	O2	EMCAW2	Motor Eléctrico AEHF UW005 de 800 Hp para el compresor Worthington 2	2	10	2	2	8	30	60
5	O2	O2	O2	O3	O2	CORE W3	Compresor de Gas Natural Worthington 3	4	10	2	2	8	30	120
6	O2	O2	O2	O3	O2	EMCAW3	Motor Eléctrico AEHF UW005 de 800 Hp para el compresor Worthington 3	2	10	2	2	8	30	60
7	O2	O2	O2	O3	O2	CORE R1	Compresor Gas Natural Ingersoll Rand 2RDS - N°1	4	7	2	2	7	23	92
8	O2	O2	O2	O3	O2	EMCA R1	Motor Eléctrico Modelo WWE500-12-586/7UZ de 500 Hp para el compresor 2RDS N°1	2	7	2	2	7	23	46
9	O2	O2	O2	O3	O2	CORE R2	Compresor Gas Natural Ingersoll Rand 2RDS - N°2	4	7	2	2	7	23	92
10	O2	O2	O2	O3	O2	EMCA R2	Motor Eléctrico Modelo WWE500-12-586/7UZ de 500 Hp para El compresor 2RDS N°2	2	7	2	2	7	23	46
11	O2	O2	O2	O3	O2	CORE G1	Compresor de Refrigeración Grasso RC4211 N°1	4	7	2	1	5	20	80
12	O2	O2	O2	O3	O2	CORE G2	Compresor de Refrigeración Grasso 6312 N°2	4	7	2	1	5	20	80
13	O2	O2	O2	O3	O2	CORE G3	Compresor de Refrigeración Grasso 8412E °3	4	7	2	1	5	20	80
14	O2	O2	O2	O3	O2	CORE S1	Compresor de Refrigeración Sabroe SMC100-8 N°1	4	4	1	1	5	10	40

15	O2	O2	O2	O3	O2	CORE M1	Compresor de Refrigeración Mycom JG2 N°1	4	4	1	1	5	10	40
16	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE F1	Bomba N°1 para Aceite térmico de la Caldera Fulton FT 0120C	3	4	2	1	7	16	48
17	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE F2	Bomba N°2 para Aceite térmico de la Caldera Fulton FT 0120C	3	4	2	1	7	16	48
18	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE F3	Bomba N°1 para Aceite térmico de la Caldera Fulton FT 0240	3	4	2	1	7	16	48
19	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE F4	Bomba N°2 para Aceite térmico de la Caldera Fulton FT 0240	3	4	2	1	7	16	48
20	O2	O2	O2	O3	O2	PURE S1	Bomba N°1 para Glicol sistema Sabroe 1	4	7	1	1	3	11	44
21	O2	O2	O2	O3	O2	PURE S2	Bomba N°2 para Glicol sistema Sabroe 1	4	7	1	1	3	11	44
22	O2	O2	O2	O3	O2	PURE G1	Bomba N°1 para Glicol sistema Grasso 2 y 3	4	7	1	1	3	11	44
23	O2	O2	O2	O3	O2	PURE G2	Bomba N°2 para Glicol sistema Grasso 2 y 3	4	7	1	1	3	11	44
24	O2	O2	O2	O3	O2	PURO D1	Bomba N°1 para Reflujo de la torre Debutanizadora	4	7	2	1	5	20	80
25	O2	O2	O2	O3	O2	PURO D2	Bomba N°2 para Reflujo de la torre Debutanizadora	4	7	2	1	5	20	80
26	O2	O2	O2	O3	O2	PURO D3	Bomba N°1 para Reflujo de la torre Depropanizadora	4	7	2	1	5	20	80
27	O2	O2	O2	O3	O2	PURO D4	Bomba N°2 para Reflujo de la torre Depropanizadora	4	7	2	1	5	20	80
28	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE R1	Bomba N°1 para Reflujo de la torre Regeneradora	4	4	2	1	5	14	56
29	O2	O2	O2	O3	O2	PUCE R2	Bomba N°2 para Reflujo de la torre Regeneradora	4	4	2	1	5	14	56

5.3 DIAGRAMA DE PARETO SOBRE EL SISTEMA

El diagrama de Pareto, también llamado curva cerrada o distribución A-B-C, permite organizar los datos de forma descendente de izquierda a derecha y separados por barras²⁵, facilita la identificación de los pocos vitales que corresponde al 20% y los muchos triviales que son el 80% de los equipos críticos rotativos que integran el sistema de deshidratación de gas natural.

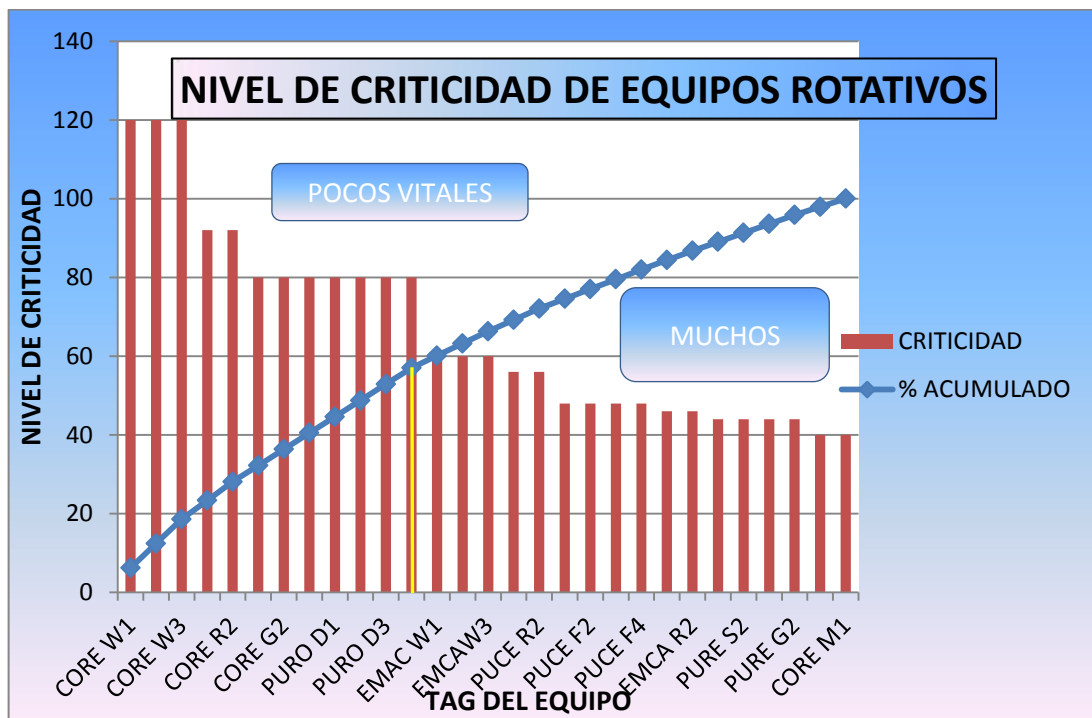
Tabla 11. Pareto de Criticidad de Equipos Rotativos

ITEM	TAG DEL EQUIPO	CRITICIDAD	% DEL TOTAL	% ACUMULADO
1	O2 O2 O2 O3 O2 CORE W1	120	6.20	6.20
2	O2 O2 O2 O3 O2 CORE W2	120	6.20	12.40
3	O2 O2 O2 O3 O2 CORE W3	120	6.20	18.60
4	O2 O2 O2 O3 O2 CORE R1	92	4.75	23.35
5	O2 O2 O2 O3 O2 CORE R2	92	4.75	28.10
6	O2 O2 O2 O3 O2 CORE G1	80	4.13	32.23
7	O2 O2 O2 O3 O2 CORE G2	80	4.13	36.36
8	O2 O2 O2 O3 O2 CORE G3	80	4.13	40.50
9	O2 O2 O2 O3 O2 PURO D1	80	4.13	44.63
10	O2 O2 O2 O3 O2 PURO D2	80	4.13	48.76
11	O2 O2 O2 O3 O2 PURO D3	80	4.13	52.89
12	O2 O2 O2 O3 O2 PURO D4	80	4.13	57.02
13	O2 O2 O2 O3 O2 EMAC W1	60	3.10	60.12
14	O2 O2 O2 O3 O2 EMCAW2	60	3.10	63.22
15	O2 O2 O2 O3 O2 EMCAW3	60	3.10	66.32
16	O2 O2 O2 O3 O2 PUCE R1	56	2.89	69.21
17	O2 O2 O2 O3 O2 PUCE R2	56	2.89	72.11
18	O2 O2 O2 O3 O2 PUCE F1	48	2.48	74.59
19	O2 O2 O2 O3 O2 PUCE F2	48	2.48	77.07
20	O2 O2 O2 O3 O2 PUCE F3	48	2.48	79.55

²⁵ Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Pareto

21	O2 O2 O2 O3 O2	PUCE F4	48	2.48	82.02
22	O2 O2 O2 O3 O2	EMCA R1	46	2.38	84.40
23	O2 O2 O2 O3 O2	EMCA R2	46	2.38	86.78
24	O2 O2 O2 O3 O2	PURE S1	44	2.27	89.05
25	O2 O2 O2 O3 O2	PURE S2	44	2.27	91.32
26	O2 O2 O2 O3 O2	PURE G1	44	2.27	93.60
27	O2 O2 O2 O3 O2	PURE G2	44	2.27	95.87
28	O2 O2 O2 O3 O2	CORE S1	40	2.07	97.93
29	O2 O2 O2 O3 O2	CORE M1	40	2.07	100
TOTAL			1936	100.00	

Figura 20. Pareto de Criticidad de Equipos Rotativos



5.4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo se realiza con el objetivo de aumentar al máximo la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos rotativos de nivel crítico que intervienen en proceso de tratamiento de gas natural de la empresa TURGAS S.A. E.S.P. La disponibilidad es la probabilidad de que los compresores de gas natural puedan funcionar siempre que se requieran y confiabilidad, se define como la probabilidad de que los equipos permanezcan funcionando en el tiempo.

El mantenimiento preventivo puede estar basado en condiciones o en datos históricos de las fallas del equipo²⁶. Para la ejecución de esta monografía se plantea el uso de la segunda categoría, que se basa en la implementación de la técnica de mantenimiento basada en el tiempo; este modelo gerencial del área de mantenimiento es factible para los compresores recíprocos de gas natural, debido a que gran parte de sus componentes tienen una duración fácilmente identificable; la mayoría de estos repuestos sobreviven la edad estimada y el cambio de ellos restablece las funciones principales y secundarias de los equipos.

²⁶ DUFFUAA, Raouf y Dixon. Sistemas de mantenimiento planeación y control. 2000. Pág. 76.

Tabla 12. Programa de mantenimiento preventivo de los compresores de gas natural basado en el tiempo

<i>PROGRAMA DE MANTENIMIENTO POR HORAS DE SERVICIO</i>					
<i>Mantenimiento</i>	<i>Diario</i>	<i>1500 Hrs</i>	<i>3000 Hrs</i>	<i>4500 Hrs</i>	<i>9000 Hrs</i>
Sistema de Refrigeración					
Verificar temperatura y presión de agua.	x				
Inspeccionar fugas en la división de bloques	x				
Mantener el registro de gas y agua cada hora además de las presiones, observando condición física compresor.	x				
Sistema de Gas					
Drenar todos los puntos bajos en la tubería de descarga	x				
Remover todas las válvulas de succión y descarga, limpiarlas y cambiar las partes dañadas en su defecto.				x	
Reemplazar todas las partes internas de las válvulas especialmente los anillos.					x
Revisar los ajustes de calibración de válvulas de seguridad del sistema de compresión					x
Revisar los pasos de las válvulas y orificios de los cilindros				x	
Sistema de Control					
Revisar la calibración de los medidores de presión del compresor.				x	
Carter del Compresor					
Limpia el cárter en su totalidad		x			
Limpia el respiradero del cárter		x			
Tomar muestra de aceite del Carter del compresor para análisis de laboratorio		x			
Sistema de Lubricación					
Tomar muestra de aceite lubricante para prueba de laboratorio		x			
Verifique la presión y la temperatura del aceite lubricante	x				
Revisar el nivel de aceite lubricante en el cárter	x				
Cambiar los filtros de aceite lubricante del compresor			x		
Cambio de aceite lubricante del compresor			x		
Revisar las gotas por minuto del sistema de lubricación forzada del compresor			x		
Limpia el visor de lubricación del cárter	x				
Limpia el intercambiador para enfriamiento del aceite lubricante					x
Lubrica el eje que desplaza el bolsillo del compresor (Equipo en paro)			x		

Inspeccionar la cadena de transmisión para el sistema de lubricación forzada del compresor, con el objetivo de identificar la tensión y el desgaste.					x
Sistema Mecánico					
Verificar el torque de los pernos de las bancadas, bielas, volante y acople		x			
Verificar la tolerancia de bielas y pistones		x			
Abrir la chaqueta de agua del cilindro para desairarlo		x			
Verificar el estado de las empaquetaduras de presión de la barra del pistón (En funcionamiento)		x			
Revisar tolerancias de los cojinetes de la biela y la cruceta, empleando las galgas de calibración				x	
Revisar los anillos del pistón				x	
Revisar la metrología del cilindro.				x	
Cambiar las empaquetaduras de presión de gas					x
Cambiar las empaquetaduras de aceite de la barra del pistón					x
Revisar el torque de los pernos				x	
Inspeccionar el acople de los cigüeñales				x	
Revisar todas las tolerancias y compararlas con el manual					x
Remover los pistones del compresor, inspeccionar los anillos y registrar el diámetro de los cilindros					x
Revisar la alineación entre el compresor y el motor eléctrico					x
Inspección visual de empaquetaduras del equipo					x
Frame del Compresor					
Revisar torque de los pernos de anclaje				x	
Revisar el estado del concreto de nivelación del compresor					x
Motor Eléctrico					
Mediciones del devanado del motor.				x	
Limpieza interior del motor		x			
Limpieza exterior del motor		x			
Engrase de los rodamientos del motor			x		
Cambio de rodamientos					

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento del compresor

5.4.1 Mantenimiento diario operacional.

- Verificar temperatura y presión de agua del sistema de refrigeración de los cilindros.

- Mantener registro de las presiones del gas de proceso, presión de aceite lubricante y agua del sistema de refrigeración, observando condición física compresor.
- Drenar todos los puntos bajos en la tubería de descarga.
- Verificar la presión y temperatura del aceite lubricante del compresor.
- Revisar el nivel de aceite lubricante del cárter del compresor.
- Limpiar visor de lubricación del compresor.

5.4.2 Mantenimiento preventivo 1500 horas

5.4.2.1 Muestra de aceite lubricante para análisis de laboratorio

- Abrir la válvula para toma de muestras instalada antes de los filtros de aceite.
- Drenar aceite acumulado en la línea.
- Tomar muestra en recipiente adecuado.
- Enviar la muestra al laboratorio

5.4.2.2 Limpiar el respiradero del Carter

- Retirar la tapa del filtro del respiradero.
- Retirar el filtro del respiradero.
- Efectuar limpieza del filtro con desengrasante.
- Instalar el filtro y la tapa.

5.4.2.3 Limpieza del cárter

- Realizar inspección visual al cárter para verificar la ausencia de partículas metálicas, desprendidas por piezas en movimiento.
- Inspeccionar parte interna de los cilindros.
- Verificar desgaste anormal o ralladuras.

5.4.2.4 Torque de los pernos de anclajes, bielas, volante y acople

- Verificar que la maquina se encuentra en estado de reposo y todos los accesorios a temperatura ambiente, para evitar falla en los pernos por elongación.
- Verificar el torque de los pernos de anclaje de Frame a la base, este debe ser de 275 - 300 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos de los cilindros de primera, segunda, tercera y cuarta etapa al Frame; los pernos de 7/8" se deben ajustar a 275 - 300 Ft. Lbs. y pernos de 1" se deben ajustar a 375 - 425 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos del acople del cigüeñal, este debe ser de 1250 - 1300 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de las tuercas de las crucetas, este debe ser de 1250 - 1350 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos para los soportes de los cilindros compresores, este debe ser de 90 - 100 Ft. Lbs.

5.4.2.5 Verifique tolerancia de bielas y pistones

- Verificar la tolerancia axial del cigüeñal, esta debe ser de 0.040" – 0.080".
- Verificar la tolerancia entre el casquete de biela y el cigüeñal con el calibrador de galgas, esta debe ser de 0.004" – 0.006".
- Verificar la tolerancia entre el buje de biela y el pasador de la biela utilizando las galgas de calibración, esta debe ser de 0.002" – 0.0045".
- Verificar la tolerancia entre el buje de la cruceta y el pasador utilizando las galgas de calibración, esta debe ser de 0,001" –0,0025".
- Verificar el ajuste y la correcta instalación de los anillos de seguridad para los pines de las crucetas.
- Verificar el torque de los tornillos de las bielas, este debe ser de 250-275 Ft. Lbs.

5.4.2.6 Desaire del sistema de agua de refrigeración de los cilindro

- Verificar apertura de venteos en cada etapa.
- Verificar que el equipo este totalmente despresurizado.
- Inyectar agua refrigerante al sistema con la bomba del sistema de enfriamiento.
- Retirar el aire existe en sistema a través de las válvulas de venteo.
- Cerrar las válvulas de venteo y con la bomba en servicio verificar la presión del sistema de agua refrigerante.
- Corregir fugas de refrigerante si se requiere.

5.4.2.7 Inspección de fugas de gas por las empaquetaduras de presión

- Desmontar las tapas de inspección laterales del cárter del compresor.
- Desconectar el tubo de drenaje de las empaquetaduras en las cuatro etapas del compresor.
- Presurizar los cilindros de primera, segunda, tercera y cuarta etapas.
- Inspeccionar que no existan fugas entre el eje del pistón y la empaquetadura de presión de la primera, segunda, tercera y cuarta etapa.
- Instalación de las tapas laterales de la primera, segunda, tercera y cuarta etapa del compresor.

5.4.2.8 Limpieza Interior del motor eléctrico

- Apagar equipo, desconectar las fuentes de alimentación e instalar las tarjetas de bloqueo en el tablero de control, aplicando las normas de seguridad vigentes y los elementos de protección, en este caso es fundamental el tapa bocas.
- Alistar los elementos necesarios para realizar la conexión neumática al sistema (manguera, pistola, racores).

- Verificar que la red neumática tenga aire en condiciones óptimas, que no tenga partículas extrañas ni humedad y que provenga de una unidad de mantenimiento apropiada. También se puede usar vacío en lugar de aire comprimido, para el que se debe tener consideraciones similares de operación.
- Con la instalación ya lista, realizar la inyección de aire por los sitios en los que es posible introducir la manguera. Velar para que el aire que sale no afecte de manera directa otros equipos o personas.
- Repetir el proceso anterior hasta que todas las partes internas del equipo hayan sido sometidas a la limpieza.
- Desconectar la fuente de presión. Recoger todos los elementos.
- Habilitar nuevamente el equipo para que pueda ser usado normalmente quitando las etiquetas de mantenimiento.
- Mantenga los conductos centrales completamente limpio. La diferencia en el aumento de la temperatura podría ser alrededor de 10 ° C antes y después de la limpieza.

5.4.2.9 Limpieza exterior del motor eléctrico

- Apagar equipo, desconectar las fuentes de alimentación e instalar las tarjetas de bloqueo en el tablero de control, aplicando las normas de seguridad vigentes y los elementos de protección, en este caso es fundamental el tapa bocas.
- Quitar los residuos que haya en grandes proporciones de aceite, usando para ello guantes, estopa o aserrín, según las necesidades, balde y demás elementos que sean necesarios.
- Quitar el exceso de polvo o suciedad, mediante el uso de una escoba o en su defecto paños apropiados para esta clase de trabajo.
- Limpiar el sitio en el que va montando el motor.

- Habilitar el equipo y dejarlo disponible para que sea operado según las necesidades de operación.
- Limpiar ventilador externo a fondo.
- Alistar las herramientas necesarias (llaves boca fija, destornillador), para realizar el desmonte de la tapa posterior que tiene el motor.
- Desmontar la tapa, teniendo la precaución de marcar la forma en la que se encontraba antes de la operación.
- Evaluar el estado del ventilador, para con ello determinar cuál es la mejor alternativa para su limpieza, ya sea usando aire seco, usando paños para tal fin o mediante el uso de detergentes especiales.
- Alistar todos los elementos que sea necesarios para adelantar el proceso de limpieza del motor, en el caso de aire seco manguera, pistola, racores, conexión habilitada de aire comprimido. Para usar paños, se debe alistar la cantidad de estos elementos que sea necesarios.
- Realizar el proceso de limpieza del ventilador.
- Limpiar las inmediaciones del motor y del ventilador.
- Ensamblar la tapa posterior del motor.
- Dejar habilitado el equipo para su uso posterior.

5.4.3 Mantenimiento preventivo de 3000 horas

5.4.3.1 Muestra de aceite lubricante para análisis de laboratorio

- Abrir la válvula para toma de muestras instalada antes de los filtros de aceite.
- Drenar aceite acumulado en la línea.
- Tomar muestra en recipiente adecuado.
- Enviar la muestra al laboratorio.

5.4.3.2 Limpiar el respiradero del Carter

- Retirar la tapa del filtro del respiradero.
- Retirar el filtro del respiradero.
- Efectuar limpieza del filtro con desengrasante.
- Instalar el filtro y la tapa.

5.4.3.3 Limpieza del cárter

- Realizar inspección visual al cárter para verificar la ausencia de partículas metálicas, desprendidas por piezas en movimiento.
- Inspeccionar parte interna de los cilindros.
- Verificar desgaste anormal o ralladuras.

5.4.3.4 Torque de los pernos de anclajes, bielas, volante y acople

- Verificar que la maquina se encuentra en estado de reposo y todos los accesorios a temperatura ambiente, para evitar falla en los pernos por elongación.
- Verificar el torque de los pernos de anclaje de Frame a la base, este debe ser de 275 - 300 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos de los cilindros de primera, segunda, tercera y cuarta etapa al Frame; los pernos de 7/8" se deben ajustar a 275 - 300 Ft. Lbs. y pernos de 1" se deben ajustar a 375 - 425 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos del acople del cigüeñal, este debe ser de 1250 - 1300 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de las tuercas de las crucetas, este debe ser de 1250 - 1350 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos para los soportes de los cilindros compresores, este debe ser de 90 - 100 Ft. Lbs.

5.4.3.5 Verifique tolerancia de bielas y pistones

- Verificar la tolerancia axial del cigüeñal, esta debe ser de 0.040" – 0.080".
- Verificar la tolerancia entre el casquete de biela y el cigüeñal con el calibrador de galgas, esta debe ser de 0.004" – 0.006".
- Verificar la tolerancia entre el buje de biela y el pasador de la biela utilizando las galgas de calibración, esta debe ser de 0.002" – 0.0045".
- Verificar la tolerancia entre el buje de la cruceta y el pasador utilizando las galgas de calibración, esta debe ser de 0,001" –0,0025".
- Verificar el ajuste y la correcta instalación de los anillos de seguridad para los pines de las crucetas.
- Verificar el torque de los tornillos de las bielas, este debe ser de 250-275 Ft. Lbs.

5.4.3.6 Desaire del sistema de agua de refrigeración de los cilindros

- Verificar apertura de venteos en cada etapa.
- Verificar que el equipo este totalmente despresurizado.
- Inyectar agua refrigerante al sistema con la bomba del sistema de enfriamiento.
- Retirar el aire existe en sistema a través de las válvulas de venteo.
- Cerrar las válvulas de venteo y con la bomba en servicio verificar la presión del sistema de agua refrigerante.
- Corregir fugas de refrigerante si se requiere.

5.4.3.7 Inspección de fugas de gas por las empaquetaduras de presión

- Desmontar las tapas de inspección laterales del cárter del compresor.
- Desconectar el tubo de drenaje de las empaquetaduras en las cuatro etapas del compresor.
- Presurizar los cilindros de primera, segunda, tercera y cuarta etapas.

- Inspeccionar que no existan fugas entre el eje del pistón y la empaquetadura de presión de la primera, segunda, tercera y cuarta etapa.
- Instalación de las tapas laterales de la primera, segunda, tercera y cuarta etapa del compresor.

5.4.3.8 Cambio de lubricante del cárter y filtros

- Verifique el lugar para depositar el aceite usado retirado del compresor.
- Abrir la válvula de bloque de la línea de drenaje y retirar todo el aceite del cárter del compresor.
- Almacenar el aceite usado en recipientes adecuados.
- Disponer del aceite usado en un sitio adecuado de almacenamiento.
- Drenar el lubricante depositado en la carcasa del filtro.
- Retirar el elemento filtrante usado e instalar un filtro nuevo B99 Baldwin.
- Drenar el aceite del enfriador, retirando el tapón ubicado en la parte inferior.
- Instalar el tapón del enfriador de aceite.
- Instalar tapón al ducto de drenaje de aceite del cárter.
- Adicionar 30 galones de aceite Mobil Pegasus 710 al cárter del compresor.
- Pre lubricar el equipo empleando la bomba manual.
- Verificar en la mirilla del switch de nivel, la cantidad de lubricante depositada en la parte baja del cárter y complete si es necesario.
- Verifique que no hayan fugas.

5.4.3.9 Inspección de lubricación Forzada de cilindros compresores

- Desconectar línea principal de lubricación.
- Desmontar los cheques y realizar prueba, aplicándole aceite a baja presión o aire en sentido contrario y verificar que no tiene paso.
- Instalar los cheques.
- Conectar la bomba manual a la línea de lubricación que va a hacia los cilindros compresores.

- Aplicar presión y verificar la salida de aceite en cada cilindro.
- Inspeccionar el estado de la cadena y los piñones de transmisión de potencia al sistema de lubricación forzada.
- Verificar la tensión de la cadena.

5.4.3.10 Lubricar el eje que desplaza el bolsillo

- Verifique que el equipo se encuentre fuera de operación.
- Aplicar con el inyector de grasa manual 75 gramos de Mobil Delvac Xtreme.
- Verificar la correcta lubricación, desplazando el eje en forma manual.

5.4.3.11 Limpieza Interior del motor eléctrico

- Apagar equipo, desconectar las fuentes de alimentación e instalar las tarjetas de bloqueo en el tablero de control, aplicando las normas de seguridad vigentes y los elementos de protección, en este caso es fundamental el tapa bocas.
- Alistar los elementos necesarios para realizar la conexión neumática al sistema (manguera, pistola, racores).
- Verificar que la red neumática tenga aire en condiciones óptimas, que no tenga partículas extrañas ni humedad y que provenga de una unidad de mantenimiento apropiada. También se puede usar vacío en lugar de aire comprimido, para el que se debe tener consideraciones similares de operación.
- Con la instalación ya lista, realizar la inyección de aire por los sitios en los que es posible introducir la manguera. Velar para que el aire que sale no afecte de manera directa otros equipos o personas.
- Repetir el proceso anterior hasta que todas las partes internas del equipo hayan sido sometidas a la limpieza.
- Desconectar la fuente de presión. Recoger todos los elementos.

- Habilitar nuevamente el equipo para que pueda ser usado normalmente quitando las etiquetas de mantenimiento.
- Mantenga los conductos centrales completamente limpio. La diferencia en el aumento de la temperatura podría ser alrededor de 10 ° C antes y después de la limpieza.

5.4.3.12 Limpieza exterior del motor eléctrico

- Apagar equipo, desconectar las fuentes de alimentación e instalar las tarjetas de bloqueo en el tablero de control, aplicando las normas de seguridad vigentes y los elementos de protección, en este caso es fundamental el tapa bocas.
- Quitar los residuos que haya en grandes proporciones de aceite, usando para ello guantes, estopa o aserrín, según las necesidades, balde y demás elementos que sean necesarios.
- Quitar el exceso de polvo o suciedad, mediante el uso de una escoba o en su defecto paños apropiados para esta clase de trabajo.
- Limpiar el sitio en el que va montando el motor.
- Habilitar el equipo y dejarlo disponible para que sea operado según las necesidades de operación.
- Limpiar ventilador externo a fondo.
- Alistar las herramientas necesarias (llaves boca fija, destornillador), para realizar el desmonte de la tapa posterior que tiene el motor.
- Desmontar la tapa, teniendo la precaución de marcar la forma en la que se encontraba antes de la operación.
- Evaluar el estado del ventilador, para con ello determinar cuál es la mejor alternativa para su limpieza, ya sea usando aire seco, usando paños para tal fin o mediante el uso de detergentes especiales.

- Alistar todos los elementos que sea necesarios para adelantar el proceso de limpieza del motor, en el caso de aire seco manguera, pistola, racores, conexión habilitada de aire comprimido. Para usar paños, se debe alistar la cantidad de estos elementos que sea necesarios.
- Realizar el proceso de limpieza del ventilador.
- Limpiar las inmediaciones del motor y del ventilador.
- Ensamblar la tapa posterior del motor.
- Dejar habilitado el equipo para su uso posterior.

5.4.3.13 Engrase de los rodamientos del motor eléctrico.

- Alistar la grasa para la lubricación tipo ESSO POLYREX EM o una grasa equivalente. No mezclarlo con ninguna sustancia.
- Alistar el inyector de grasa.
- Agregarle al inyector la grasa lubricante de forma adecuada.
- Los procesos de lubricación se pueden adelantar con el equipo encendido, teniendo todas las medidas necesarias de seguridad.
- El engrase del rodamiento 6322 se debe realizar cada 3000 horas en motores de 1200 rpm con una cantidad de 220 gramos.
- El engrase del rodamiento 6326 se debe realizar cada 3000 horas en motores de 1200 rpm con una cantidad de 300 gramos.
- Limpiar los excedentes de grasa que por alguna circunstancia queden.

5.4.4 Mantenimiento preventivo de 4500 horas

5.4.4.1 Muestra de aceite lubricante para análisis de laboratorio.

- Abrir la válvula para toma de muestras instalada antes de los filtros de aceite.
- Drenar aceite acumulado en la línea.
- Tomar muestra en recipiente adecuado.
- Enviar la muestra al laboratorio.

5.4.4.2 Limpiar el respiradero del Carter

- Retirar la tapa del filtro del respiradero.
- Retirar el filtro del respiradero.
- Efectuar limpieza del filtro con desengrasante.
- Instalar el filtro y la tapa.

5.4.4.3 Limpieza del cárter.

- Realizar inspección visual al cárter para verificar la ausencia de partículas metálicas, desprendidas por piezas en movimiento.
- Inspeccionar parte interna de los cilindros.
- Verificar desgaste anormal o ralladuras.

5.4.4.4 Torque de los pernos de anclajes , bielas, volante y acople

- Verificar que la maquina se encuentra en estado de reposo y todos los accesorios a temperatura ambiente, para evitar falla en los pernos por elongación.
- Verificar el torque de los pernos de anclaje de Frame a la base, este debe ser de 275 - 300 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos de los cilindros de primera, segunda, tercera y cuarta etapa al Frame; los pernos de 7/8" se deben ajustar a 275 - 300 Ft. Lbs. y pernos de 1" se deben ajustar a 375 - 425 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos del acople del cigüeñal, este debe ser de 1250 - 1300 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de las tuercas de las crucetas, este debe ser de 1250 - 1350 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos para los soportes de los cilindros compresores, este debe ser de 90 - 100 Ft. Lbs.

5.4.4.5 Verifique tolerancia de bielas y pistones

- Verificar la tolerancia axial del cigüeñal, esta debe ser de 0.040" – 0.080".
- Verificar la tolerancia entre el casquete de biela y el cigüeñal con el calibrador de galgas, esta debe ser de 0.004" – 0.006".
- Verificar la tolerancia entre el buje de biela y el pasador de la biela utilizando las galgas de calibración, esta debe ser de 0.002" – 0.0045".
- Verificar la tolerancia entre el buje de la cruceta y el pasador utilizando las galgas de calibración, esta debe ser de 0,001" –0,0025".
- Verificar el ajuste y la correcta instalación de los anillos de seguridad para los pines de las crucetas.
- Verificar el torque de los tornillos de las bielas, este debe ser de 250-275 Ft. Lbs.

5.4.4.6 Desaire del sistema de agua de refrigeración de los cilindros.

- Verificar apertura de venteos en cada etapa.
- Verificar que el equipo este totalmente despresurizado.
- Inyectar agua refrigerante al sistema con la bomba del sistema de enfriamiento.
- Retirar el aire existe en sistema a través de las válvulas de venteo.
- Cerrar las válvulas de venteo y con la bomba en servicio verificar la presión del sistema de agua refrigerante.
- Corregir fugas de refrigerante si se requiere.

5.4.4.7 Inspección de fugas de gas por las empaquetaduras de presión

- Desmontar las tapas de inspección laterales del cárter del compresor.
- Desconectar el tubo de drenaje de las empaquetaduras en las cuatro etapas del compresor.
- Presurizar los cilindros de primera, segunda, tercera y cuarta etapa.

- Inspeccionar que no existan fugas entre el eje del pistón y la empaquetadura de presión de la primera, segunda, tercera y cuarta etapa.
- Instalación de las tapas laterales de la primera, segunda, tercera y cuarta etapa del compresor.

5.4.4.8 Revisar válvulas de primera, segunda, tercera y cuarta etapa

- Verifique que las válvulas de las líneas suministro de gas de proceso para succión y descarga de los cilindros compresores se encuentren cerradas totalmente.
- Verifique que haya drenado el gas de proceso remanente en los cilindros.
- Retire el torque de las tuercas que sujetan las tapas de las válvulas de succión y descarga, sin quitarlas de los espárragos.
- Utilice una palanca delgada para levantar cuidadosamente la tapa de su base o asiento, éste procedimiento se debe hacer en todas las tapas con el propósito de disminuir la presión en las cámaras de compresión.
- Retire las tuercas de los pernos y desmonte las tapas de válvula.
- Retire las válvulas y los empaques de sus asientos.
- Limpie los alojamientos de las válvulas; utilice un trapo humedecido con líquido detergente no inflamable, retire todos los residuos hasta lograr la limpieza total.
- Inspeccione la base del asiento de las válvulas en cada cilindro, verifique que no estén averiadas y no tengan partículas, ya que esto ocasiona mal funcionamiento del empaque e igualmente de la válvula.
- En un banco de trabajo con una prensa de tornillo, sujetar la válvula sin deformar los orillos del asiento.
- Retirar la tuerca de sujeción del pin de la válvula.
- Revisar la elongación de los muelles o resortes según el tipo de válvula.
- Revisar el asentamiento de los platos de la válvula.

- Pulir las guardas de las válvulas con una lija N° 600 sobre una superficie totalmente plana.
- Verificar que el asentamiento del sello sea uniforme en la guarda de la válvula.
- Ensamblar y ajustar la tuerca de la válvula.
- Realizar prueba de estanqueidad o sello en un recipiente con agua potable.
- Instale el empaque del asiento de la válvula.
- Verifique el estado de la válvula que se va a utilizar, sea nueva, o reparada, ésta debe estar probada y bien limpia.
- Instale la válvula, verifique que está sentando correctamente sobre el empaque y el asiento.
- Instalar el retenedor de la válvula.
- Instalar o ring de la tapa de la válvula para evitar fugas de gas de proceso en operación.
- Instale la tapa de la válvula, verifique que el empaque y la tapa sienten en su sitio correctamente.
- Instale las tuercas de los pernos y ajústelas hasta que la misma llegue normalmente a su base. Ajuste las tuercas en forma cruzada y finalmente en sentido de las manecillas del reloj, aplicando un torque final de 180 Ft. Lbs. para la primera y segunda etapa y un torque final de 280 Ft. Lbs. para la tercera y cuarta etapas.
- Con el equipo en operación verifique que no hallan fugas de gas de proceso a través de las tapas de válvula; si existen fugas se debe detener el equipo y proceder a corregir la falla.

5.4.4.9 Inspección de los medidores presión

- Se procede a inspeccionar todos los manómetros de forma individual.
- Cerrar válvula de presión.
- Desconectar la alimentación eléctrica.

- Despresurización las líneas de entrada al manómetro de forma segura.
- Verificar el funcionamiento de cada manómetro con bomba hidráulica.
- Ajuste de manómetro en caso de que sea necesario.
- Montaje de manómetro.

5.4.4.10 Inspección de holguras y tolerancias de cruceta. La cruceta de la biela ejerce una función específica, que es transmitir el movimiento de la biela hacia el pistón en forma recíproca. En las bases entre la guía y la cruceta es inyectado aceite con el objetivo de crear una película de lubricación, que evitar daños ocasionados por la fricción producida entre las dos partes. Es recomendable realizar estas medidas con las piezas en frío.

- Con la llave de 9/16" retire las tuercas de los tornillos que ajustan las tapas laterales de inspección del cárter del compresor.
- Desinstalar las tapas con los empaques y ponerlas en el sitio apropiado.
- Insertar una galga con el espesor aproximado a la medida del espacio en la parte de superior, entre el punto de las dos bases (cruceta y guía). desplace ésta de un lado a otro, abarcando toda el área donde trabaja la cruceta.
- La hoja debe deslizarse suavemente.
- Repetir el proceso, hasta cuando se logre tomar la lectura con la galga precisa.
- Comparar la lectura obtenida con la sugerida en el manual de servicio del Equipo, debe estar dentro del rango de 0,009" - 0,013".
- Quitar los anillos de seguridad laterales del pin de la cruceta.
- Medir tolerancias entre el pin y los bujes de la cruceta, esta debe ser de 0,001" – 0,0025".
- Soltar contratuerca de la cruceta y el vástago del pistón compresor.
- Soltar tornillo pasador del vástago y proceder a darle vueltas al pistón.

- Ubicar la cruceta en el extremo máximo derecho para retirar el vástago y la tuerca.
- Mover ligeramente la biela compresora para retirar el pin de la cruceta.
- Con una palanca dejar caer suavemente la biela compresora.
- Girar el volante para correr la biela hacia atrás.
- Girar la cruceta y retirarla de su soporte.
- Si la cruceta se encuentra técnicamente bien instalada y las condiciones de funcionamiento son normales, al intentar introducir una galga de 0.001” ó 0.002”, donde sienta la cruceta, ésta no debe entrar.
- Limpiar las tapas, revisar estado de los empaques, instalarlas, poner y ajustar las tuercas de los tornillos con un torque 55 – 60 Ft. Lbs.

5.4.4.11 Revisión de anillos de pistón de primera, segunda, tercera y cuarta etapa

- Utilizando la llave apropiada, afloje y saque las tuercas de los espárragos de anclaje de la culata del cilindro.
- Para desmontar la culata: instale un perno de argolla en el orificio que tiene para este fin en la parte superior.
- Instale una eslinga o el gancho de la diferencial en el perno de izaje, con una capacidad mínima de 500 kg.
- Soporte la culata con la diferencial y con una palanca, forzar suavemente hacía afuera, hasta lograr extraerla del cilindro.
- Limpiarlo adecuadamente.
- Estando el cilindro destapado, realizar limpieza utilizando un trapo húmedo con líquido desengrasante, no inflamable.
- Gire el compresor y ubique el pistón en el punto medio de su carrera, entre el pistón y la pared del cilindro, inserte una varilla de estaño.
- Girar el compresor para que el estaño se comprima por la fuerza del pistón.
- Retire el estaño y tome el espesor con un micrómetro.

- Realice el mismo procedimiento en el otro lado del pistón.
- Sume las dos lecturas tomadas y divida en tres.
- Retira la tuerca del vástago y ajuste las holguras girando el eje.
- Dejar una tolerancia de la tercera parte de la medida total, hacia el lado cercano al cárter del compresor (CE).
- Dejar una tolerancia de las dos terceras partes hacia el lado más cercano a la culata del cilindro (HE).

5.4.4.12 Metrología de los cilindros de primera, segunda, tercera y cuarta etapa

- Desmontar las culatas de los cilindros de primera, segunda, tercera y cuarta etapa del compresor.
- Desmontar los pistones de primera, segunda, tercera y cuarta etapa.
- Limpiar cada cilindro cuidadosamente.
- Verificar que el equipo de metrología, este correctamente calibrado.
- Realizar metrología de los diámetros vertical y horizontal de cada cilindro, comparando las medidas obtenidas con las sugeridas en el manual de servicio del equipo.

5.4.4.13 Inspección del Acople del Cigüeñal

- Desinstalar la tapa de inspección superior del frame.
- Verificar el torque de los pernos del acople para las dos secciones del cigüeñal, este debe ser de 1250 – 1300 Ft. Lbs.
- Instalar las tapas de inspección del cigüeñal.

5.4.4.14 Limpieza Interior del motor eléctrico

- Apagar equipo, desconectar las fuentes de alimentación e instalar las tarjetas de bloqueo en el tablero de control, aplicando las normas de seguridad vigentes y los elementos de protección, en este caso es fundamental el tapa bocas.
- Alistar los elementos necesarios para realizar la conexión neumática al sistema (manguera, pistola, racores).
- Verificar que la red neumática tenga aire en condiciones óptimas, que no tenga partículas extrañas ni humedad y que provenga de una unidad de mantenimiento apropiada. También se puede usar vacío en lugar de aire comprimido, para el que se debe tener consideraciones similares de operación.
- Con la instalación ya lista, realizar la inyección de aire por los sitios en los que es posible introducir la manguera. Velar para que el aire que sale no afecte de manera directa otros equipos o personas.
- Repetir el proceso anterior hasta que todas las partes internas del equipo hayan sido sometidas a la limpieza.
- Desconectar la fuente de presión. Recoger todos los elementos.
- Habilitar nuevamente el equipo para que pueda ser usado normalmente quitando las etiquetas de mantenimiento.
- Mantenga los conductos centrales completamente limpio. La diferencia en el aumento de la temperatura podría ser alrededor de 10 ° C antes y después de la limpieza.

5.4.4.15 Limpieza exterior del motor eléctrico

- Apagar equipo, desconectar las fuentes de alimentación e instalar las tarjetas de bloqueo en el tablero de control, aplicando las normas de seguridad vigentes y los elementos de protección, en este caso es fundamental el tapa bocas.

- Quitar los residuos que haya en grandes proporciones de aceite, usando para ello guantes, estopa o aserrín, según las necesidades, balde y demás elementos que sean necesarios.
- Quitar el exceso de polvo o suciedad, mediante el uso de una escoba o en su defecto paños apropiados para esta clase de trabajo.
- Limpiar el sitio en el que va montando el motor.
- Habilitar el equipo y dejarlo disponible para que sea operado según las necesidades de operación.
- Limpiar ventilador externo a fondo.
- Alistar las herramientas necesarias (llaves boca fija, destornillador), para realizar el desmonte de la tapa posterior que tiene el motor.
- Desmontar la tapa, teniendo la precaución de marcar la forma en la que se encontraba antes de la operación.
- Evaluar el estado del ventilador, para con ello determinar cuál es la mejor alternativa para su limpieza, ya sea usando aire seco, usando paños para tal fin o mediante el uso de detergentes especiales.
- Alistar todos los elementos que sea necesarios para adelantar el proceso de limpieza del motor, en el caso de aire seco manguera, pistola, racores, conexión habilitada de aire comprimido. Para usar paños, se debe alistar la cantidad de estos elementos que sea necesarios.
- Realizar el proceso de limpieza del ventilador.
- Limpiar las inmediaciones del motor y del ventilador.
- Ensamblar la tapa posterior del motor.
- Dejar habilitado el equipo para su uso posterior.

5.4.4.16 Devanado del motor eléctrico

- Medir la resistencia del aislamiento y compárela con la medida estándar.

- Apagar equipo y desconectar las fuentes de alimentación e instalar las tarjetas de bloque para mantenimiento en el tablero de control, aplicando las normas de seguridad vigentes.
- Identificar la bornera en donde se encuentra las puntas de bobinas.
- Destapar la bornera quitando para ello los tornillos que la aseguran.
- Limpiar el polvo que se pueda encontrar presente.
- Limpiar los terminales del cable con lija para eliminar el recubrimiento de cualquier material, como por ejemplo pintura, barniz u óxido.
- Alistar el equipo adecuado para realizar la medición.
- Almacenar los datos registrados y comparar con la medida estándar.
- Inspeccionar las puntas de las bobinas.
- Con la bornera ya abierta se procede a verificar el estado de cada una de los métodos de unión del cable con la bornera. Verificando que se encuentre en condiciones ideales para hacer un contacto adecuado.
- En caso de encontrar alguna condición que afecte la medida realizar los procesos de limpieza y desalojo de elementos contaminantes.
- Identificar las parejas de bobinas y evaluar la resistencia entre ellas, por lo general el valor debe encontrarse cercano a $0,8 \Omega$ (ohmios) almacenar los datos recolectados.
- Si todos las parejas de terminales de las bobinas se encuentran en ese valor se consideran en buen estado, si alguna tiene un valor muy superior al anterior, es muy probable que el equipo esté fallando.
- Si no se encuentra alguna anomalía asegurar cada uno de los terminales de forma correcta a la bornera.
- Instalar la tapa de la bornera.
- Asegurar la tapa de la bornera con los tornillos de forma adecuada.
- Verificar que la cuña este en su posición original.
- Identificar el punto de unión entre el eje del motor y el compresor.
- Identificar el sitio en el que se instala la cuña.

- Verificar si la cuña se encuentra posicionada de forma correcta, para ello emplear equipos de medición como pie de rey o micrómetro, así mismo evaluar el paralelismo y la perpendicularidad de la cuña en relación al eje.
- Si se encuentra alguna anomalía realizar los cambios respectivos.
- Si no se encuentra alguna condición anormal, proceder a habilitar el equipo quitando las etiquetas de mantenimiento ubicadas en el tablero de control.

5.4.5 Mantenimiento preventivo de 9000 horas

5.4.5.1 Muestra de aceite lubricante para análisis de laboratorio

- Abrir la válvula para toma de muestras instalada antes de los filtros de aceite.
- Drenar aceite acumulado en la línea.
- Tomar muestra en recipiente adecuado.
- Enviar la muestra al laboratorio.

5.4.5.2 Limpiar el respiradero del Carter

- Retirar la tapa del filtro del respiradero.
- Retirar el filtro del respiradero.
- Efectuar limpieza del filtro con desengrasante.
- Instalar el filtro y la tapa.

5.4.5.3 Limpieza del cárter

- Realizar inspección visual al cárter para verificar la ausencia de partículas metálicas, desprendidas por piezas en movimiento.
- Inspeccionar parte interna de los cilindros.
- Verificar desgaste anormal o ralladuras.

5.4.5.4 Torque de los pernos de anclajes, bielas, volante y acople

- Verificar que la maquina se encuentra en estado de reposo y todos los accesorios a temperatura ambiente, para evitar falla en los pernos por elongación.
- Verificar el torque de los pernos de anclaje de Frame a la base, este debe ser de 275 - 300 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos de los cilindros de primera, segunda, tercera y cuarta etapa al Frame; los pernos de 7/8" se deben ajustar a 275 - 300 Ft. Lbs. y pernos de 1" se deben ajustar a 375 - 425 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos del acople del cigüeñal, este debe ser de 1250 - 1300 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de las tuercas de las crucetas, este debe ser de 1250 - 1350 Ft. Lbs.
- Verificar el torque de los pernos para los soportes de los cilindros compresores, este debe ser de 90 - 100 Ft. Lbs.

5.4.5.5 Verifique tolerancia de bielas y pistones

- Verificar la tolerancia axial del cigüeñal, esta debe ser de 0.040" – 0.080".
- Verificar la tolerancia entre el casquete de biela y el cigüeñal con el calibrador de galgas, esta debe ser de 0.004" – 0.006".
- Verificar la tolerancia entre el buje de biela y el pasador de la biela utilizando las galgas de calibración, esta debe ser de 0.002" – 0.0045".
- Verificar la tolerancia entre el buje de la cruceta y el pasador utilizando las galgas de calibración, esta debe ser de 0,001" –0,0025".
- Verificar el ajuste y la correcta instalación de los anillos de seguridad para los pines de las crucetas.
- Verificar el torque de los tornillos de las bielas, este debe ser de 250-275 Ft. Lbs.

5.4.5.6 Desaire del sistema de agua de refrigeración de los cilindros

- Verificar apertura de venteos en cada etapa
- Verificar que el equipo este totalmente despresurizado.
- Inyectar agua refrigerante al sistema con la bomba del sistema de enfriamiento.
- Retirar el aire existe en sistema a través de las válvulas de venteo.
- Cerrar las válvulas de venteo y con la bomba en servicio verificar la presión del sistema de agua refrigerante.
- Corregir fugas de refrigerante si se requiere.

5.4.5.7 Inspección de fugas de gas por las empaquetaduras de presión

- Desmontar las tapas de inspección laterales del cárter del compresor.
- Desconectar el tubo de drenaje de las empaquetaduras en las cuatro etapas del compresor.
- Presurizar los cilindros de primera, segunda, tercera y cuarta etapas.
- Inspeccionar que no existan fugas entre el eje del pistón y la empaquetadura de presión de la primera, segunda, tercera y cuarta etapa.
- Instalación de las tapas laterales de la primera, segunda, tercera y cuarta etapa del compresor.

5.4.5.8 Revisar válvulas de primera, segunda, tercera y cuarta etapa

- Verifique que las válvulas de las líneas suministro de gas de proceso para succión y descarga de los cilindros compresores se encuentren cerradas totalmente.
- Verifique que haya drenado el gas de proceso remanente en los cilindros.
- Retire el torque de las tuercas que sujetan las tapas de las válvulas de succión y descarga, sin quitarlas de los espárragos.

- Utilice una palanca delgada para levantar cuidadosamente la tapa de su base o asiento, éste procedimiento se debe hacer en todas las tapas con el propósito de disminuir la presión en las cámaras de compresión.
- Retire las tuercas de los pernos y desmonte las tapas de válvula.
- Retire las válvulas y los empaques de sus asientos.
- Limpie los alojamientos de las válvulas; utilice un trapo humedecido con líquido detergente no inflamable, retire todos los residuos hasta lograr la limpieza total.
- Inspeccione la base del asiento de las válvulas en cada cilindro, verifique que no estén averiadas y no tengan partículas, ya que esto ocasiona mal funcionamiento del empaque e igualmente de la válvula.
- En un banco de trabajo con una prensa de tornillo, sujetar la válvula sin deformar los orillos del asiento.
- Retirar la tuerca de sujeción del pin de la válvula.
- Revisar la elongación de los muelles o resortes según el tipo de válvula.
- Revisar el asentamiento de los platos de la válvula.
- Pulir las guardas de las válvulas con una lija N° 600 sobre una superficie totalmente plana.
- Verificar que el asentamiento del sello sea uniforme en la guarda de la válvula.
- Ensamblar y ajustar la tuerca de la válvula.
- Realizar prueba de estanqueidad o sello en un recipiente con agua potable.
- Instale el empaque del asiento de la válvula.
- Verifique el estado de la válvula que se va a utilizar, sea nueva, o reparada, ésta debe estar probada y bien limpia.
- Instale la válvula, verifique que está sentando correctamente sobre el empaque y el asiento.
- Instalar el retenedor de la válvula.

- Instalar o ring de la tapa de la válvula para evitar fugas de gas de proceso en operación.
- Instale la tapa de la válvula, verifique que el empaque y la tapa sienten en su sitio correctamente.
- Instale las tuercas de los pernos y ajústelas hasta que la misma llegue normalmente a su base. Ajuste las tuercas en forma cruzada y finalmente en sentido de las manecillas del reloj, aplicando un torque final de 180 ft-Lbs para la primera y segunda etapa y un torque final de 280 ft-Lbs para la tercera y cuarta etapas.
- Con el equipo en operación verifique que no hallan fugas de gas de proceso a través de las tapas de válvula; si existen fugas se debe detener el equipo y proceder a corregir la falla.

5.4.5.9 Cambio de lubricante del cárter y filtros

- Verifique el lugar para depositar el aceite usado retirado del compresor.
- Abrir la válvula de bloque de la línea de drenaje y retirar todo el aceite del cárter del compresor.
- Almacenar el aceite usado en recipientes adecuados.
- Disponer del aceite usado en un sitio adecuado de almacenamiento.
- Drenar el lubricante depositado en la carcasa del filtro.
- Retirar el elemento filtrante usado e instalar un filtro nuevo B99 Baldwin.
- Drenar el aceite del enfriador, retirando el tapón ubicado en la parte inferior.
- Instalar el tapón del enfriador de aceite.
- Instalar tapón al ducto de drenaje de aceite del cárter.
- Adicionar 30 galones de aceite Mobil Pegasus 710 al cárter del compresor.
- Pre lubricar el equipo empleando la bomba manual.
- Verificar en la mirilla del switch de nivel, la cantidad de lubricante depositada en la parte baja del cárter y complete si es necesario.
- Verifique que no hayan fugas.

5.4.5.10 Inspección de lubricación Forzada de cilindros compresores

- Desconectar línea principal de lubricación.
- Desmontar los cheques y realizar prueba, aplicándole aceite a baja presión o aire en sentido contrario y verificar que no tiene paso.
- Instalar los cheques.
- Conectar la bomba manual a la línea de lubricación que va a hacia los cilindros compresores.
- Aplicar presión y verificar la salida de aceite en cada cilindro.
- Inspeccionar el estado de la cadena y los piñones de transmisión de potencia al sistema de lubricación forzada.
- Verificar la tensión de la cadena.
- Verificar la cantidad de gotas de aceite en los lubricadores y comparar los datos obtenidos.

5.4.5.11 Cambio de empaquetadura de presión

- Instalar platina de bloqueo en la línea de succión y descarga principal del compresor.
- Desinstalar la culata del cilindro de primera, segunda, tercera y cuarta del compresor.
- Desmontar el pistón del cilindro compresor de primera, segunda, tercera y cuarta etapa.
- Retirar la válvula de succión más cercana a la empaquetadura, para verificar el desplazamiento del pistón compresor.
- Desconectar el sistema de lubricación de la empaquetadura.
- Desmontar tuercas y/o espárragos de sujeción del paquete de sellos de presión de los cilindros compresores.
- Sobre un banco de trabajo desarme el conjunto de la empaquetadura, ubique en posición vertical la caja de empaques y retire los discos; inspeccionar y valorar el estado de la caja y cambiar los sellos de presión.

- Retirar el empaque de tapa de la caja de sellos y el cilindro e instalar un empaque nuevo.
- Instalar todos los sellos de presión de acuerdo al orden en el que están marcados; en los anillos nuevos deben coincidir los pines y las letras deben de quedar a contrapresión.
- Inspeccionar el color y el desgaste del vástago donde existe la fricción.
- Realizar metrología del vástago y el desgaste no debe ser superior a 0.005”.
- Para la instalación se debe realizar los pasos anteriores en forma inversa a su desinstalación.
- Con el equipo en operación verificar que no hallan fugas de gas de proceso por las empaquetaduras; si existen se debe detener el equipo, despresurizar el sistema y realizar la reparación.

5.4.5.12 Cambio de rascadores de aceite del vástago

- Soltar tornillo sujetador de la tapa del conjunto de los rascadores.
- Retirar la empaquetadura teniendo en cuenta la secuencia de instalación.
- Soltar resorte sujetadores de empaquetadura axial.
- Verificar la existencia de golpes o abolladuras en la parte de contacto con el vástago.
- Para su instalación realizar el proceso en forma inversa al antes descrito.
- Revisar el estado de los ductos del sistema de lubricación.
- Ajustar los tornillos de la tapa con un torque de 120 Ft. Lbs.

5.4.5.13 Cambio de anillos de pistones compresores de primera, segunda, tercera y cuarta etapa

- Utilizando la llave apropiada, afloje y saque las tuercas de los espárragos de anclaje de la culata del cilindro.
- Para desmontar la culata: instale un perno de argolla en el orificio que tiene para este fin en la parte superior.

- Instale una eslinga o el gancho de la diferencial en el perno de izaje, con una capacidad mínima de 500 kg.
- Soporte la culata con la diferencial y con una palanca, forzar suavemente hacía afuera, hasta lograr extraerla del cilindro.
- Desinstalar los pistones de cada una de las etapas de compresión.
- Retirar los anillos de los pistones.
- Inspeccionar el estado de los alojamientos de los anillos en cada pistón.
- Instalar los anillos y deslizar una galga de calibración de 0.010" para verificar la tolerancia entre la cara del anillo y la ranura del pistón.
- Limpiarlo adecuadamente.
- Estando el cilindro destapado, realizar limpieza utilizando un trapo húmedo con líquido desengrasante, no inflamable.
- Gire el compresor y ubique el pistón en el punto medio de su carrera, entre el pistón y la pared del cilindro, inserte una varilla de estaño.
- Girar el compresor para que el estaño se comprima por la fuerza del pistón.
- Retire el estaño y tome el espesor con un micrómetro.
- Realice el mismo procedimiento en el otro lado del pistón.
- Sume las dos lecturas tomadas y divida en tres.
- Retira la tuerca del vástago y ajuste las holguras girando el eje.
- Dejar una tolerancia de la tercera parte de la medida total, hacia el lado cercano al cárter del compresor (CE).
- Dejar una tolerancia de las dos terceras partes hacia el lado más cercano a la culata del cilindro (HE).

5.4.5.14 Inspección de holguras y tolerancias de cruceta. La cruceta de la biela ejerce una función específica, que es transmitir el movimiento de la biela hacia el pistón en forma recíproca. En las bases entre la guía y la cruceta es inyectado aceite con el objetivo de crear una película de lubricación, que evitar daños ocasionados por la fricción producida entre las dos partes. Es recomendable realizar estas medidas con las piezas en frío.

- Con la llave de 9/16” retire las tuercas de los tornillos que ajustan las tapas laterales de inspección del cárter del compresor.
- Desinstalar las tapas con los empaques y ponerlas en el sitio apropiado.
- Insertar una galga con el espesor aproximado a la medida del espacio en la parte de superior, entre el punto de las dos bases (cruceta y guía). desplace ésta de un lado a otro, abarcando toda el área donde trabaja la cruceta.
- La hoja debe deslizarse suavemente.
- Repetir el proceso, hasta cuando se logre tomar la lectura con la galga precisa.
- Comparar la lectura obtenida con la sugerida en el manual de servicio del Equipo, debe estar dentro del rango de 0,009” - 0,013”.
- Quitar los anillos de seguridad laterales del pin de la cruceta.
- Medir tolerancias entre el pin y los bujes de la cruceta, esta debe ser de 0,001” – 0,0025”.
- Soltar contratuerca de la cruceta y el vástago del pistón compresor.
- Soltar tornillo pasador del vástago y proceder a darle vueltas al pistón.
- Ubicar la cruceta en el extremo máximo derecho para retirar el vástago y la tuerca.
- Mover ligeramente la biela compresora para retirar el pin de la cruceta.
- Con una palanca dejar caer suavemente la biela compresora.
- Girar el volante para correr la biela hacia atrás.
- Girar la cruceta y retirarla de su soporte.

- Si la cruceta se encuentra técnicamente bien instalada y las condiciones de funcionamiento son normales, al intentar introducir una galga de 0.001” ó 0.002”, donde sienta la cruceta, ésta no debe entrar.
- Limpiar las tapas, revisar estado de los empaques, instalarlas, poner y ajustar las tuercas de los tornillos con un torque 55 – 60 Ft. Lbs.

5.4.5.15 Acople entre el motor y el compresor

- Verificar el ajuste de los tornillos del acople entre el motor y compresor, este debe ser de 250 -280 Ft. Lbs.
- Empleando el comparador de caratulas, verificar la adecuada alineación entre el eje del cigüeñal del compresor y el eje del motor eléctrico.
- Verificar estado de equipo de alineación
- Nivelación skid.
- Verificar ausencia de tensión en las líneas del compresor.
- Verificar ausencia de tensión en las líneas del motor.
- Realizar metrología y distancia de los acoples según tipo de acople.
- Realizar metrología del juego axial.
- Pre alineación con regleta horizontal y vertical.
- Instalación equipo de alineación.
- Realizar alineación final teniendo en cuenta dilatación térmica de los equipos.

5.4.5.16 Limpieza Interior del motor eléctrico

- Apagar equipo, desconectar las fuentes de alimentación e instalar las tarjetas de bloqueo en el tablero de control, aplicando las normas de seguridad vigentes y los elementos de protección, en este caso es fundamental el tapa bocas.
- Alistar los elementos necesarios para realizar la conexión neumática al sistema (manguera, pistola, racores).

- Verificar que la red neumática tenga aire en condiciones óptimas, que no tenga partículas extrañas ni humedad y que provenga de una unidad de mantenimiento apropiada. También se puede usar vacío en lugar de aire comprimido, para el que se debe tener consideraciones similares de operación.
- Con la instalación ya lista, realizar la inyección de aire por los sitios en los que es posible introducir la manguera. Velar para que el aire que sale no afecte de manera directa otros equipos o personas.
- Repetir el proceso anterior hasta que todas las partes internas del equipo hayan sido sometidas a la limpieza.
- Desconectar la fuente de presión. Recoger todos los elementos.
- Habilitar nuevamente el equipo para que pueda ser usado normalmente quitando las etiquetas de mantenimiento.
- Mantenga los conductos centrales completamente limpio. La diferencia en el aumento de la temperatura podría ser alrededor de 10 ° C antes y después de la limpieza.

5.4.5.17 Limpieza exterior del motor eléctrico

- Apagar equipo, desconectar las fuentes de alimentación e instalar las tarjetas de bloqueo en el tablero de control, aplicando las normas de seguridad vigentes y los elementos de protección, en este caso es fundamental el tapa bocas.
- Quitar los residuos que haya en grandes proporciones de aceite, usando para ello guantes, estopa o aserrín, según las necesidades, balde y demás elementos que sean necesarios.
- Quitar el exceso de polvo o suciedad, mediante el uso de una escoba o en su defecto paños apropiados para esta clase de trabajo.
- Limpiar el sitio en el que va montando el motor.

- Habilitar el equipo y dejarlo disponible para que sea operado según las necesidades de operación.
- Limpiar ventilador externo a fondo.
- Alistar las herramientas necesarias (llaves boca fija, destornillador), para realizar el desmonte de la tapa posterior que tiene el motor.
- Desmontar la tapa, teniendo la precaución de marcar la forma en la que se encontraba antes de la operación.
- Evaluar el estado del ventilador, para con ello determinar cuál es la mejor alternativa para su limpieza, ya sea usando aire seco, usando paños para tal fin o mediante el uso de detergentes especiales.
- Alistar todos los elementos que sea necesarios para adelantar el proceso de limpieza del motor, en el caso de aire seco manguera, pistola, racores, conexión habilitada de aire comprimido. Para usar paños, se debe alistar la cantidad de estos elementos que sea necesarios.
- Realizar el proceso de limpieza del ventilador.
- Limpiar las inmediaciones del motor y del ventilador.
- Ensamblar la tapa posterior del motor.
- Dejar habilitado el equipo para su uso posterior.

5.4.5.18 Engrase de los rodamientos del motor eléctrico

- Alistar la grasa para la lubricación tipo ESSO POLYREX EM o una grasa equivalente. No mezclarlo con ninguna sustancia.
- Alistar el inyector de grasa.
- Agregarle al inyector la grasa lubricante de forma adecuada.
- Los procesos de lubricación se pueden adelantar con el equipo encendido, teniendo todas las medidas necesarias de seguridad.
- El engrase del rodamiento 6322 se debe realizar cada 3000 horas en motores de 1200 rpm con una cantidad de 220 gramos.

- El engrase del rodamiento 6326 se debe realizar cada 3000 horas en motores de 1200 rpm con una cantidad de 300 gramos.
- Limpiar los excedentes de grasa que por alguna circunstancia queden.

5.4.5.19 Devanado del motor eléctrico

- Medir la resistencia del aislamiento y compárela con la medida estándar.
- Apagar equipo y desconectar las fuentes de alimentación e instalar las tarjetas de bloque para mantenimiento en el tablero de control, aplicando las normas de seguridad vigentes.
- Identificar la bornera en donde se encuentra las puntas de bobinas.
- Destapar la bornera quitando para ello los tornillos que la aseguran.
- Limpiar el polvo que se pueda encontrar presente.
- Limpiar los terminales del cable con lija para eliminar el recubrimiento de cualquier material, como por ejemplo pintura, barniz u óxido.
- Alistar el equipo adecuado para realizar la medición.
- Almacenar los datos registrados y comparar con la medida estándar.
- Inspeccionar las puntas de las bobinas.
- Con la bornera ya abierta se procede a verificar el estado de cada una de los métodos de unión del cable con la bornera. Verificando que se encuentre en condiciones ideales para hacer un contacto adecuado.
- En caso de encontrar alguna condición que afecte la medida realizar los procesos de limpieza y desalojo de elementos contaminantes.
- Identificar las parejas de bobinas y evaluar la resistencia entre ellas, por lo general el valor debe encontrarse cercano a $0,8 \Omega$ (ohmios) almacenar los datos recolectados.
- Si todos las parejas de terminales de las bobinas se encuentran en ese valor se consideran en buen estado, si alguna tiene un valor muy superior al anterior, es muy probable que el equipo esté fallando.

- Si no se encuentra alguna anomalía asegurar cada uno de los terminales de forma correcta a la bornera.
- Instalar la tapa de la bornera.
- Asegurar la tapa de la bornera con los tornillos de forma adecuada.
- Verificar que la cuña este en su posición original.
- Identificar el punto de unión entre el eje del motor y el compresor.
- Identificar el sitio en el que se instala la cuña.
- Verificar si la cuña se encuentra posicionada de forma correcta, para ello emplear equipos de medición como pie de rey o micrómetro, así mismo evaluar el paralelismo y la perpendicularidad de la cuña en relación al eje.
- Si se encuentra alguna anomalía realizar los cambios respectivos.
- Si no se encuentra alguna condición anormal, proceder a habilitar el equipo quitando las etiquetas de mantenimiento ubicadas en el tablero de control.

5.5 SISTEMA DE INFORMACIÓN

TURGAS S.A. E.S.P. dentro del proceso de mejora continua busca aumentar la competitividad y eficiencia de todos los procesos; es por esta razón que se motiva a adoptar técnicas que permitan controlar los sistemas de producción y la calidad de los productos.

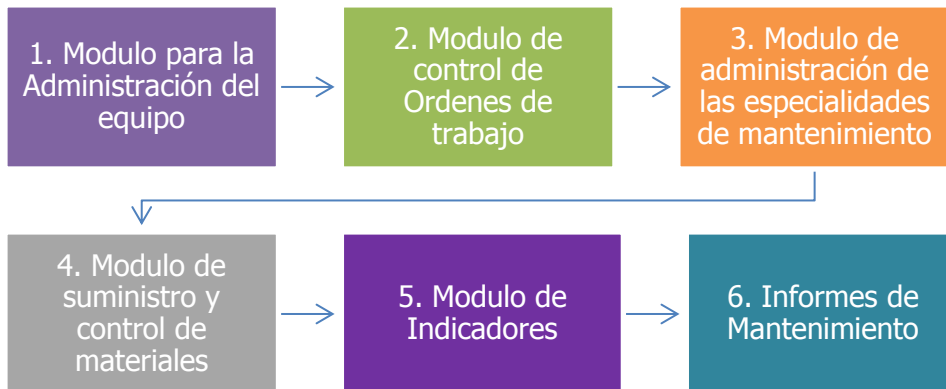
Debido a la dinámica y la cantidad de información que se requiere tener organizada para llevar a cabo una buena gestión de mantenimiento, solo con un sistema computarizado es posible mantener accesible y actualizada esa información²⁷. Dentro de los múltiples beneficios tangibles e intangibles que se obtienen con la implementación del sistema de información adecuado, está la generación de datos estadísticos que facilitan el control y la toma de decisiones oportuna para una eficiente gestión del área de mantenimiento.

²⁷ FUENTES DÍAZ, David. Sistemas de información en mantenimiento, UIS. 2013. Pág. 81.

TURGAS S.A. E.S.P. desde el área de informática diseñó un software que se adapta específicamente a las necesidades de cada una de sus áreas; el SIIT o Sistema Integral de Información Turgas es un software de tipo ERP (Enterprise Resource Management) sistema planificado de recursos e integra la información y los procesos de la empresa en un solo sistema; esta monografía propone que el módulo de mantenimiento se optimice y estratifique en 6 niveles:

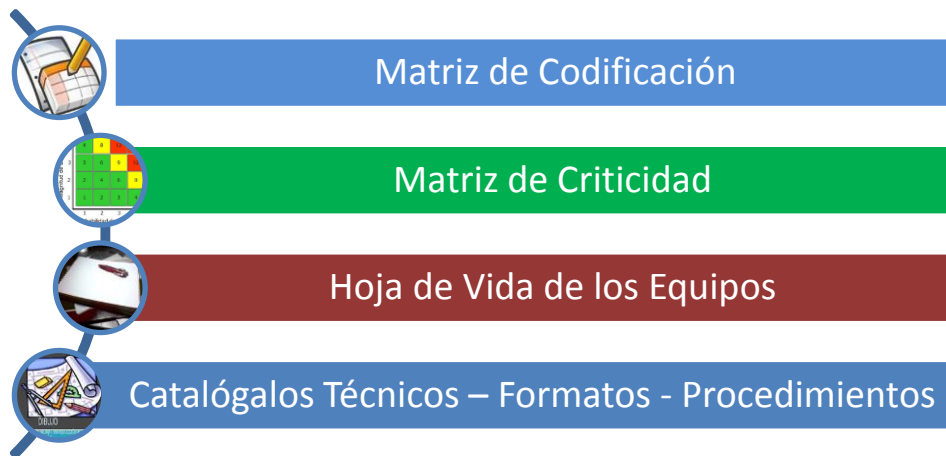
- Módulo de administración del equipo.
- Módulo de control de órdenes de trabajo.
- Módulo de administración de las especialidades de mantenimiento.
- Módulo de suministro y control de materiales.
- Módulo de indicadores.
- Módulo de informes de gestión del área de mantenimiento.

Figura 21. Niveles del módulo de mantenimiento



5.5.1 Módulo de administración del equipo. Es también nombrado como el archivo del equipo y en este módulo se almacena información específica de cada equipo, como son los catálogos, fichas técnicas, la matriz de codificación, la matriz de criticidad y toda aquella información que permita plantear estrategias de mantenimiento eficaces derivadas de las condiciones e historia del equipo²⁸.

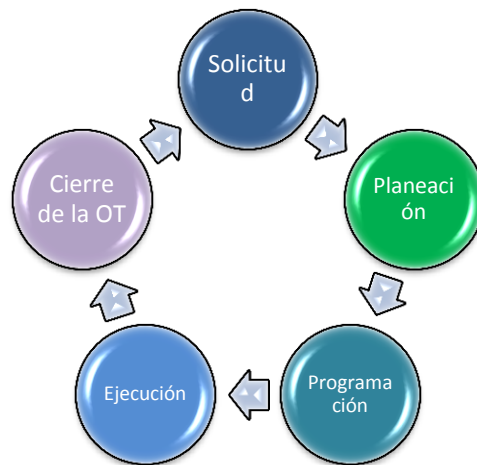
Figura 22. Administración del equipo



²⁸ Tomado de: <https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&ie=UTF-8&rct=j#q=modulos+de+administraci%C3%B3n+del+equipo+mantenimiento>

5.5.2 Módulo de control de órdenes de trabajo. El primer paso en la planeación y el control de mantenimiento se realiza mediante un sistema eficaz de órdenes de trabajo²⁹. En este módulo del sistema de información se plantea implementar los siguientes ítems:

Figura 23. Control de órdenes de trabajo



- Solicitud de órdenes de trabajo: las áreas o grupos de interés pueden solicitar en esta unidad, la prestación del servicio y facilita de manera considerable el control de la ejecución.
- Planeación: Se ocupa del plan de mantenimiento preventivo y la generación de órdenes de trabajo necesarias para satisfacer los requerimientos de los grupos de interés.

²⁹ DUFFUAA, Raouf y Dixon. Sistemas de mantenimiento planeación y control. 2000. Pág. 50.

- Procesamiento de órdenes de trabajo: esta actividad se centra en la realización de órdenes de trabajo (OT) según lo planeado y los objetivos que deben alcanzarse. Consta de las siguientes funciones:
 - Emisión de órdenes de trabajo: maneja la cantidad de órdenes de trabajo, tomando en consideración la mano de obra y los materiales necesarios.
 - Programación de órdenes de trabajo: Esta actividad se centra en lograr la coordinación entre los recursos y el tiempo requerido para la ejecución; el programa proporciona una idea aproximada de cuando se terminara el trabajo³⁰.
 - Despacho de las órdenes de trabajo: es una función de control que se ocupa de determinar la secuencia del trabajo y asignarlo a las personas que tengan la capacidad específica para su ejecución. Se requiere de procedimientos y es de vital importancia que todos los grupos de interés conozcan de sus responsabilidades y se elaboren los registros adecuados para el flujo de información.

- Cierre de órdenes de trabajo: se ocupa de la recolección y retroalimentación de la información acerca de las actividades realizadas, disponibilidad del sistema, trabajos por realizar y la calidad del mantenimiento ejecutado; esta información se convierte en una herramienta de análisis, facilitando la toma de decisiones y el control del área de mantenimiento.

³⁰ DUFFUAA, Raouf y Dixon. Sistemas de mantenimiento planeación y control. 2000. Pág. 61.

5.5.3 Módulo de administración de las especialidades y costos del mantenimiento.

Figura 24. Administración de especialidades y costos



- El seguimiento del talento humano del área de mantenimiento resulta de vital importancia para suministrar al equipo de planeación la información necesaria para programar las órdenes de mantenimiento³¹. El sistema de información debe contener información referente a:
 - Hojas de vida de cada uno de los integrantes del equipo de mantenimiento, donde incluya el nombre, fecha de contratación, tipo de contrato, especialidad, salario y cargo.

³¹ FUENTES DÍAZ, David. Sistemas de información en mantenimiento, UIS. 2013. Pág. 23.

- El sistema de información debe suministrar información referente al estado del recurso, como son la asignación de permisos, vacaciones y descansos.
- El costo de mantenimiento se ubica dentro de los costos de la empresa; como el de la materia prima, pero a diferencia de esta el costo de mantenimiento no es fijo, debido a que la empresa puede variar la cantidad de recursos destinados para esta área. En general, el costo de mantenimiento se sitúa entre el 5 – 10 % del total³².
 - Los costos fijos para el área de mantenimiento como su nombre lo indica son fijos y son independientes de las ventas de la empresa; principalmente están compuestos por la mano de obra directa, seguros, alquileres y materiales necesarios para ejecutar los mantenimientos predictivo y preventivo.
 - Los costos variables son particularmente proporcionales a la producción realizada, dentro de esta clasificación se encuentra la mano de obra y repuestos necesarios para el mantenimiento correctivo; se generan como consecuencia de las averías y reparaciones de los equipos que son programadas por los mantenimientos planeados.

³² NAVARRO ELOLA, Luis. Gestión Integral de mantenimiento. Marcombo, 1997. Pág. 39.

- Los costos financieros del área de mantenimiento de la empresa TURGAS S.A. E.S.P. se deben principalmente al valor de los repuestos existentes en el almacén; la mayor parte de los repuestos son de uso frecuente, generando menos consecuencias debido a que estos son una inversión que realiza la empresa para mantener la capacidad productiva. En casos particulares los repuestos tardan mucho tiempo en ser utilizados, incurriendo en un gasto que, en principio, no genera ningún beneficio para la empresa³³.
- El costo de la falla se refiere a la pérdida de beneficio en producción, causada por la ejecución de las actividades de mantenimiento; en algunos casos este monto es mayor que los costos fijos, costos variables o financieros generados en el área.
- El presupuesto anual del departamento de mantenimiento consta de 4 partidas: Mano de obra, materiales, medios y herramientas y servicios contratados³⁴.
 - El costo de la mano de obra está conformado por los conceptos de: Costo bruto recibido anualmente por cada trabajador, costos cobrados por disponibilidad del personal (retenciones), los costos asociados a la mano de obra (transportes, dietas, desplazamientos, entre otros), Costos de formación y entrenamientos y los costos sociales obligatorios de la empresa.

³³ FUENTES DÍAZ, David. Sistemas de información en mantenimiento, UIS. 2013. Pág. 66.

³⁴ FUENTES DÍAZ, David. Sistemas de información en mantenimiento, UIS. 2013. Pág. 75.

- El costo de los materiales está formado por el valor de los repuestos y consumibles. Los repuestos están vinculados a un equipo en particular y su uso es ocasional, lo contrario sucede con los consumibles que son de uso frecuente y no están asociados a un equipo específico.
- El costo de los medios y herramientas son la suma del dinero que se proyecta emplear en la reposición de herramientas y medios técnicos extraviados o deteriorados, o en la adquisición de nuevos medios³⁵. Estos están constituidos por la reposición de herramienta, adquisición de nuevas herramientas y medios técnicos y alquiler de alquiler de equipos.
- El costo de las asistencias externas está constituido por: contratación por Outsourcing de mano obra habitual y temporal, contratación de mano de obra especializada, trabajos en talleres externos y servicios de mantenimiento ejecutados por personal externo a la empresa.

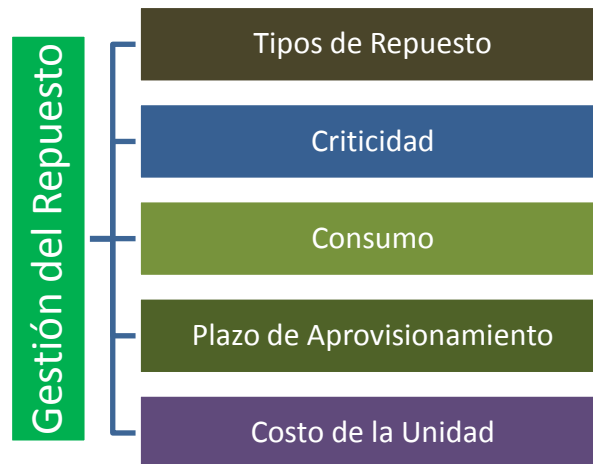
5.5.4 Módulo de suministro y control de materiales. Un costo crítico es la inversión en repuestos y materiales³⁶. Cuando existe una inversión exagerada, los resultados son altos costos de mantenimiento y por el contrario, si se carece del repuesto requerido para la reparación, el costo del tiempo muerto aumenta considerablemente. Se requiere un equilibrio entre el costo de tener un repuesto almacenado y el costo del tiempo muerto del equipo, con el propósito de tener un control eficiente de los repuestos y materiales requeridos para el mantenimiento. Los elementos más importantes para el control de almacenes de mantenimiento son:

³⁵ FUENTES DÍAZ, David. Sistemas de información en mantenimiento, UIS. 2013. Pág. 77.

³⁶ DUFFUAA, Raouf y Dixon. Sistemas de mantenimiento planeación y control. 2000. Pág. 233.

- Requisición
- Control de inventarios
- Artículos para almacenar
- Puntos de nuevas órdenes de compra
- Cantidades por ordenar

Figura 25. Suministro y control de materiales



5.5.5 Módulo de indicadores del área de mantenimiento. Los indicadores de gestión son una herramienta de evaluación que facilita la administración y el control del área de mantenimiento, mediante la aplicación de sistemas de evaluación que permiten verificar logros, resultados y uso de recursos³⁷.

- Indicador de Disponibilidad A.

$$Disponibilidad = A = \frac{S - d}{S} * 100$$

Dónde:

$A = Disponibilidad$

³⁷ DOMÍNGUEZ GIRALDO, Gerardo. Indicadores de gestión 1999, pág. 7.

$S =$ Tiempo de producción programado
 $d =$ Tiempo muerto en días

- Indicador de Tiempo medio entre fallas MTBF.

$$\text{Tiempo medio entre fallas} = \text{MTBF} = \frac{S - d}{f}$$

Dónde:

$\text{MTBF} =$ Tiempo medio entre fallas (Mean Time Between failures)

$S =$ Tiempo de producción programado

$d =$ Tiempo muerto en días

$f =$ Numero de fallas

- Indicador de tiempo medio para la reparación MTTR.

$$\text{Tiempo Medio para la Reparación} = \text{MTTR} = \frac{df}{f}$$

Dónde:

$\text{MTTR} =$ Tiempo medio para la reparación (Mean Time to Repair)

$df =$ Demora de tiempo muerto por fallas

$f =$ Numero de fallas

- Indicador de confiabilidad R: para efectos de cálculo de la confiabilidad se considera una distribución exponencial de la variable aleatoria del tiempo de fallo³⁸.

$$R(t) = e^{-\lambda t}, t \geq 0$$

$$\text{Tasa de Fallas} = \frac{\text{Numero de Fallas}}{\text{Intervalo de Tiempo}} = \frac{1}{\text{MTBF}} = \lambda$$

Dónde:

$R =$ Confiabilidad (Reliability)

$e =$ Base del sistema logaritmico natural ($e \cong 2.718$)

$\lambda =$ Tasa de fallas (Constante para distribución exponencial)

$t =$ Intervalo de tiempo (Cantidad de horas operadas)

³⁸ Tomado de: <https://yodairaproductividad.files.wordpress.com/2013/04/manual-de-indicadores-de-mantenimiento.pdf>

- Ordenes de trabajo planeado y programado del mantenimiento preventivo mensual.

$$\% = \frac{\text{Ordenes de Trabajo Ejecutadas}}{\text{Ordenes de Trabajo Programadas}} * 100$$

- Ordenes de mantenimiento correctivo ejecutado comparado con el preventivo programado mensual.

$$\% = \frac{\text{Ordenes de Trabajo Ejecutadas Correctivas}}{\text{Ordenes de Trabajo Total Ejecutadas}} * 100$$

5.5.6 Módulo de reporte de gestión del área de mantenimiento. El sistema de información diseñado viabiliza la presentación de informes de gestión a la gerencia general, facilitando el control y toma de decisiones del área de mantenimiento de la empresa. Este informe será basado en datos reales y facilitara de forma práctica la presentación de información gráfica y concisa³⁹.

Características del informe:

- Conciso y basado en datos reales.
- Los informes periódicos pueden presentarse de manera gráfica posibilitando la comparación con periodos anteriores.
- Disponibilidad de información como son tiempos muertos en los equipos, porcentajes de mantenimiento programado, trabajos pendientes e informes de calidad del mantenimiento.

El informe debe reflejar el estado actual del mantenimiento y debe incluir:

- Resumen de las metas cumplidas.
- Información del mantenimiento ejecutado.

³⁹ DUFFUAA, Raouf y Dixon. Sistemas de mantenimiento planeación y control. 2000.

- Información de los costos del mantenimiento.
- Información de los trabajos de mantenimiento pendientes para realizar.
- Información del mantenimiento programado ejecutado.
- Tiempo muerto de los equipos.
- Información de trabajos en ejecución.
- Variación del presupuesto mensual.

6. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS PARA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

6.1 RECURSOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS

La implementación del proyecto “Modelo gerencial para mejorar el mantenimiento preventivo de los equipos críticos rotativos que intervienen en el proceso de tratamiento de gas natural en la empresa TURGAS S.A. E.S.P” tiene una duración estimada de 5.5 meses equivalente a 94.84 días, iniciándose el 01 de julio del 2016 y con fecha de finalización del 14 de noviembre del 2016; dentro de un presupuesto de \$72.760.632,00 moneda corriente.

6.1.1 Costos para implementar el proyecto. Con el análisis de costos, los datos de salida permiten analizar el comportamiento de los recursos a través del tiempo desde su punto de inicio hasta su finalización, facilitando un seguimiento constante y un óptimo control para minimizar el riesgo de sobrecostos en la etapa de ejecución del proyecto.

El proyecto tiene un costo de total de \$ 72.760.632,00 de los cuales \$ 57.760.632,00 corresponden al valor de los activos variables como son las horas de trabajo requeridas del ingeniero de sistemas y los autores del proyecto para la implementación de los objetivos propuestos. El costo de los activos fijos tiene en monto de \$ 15.000.000, 00 para la compra del servidor y los equipos de cómputo necesarios para la ejecución del proyecto.

Tabla 13. Costo total para la implantación del proyecto

COSTOS PARA IMPLEMENTAR EL PROYECTO	
Tipo de Costo	Valor
Costo Activos Fijos	\$ 15,000,000.00
Costo Activos variables	\$ 57,760,632.00
Total Costos	\$ 72,760,632.00

Tabla 14. Costos fijos para implementación del proyecto

COSTOS FIJOS PARA IMPLEMENTAR LOS OBJETIVOS PROPUESTOS EN LA MONOGRAFÍA				
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Costo de materiales y equipos				
Servidor marca Dell X4 power edge P430	Unidad	1	\$ 6,500,000.00	\$ 6,500,000.00
Computador para programación Core I5, disco duro 1 Tera, 8GB memoria RAM	Unidad	1	\$ 3,000,000.00	\$ 3,000,000.00
Elementos de montaje de red local para 5 computadores	Set	1	\$ 1,500,000.00	\$ 1,500,000.00
Computador para el ingeniero de mantenimiento N° 1	Unidad	1	\$ 2,000,000.00	\$ 2,000,000.00
Computador para el ingeniero de mantenimiento N° 2	Unidad	1	\$ 2,000,000.00	\$ 2,000,000.00
Total costo				\$ 15,000,000.00

Tabla 15. Costos fijos para implementación del proyecto

COSTOS VARIABLES PARA IMPLEMENTAR LOS OBJETIVOS PROPUESTOS EN LA MONOGRAFÍA				
Tipo de Activo	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Costo de Mano de Obra				
Ingeniero de sistemas	Horas	400	\$ 22,215.63	\$ 8,886,252.00
Ingeniero del área de mantenimiento N°1	Horas	600	\$ 40,728.65	\$ 24,437,190.00
Ingeniero del área de mantenimiento N°2	Horas	600	\$ 40,728.65	\$ 24,437,190.00
Total costos de mano de obra				\$ 57,760,632.00

6.2 CRONOGRAMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA MONOGRAFÍA

6.2.1 Estructura de desglose del trabajo (EDT). Crear la EDT es el proceso que consiste en subdividir los entregables y el trabajo del proyecto en componentes más pequeños y más fáciles de dirigir⁴⁰.

La estructura de desglose para el proyecto está constituida por 3 niveles de detalle. El primer nivel especifica de manera clara y precisa el nombre del proyecto “Modelo gerencial para mejorar el mantenimiento preventivo de los equipos críticos rotativos que intervienen en el proceso de tratamiento de gas natural en la empresa TURGAS S.A. E.S.P”.

El segundo nivel está constituido por cuatro tareas principales, como son: la codificación de equipos, criticidad de equipos rotativos, la propuesta de modelo gerencial de mantenimiento y el diseño del sistema de información para el área de mantenimiento de la empresa.

El tercer nivel de detalle de la EDT del proyecto, detalla todas las subtarefas inherente a cada actividad principal, con el objetivo de realizar una adecuada planeación, seguimiento y control para la ejecución.

Ver Anexo A. Estructura de Desglose del Trabajo (EDT).

⁴⁰ Project Management Institute, Inc. “Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos”, (Guía del PMBOK®). Cuarta edición. Página 52.

6.2.2 Plan de trabajo (PDT). La planeación en el proyecto determina lo que se necesita hacer, quién lo hará, cuánto tiempo se requiere y cuanto es el costo⁴¹.

La programación está relacionada con la secuencia de actividades y el orden en que se deben ejecutar para lograr los objetivos del proyecto; con el uso de Microsoft Project que es un software de administración de proyectos, se realiza el diagrama de GANTT y se refleja cada tarea mediante una línea, mientras que las columnas representan los días, semanas, o meses del programa, dependiendo de la duración del proyecto. El tiempo estimado para cada tarea se muestra a través de una barra horizontal cuyo extremo izquierdo determina la fecha de inicio prevista y el extremo derecho determina la fecha de finalización estimada; las tareas se pueden ubicar en cadenas secuenciales o se pueden realizar simultáneamente.

Ver anexo B. Plan de trabajo para implementar los objetivos del proyecto.

⁴¹ GIDO, Jack. CLEMENTES James. "Administración exitosa de proyectos" Internacional Thomson Editores 1999. Capítulos nueve página 64.

7. CONCLUSIONES

- La norma internacional ISO14224 del 2006, facilita la recolección de datos en un formato estándar de todo el ciclo de vida de los activos asociados al sector de hidrocarburos y petroquímicos; la aplicación de esta norma permite la clasificación taxonómica representada en grupos genéricos y niveles jerárquicos de todos los equipos rotativos críticos que intervienen en proceso de tratamiento de gas natural de la empresa.
- Para la evaluación del nivel de criticidad de los equipos rotativos críticos que intervienen en proceso de deshidratación de gas natural de la empresa TURGAS S.A. se empleó el modelo de análisis cuantitativo CTR o criticidad total por riesgo, que se obtiene de multiplicar la frecuencia de la falla de cada equipo por la severidad de la misma.
- El resultado de este trabajo de investigación tiene una aplicación concreta y proyecta mejorar el modelo gerencial existente para el área de mantenimiento de la empresa TURGAS S.A. E.S.P y para la ejecución se plantea la implementación de la técnica de mantenimiento basada en el tiempo; modelo gerencial factible para los equipos críticos rotativos debido a que gran parte de sus componentes tienen una duración fácilmente identificable y la mayoría de estos repuestos sobreviven la edad estimada.
- TURGAS S.A. E.S.P. desde el área de informática diseñó un software de tipo ERP (Enterprise Resource Management), sistema planificado de recursos e integra la información y los procesos de la empresa en un solo sistema; este trabajo de grado propone que el módulo de mantenimiento se optimice y estratifique en 6 niveles, generando múltiples beneficios tangibles e intangibles.

8. RECOMENDACIONES

- La aplicación de la estrategia de mantenimiento planteada en esta monografía se limita a los equipos críticos rotativos, por lo tanto, se recomienda la aplicación del modelo gerencial de mantenimiento propuesto a todos los equipos que integran el proceso de deshidratación de gas natural de la compañía, esto dentro de un proceso de mejora continua.
- Con el fin de realizar un estudio más detallado de las causas que originan las fallas que se presentan en los equipos y sus consecuencias, se recomienda emplear la estructura de jerarquización para hacer un análisis de confiabilidad en el ítem mantenible y la parte que falla; estructura obtenida de la aplicación de la norma ISO 14224.
- Realizar revisiones periódicas y recalcar la importancia de la mejora continua bajo las normas de Calidad en el sistema de información propuesto, esto con el propósito de mantener una información veraz y facilitar el análisis estadístico de tendencias y variables, la gestión y el control del área de mantenimiento en la empresa TURGAS S.A. E.S.P.

BIBLIOGRAFÍA

ALBARRACÍN AGUILÓN, Pedro Ramón. Lubricación centrada en confiabilidad. UIS, 2013. pág. 4, 37, 38, 73-76.

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento. UIS, 2014. pág. 15-28.

DOMÍNGUEZ GIRALDO, Gerardo. Indicadores de gestión. Medellín: Colombia, 1999. pág. 7, 115.

DUFFUAA, Raouf y Dixon. Sistemas de mantenimiento planeación y control. México: Limusa, 2000. pág. 32-81, 61, 62, 75-76, 233, 237, 285-287, 314-316.

FUENTES DÍAS, David. Sistemas de información en mantenimiento, UIS, 2014. Cap. 1, 3, 6.

GARCÍA CASTRO, Alfonso. Mantenimiento predictivo: Análisis de vibraciones y termografía. UIS, 2013. pág. 11-14.

GIDO, Jack. CLEMENTES James. Administración exitosa de proyectos. Internacional Thomson Editores 1999. Pág. 64.

GONZALES FERNÁNDEZ, Francisco Javier. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: FC, 2004. pág. 33-51.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224: 2006. 2ed. Geneva, Suiza: ISO, 2006. pág. 17-26.

JARAMILLO, Julián. Mantenimiento predictivo. UIS, 2013. pág. 5-9.

Métodos básicos de criticidad activos. [Citado 02 Junio 2015]. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Metodos-basicos-de-criticidad-activos.pdf>

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento industrial efectivo. Envigado: Coldi, 2013. pág. 60-62.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. North carolina: Aladon, 2004. pág. 393-394.

NAVARRO ELOLA, Luis. Gestión integral de mantenimiento. Marcombo, 1997. Pág. 39.

PARRA MÁRQUEZ, Carlos Alberto y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. España: INGEMAN (Asociación Española para el desarrollo de la ingeniería de mantenimiento). 2012. Pág. 60 – 63.

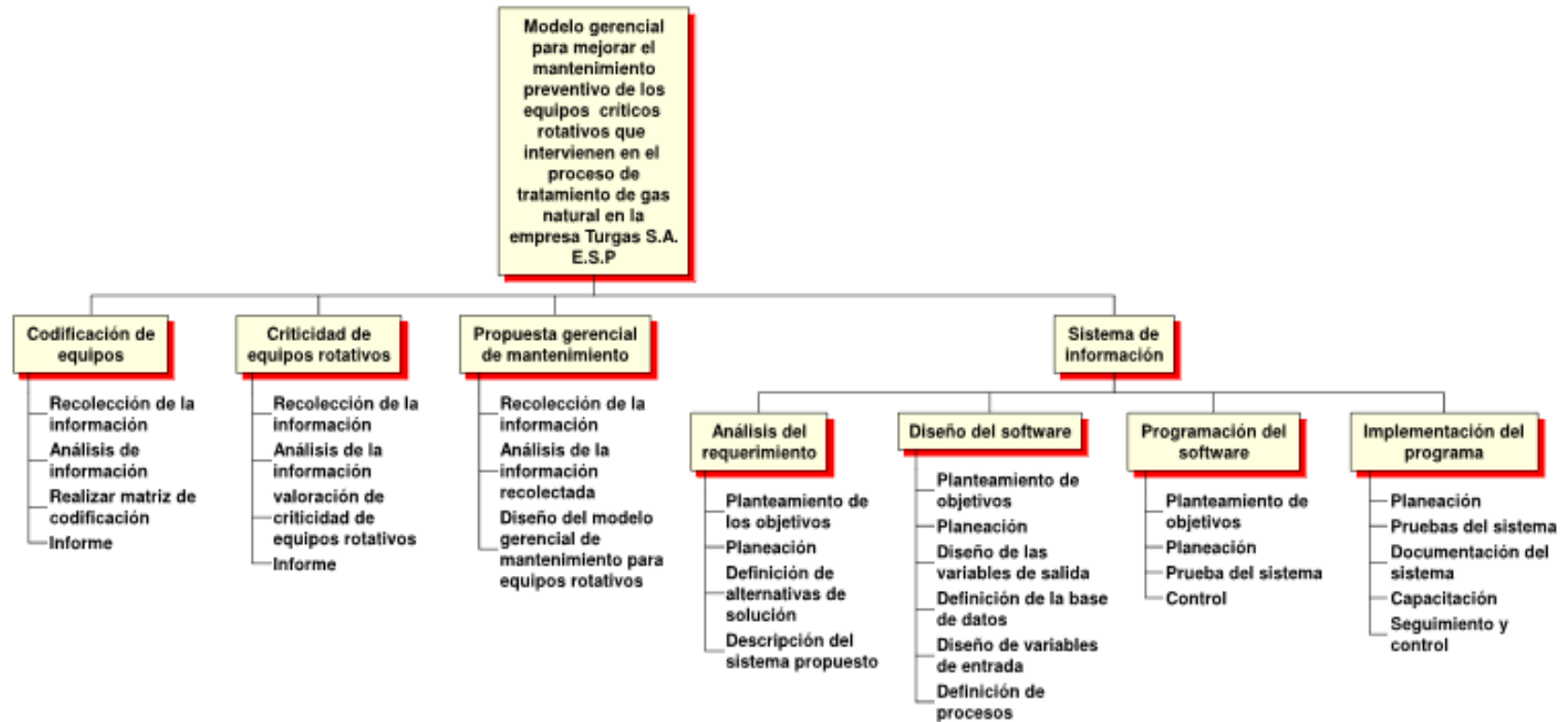
PENIN RODRÍGUEZ, Aquilino. Sistemas SCADA guía práctica. Barcelona: Marcombo, 2007. pág. 9-12.

REY SACRISTÁN, Francisco. Hacia la excelencia en mantenimiento. Madrid: TGP Hoshin, 1996. pág. 61-62.

TURGAS S.A E.S.P. [Citado 12 Abril 2015]. Disponible en: www.turgas.com

ANEXOS

Anexo A. Estructura de Desglose del Trabajo (EDT)



Anexo B. Plan de trabajo para implementar los objetivos del proyecto

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Gantt Chart											
					abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
1	1 Modelo gerencial para mejorar el mantenimiento preventivo de los equipos críticos rotativos que intervienen en el proceso de tratamiento de gas natural en la empresa Turgas S.A. E.S.P	96.84 días	vie 01/07/16	lun 14/11/16												
2	1.1 Codificación de equipos	17.89 días	vie 01/07/16	mar 26/07/16												
3	1.1.1 Recolección de la información	40 horas	vie 01/07/16	jue 07/07/16												
4	1.1.2 Análisis de información	50 horas	jue 07/07/16	jue 14/07/16												
5	1.1.3 Realizar matriz de codificación	60 horas	jue 14/07/16	vie 22/07/16												
6	1.1.4 Informe	20 horas	vie 22/07/16	mar 26/07/16												
7	1.2 Criticidad de equipos rotativos	16.84 días	mar 26/07/16	jue 18/08/16												
8	1.2.1 Recolección de la información	40 horas	mar 26/07/16	mar 02/08/16												
9	1.2.2 Análisis de la información	50 horas	mar 02/08/16	mar 09/08/16												

Proyecto: PDT monografía 15062016 Fecha: mié 15/06/16	Tarea		Tarea manual	
	División		Sólo duración	
	Hito		Informe de resumen manual	
	Resumen		Resumen manual	
	Resumen del proyecto		Sólo el comienzo	
	Tareas externas		Sólo fin	
	Hito externo		Fecha límite	
	Tarea inactiva		Progreso	
	Hito inactivo		Progreso manual	
	Resumen inactivo			

Página 1

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	mayo		septiembre											
					11 abr	09 ma	06 jun	04 jul	01 ago	29 ago	26 sep	24 oct	21 nov					
21	1.4.1.4 Descripción del sistema propuesto	20 horas	lun 26/09/16	mié 28/09/16														
22	1.4.2 Diseño del software	12.63 días	mié 28/09/16	vie 14/10/16														
23	1.4.2.1 Planteamiento de objetivos	10 horas	mié 28/09/16	jue 29/09/16														
24	1.4.2.2 Planeación	20 horas	jue 29/09/16	lun 03/10/16														
25	1.4.2.3 Diseño de las variables de salida	20 horas	lun 03/10/16	mié 05/10/16														
26	1.4.2.4 Definición de la base de datos	20 horas	mié 05/10/16	vie 07/10/16														
27	1.4.2.5 Diseño de variables de entrada	20 horas	vie 07/10/16	mar 11/10/16														
28	1.4.2.6 Definición de procesos	30 horas	mar 11/10/16	vie 14/10/16														
29	1.4.3 Programación del software	12.63 días	vie 14/10/16	mié 02/11/16														
30	1.4.3.1 Planteamiento de objetivos	20 horas	vie 14/10/16	mar 18/10/16														
31	1.4.3.2 Planeación	20 horas	mar 18/10/16	jue 20/10/16														
32	1.4.3.3 Prueba del sistema	40 horas	vie 21/10/16	jue 27/10/16														

Proyecto: PDT monografía 15062016 Fecha: mié 15/06/16	Tarea		Tarea manual	
	División		Sólo duración	
	Hito		Informe de resumen manual	
	Resumen		Resumen manual	
	Resumen del proyecto		Sólo el comienzo	
	Tareas externas		Sólo fin	
	Hito externo		Fecha límite	
	Tarea inactiva		Progreso	
	Hito inactivo		Progreso manual	
	Resumen inactivo			

