

MODELO DE GESTION PARA LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO
PRODUCTIVO TOTAL (TPM) EN LAS FACILIDADES TEMPRANAS CUPIAGUA -
NW

HENRY ADOLFO MORALES CEDEÑO
JERSSON JULIAN PRECIADO VALLEJO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-UIS
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2015

MODELO DE GESTION PARA LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO
PRODUCTIVO TOTAL (TPM) EN LAS FACILIDADES TEMPRANAS CUPIAGUA -
NW

HENRY ADOLFO MORALES CEDEÑO
JERSSON JULIAN PRECIADO VALLEJO

Monografía de Grado presentada como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Directora:

ANDREA ISABEL BARRERA SIABATO

Ingeniera Industrial

Especialista En Salud Ocupacional Y prevención de Riesgos laborales

Magister Dirección y Administración de Empresas

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-UIS
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2015

AGRADECIMIENTOS

A DIOS todo poderoso, por permitirme alcanzar mis logros.

A todas aquellas personas que han sido bendición en mi vida, e hicieron posible subir a este peldaño del conocimiento, hago extensivo mis más sinceros agradecimientos.

Att: Henry Adolfo Morales Cedeño

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis Hijos Narem y Sheily, quienes son el motor de mi vida, y a quienes les transmito mis enseñanzas a través del ejemplo, rindo un elogio al esfuerzo por el logro del conocimiento y del éxito y un tributo a mi madre quien siempre ha sido mi bastión y guía espiritual

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
1 MODELO DE GESTION PARA LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) EN LAS FACILIDADES TEMPRANAS CUPIAGUA -NW	22
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
3 JUSTIFICACION	25
4 OBJETIVOS	27
4.1 OBJETIVO GENERAL	27
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
5 MARCO CONCEPTUAL	28
5.1 GENERALIDADES	28
5.1.1 Descripción de la facilidad Cupiagua NW	28
5.1.2 Localización geográfica EPF-NW	29
5.1.3 Antecedentes de La facilidad -Cupiagua NW	31
5.1.4 Descripción del proceso del EPF-Cupiagua NW	31
5.2 SISTEMAS DEL EPF-CUPIAGUA NW	35
5.2.1 Sistema del Manifold	35
5.2.2 Sistema de separación	37
5.2.3 Sistema de bombeo	40
5.2.4 Sistema de compresión	43
5.2.4.1 Paquete de compresión Z-0101A	46
5.2.4.2 Paquete de compresión NW-Z-0101B	47
5.2.5 Sistema de gas combustible	47
5.2.6 Sistema de Tea y Drenaje Cerrado	47
5.2.6.1 Equipos que conforman el sistema de drenaje cerrado	50
5.2.7 Sistema de Inyección de químicos	50

5.2.8	Sistema de generación	51
5.2.9	Sistema de Aire Utilitario	51
5.2.10	Sistema contra incendios	51
5.3	DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS PAQUETE	52
5.4	DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS ESTÁTICOS	52
6	MANTENIMIENTO ACTUAL DE LA FACILIDAD NW	54
6.1	MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE EMERGENCIA O URGENCIA	56
6.2	MANTENIMIENTO MEJORATIVO	56
6.3	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	56
6.3.1	RCM mantenimiento centrado en la confiabilidad operacional de equipos	56
6.4	MANTENIMIENTO PREDICTIVO CBM	57
6.4.1	Análisis de condición eléctrica	57
6.4.2	Monitoreo de vibraciones mecánicas	57
6.4.3	Monitoreo de ultrasonido e integridad equipo estático	57
6.4.4	Análisis de aceite	57
6.4.5	Análisis termográfico	58
7	DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	59
7.1	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	47
7.1.1	Investigación cuali-cuantitativa y descriptiva aplicada	59
7.1.2	Información primaria paquete NW-Z0101B	60
7.1.3	Información primaria historial de mantenimiento NW-Z-0101B	62
7.1.3.1	Mantenimiento realizado al paquete NW-Z{0101B	62
7.1.4	Análisis de la información	66
7.1.5	Información sobre la criticidad de equipos y costos de mantenimiento	71
7.1.5.1	Costos y equipos críticos vitales 80/20	72

7.1.5.2	Costos y equipos triviales 30/15	73
7.1.6	Análisis de modos y efectos de fallas	78
7.1.7	Seguridad de procesos	80
7.1.7.1	Diferencia entre seguridad de procesos y HSE	80
7.1.8	Equipos críticos por seguridad de procesos	82
7.2	DIAGNOSTICO DEL PAQUETE DE COMPRESIÓN Z-0101B	
		89
7.3	INDICADORES DE EFICIENCIA GLOBAL DE PLANTA	92
7.4	INDICADORES DE MANTENIMIENTO(MTBF-MTTR)	94
8	DEFINICION DEL TPM	96
8.1	INTRODUCCIÓN AL TPM	97
8.2	RESULTADOS DEL TPM	99
8.3	INDICADORES DELTPM	99
8.4.1	P(Productividad)	100
8.4.2	(Q) Calidad	100
8.4.3	(C) Costo	100
8.4.4	(D) Entregas	100
8.4.5	(S)Seguridad	101
8.4.6	(M) Motivación	101
8.5	MARCO DE ANTECEDENTES DEL TPM	102
8.6	PROCESO DEL DESARROLLO DEL TPM	103
8.7	LOS OCHO PILARES DEL TPM	107
8.7.1	Pilar del mantenimiento autónomo	107
8.7.1.1	Beneficios de las 5S (Paso cero)	108
8.7.1.2	Limpieza como inspección (Paso 1)	108
8.7.1.3	Eliminar focos y áreas de difícil acceso (Paso 2)	109
8.7.1.4	Estándares de limpieza y lubricación(Paso 3)	109
8.7.1.5	Inspección general de equipos (Paso 4)	110
8.7.1.6	Inspección general del proceso (Paso 5)	110

8.7.1.7	Sistematizar el mantenimiento	111
8.7.1.8	Gestión Autónoma (Paso 7)	111
8.7.2	Pilar del mantenimiento Planeado	112
8.7.3	Pilar de mejora enfocada	113
8.7.4	Pilar de educación y entrenamiento	114
8.7.5	Pilar del control inicial de equipos	115
8.7.6	Pilar de seguridad y medio ambiente	115
8.7.7	Pilar de gestión administrativa	115
9	PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL TPM-EN LA FACILIDAD CUPIAGUA – NW	117
9.1	HALLAZGOS EN FACILIDADES CUPIAGUA NW SIN TPM	117
9.2	ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN	118
9.2.1	Formación y entrenamiento	118
9.2.2	Definición de la estructura	118
9.2.3	Selección de los objetivos, visión, misión, indicadores de resultado e indicadores de desempeño	119
9.2.4	Plan Maestro	121
9.2.5	Inicio de actividades TPM	121
9.2.5.1	Limpieza inicial	121
9.2.5.2	Estabilización semanal	121
9.2.5.3	Reuniones autónomas	122
9.2.5.4	Apoyos metodológicos: lecciones de puntos, estándares , 5s	126
9.2.5.5	Despliegue del pilar del mantenimiento planeado	128
9.2.5.6	Cruce de Pilares	129
9.2.5.7	El primer día de la implementación del TPM	130
10	CONCLUSIONES	136
11	RECOMENDACIONES	138
	BIBLIOGRAFIA	140

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Fotografía Facilidad NW	22
Figura 2. Localización geográfica	30
Figura 3. Fotografía satelital geolocalización de la planta	30
Figura 4. Fotografía ,panorámica Facilidad NW	31
Figura 5. P&D Diagrama de flujo del proceso	34
Figura 6. Mimico del proceso sistema Scada HMI CPF-NW	35
Figura 7. Cuadro de datos paquete moto-compresor Z-0101A	46
Figura 8. Cuadro de datos paquete moto-compresor Z-0101B	47
Figura 9. Fotografía Vasija V-0101	53
Figura 10. Generación de la work Request en Ellipse	54
Figura 11. Espectro termográfico de rodamiento	58
Figura 12. Flujograma de la investigación	59
Figura 13. Fotografía moto-compresor de inyección de gas natural Z-0101B	61
Figura 14. Gráfico participación de mantenimientos	63
Figura 15. Gráfico costos de mantenimiento	64
Figura 16. Gráfico Horas-Hombre de mantenimiento compresor	64
Figura 17. Gráfico participación horas –Hombre motor	65
Figura 18. Gráfico participación costos de mantenimiento	65
Figura 19. Gráfico curva ABC mantenimiento preventivo y correctivo	72
Figura 20. Gráfico Pareto equipos críticos	74
Figura 21.. Gráfico Pareto gráfico por equipos	75
Figura 22. Fotografía panorámica paquete de compresión Z-001B	76
Figura 23. Gráfico comparativo entre seguridad de procesos y HSE	80
Figura 24. Cuadro significados de TPM	96
Figura 25. Cuadro evolución del mantenimiento	103

Figura 26. TPM y sus ocho pilares	106
Figura 27. Pilares del TPM	107
Figura 28. Características de un estándar	109
Figura 29. pasos del mantenimiento planeado	113
Figura 30. Pérdidas de los equipos	114
Figura 31. Etapas de implementación del TPM	118
Figura 32. Organización para promoción del TPM Cupiagua NW	119
Figura 33. Plan maestro para la implementación Cupiagua NW	123
Figura 34. Reuniones autónomas	124
Figura 35. Ejemplo de lección de punto	126
Figura 36. Fotografía aislamiento seguro de plantas de proceso	127
Figura 37. Ejemplo despliegue de las 5s	127
Figura 38. Despliegue de las 5s en la facilidad cupiagua NW	128
Figura 39. Despliegue del mantenimiento planeado	129

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Condiciones ambientales del lugar	29
Tabla 2. Instrumentos y protecciones del manifold	37
Tabla 3. Capacidad máxima de manejo de gas del separador V-0101	38
Tabla 4. Protecciones del separador V-0101 y puntos de ajuste	39
Tabla 5. Escenarios de presión del separador V-0101	40
Tabla 6. Instrumentos para protección y puntos de ajuste	43
Tabla 7. Comparación de las condiciones de operación	44
Tabla 8. Instrumentos para protección y puntos de ajuste	46
Tabla 9. Condensados aportados por paquetes de compresión	49
Tabla 10. Vasijas y puntos de anclajes de la vasija V-0105	49
Tabla 11. Equipos paquetes de la facilidad	52
Tabla 12. Equipos estáticos de la facilidad	53
Tabla 13. Códigos y descripción del mantenimiento ERP-ELLIPSE	55
Tabla 14. Técnicas comunes analíticas se resalta FMEA	55
Tabla 15. Historial de mantenimiento Z-0101B	60
Tabla 16. Actividades basadas en el tiempo TBT motor-compresor	66
Tabla 17. Actividades de monitoreo de condición. CMT	67
Tabla 18. RCM de 2000 horas	69
Tabla 19. Tareas de mantenimiento correctivo	70
Tabla 20. Tareas de mantenimiento correctivo planeado y no planeado	70
Tabla 21. Tareas de origen mejorativo	71
Tabla 22. Hoja de análisis FMECA	78
Tabla 23. Equipos críticos por seguridad de procesos (ASP)	82
Tabla 24. Equipos críticos ASP que han fallado durante la operación	91
Tabla 25. Prueba de producción del Pozo NW-43	92
Tabla 26. Comparación de indicadores de eficacia global de planta e	

indicadores de mantenimiento Z-0101B	95
Tabla 27. Ejemplos de resultados de TPM	101
Tabla 28. Los doce pasos del nuevo programa de TPM	104
Tabla 29. Resumen del mantenimiento autónomo	111
Tabla 30. Cruce de pilares	130
Tabla 31. Lección de un punto. Resumen implementación del TPM	135

GLOSARIO

ADT = Administrative Delay Time = retrasos administrativos exógenos a la actividad propia de reparación, diferentes al tiempo activo neto de la reparación; ejemplos de estos son: suministro de personal especializado, entrenamiento de recursos humanos requeridos para esa reparación, revisión de manuales de mantenimiento u operación, localización de herramientas, cumplimiento de procesos y/o procedimientos internos, etc.

ASP = Assurance Safety Process = Aseguramiento por seguridad de procesos

DT = Down Time = Tiempo no operativo

EPF = Early Production Facilities = Facilidades Tempranas de Producción

Facilidades de producción: instalaciones, plantas, vasijas de producción y demás equipos para las actividades de producción, separación, tratamiento, conducción y almacenamiento de hidrocarburos en el campo.

fi = Falla i –ésima

FMECA = Failure Mode and Effects Analysis = Análisis de criticidad de modos y efectos de falla

HMI = Human Machine Interface = Interfaz Hombre Máquina

HSE = Health Safety Environment = Higiene, Seguridad y Medio Ambiente

JIPM =Japan Institute of Plant Maintenance = Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas

LDT' = Logistics Delay Time = retrasos logísticos la obtención de insumos para la reparación, en los procesos de mantenimiento o de producción, en los tiempos de suministros, etc. como por ejemplo el tiempo requerido para transporte de repuestos, o el tiempo que hay que esperar a que se construya un repuesto especial por parte de los fabricantes, etc.

LDT = ADT + LDT' = Logistic Down Time = Tiempo total logístico que demora la acción propia de reparación o mantenimiento. Son todos los tiempos exógenos al equipo que retrasan el tiempo activo

m = número de fallas ocurridas en el tiempo que se revisa, desde f_1 hasta f_i .

MDT = Mean Down Time = Tiempo Medio de Indisponibilidad o no funcionamiento entre Fallas = DT / m

MLDT = Mean Logistics Down Time = Tiempo Medio de Tiempos Logísticos

MMSCFD = Millones de Pies Cúbicos Estándar Día

MTBF = Mean Time Between Failures = Tiempo Medio entre Fallas = TBF / m

MTTR = Mean Time To Repair = Tiempo Medio para Reparar = TTR / m

MUT = Mean Up Time = Tiempo Medio de Funcionamiento entre Fallas = UT / m

OEE = Overall Equipment Effectiveness = Eficacia global de planta

PM = Planned Maintenances = Mantenimientos Planeados, pueden ser preventivos o predictivos

Ready Time = Tiempo de Alistamiento = el equipo o sistema está disponible, opera pero no produce, no está en carga operativa

RTF = Run To Failure = Operación a falla

SIL=(Safety Integrity Level)) = Nivel de Integridad Segura

SoFa = State of Failure = Estado de Falla, el equipo no funciona correctamente

SoFu = State of Functioning = Estado de Funcionamiento correcto

TEA = Flare = mechero usado en las facilidades para quemar el gas en caso de disparo de algún equipo (separador, compresor) o de la planta.

TBF = Time Between Failures = Tiempo entre Fallas

TBT = Time Based Task = Tareas basadas en el tiempo

TTF = Time To Failure = Tiempo hasta Fallar (se usa en equipos que solo fallan una vez, no reparables)

TTR = Time To Repair = Tiempo que demora la reparación neta, sin incluir demoras ni tiempos logísticos, ni tiempos invertidos en suministros de repuestos o recursos humanos

UT = Up Time = Tiempo Útil en el que equipo funciona correctamente.

RESUMEN

TITULO: MODELO DE GESTION PARA LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) EN LAS FACILIDADES TEMPRANAS CUPIAGUA NW*

AUTORES: HENRY ADOLFO MORALES CEDEÑO, JERSSON JULIÁN PRECIADO VALLEJO**

PALABRAS CLAVE: Equipo Reciprocante, TPM, Las 5´ S, Técnicas Predictivas, Política Mejorativa, Activos, Equipo Estático, Equipos Críticos

DESCRIPCION:

En esta monografía se hace una aproximación de la facilidad Cupiagua NW. Se realiza una breve reseña de la caracterización de los equipos que conforman cada sistema operativo, y los sistemas auxiliares que permiten operar adecuadamente la instalación y garantizar su integridad física y la del personal que labora en las instalaciones.

Mediante una metodología de investigación cuali-cuantitativa y descriptiva aplicada al paquete de compresión NW-Z-0101B como muestra piloto, se realiza un diagnóstico del mantenimiento actual comprendido entre los años (2012 – 2014), determinando los indicadores de eficacia global de planta (OEE) e indicadores de mantenimiento, para luego proponer las estrategias para la implementación del TPM. El cual una vez probado en el paquete piloto, podrá ser replicado en toda la planta

Los pozos de la plataforma NW-40/43 pueden fluir por energía propia al CPF-Cupiagua a una presión aproximada de 750 psi, la facilidad NW fue diseñada para procesar los fluidos de los pozos productores NW-40 y NW-43 el primero con una capacidad de 844 barriles brutos de crudo –día (BOPD) y 15,94 millones de pies cúbicos estándar día de gas (MMSCFD), y el segundo con una capacidad de 964 BOPD y 8,73 MMSCFD. La facilidad maneja el crudo incremental que se obtiene de aliviar la presión de cabeza en los árboles de navidad para luego aumentarles la presión por medio de bombas y compresores para enviarlos al cabezal del CPF Cupiagua.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en gerencia de Mantenimiento. Directora Isabel Andrea Barrera Siabato. Ingeniera Industrial. Magister Dirección y administración de empresas

ABSTRACT

TITLE: MANAGEMENT MODEL FOR THE IMPLEMENTATION OF TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) AT EARLY FACILITIES PRODUCTION - CUPIAGUA NW*

AUTHORS: HENRY ADOLFO MORALES CEDEÑO, JERSSON JULIAN PRECIADO**

KEYWORDS: Reciprocating Equipment, Predictive Techniques, policy get better, Assets, Static Equipment, Critical Equipment

SUBJECT OF DESCRIPTION:

This monograph approach NW Cupiagua facilities. A brief characterization of the teams that make up each operating system and auxiliary systems that allow properly operate the facility and ensure their physical integrity and the staff working at the facility is performed.

Using a methodology of qualitative, quantitative and descriptive research applied to compression package NW-Z-0101B pilot sample, a diagnosis of the current maintenance period between the years (2012 to 2014) is performed, determining indicators (OEE) Overall Equipment Effectiveness and maintenance indicators, and then propose strategies for implementing TPM. Which once tested in the pilot package will be replicated throughout the plant

The wells NW-40/43 platform can flow into your own power to CPF-Cupiagua at a pressure of about 750 psi, NW facility was designed to process fluids from wells that produce NW-40 and NW-43 first with a capacity of 844 gross barrels of crude -day (BOPD) and 15.94 million cubic feet of gas per day (MMSCFD), and the second with a capacity of 964 barrels per day and 8.73 MMSCFD. The center handles the additional oil obtained from head to relieve pressure on the Christmas tree and then increase them by pressure pumps and compressors to be sent to the head of the CPF Cupiagua.

* Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director. Industrial engineer. Magister of Management and Business Administration

INTRODUCCION

Si se considera que las demandas de energía van en aumento y que las reservas de petróleo y gas en todo el mundo siguen cayendo, la urgencia de la eficiencia en el procesamiento cada día se hace más evidente. En tal sentido, las operadoras, los contratistas y proveedores, trabajan en conjunto en torno al mejoramiento del equipo de superficie, con el propósito de aumentar la eficacia global de la planta, esto es, disminuir costos, entregar mayores volúmenes vendibles de hidrocarburos y obtener grandes márgenes de utilidades.

En la actualidad, la industria del petróleo exige grandes retos globales como: una nueva cultura sobre la protección a las personas, seguridad de procesos y protección al medio ambiente. Todo esto enfocado al alcance de las metas financieras, mediante el logro de altos estándares de ingeniería de operación y servicio de campo.

Para lograr mejores resultados es imperativo innovar y reinventar continuamente la gestión del mantenimiento, de ahí que la propuesta para la implementación del TPM, consiste en un proceso serio, auto disciplinado y de largo plazo (entre tres y cuatro años), pero en definitivas, si se hace bien la tarea, se obtendrán excelentes mejoras en la organización y altos niveles de motivación en el personal.

El estudio que a continuación se presenta, consiste en identificar de forma general los equipos que conforman la facilidad Cupiagua NW. Tomando como prueba piloto el paquete de compresión de gas Natural NW-Z-0101 B, considerando los antecedentes de operación, mantenimiento y criticidad, para diseñar el modelo de gestión enfocado a la implementación del mantenimiento productivo total (TPM). Determinando a través de indicadores la disponibilidad, confiabilidad y rentabilidad económica, la eficiencia global del paquete de compresión de gas Natural .

1. TITULO

MODELO DE GESTION PARA LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) EN LAS FACILIDADES TEMPRANAS CUIPIAGUA -NW

Figura 1. Foto. Normas e indicaciones. Facilidad NW



Fuente: Los Autores. Cortesía Ecopetrol y Stork Technical Services. Año 2014

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las facilidades tempranas de producción –EPF (Early Production Facilities), generalmente son diseñadas para iniciar pruebas de recobro de los fluidos de producción, de los pozos que recién han sido perforados. En la gran mayoría de los casos las empresas operadoras deberán recuperar las inversiones en tiempo record, por un lado y por otro lado, deberán provisionar regalías al estado Colombiano lo que hace que se presenten algunas **desviaciones de la planificación** de los proyectos que involucran el recurso humano, los activos, los métodos y el medio ambiente

Una vez realizadas las pruebas de producción, se inicia con el “Start Up”, (arranque y estabilización de la Facilidad), entrando en operación permanente, durante este proceso se van ajustando una serie de parámetros y variables hasta encontrar la sintonía de los lazos de control y el punto óptimo para operar los equipos de acuerdo con la lógica narrativa y la filosofía de control.

Para el caso particular de la facilidad NW la programación de mantenimiento rara vez se cumple, toda vez que se ha incurrido en la convivencia de prácticas correctivas de mantenimiento, esto es, que se presentan demasiadas fallas, reprocesos, inventario de repuestos deficiente y el presupuesto limitado, rompen los planes de mantenimiento programados (instrumental, operativo, táctico y estratégico¹).

Es importante realizar un estudio del paquete de compresión NW-Z-0101B como equipo piloto de la Facilidad Cupiagua NW identificando la función primaria y las fallas para obtener un diagnóstico, de los equipos auxiliares ON SKID,(rotativos,

¹MORA G, Alberto. Predicciones-UIS- Especialización Gerencia de mantenimiento. (Fundamentación de ingeniería de fábricas).Diapositiva 6. Enfoque sistémico Kantiano del mantenimiento. Yopal, Julio 2014

reciprocantes, eléctricos, instrumentación & control y PSV'S) apoyados en la norma SAE JA-1012; la norma ISO 14224 Petroleum And Gas Natural Industries-Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment. Los equipos se clasificarán según el grado de criticidad, determinando el tipo de mantenimiento que se les deberá aplicar y los criterios para la centralización o descentralización del mantenimiento especializado, como parte del diseño del modelo de gestión para implementación del mantenimiento productivo total (TPM)

¿Contribuye un modelo de gestión para la implementación del TPM en las facilidades Cupiagua NW, en la mejora de los indicadores de eficacia global de planta (OEE)? La respuesta a lo anterior, se presenta en este documento donde se demuestra los beneficios que se podrían obtener con este modelo de mantenimiento.

3. JUSTIFICACIÓN

La facilidad cupiagua NW Supera los cuatro (4) años de estar operando, no obstante, los componentes de la misma como los diferentes sistemas y subsistemas llevan varios años de funcionamiento en otras áreas geográficas, ejemplo de ello, algunos equipos se encontraban instalados en el pozo XL5 y en el Pozo E-10.

Ecopetrol es el Operador de los activos inherentes a la plataforma de los pozos NW-40 Y NW-43, los cuales fueron entregados para que sean operados y mantenidos mediante contrato de delegación de área a STORK TECHNICAL SERVICES, (quien es una compañía líder en el sector de OIL & GAS, con cuatro grandes unidades de negocios: Operación y Mantenimiento (O&M), Proyectos y Construcciones (P&C), Servicios de facilidades Temporales (SFT) y Consultoría). Ecopetrol delegó todos los sistemas existentes de la facilidad NW excepto, los árboles de navidad (los cuales constan de un cabezal con un arreglo de válvulas y dispositivos de seguridad que permiten controlar la salida de los fluidos de producción de los pozos), los encerramientos de los paneles de control de los pozos, los sistemas hidráulicos de actuación y el manifold de entrada y salida.

Dado que el equipo estático, como las vasijas V-0101 (Separador) y V-0105 (Tambor de tea) principalmente y las diferentes líneas de flujo dan muestra de adelgazamiento de los espesores debido al desgaste por la fricción de los fluidos y a eventos de corrosión, se ha hecho necesario fortalecer las estrategias predictivas de integridad.

Ecopetrol tiene una base de datos integrada con el EPR MINCON ELLIPSE, donde existe una taxonomía de equipos y un árbol de jerarquías de equipos, que facilita la administración de la operación y el mantenimiento, a partir de la existencia de esta y otras herramientas resulta un camino más amigable para

pensar en un modelo de gestión para implementar la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM). Este modelo fertiliza el terreno para el lanzamiento de esta filosofía organizacional, que enfoca todos los esfuerzos hacia el aumento de la productividad, disminución de costos, riesgos y accidentes, basados en la capacitación, motivación y desarrollo del principal recurso, el humano. Adicionalmente el TPM es muy flexible y permite cohesionarse con otros tipos de mantenimiento como el RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) y el PMO (Optimización del Mantenimiento Planeado). En resumen el Modelo de gestión busca seducir a la alta dirección para estructurar el TPM como cultura organizacional².

² TPM. Implementación en la empresa. Diapositiva 2. Material de estudio UIS.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de gestión para la implementación del Mantenimiento productivo total (TPM) en las facilidades tempranas CUPIAGUA NW

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información primaria y secundaria de los antecedentes de diseño, construcción, operación y mantenimiento de la facilidad NW
- Realizar un análisis de criticidad y generar un diagnóstico del mantenimiento actual de la facilidad.
- Establecer indicadores de gestión desde los aspectos económicos y operativos en la implementación del TPM
- Proponer estrategias para la implementación del TPM en la facilidad a partir del análisis de la información del paquete de compresión de gas natural NW-Z-0101 B como sistema piloto. .

5 MARCO CONCEPTUAL

5.1 GENERALIDADES

Hoy en día el plan estratégico de las empresas, incluye perspectivas enfocadas a aumentar la rentabilidad del negocio, la mayoría utilizan indicadores financieros que pueden medir en términos cuantitativos cuanto valor se ha aumentado a la compañía en un periodo determinado. En este modelo de gestión más adelante, en el capítulo 8, se explica cómo mediante la implementación del modelo TPM en las facilidades Cupiagua NW, como cultura organizacional se podría efectivamente impactar sobre estos indicadores y en el aumento de la producción.

“Las Facilidades de Producción comprenden los procesos, equipos y materiales requeridos en superficie para la recolección, separación y tratamiento de fluidos, así como la caracterización y medición de cada una de las corrientes provenientes de los pozos productores, bien sea crudo, gas o agua e impurezas³.

La facilidad cupiagua NW opera bajo el estándar ASP (Assurance Safety Process) Aseguramiento de la seguridad de procesos, la cual se encarga de mantener la integridad de los equipos y la seguridad de los procesos dentro de los límites de ventanas operativas y ventanas de paradas.

5.1.1 Descripción de la facilidad Cupiagua NW

La facilidad Cupiagua NW, es la encargada de recibir los fluidos de producción del pozo Cup NW-43 /40 para aliviar la presión de flujo y luego aumentar la presión por medio de bombas y compresores para enviarlos al cabezal general de SON (Superintendencia de Operaciones Nororiente Cupiagua). La facilidad Cupiagua

³ BECERRA, F y ESCOBAR, M. Facilidades de superficie: diseño, funcionamiento y operación. Petrogroup: Training & Consulting Company. Bogotá, Colombia. 2010, P.2.

NW, consiste principalmente de un separador Bifásico que segrega el líquido del gas, un paquete de compresión que presuriza la corriente de gas, un sistema de bombeo que presurizan la corriente de líquido, un sistema de relevo compuesto por un tambor de tea y una tea de foso; adicionalmente la facilidad cuenta con un generador a gas, un generador Auxiliar que opera con diesel y dos paquetes de compresión de aire para instrumentos y otras utilidades.

5.1.2 Localización geográfica EPF-NW

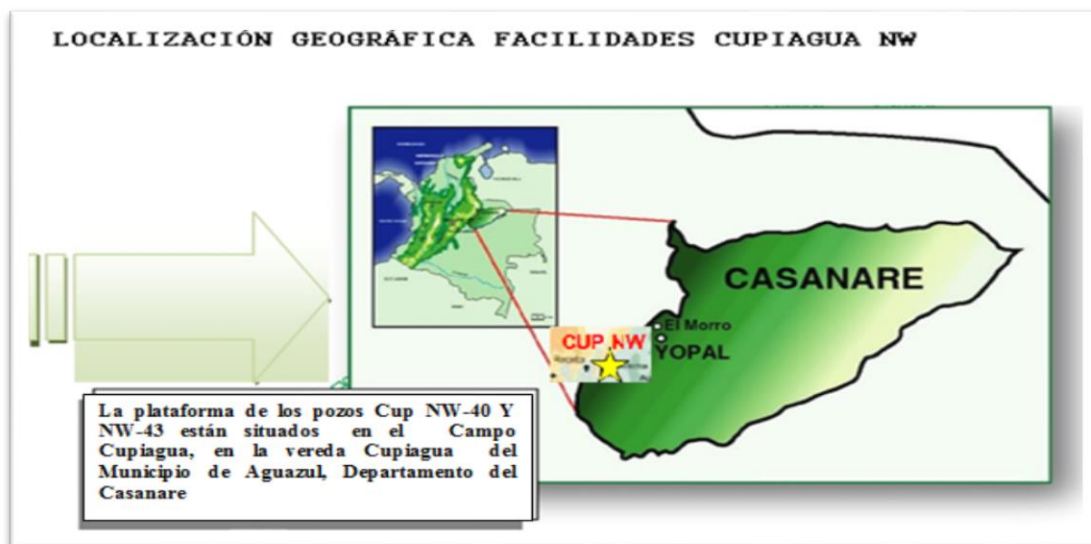
La plataforma de los pozos Cup NW-40 Y NW-43 están situados en el Campo Cupiagua, en la vereda Cupiagua del Municipio de Aguazul, Departamento del Casanare y se encuentra comunicada con la marginal del corregimiento de Cupiagua por una vía destapada a 0.4 km aproximadamente y a una distancia del municipio de aguazul de 20 km en la vía hacia Sogamoso (Boyacá)

Tabla 1. Condiciones ambientales del lugar

Ítem	Valor
Altura sobre el nivel del mar	1620 ft
Presión atmosférica	14.4 psia
Temperatura mínima	59 °F
Temperatura máxima	104 °F
Nivel de precipitación	MAX. 9 IN en 24 horas
Precipitación anual promedio	80-180 pulgadas anual
Humedad relativa	50-95 %
Zona de riesgo sísmico	4
Máxima velocidad del viento	55 millas / hora
Direcciones predominantes del viento	NNE

Fuente: Manual de operaciones, Petrotiger Año 2012.

Figura 2. Localización geográfica del EPF-NW



Fuente: Ecopetrol, Mayo de 2014.

Figura 3. Fotografía Satelital geolocalización plataforma NW.



Fuente: Google Maps. Vista satelital. Año 2010.

Figura 4. Fotografía, Panorámica Facilidad NW



Fuente: Ecopetrol Facilidad NW. Año 2014.

5.1.3 Antecedentes de la facilidad Cupiagua NW

Ecopetrol mantiene en operación las facilidades temporales de producción en los Pozos CUP-NW-40 y CUP-NW-43 desde el año 2011, como una alternativa de aplicación a corto plazo para lograr que los fluidos del pozo adquieran la energía necesaria para fluir a la red de las líneas de flujo que se procesan en Cupiagua, aumentando la producción.

5.1.4 Descripción del proceso de la facilidad Cupiagua NW

La facilidad Cup NW recibe los fluidos de los pozos Cup NW-40 y NW-43 que son controlados a través de un choke individual 280/64” el cual se puede maniobrar de acuerdo a las necesidades de operación para el control de los yacimientos y los procesos.

Los fluidos ingresan al Manifold donde se pueden dirigir directamente a la línea CPF-CUP o ingresar a la facilidad, por donde pasan por el separador horizontal V-0101 donde se separan los líquidos y el gas. Las válvulas de alineación de los pozos con el manifold de producción permanecerán en posición normalmente abierta, permitiendo flujo en caso de parada de las facilidades.

El gas sale del separador V-0101 al paquete de compresión Z-0101 por medio de la línea de 8”, el paquete de compresión consta de dos compresores marca Ingersoll-rand, A y B, de tipo recíprocante y de dos etapas, impulsados por motores marca WAUKESHA L-7042. Los compresores succionan el gas a una presión de 150-250 psi para ir incrementando la presión a 480 -500 psi, que es la presión de descarga de primera etapa, para posteriormente elevar la presión a 750-800 Psi, presión de la descarga de la segunda etapa, cuyo propósito es vencer la presión de la línea, 800 psi aproximadamente todo bajo la capacidad de potencia del motor y el volumen de gas a comprimir.

La fase líquida, agua y crudo, salen del separador V-0101 por la línea de 6” que luego pasan por uno de los filtros tipo “y”, F-xxxx A y B, para llegar a una de las bombas centrífuga (booster) P-0104 A o B, cada una cuenta con una válvula de seguridad de presión (PSV); continúan por uno de los filtros tipo canasta F-0101 A o B, para ser bombeados por las bombas centrífugas de transferencia multietapas P-0102 A o B al manifold de producción, venciendo la presión de la línea a 800 psi aproximadamente, cada bomba cuentan con una PSV como sistema de protección por sobrepresión.

Los líquidos son medidos por medio de una turbina de 2.5", FE-0101, con indicación de flujo, FIT-0101, y luego se mezcla con el gas de los compresores de gas.

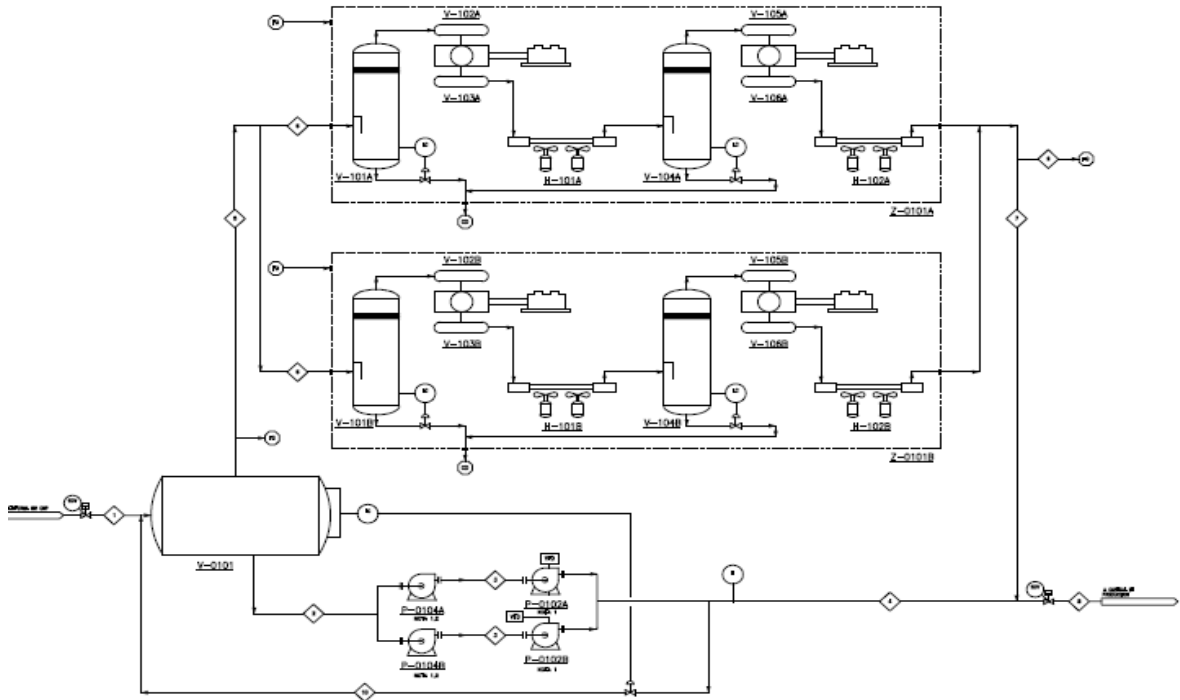
Antes de la turbina de medición de líquidos se cuenta con una línea de recirculación de líquidos hacia el separador V-0101, regulada por la LCV-0101 de 1" de capacidad de manejo 6000 BPD.

Todo el sistema de drenaje cerrado y relevos van al tambor de tea V-0105, donde los líquidos son devueltos por medio de una bomba de cavidades progresivas, P-0103, y capacidad de bombeo de 20 GPM al separador de producción V-0101, se pega a la línea de recirculación del sistema de bombeo; el gas es quemado en la tea y cuantificado por un medidor ultrasónico, para evitar que la llama se retroceda hacia el tambor de tea se tiene un flame arrestor, quien en paralelo, en un by-pass de 2", tiene un disco de ruptura en aras de evitar la sobrepresión en el sistema de tea en caso de taponamiento del flame arrestor.

Cuenta con dos tomas para la inyección de químicos en la entrada y la salida de gas del separador de producción V-0101; igualmente habrá cupones de corrosión en la salida de gas del separador de producción y la salida de líquido del tambor de tea V-0105⁴. ...Ver figura 4....

⁴ Información secundaria, cumplimiento con el primer objetivo de la investigación. Cortesía Ecopetrol

Figura 5. P&D Diagrama de flujo del proceso EPF-NW.



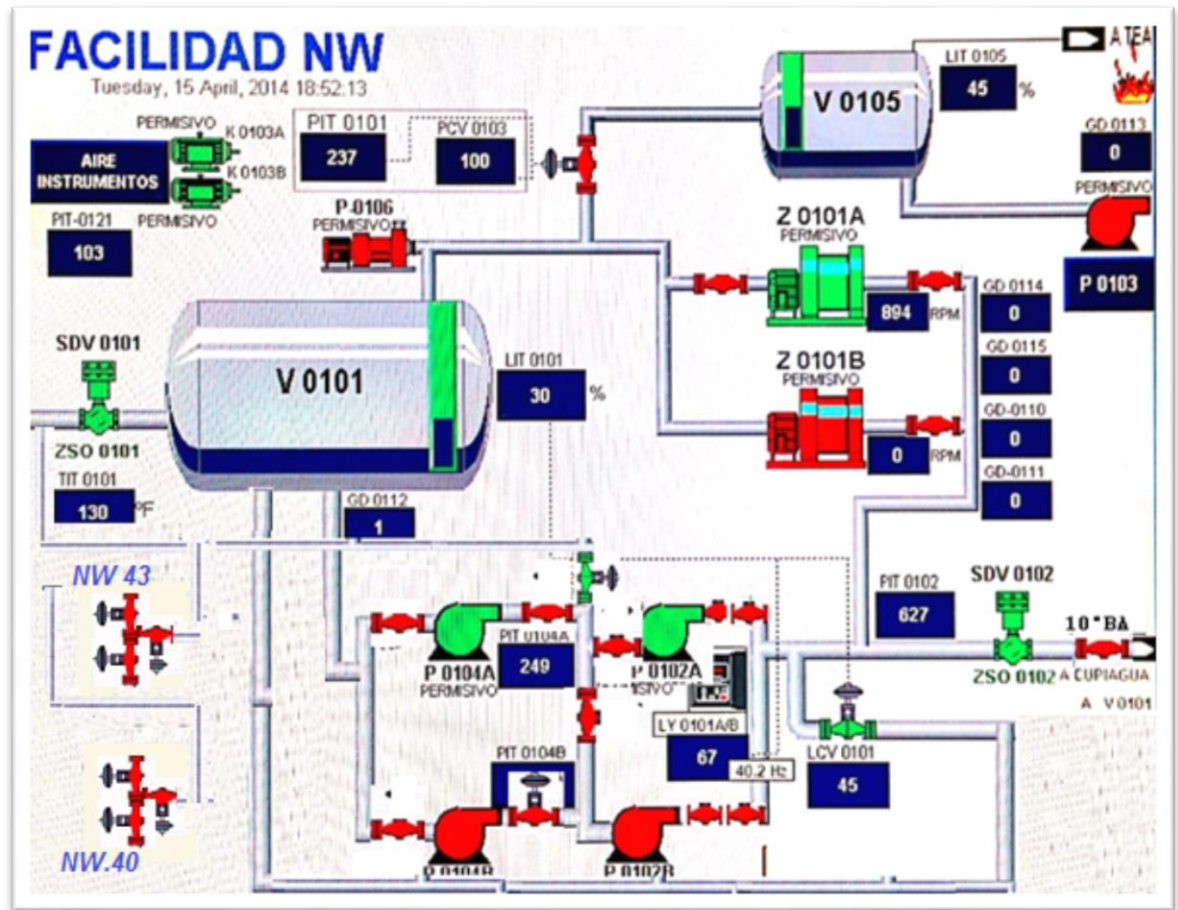
Fuente: Cortesía Ecopetrol. Facilidad NW. Año 2010.

Los servicios auxiliares de 480V, los suministra un generador Stanford de 450 kW de potencia, que actúa como principal, acoplado con un motor a gas Marca Cummins 28GL, En caso de emergencia por falla del generador Principal, existe un generador Auxiliar de 250 kW de Potencia movido por un motor diesel, con enclavamiento mecánico porque no hay sincronismo entre los dos generadores. Es decir que siempre opera solo un generador a la vez.

La facilidad Cupiagua NW, además cuenta con un paquete de aire utilitario, que consta de dos compresores de tornillo Ingersoll Rand, que suple las necesidades para mantener el suministro neumático de aire de las válvulas SDV-0101, SDV-0102, y la válvula PCV-0103. Un sistema de almacenamiento de diesel V-0106 y

un sistema contraincendios compuesto por una bomba tipo Vanes movida por un motor diesel Marca Perkins y una red contraincendios con seis (6) hidrantes

Figura 6. Mímico del proceso sistema Scada .HMI –EPF -NW



Fuente: Ecopetrol. 15 de Abril de 2014.

5.2 SISTEMAS DE LA FACILIDAD -CUIPIAGUA NW

5.2.1 Sistema del Manifold

La recepción de los fluidos de los pozos CUP NW40/NW43 a la facilidad temporal Cup NW se realiza por medio de una serie de intervenciones que se efectuaron principalmente a la línea 10"-PH-PWP-NW-01003-I4A5-UC (línea rating 2500 que comunicaba el pozo NW40 con el skid manifold NW) y al skid manifold NW.

A la línea 10"-PH-PWP-NW-01003-I4A5-UC se le realizaron los siguientes puntos tie-in:

Uno que permite la alimentación a la facilidad temporal Cup NW con fluidos del pozo NW40 (tie-in 001) y el otro que entrega los fluidos de facilidad temporal NW (tie-in 002) a esta misma línea (antes de llegar al área del Skid Manifold. F-PWP-NW-PRE-01-501-1/1).

Para poder incluir los fluidos del pozo NW43 (y otros pozos futuros) a la facilidad temporal Cup NW, se conectó una nueva línea (tie-in 003) rating 900 desde el Skid Manifold hasta la entrada de facilidad Cup NW, aguas abajo del tie-in 001.

Se cuenta con una línea de 2" que sirve para presurizar el separador de V-0101 y los compresores de gas sin tener que chocar el pozo en el momento de alinear la facilidad, esta línea de presurización va desde la línea general a la línea de entrada de prueba.

Las válvulas de alineación de los pozos con el manifold de producción se dejarán en posición normalmente abierta, permitiendo flujo en caso de parada de la facilidad.

En caso de que haya cualquier disparo en la Facilidad y se saque de servicio, ante una presurización de la línea general a más de 900 psig y un posible flujo en reversa por la descarga de bombas y compresores de gas, así se tenga doble cheque en la descarga de compresores, cheque en la descarga de las bombas full rating ANSI 600 # (1250 psig) y PSV-0102A/B con set a 675 psig se debe cerrar

por precaución la válvula manual 8"-BA-312 de la línea 8"-PF-01031-E2A1, ya que no se cuenta con la SDV-0102.

Las nuevas líneas de flujo para la interconexión con la facilidad están dimensionadas para manejar el 100% del flujo de diseño y no se provee ningún tipo de respaldo, igualmente aplica para el caso las válvulas de corte y parada de emergencia ubicadas sobre estas líneas.

Instrumentos para su protección y puntos de ajuste:

Tabla 2. Instrumentos de protección del Manifold.

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	PUNTO DE AJUSTE	NIVEL DE APAGADO
PSH-0108	Switch por alta presión	720 psig	xxxx
PSL-0108	Switch por baja presión	500 psig	xxxxx

Fuente: Manual de operaciones. Ecopetrol / Petrotiger. Año 2011.

5.2.2 Sistema de separación

Consta de un separador horizontal bifásico ANSI 300 TAG V- 0101 con capacidad de manejo de gas 20 MMSCFD, líquidos entre 4000 a 6000 BPD, presión de operación 100-300/400 psi, temperatura de operación 120-140/200 °F. La boquilla de evacuación de líquidos principal (6"), tiene una capacidad de manejo muy superior en el separador de los 6000 BPD requeridos en el diseño.

Los resultados de cálculo de capacidad máxima de manejo de gas del separador de acuerdo a la presión de operación se presentan...en la Tabla 3...

Tabla 3. Capacidad máxima de manejo de gas de separador de acuerdo a criterios de velocidad en las boquillas del separador.

Diámetro boquilla de entrada	In	10			
		Temperatura	°F	120	120
Presión	Psig	100	150	200	300
Flujo estándar de gas	MMSCFD	15	20	21	30
Flujo de líquido	BPD	4400	4000	6000	6000
Densidad mezcla	kg/m3	16.6	19.2	31.08	48.58
Velocidad	m/s	14.6	13.1	10.6	6.8
ρV^2	Pa	3500	3300	3500	2150

Fuente: Manual de operaciones. Ecopetrol / Petrotiger. Año 2011.

El separador de producción V-0101 tiene capacidad para las condiciones de diseño (presión, temperatura y flujo) requeridas en el documento SOR (*statement of requirement*) y no requiere de modificaciones mayores en su configuración para su operación con los pozos Cup NW -40 y 43.

Una línea de gas de 3" se toma de la línea de gas que sale del separador V-0101 de 10" como gas combustible que va a los schrubber xxxxx para retirarle los componentes pesados y luego pasa al filtro combustible del paquete de compresión, generador y piloto de tea, con un regulador de seting de presión de 125 psi. El gas de arranque para los compresores sale en una línea de 2" con un regulador de setting de presión 125 psi, para cada compresor de gas. Una línea de gas de quema regulada por un RO-0102, 0.2745 in, sale en línea de 2" para

mantener encendido la llama en la tea, La quema debe estar menor a 100 MSCFD.

El lazo de control de nivel de líquidos acumulado en el separador consta de un transmisor de nivel LIT-0101, un controlador de nivel LIC-0101 y la válvula de control LCV-0101.

De acuerdo con los certificados de instrumentos, el separador V-0101 está protegido con una PSV-0101 A ò B, cuyo tamaño de orificio (actual) es K, ajustada a 400 psig (presión de diseño de la vasija). Con esta PSV, tiene una capacidad requerida de **3,8E4lb/h**, que en términos de flujo molar corresponde aproximadamente a **23 MMSCFD**, descarga al tambor de tea, V-0105, y luego se quema en la misma tea. La PCV-0103, con un setting por encima de la presión de operación del separador V-0101, que envía el gas hacia la tea en caso de salida del compresor de gas; PSH-0101 a 320 psi; PSHH-0102 A 330 psi; PSL-0101 a 280 psi y PSL-0103 a 70 psi.

Instrumentos para su protección y puntos de ajuste:

Tabla 4. Protecciones del separador y puntos de Ajuste.

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	PUNTO DE AJUSTE	NIVEL DE APAGADO
LAHH -0101	Alto –alto nivel	39”	
LAHH -0101B	Alto –alto nivel	39”	
LAH- 0101A	Alarma alto nivel	32”	
LAL -0101A	Alarma bajo nivel	20”	
LALL -0101	Bajo –bajo nivel	14”	
LALL-0101 B	Bajo –bajo nivel	14”	

Fuente: Manual de operaciones. Ecopetrol / Petrotiger. Año 2011

La presión de operación en el separador de producción se puede manejar en un rango de 100 a 300 psi. Por tanto se establecen condiciones para tres escenarios de presión. 100 psi, 200 psi y 300 psi.

Tabla 5. Escenarios de presión del separador V-0101

SEÑAL	PUNTOS DE AJUSTE		
	300 psi	200 psi	100 psi
Presión de operación			
HH-0101	330 psi	330 psi	330 psi
H -0101	320 psi	230 psi	130 psi
L-0101	280 psi	180 psi	80 psi
L-0103	80 psi	80 psi	80 psi
V-0101 A/B	400 psi	400 psi	400 psi

Fuente. Manual de operaciones Ecopetrol / Petrotiger. 2011

5.2.3 Sistema de bombeo

Del separador V-0101 salen los líquidos por una línea de 8”, pasan por un filtro tipo “y” los cuales llegan a las bombas de refuerzo (booster). Con el fin de proveer la cabeza necesaria para la operación adecuada de las bombas de transferencia (P-0102A/B), se utiliza bombas booster (P-0104 A y B) cuyas características y condiciones de operación son:

Capacidad de flujo: **2000 – 6000 BFPD**

Presión de succión: **100 – 300 psig**

NPSHR: 2 ft

TDH: 23 ft

De la descarga de las bombas de refuerzo (booster P0104 A y B) los líquidos pasan a través de los filtros tipo canasta F-0101 A y B y llegan a las bombas de transferencia (P-0102 A y B) con las siguientes características.

Tipo de bomba: centrífuga (*Split case*)

Marca: WOOD GROUP ESP

Referencia: TE5500 (ESP 538 series)

Capacidad Max: **8000 bpd**

No de etapas originales: 86 (41/35)

No de etapas en NW-40/43: 41

Presión descarga @ 41 etapas: **600-800 psig**

NPSHR: 11 FT

Potencia 250 HP/460 V

Velocidad motor 3560 RPM

Para las bombas de transferencia, P-0102 A/B, con una presión de despacho de 800 libras, **el intervalo operativo de las bombas de transferencia sería de 2000 a 8000 bbls/día** (51-60 Hz respectivamente), intervalo operativo que es consistente con las condiciones máximas operativas requeridas para la Facilidad Cup NW. La frecuencia por encima del mínimo recomendado (40 HZ), esto significa que la configuración de la bomba para la facilidad Cup NW elimina la posibilidad de riesgo de fallas por disipación de calor en el motor.

Debido a que se trata de un sistema en serie de bombas (booster + transferencia), las bombas de transferencia ya no podrán hacer uso del variador de velocidad para controlar el flujo de la facilidad, sino que tendrá que fijarse una razón de flujo para 6000 bbls/día (flujo de diseño requerido por el cliente). Las dos bombas en serie (booster + transferencia) tendrán un solo sistema de recirculación de mínimo flujo, que le dará flexibilidad a la facilidad para operar dentro de un rango de flujo que se indicara más adelante en este documento.

5.2.3.1 Flujo mínimo de las bombas

Para asegurar el flujo mínimo de las bombas, en el caso que sea requerido, se recirculará fluido hacia el separador de producción V-0101 mediante el uso de la válvula controladora de flujo LCV-0101. Esta válvula recibe señal del controlador LIC- 0101A ubicado en el separador de producción V-0101. En la descarga de las bombas se cuenta con un medidor de flujo ultrasónico de efecto doppler tipo clamp on conectado a un indicador de flujo, FI- 0101, el cual indica la rata de flujo y el total producido de líquidos durante las 24 horas.

La descarga de las bombas contará con indicador local y transmisor de presión para apagado de las bombas por muy alta presión. Además, el operador podrá apagar manualmente las bombas mediante una botonera ubicada en el sitio. El encendido de las bombas se hará únicamente de manera manual.

En cuanto a las protecciones por presión, El sistema de protección por sobre presión en la succión de las bombas estará conformado por dos niveles: el primero consiste en señales de alarma en el cuarto de control por alta presión diferencial a través de los filtros de succión y los transmisores de presión PIT- 0104 A/B con alarma por alta y baja presión de succión de cada bomba, y el segundo en las válvulas de alivio de presión PSV-0103A/B, que descargan el líquido presurizado al cabezal de drenaje cerrado.

Tabla 6. Instrumentos para protección y puntos de ajuste

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	PUNTO DE AJUSTE	NIVEL DE APAGADO
PAHH-0102	Alarma por alta - alta presión	800 PSI	
PAHH-0106 A/B	Alarma por alta-alta presión	880 PSI	
PAH-0108	Alarma por alta presión	820 PSI	
PDAL-0104 A/ B	Alarma de presión diferencial	5 PSI	
PAL-0104 A/ B	Alarma por baja presión	90 PSI	
PAL-0108	Alarma por baja presión	500 PSI	
PALL-0102	Alarma por baja-baja presión	450 PSI	
PSV -0102 A/ B	Válvula de seguridad	685 PSI	
PSV -0104 A/ B	Válvula de seguridad	1250 PSI	
FQI- 0101	Totaliza el flujo de líquidos de		
IP	Indicador de presión		
IT	Indicador de temperatura		
SDV-0102	Válvula de Shut Down		
LCV-0101	Válvula controladora de nivel		

Fuente: Manual de operaciones. Ecopetrol / Petrotiger. Año 2011

5.2.4 Sistema de compresión

El gas proveniente del separador V-0101 se envía al paquete de compresión Z-0101 A y B de tipo reciprocante de dos etapas los cuales descargan a una presión capaz de vencer la presión de la línea de 800 psi, con estas condiciones el gas se mezclara con el crudo en la recombinación y se enviara por la línea de flujo al CPF-CUP. Debido a que los compresores son de tipo reciprocante de dos etapas, su operación no se verá afectada por los cambios de composición y densidad del gas de alimento que viene del separador de producción V-0101, adicionalmente es típico de estos compresores tener una gran flexibilidad en términos de ajuste del rango de presión de descarga. Se requiere ajustar la presión de descarga de los skid de compresión a 800 psi, y tal como lo confirma el cálculo correspondiente del compresor, se tiene la siguiente tabla de condiciones de operación:

Tabla 7. Comparación de las condiciones de operación MAXIMA esperada por paquete de compresión Z-0101 A / B

P succión (psig)	P Descarga (psig)	T. succión (F)	Flujo máximo (MMSCFD)	Potencia BHP
100	800	120	8.8	920
150		120	9.8	920
200		120	11.8	920**
250		120	13.8	920**
300		120	16.3	920**

Fuente. Manual de operaciones. Ecopetrol / Petrotiger. Año 2013.

De acuerdo con las tablas anteriores, en el caso de una succión de 100 psig, el flujo máximo de gas que pueden manejar los dos paquetes de compresión juntos para una descarga de 800 y 600 psig es de 15.4 y 16.8 MMSCFD respectivamente. Para este caso se requiere mantener los bolsillos totalmente abiertos.

De la tabla se puede apreciar que para manejar 20 MMSCFD (flujo de diseño de gas dado en el SOR), las mejores condiciones en la presión de succión se dan a partir de 150 psi hasta 250 psi.

Este valor de carga de gas de diseño es consistente con el sistema de alivio de los compresores dadas por las válvulas de alivio de la primera etapa (PSV 5C1) y segunda etapa (PSV 5C2) con capacidades de 20 y 22 MMSCFD respectivamente.

** Para poder ajustar la potencia indicada, se requiere en estos casos ajustar los cierres de los bolsillos VVP y ajuste de reciclo

El flujo mínimo óptimo que puede manejar cada compresor con una succión de 100 psig es de aproximadamente 4 MMSCFD.

De igual manera, cada compresor tendrá reciclo de gas desde la descarga de la segunda etapa de compresión hacia el separador de la primera etapa de compresión.

El compresor se apagará por acción del sistema de seguridad (ESD y PSD).

El nivel de condensado en los separadores de succión de cada etapa del compresor será controlado mediante las válvulas de control, LCV-10H3 A/B, LCV-10J3 A/B; que actúan por señal del controlador de nivel.

Se contará con orificios para la medición de gas producido en la descarga de cada compresor, FE-0102 A/B, con FIT-0102 A/B al cuarto de control.

Sobre la línea de salida de las botellas de descarga de los compresores, se contará con válvulas de alivio de presión PSV-5C1A / 5C1B.

Así mismo, si se presenta alta presión en el separador V-0101 se genera un comando de apagado del compresor.

El set point de los PSL de succión de los dos compresores a gas tienen una diferencia de 15 psi entre uno y otro, con el fin de que se detenga primero el de menor a set point y luego el otro por una situación de baja presión y así evitar el impacto en el tambor de tea y el quemadero al salirse los dos compresores en el mismo momento.

Tabla 8. Instrumentos para protección y puntos de ajuste.

Sistema de protección local.	Setting	Ubicación.
PSV-0108 A / B	425 psi	Entrada del compresor.
PSV-5C1 A1 / B1	645 psi	Descarga segunda etapa.
PSV-5C1 A2 / B2	1250 psi	Descarga segunda etapa.
PSV- E110 A / B	35 psi	Línea de gas combustible.
PSHH-10A1 A / B	350 PSI	Succión primera etapa.
PSLL-10A1 A	80 PSI	Succión primera etapa.
PSLL-10A1 B	65 PSI	Succión primera etapa.
PSHH-10A1 A / B	650 PSI	Descarga primera etapa.
PSLL-10A1 A / B	250 PSI	Descarga primera etapa.
PSHH-10A1 A / B	850 psi	Descarga segunda etapa
PSLL-10A1 A / B	650 psi	Descarga segunda etapa

Fuente. Manual de operaciones. Ecopetrol / Petrotiger. Año 2013

5.2.4.1 Paquete de compresión NW-Z0101A

Figura 7. Cuadro datos paquete de Motor-Compresor Z-0101 A

DATOS PRINCIPALES			
Código del Equipo	Z-0101 A. Motor	Ruta	No.
Descripción del equipo	Motor de la unidad compresora	Clase	Detiene el Proceso
Ubicación Física	EPF-NW-UCG1	Estado	A-Recibido en préstamo
Referencia	Conn. Rod 20540 TH	Equipo Raíz	No
Marca	Waukesha	Serial	380356
COMPRESOR			
Código del Equipo	Z-0101 A. Compresor	Ruta	No.
Descripción del equipo	Compresor	Clase	Detiene el Proceso
Ubicación Física	EPF-NW-UCG1	Estado	A-Recibido en préstamo
Referencia	Stroke 5,5"	Equipo Raíz	Si
Marca	Ingersoll Rand	Serial	N/T

Fuente. Administrador de mantenimiento. Ecopetrol- Año 2013.

5.2.4.2 Paquete de compresión NW-Z0101B

Figura 8. Cuadro datos paquete de Motor-Compresor Z-0101 B

DATOS PRINCIPALES			
Código del Equipo	Z-0101 B. Motor	Ruta	No.
Descripción del equipo	Motor de la unidad compresora	Clase	Detiene el Proceso
Ubicación Física	EPF-NW-UCG2	Estado	A-Recibido en préstamo
Referencia	Conn. Rod CP8039	Equipo Raíz	No
Marca	Waukesha	Serial	289300
COMPRESOR			
Código del Equipo	Z-0101 B. Compresor	Ruta	No.
Descripción del equipo	Compresor	Clase	Detiene el Proceso
Ubicación Física	EPF-NW-UCG2	Estado	A-Recibido en préstamo
Referencia	Stroke 5,5"	Equipo Raíz	Si
Marca	Ingersoll Rand	Serial	N/T

Fuente. Administrador de mantenimiento. Ecopetrol- Año 2013.

5.2.5 Sistema de Gas combustible

La facilidad Cup NW no cuenta con un sistema de tratamiento de gas combustible. El gas obtenido del separador es enviado hacia el paquete de compresión de gas de proceso y hacia el generador principal. Tanto el paquete de compresión como el regenerador disponen de schrubbbers de gas a fin de garantizar la entrada de gas libre de humedad a los motores.

5.2.6 Sistema de tea y drenaje cerrado

El cabezal de tea línea 10"- VL-06020-A2A1 recibe todos los disparos de las válvulas de seguridad de los diferentes equipos, compresores de gas, separador de producción, los cuales van hasta el tambor de tea V-0105, separador atmosférico horizontal con capacidad de 60.0 Bbls de líquidos, 35 MMSCFD de

gas y presión de diseño de 250 psi @ 200 °F, y luego a la tea de foso FS-0101 para su quema.

El cabezal de drenaje cerrado línea 3"-DC-09009 A2A1 recibe todos los fluidos de drenaje de los diferentes equipos, bombas, compresores de gas y separador de producción; entran al tambor de tea V-0105 por la boquilla superior de 3" de diámetro y son enviados nuevamente al separador V-0101 por una línea de 2" por medio de la bomba P-0103, de cavidades progresivas de 20 GPM, la cual tiene encendido automático por alto nivel por medio del LIT-0105 y se apaga por bajo nivel. Se cuenta con la facilidad de instalación de una bomba portátil en caso de falla de la bomba P-0103. Por seguridad se cuenta con un Switch LSHH-0105 para SD de la facilidad.

El foso de tea se mantiene encendido por la línea de 2" de gas de quema que sale del separador V-0105 y pasa por el tabor de tea; se cuenta con un piloto de tea que llega directamente al foso de tea por medio de una línea de 2" que sale del gas combustible.

El gas enviado a la tea será calculado con un medidor ultrasónico, FQI-0103, y cuenta con un indicador local. Se cuenta un flame arrestor FA-0105 y un disco de ruptura PSE-0105 a 40 psi ante un taponamiento de este. Por seguridad se tiene el Switch PSHH-0119 que haría SD de la facilidad. Se cuenta con la alarma FSD-0103 por presencia de fuego en la tea.

Tabla 9. Condensados aportados por paquetes de compresión, considerando un flujo de gas de diseño de 20MMSCFD

Presión de succión compresores (psig)	100	200	300
Condensados schrubber 1ra etapa bbls/día	35	11	5
Condensados 2da etapa schrubber bbls/día	5	4	4
Total bbls/día	40	15	9

Fuente. Manual de operaciones. Ecopetrol / Petrotiger. Año 2013.

Se debe tener en cuenta que el permiso de quemas de gas para todo el campo Cupiagua es de 0.12 % de la producción total de gas.

Para su monitoreo, control y protección el sistema cuenta con la siguiente instrumentación y puntos de ajuste.

Tabla 10. Instrumentación y puntos de ajuste de la vasija V-0105

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	PUNTO DE AJUSTE	NIVEL DE
LAHH-0105	ALARMA POR ALTO- ALTO NIVEL	59"	
LAH-0105	Alarma por alto nivel	24"	
LAL-0105	Alarma por bajo nivel	12"	
LALL-0105	Alarma por bajo- bajo nivel	8"	
PAH-0119	Alarma por alta presión	40 PSI	
PAHH-0119	Alarma por alta -alta presión	60 PSI	
FQAH-0104	Flujo metro	16 MMSCFD	
PSV-0107	Válvula de seguridad	350 PSI	
FA-0105	Atrapa llamas		
PSE-0105	Disco de ruptura de tea	40 PSI	
FD-0103	Alarma de fuego en la tea.		

Fuente. Manual de operaciones Facilidad NW. Ecopetrol / Petrotiger.

5.2.6.1 Equipos que conforman el sistema de drenaje cerrado y tea

- **Tea de foso FS-0101 (trincho):**

Tipo: Foso

Capacidad: 22 MMSCFD

Material: Acero al carbón
Diámetro: 12" y 8" SCH 40
Longitud: aprox. 300 metros
Numero de brazos: 4

- **Bomba de tambor de tea**

P-0103 Bomba de cavidades progresivas

- **Tambor de tea V-0105**

Tipo: Horizontal
Dimensiones: 7'X20'T/T
Capacidad: 119.5 BBL
Presión de diseño: 250 psi@ 200F

5.2.7 Sistema de inyección de químicos

La facilidad del CUP NW, cuenta con unas tomas para la inyección de químicos en la entrada y la salida de gas del separador de producción, igualmente habrán cupones de corrosión en la salida de gas del separador de producción y la salida de líquido del tambor de tea.

5.2.8 Sistema de Generación

En la facilidad Cup NW se cuenta con dos sistemas de generación: Un generador a gas (480 KW) alimentado por una línea de 2" que sale de la línea de gas de 10"

del separador de producción V-0101 y el otro generador (250 KW) como respaldo/emergencia alimentado por diesel, combustible que se encuentra almacenado en un tanque con capacidad de 2300 galones. Estos generadores operan independientemente, debido a que no se tiene un sistema de sincronismo.

5.2.9 Sistema de Aire Utilitario

Para el sistema de aire de instrumentos, se cuenta con dos paquetes de compresión *Ingersoll-Rand*. Cada compresor cuenta con un secador de aire y un tanque de pulmón. Las características generales de este sistema son:

Capacidad: 20 scfm @ 125 psig

Presión de operación de compresores: 110 Psig

Temperatura de suministro de aire comprimido: 20 grados F por encima de la Temp. Amb.

Disponibilidad: 100%, un compresor estará operando, mientras que el otro será de respaldo.

5.2.10 Sistema contra incendios

La facilidad cuenta con una bomba Marca Barnes tipo vanes P-105 accionada por un motor Diesel Perkins. Con capacidad de 180 GPM a 125 psi, con una red contraincendios de seis hidrantes ubicados estratégicamente en el área de tea FS 101, separador V-0101, tambor de tea V-0105, Compresores y Pozos.

5.3 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS PAQUETE

Los “equipos empaquetados”, es decir aquellos equipos que por su exclusividad y complejidad fueron fabricados en el exterior directamente por proveedores especializados. Debido a condiciones de tamaño y peso y por condiciones de

transporte, la mayor parte de estos equipos fueron enviados a la planta para ser armados en sitio durante el proceso de construcción.⁵

Tabla 11. Equipos paquetes que se encuentran en la Facilidad NW.

ITEM	TAG	DESCRIPCIÓN
1	NW-V-0105	Tambor de tea
2	NW-Z-0101A	Paquete de compresión tren A
3	NW-Z-0101B	Paquete de compresión tren B (Objeto de Estudio).
4	NW-P-0104 A	Bomba booster tren A
5	NW-P-0104B	Bomba booster tren B.
6	NW-P-0102A	Bomba de transferencia tren A
7	NW-P-0102B	Bomba de transferencia tren B
8	NW-K-0103 A	Paquete de compresor de aire A
9	NW-K-0103 B	Paquete de compresor de aire B
10	NW-G-0101	Generador a gas NW
11	NW-G-0102	Generador a Diesel NW
12	NW-V-0101	Vasija separación producción V-0101
13	NW-P-0105	Bomba Contra incendio

Fuente. Arreglo Los Autores. Tomado del árbol de jerarquías. Facilidad NW

5.4 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS ESTÁTICOS

Son equipos estáticos los tanques, las vasijas y las líneas de flujo. Algunos equipos estáticos también son equipos paquetes.

Tabla 12. Equipos estáticos Facilidad NW.

ITEM	TAG	DESCRIPCIÓN
1	NW-V-0105	Tambor de tea
2	NW-V-0101	Vasija separación producción V-0101
3	NW-V-0106	Tanque de almacenamiento de diesel

⁵ RODRIGUEZ, M. Orlando, et al. En: Estrategias de Mantenimiento para la nueva planta de gas de Cupiagua. P. 43

4	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-054-1/1 Rev.:A&B	NW cupiagua low pressure flare
5	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 1/2	Sistema de compresión facilidad NW
6	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-053 1/2	Sistema de despacho y transferencia
7	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-055 1/1	Sistema de aire de instrumentos
8	FFD/F-PWP-NW-ELZ-00-050 1/1	Sistema de generación eléctrica
9	FFD/F-PWP-NW-ICJ-00-051 1/1	Sistema de control
10	FFD/F-PWP-NW-PRE-01-501 1/1	Diagrama tubería e instrumentación Plataforma de producción NW

Fuente. NW –Equipos críticos. Ecopetrol

Figura 9. Fotografía Vasija V-0101



Fuente. Ecopetrol NW

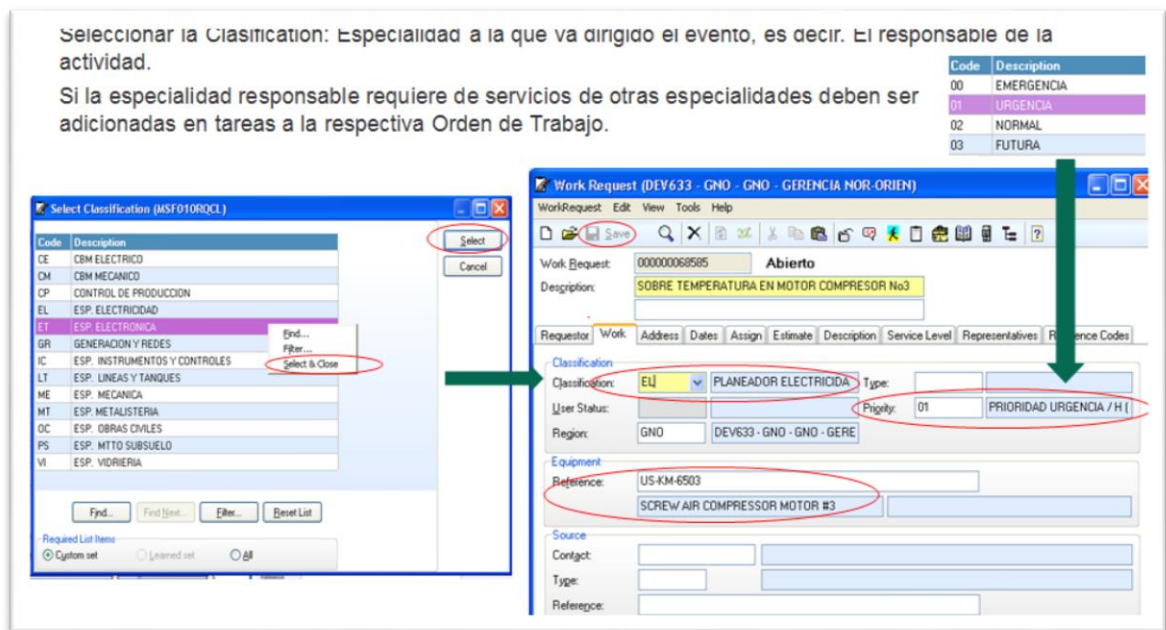
6 MANTENIMIENTO ACTUAL DE LA FACILIDAD NW

En la actualidad la Facilidad Cupiagua NW está siendo mantenida y operada por Stork Technical services, servicio prestado a Ecopetrol mediante contrato de

Delegación de área. Para la programación del mantenimiento se realiza a través de la plataforma ERP ELIPSE de Ecopetrol.

Con esta herramienta los emisores y/o autoridades de área solicitan la Work Request MSQ 541. (De La GNO-Gerencia Nororiente) donde se realiza la descripción del Equipo, La clasificación, especialidad y se le asigna la prioridad del mantenimiento.

Figura 10. Generación de la Work Request en Elipse.



Fuente: Taller Cmms Ellipse Superintendencia Operaciones Nororiente Cupiagua-Casanare. Ecopetrol 2014.

Posteriormente los planeadores o supervisores de cada especialidad crean y planean las órdenes de trabajo (MSQ620)

En la Facilidad NW se ejecutan los siguientes tipos de mantenimientos preestablecidos por el Software Elipse:

Tabla 13. Códigos y descripción de mantenimiento. ERP ELIPSE

CODIGO	DESCRIPCIÓN	
0	EMERGENCIA	CORRECTIVO
1	URGENCIA	CORRECTIVO
2	NORMAL	MEJORATIVO,PREDICTIVO, PREVENTIVO,CBM
3	FUTURA	PREVENTIVO,PREDICTIVO, CBM

Fuente. Taller Cmms Ellipse Superintendencia Operaciones Nororient Cupiagua-Casanare. Ecopetrol 2014.

Tabla 14. Planeación de OT-MSQ620

		Tabla WO	
Tipo de Orden de Trabajo	Work Order Type	AC	ACCIDENTE
		AM	MEDIO AMBIENTE
		AO	AJUSTE OPERACIONAL
		AT	ATENTADOS
		BC	BASADA EN CONDICION
		DI	DISEÑO
		ED	DIAGNOSTICO
		ET	ESTUDIO TECNICO
		FA	FACILIDADES
		GA	GARANTIA
		IL	ILICITOS
		IN	INGENIERIA
		IS	INSPECCION
		MA	MANTENIMIENTO
		ME	MEDICION
		MR	MTTO RUTINARIO
		PB	PARO DE BOMBEO
SI	SEGURIDAD		
SP	SERV. A POZOS		
SV	SERV. VARILLO		
SW	SERV. DE WORKOVER		
TA	PARADA DE PLANTA		
		Tabla MT	
Tipo de Trabajo	Maintenance Type	CO	CORRECTIVO
		ME	MEJORATIVO
		NM	NO MANTENIMIENTO
		PD	PREDICTIVO
		PV	PREVENTIVO
Estado Usuario	User Status	Ver Flujo del Proceso (Tabla WS)	
FRI	Fecha Requerida Inicio	Fecha Pronosticada en Planeación para ser concertada con Operaciones	
FRP	Fecha Requerida	Fecha requerida de Solución del problema, Información dada por el solicitante del Work Request.	
Asignado a	Assign Person	Registro del planeador en estado DA, PP, proceso de planeación. Registro del Coordinador en estado PL, para autorización	

Fuente. Taller Cmms Ellipse Superintendencia Operaciones Nororient Cupiagua-Casanare. Ecopetrol 2014

6.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE EMERGENCIA O URGENCIA

Reparación o mantenimiento no programado para regresar componentes o equipos a un estado determinado de funcionamiento, realizados porque el personal de mantenimiento o personal de operaciones perciben deficiencias o fallos.⁶

Para este tipo de mantenimiento se crea la respectiva WR y se diligencia formato de declaratoria de trabajo reactivo de mantenimiento GAC-F-001⁷. Aplica para la ejecución de actividades correctivas en los equipos.

6.2 MANTENIMIENTO MEJORATIVO

Contempla las mejoras realizadas a los equipos. Consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación. No es tarea de mantenimiento propiamente dicho, aunque lo hace mantenimiento

6.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Consiste en la inspección, periódica y armónicamente coordinada, de los elementos, equipos y procesos propensos a fallas y la corrección antes de que esto ocurra.

6.3.1 RCM.mantenimiento centrado en la confiabilidad operacional de equipos

El RCM fue originalmente definido, en 1978, por los empleados de la United Airlines: Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro “Reliability Centered

⁶DHYLLON B.S.Traduccion y adaptación de: Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. P.4.

⁷ ECOPETROL. Gestión de activos industriales grupo central de mantenimiento

Maintenance” (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad). De un reporte comisionado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

Existen algunas normas importantes en mantenimiento como la SAE JA1012 ("Guía para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) Estándar") amplifica y clarifica cada uno de los criterios clave que figuran en el SAE JA1011 ("Criterios de evaluación para los procesos RCM"), y resume los temas adicionales que se deben abordar para aplicar RCM con éxito.

6.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO CBM

Es una técnica que busca determinar el estado o condición de una máquina o sistema sin interferir su funcionamiento, detectar anomalías y predecir fallas antes de que éstas ocurran.⁸

Para la facilidad Cupiagua NW existe una estrategia de mantenimiento predictivo establecida, con un grupo multidisciplinario, que realiza CBM - Mantenimiento Basado en la Condición, CBM por las siglas de su nombre en Inglés Condition-based Maintenance, tiene como base la Monitorización de las condiciones o estado de los diferentes elementos de una máquina o equipo para decidir el momento óptimo (más adecuado) para realizar las tareas de mantenimiento. Tipos de Monitoreos realizados en la Facilidad NW.

6.4.1 Análisis de condición eléctrica

6.4.2 Monitoreo de vibraciones mecánicas equipo reciprocante y rotativo

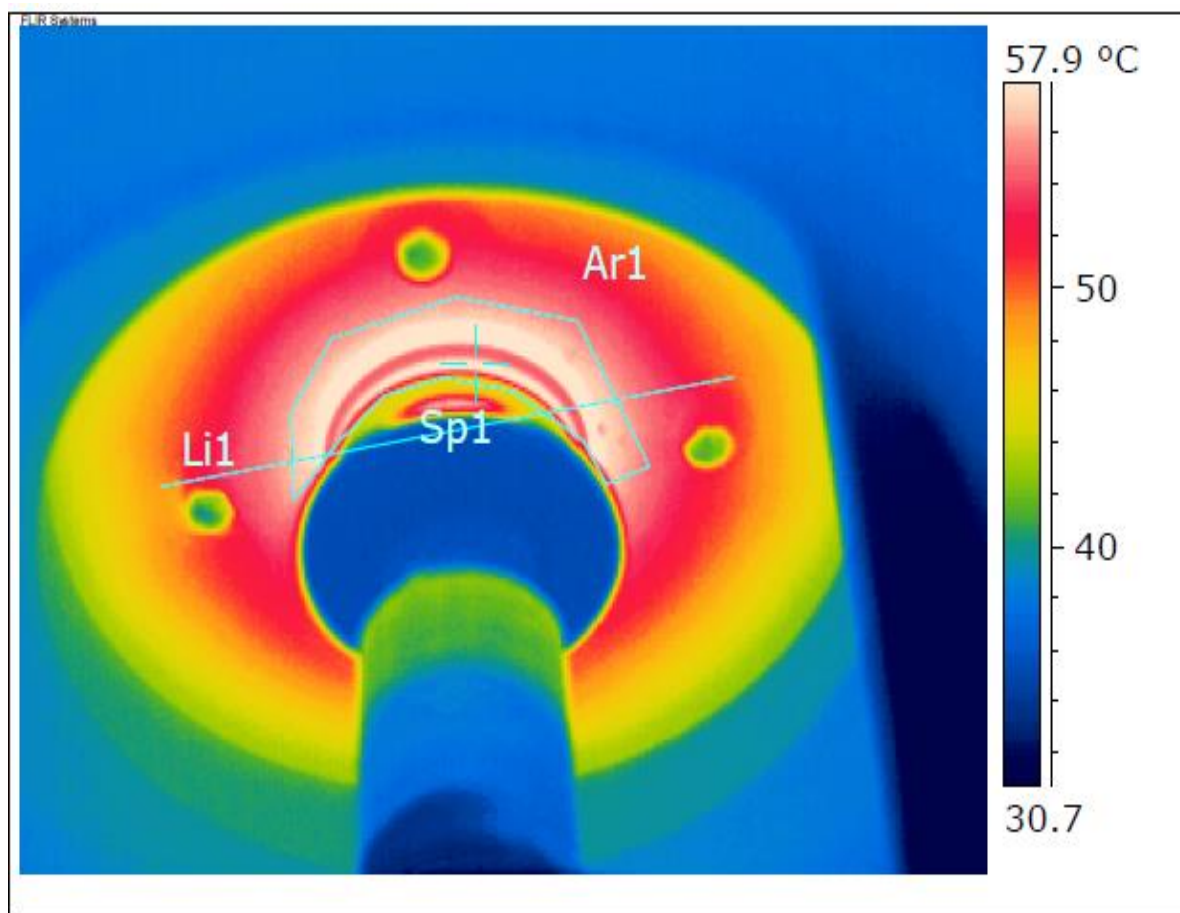
6.4.3 Monitoreo de ultrasonido integridad de equipo estático

6.4.4 Análisis de aceite

6.4.5 Análisis termográfico

⁸ GARCÍA C, Alfonso. Mantenimiento Predictivo [Diapositivas]2013.79 diapositivas.

Figura 11. Espectro termográfico Rodamiento Motor Bomba P-0102 B



Fuente. Los Autores

7 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

7.1 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

7.1.1 Investigación Cuali-cuantitativa y descriptiva aplicada

Figura 12. Flujograma de la investigación

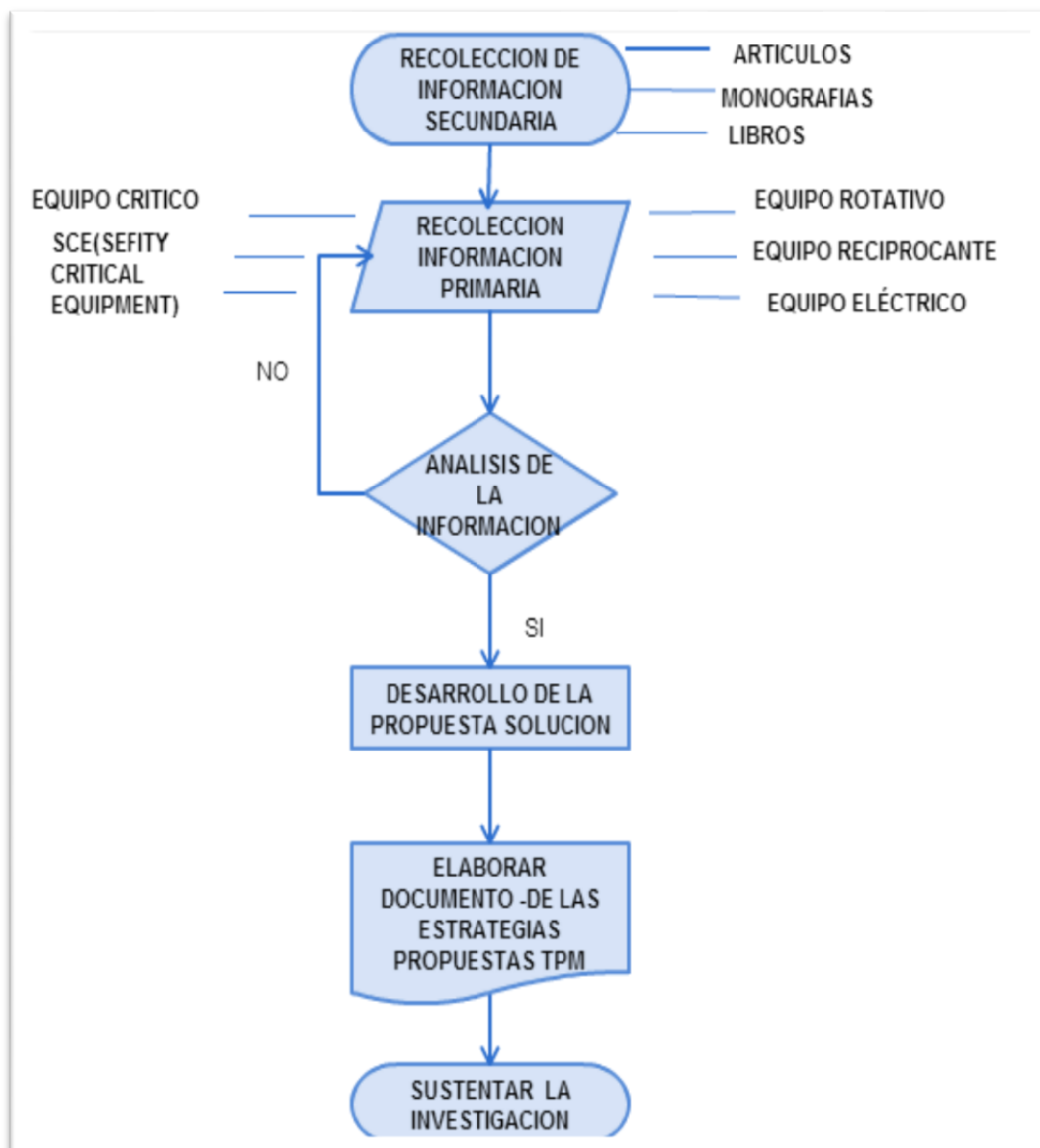


Tabla 15. Técnicas analíticas comunes. Se resalta FMEA

Técnica	Análisis P-M	Estudios de operabilidad	FMEA	Análisis de árbol de fallos	Análisis de árbol de sucesos
Principio analítico	Deductivo	Deductivo/inductivo	Inductivo	Deductivo	Inductivo
Resultado analítico	Cualitativo	Cualitativo	Cualitativo/cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo
Nivel superior (accidentes, explosiones)		(Influencias, efectos)	(Influencias)	Suceso superior	
Nivel intermedio (tasa de flujo, cambios de presión)		Fenómeno intermedio	Efecto	Disparador del fenómeno	Eficaz → Pequeño accidente Accidente de escala media Gran accidente
Nivel inferior (fallo de bomba, válvula)	Pérdida crónica	(Causas, contramedidas)	Fenómeno intermedio	Causas	No eficaz →
Fenómeno anormal	Pequeña deficiencia		Modo de fallo		

Fuente: TPM en industrias de proceso. Tokutaro Suzuki España. 1995.

7.1.2 Información primaria equipo piloto NW Z-0101B⁹

Motor: De cuatro tiempos de combustión interna

Marca: Waukesha

Modelo: L-7012 GSI

Serie: 289300

⁹ Información primaria cumplimiento con el primer objetivo de la investigación

Compresor: De gas natural tipo reciprocante de doble efecto

Marca: Ingersoll Rand

Serie: N/T

Numero de etapas: Dos

Figura 13. Fotografía Moto-compresor de inyección de gas natural Z-0101B



Fuente. Petrotiger 2013.

7.1.3 Información secundaria historial de mantenimiento NW-Z0101B

Tiempo medido desde 01/06/2012 hasta 01/10/2014

Horas de operación: 13082 h

Horas totales de mantenimiento: 576 h

Costos total de Mantenimiento: \$USD 102.030,08

Tabla 15. Historial de mantenimiento Z-0101B. Valores en dólares.

	MOTOR COSTOS	COMPRESOR	MOTOR HH	COMPRESOR HH	MOTOR COSTO	COMPRESOR COSTOS
CBM	\$ 195,73	\$ 97,87	8	4	\$ 250,00	\$ -
PREVENTIVO	\$ 22.019,68	\$ 24.270,82	260	138	\$ 25.089,27	\$ 3.153,66
MEJORATIVO	\$ 1.370,13	\$ -	56	0	\$ 10.414,00	\$ -
CORRECTIVO	\$ 1.712,66	\$ 978,67	70	40	\$ 6.859,60	\$ 5.618,00
TOTAL	\$ 25.298,20	\$ 25.347,35	394,00	182,00	\$ 42.612,87	\$ 8.771,66
	\$ 50.645,56		576,00		\$ 51.384,53	
				COSTOS REPUESTO	\$ 67.911,07	\$ 34.119,01
				TOTAL MANTOS	\$ 102.030,08	

Fuente: Archivo Petrotiger / Stork. Adaptado por los autores. 2015

7.1.3.1 Mantenimiento realizado al paquete NW-Z-0101B

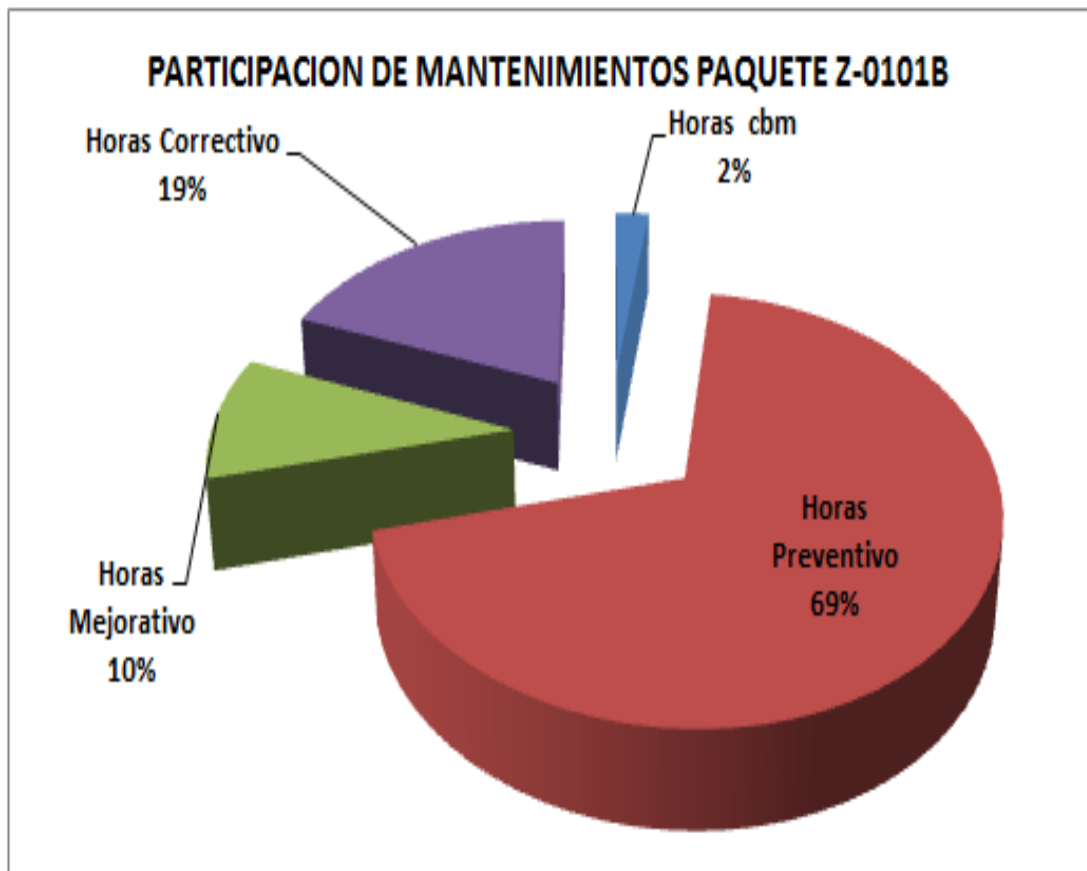
Se identificaron los siguientes tipos de mantenimiento, con la siguiente participación:

- CBM, Mantenimiento basado en Confiabilidad (Predictivo) 2%
- Preventivo TBT,(RCM) 69%
- Mejorativo 10%
- Correctivo 19%

Se incurrieron en los siguientes costos, Valores expresados en Dólares.

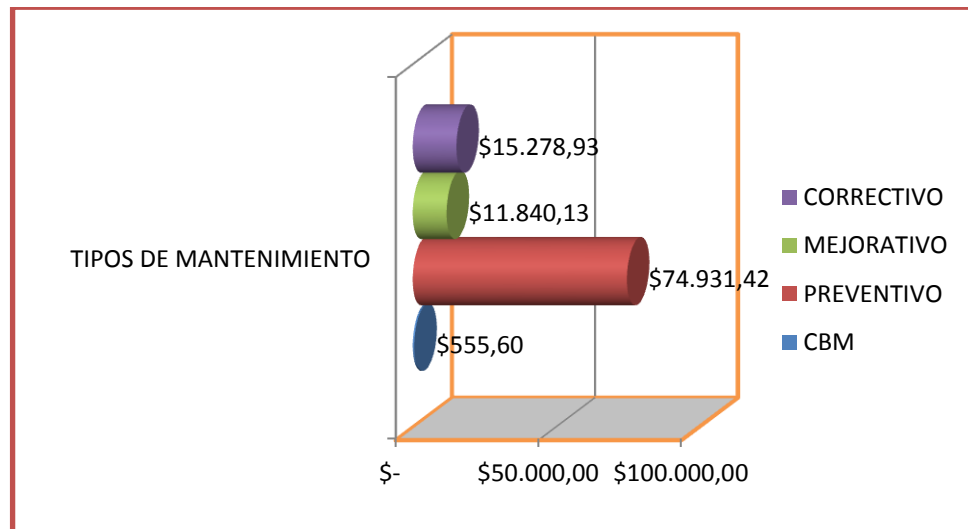
- CBM: \$USD \$ 555,60
- Preventivo: \$USD \$ 74.931,42
- Mejorativo: \$USD 11.784,13
- Correctivo: \$USD 15.278,93

Figura 14. Grafico participación de mantenimientos



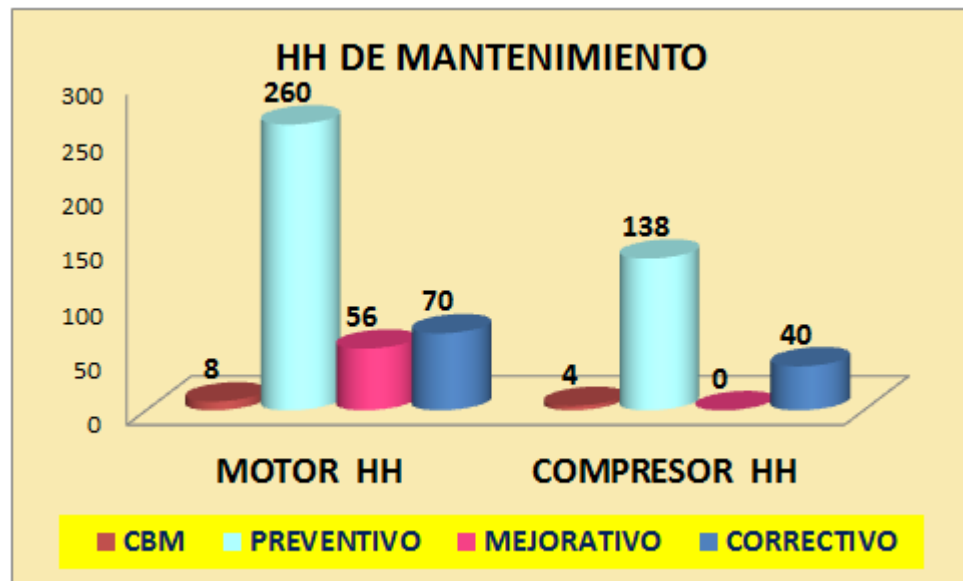
Fuente: Petrotiger/ Stork. Información años 2012-2014.

Figura 15. Grafico Costos de mantenimiento Valores en USD



Fuente: Stork. Año 2015

Figura 16. Grafico horas Hombre de mantenimiento Motor .Compresor



Fuente: Stork. Año 2015

Figura 17. Grafico participación Horas –Hombre mantenimiento Motor-Compresor



Fuente: Stork. Año 2015

Figura 18. Grafico Participación costos de mantenimiento Motor -Compresor



Fuente. Stork. Año 2015

7.1.4 Análisis de la información

Se observó que durante el periodo de tiempo medido, el paquete de compresión Z-0101B fue operado y mantenido por las empresas Petrotiger y Stork Technical services. El mantenimiento realizado por la primera empresa (Petrotiger) consistió en tareas basadas en el tiempo (Time Based Task, TBT) y en tareas de mantenimiento correctivo programado y no programado (Run to Failure, RTF). Las tareas preventivas se realizaron cada 1500 horas de operación. Mientras que La estrategia de mantenimiento desarrollada por Stork Technical services hasta la actualidad, además de los mantenimientos correctivos programados y correctivos no programados (RTF), también implementó RCM (Reliability Centered Maintenance) cada 2000 horas y CBM. (Mantenimiento planificado y programado según la tendencia del estado o condición).

En la tabla 16 se muestra las tareas basadas en el tiempo, estrategia de mantenimiento desarrollada por Petrotiger. Y tareas de mantenimiento correctivo recurrentes.

Tabla 16. Actividades basadas en el tiempo TBT, en el motor y compresor.
Realizadas Por la empresa Petrotiger

FECHA	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	HORAS/HOMBRE	TIPO DE MANTENIMIENTO
	<p>MOTOR WAUKESHA L7042</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Retiro de tapas de culatas, transformadores ✓ Calibración de válvulas de admisión y escape del fabricante. ✓ Medición de resistencia e impedancia ✓ Instalación de bugías nuevas 		<p>Horómetro</p> <p>1934</p> <p>1500 h</p> <p>Preventivo</p>

01/06/2012	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Calibración de bujías nuevas ✓ Cambio de aceite ✓ Cambio de filtros de aceite ✓ Corrección de fugas ✓ Cambio de filtro de combustible ✓ Cambio de filtro de aire ✓ Tensión de correas Bomba Auxiliar ✓ Cambio de correas bomba principal ✓ Ajuste ángulo de aspas del Fan cooler en 13.5 grados ✓ Limpieza de reguladores de Fuel gas ✓ Revisión y limpieza a válvula shutoff ✓ Calibración de indicadores de presión del panel Murphy 	22	
	<p>ACTIVIDADES EN EL COMPRESOR</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Revisión de válvulas compresoras. ✓ Corrección de fugas en las tapas de válvulas. ✓ Cambio de anillos de sello en las tapas de los cilindros de baja. ✓ Corrección de fuga por vástagos de bombas lubricación forzada. ✓ Revisión de instrumentación a schrubbers 	44	

Fuente: Petrotiger. Registros de 2012.

Tabla 17. Tareas de monitoreo de condición (Condition Monitoring Tasks, CMT)
Mantenimiento implementado por Stork Technical Services

FECHA	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	HORAS HOMBRE
-------	----------------------------	-----------------

	EQUIPO: NW-EG-K-0101B	
	ADJUNTO COPIA DEL REPORTE.	
	Comp. Recomendación	
	MONITOREO DE VIBRACIONES(Pwr Cyl # 1R "Calibrar puente y válvulas)	
05-02-2014.	Verificar compresión "	8
	Pwr Cyl # 2R Calibrar puente y válvulas	
	Pwr Cyl # 3R Calibrar válvulas	4
	Pwr Cyl # 4R Calibrar puente y válvulas	
	Pwr Cyl # 5R Calibrar válvulas	
	Pwr Cyl # 6R "Calibrar puente y válvulas	
	Verificar compresión "	
	Pwr Cyl # 1L "Calibrar puente y válvulas	
	Revisar impulsor	
	Pwr Cyl # 2L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 3L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 5L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 6L Verificar compresión	
	Pwr Cyl # 3L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 3L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 5L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 6L Verificar compresión	
	Pwr Cyl # 4L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 3L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 5L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 6L Verificar compresión	
	Pwr Cyl # 5L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 3L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 5L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 6L Verificar compresión	
	Pwr Cyl # 6L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 6L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 5L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 6L Verificar compresión	

	Pwr Cyl # 6L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 6L Calibrar puente y válvulas	
	Pwr Cyl # 2L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 3L Calibrar puente y válvulas	
	Pwr Cyl # 5L Calibrar puente y válvulas Pwr Cyl # 6L Verificar compresión	

Fuente: Stork

Tabla 18. RCM de 2000 horas. Por Stork Technical Services

FECHA	MOTOR WAUKESHA L7042	HORAS HOMBRE
	Toma de compresión cilindros unidades	
	Aislamiento líneas de gas combustible	
	Aislamiento líneas gas de arranque	
	Realizar la calibración de las válvulas de admisión y escape de las culatas	
	Inspeccionar mangueras	
	Revisión sistema lubricación	
	Revisar juntas flexibles del exhosto	
	Verificar pres vacío cárter	
	Limpieza filtro respiradero del cárter	
28/05/2014	Ajuste sistema lubricación forzada	22
	Revisar sistema de enfriamiento	
	Inspeccionar motor arranque	
	Inspeccion y tensión a poleas correas a chumaceras	
	Inspeccionar el sistema de entrada de aire (evidencie fisuras, uniones sueltas, fugas)	

	Inspeccionar la tubería de escape del motor (evidencie fisuras, uniones sueltas, fugas)	
	Inspeccionar el dámper de vibración del cigüeñal	
	Inspeccion a los turbo revisar giro libre y tolerancia de juego axial	
	Chequear y ajustar la relación aire / combustible del carburador	
	Limpieza o cambio filtro gas combustible	
	Limpieza o cambio de filtros de aire	
	Verificar angularidad de aspas	
	Limpieza y lavado del radiador	44
	Lubricación de chumaceras del cooler	

Fuente: Stork.

Tabla 19. Tareas de mantenimiento correctivo programado y no programado

FECHA	CORRECTIVOS PAQUETE DE COMPRESIÓN Z-010B	HORAS HOMBRE
01/10/2014	Daño en piñón de transmisión y bomba de lubricación	54
10/06/2014	LSHH-10H1B Salida de máquina por alto- alto nivel escruber de 1ra etapa-daño del swiche	8
	Salida de Máquina por daño de válvula shut off	4
	Fuga de gas por tapas de válvulas compresoras	5
	Fuga de gas por sellos del embolo variable de bolsillo compresor No. 4	6
	Salida de máquina por alta temperatura de agua de camisas / Daño en válvulas termostáticas	4
	LCV-10H3B V-101B 1 ST STAGE SCRUBBER	3
	LC -10H2B V-101B 1 ST STAGE SCRUBBER	2

31/07/2013	LCV-10J3B V-101B 2ND STAGE SCRUBBER	3
	LC -10J2B V-101B 2ND STAGE SCRUBBER	4
01/06/2012	Válvulas Compresoras de succión, se desarmaron encontrando resortes rotos	8
	Sensor de temperatura bomba auxiliar	1
	Válvulas motrices descalibradas	2
	Fugas de aceite	2
	Correas en mal estado	2
	Poleas desalineadas	3
	Fugas de aceite por caja de la bomba de lubricación forzada	1
Fuga de agua por cilindro compresor No 1	1	

Fuente: Stork

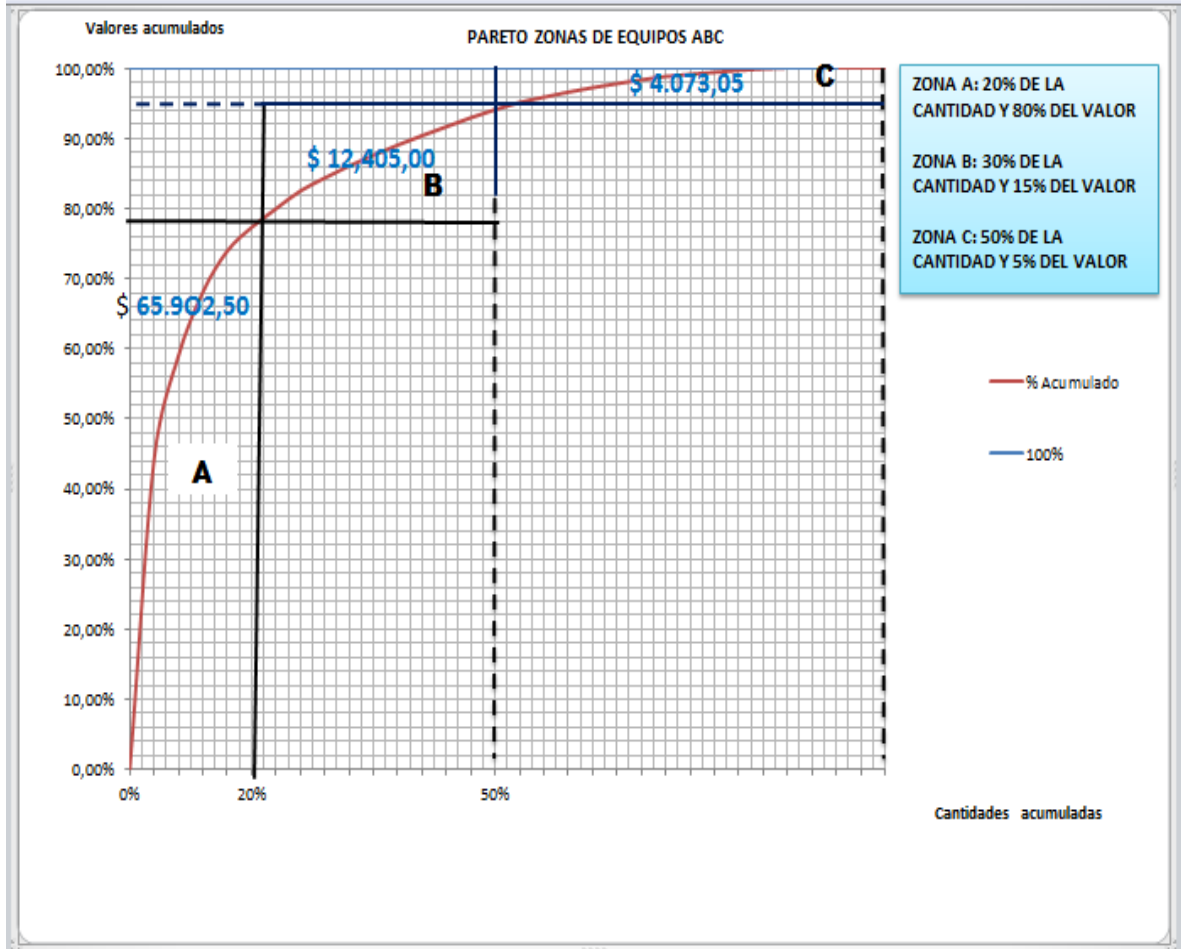
Tabla 20. Tareas de origen mejorativo (ME)

FECHA	MEJORAS PAQUETE DE COMPRESIÓN Z-010B	HORAS HOMBRE
20/05/2014	Cambio control EPC-100E Air-Fuel Controller por Altronic CPU-95 Digital Ignition System	48

Fuente: Stork

7.1.5 Información sobre la criticidad de equipos y costos de mantenimiento asociados al paquete de compresión Z-0101B

Figura 19. Grafico curva ABC valores en USD. (Solo mantenimiento preventivo y correctivo)



7.1.5.1 Costos y/o equipos críticos vitales (80% de los costos / 20% de los equipos)

Se evidenciaron cuatro ítems, consumo mensual de aceite Pegasus 805 motor-compresor, Cambio de aceite pegasus 805 al motor por mantenimiento preventivo, daño en piñón de transmisión y bomba de lubricación del motor y Limpieza y lavado del radiador del motor. Los costos corresponden a \$USD

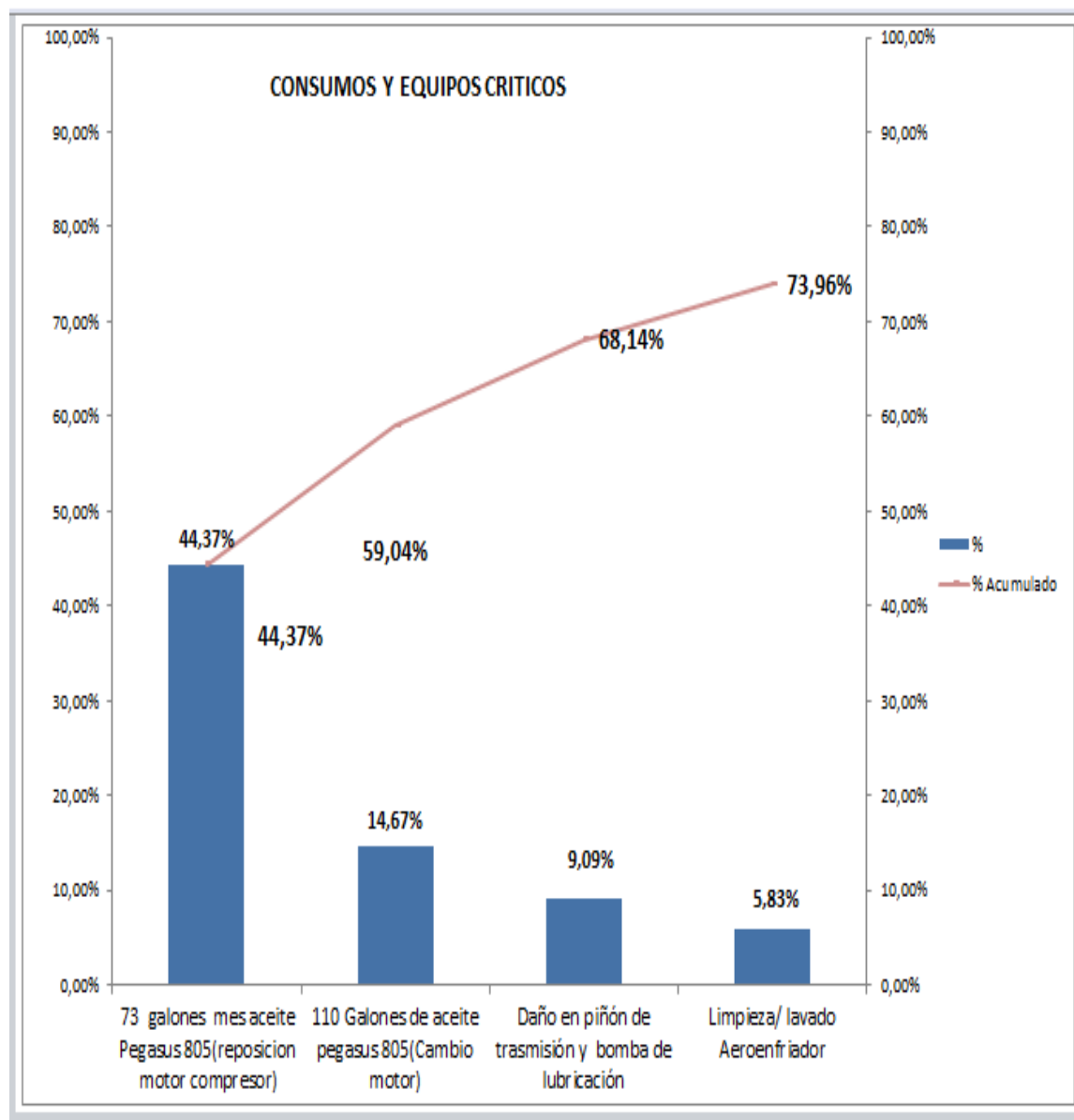
69.902,50, Se encuentran en la Zona A y tienen una participación del 20% de los equipos y consumen el 80% del presupuesto de mantenimiento.

7.1.5.2 Costos y / o equipos triviales (30% de los equipos que se ubican en la Zona B y consumen el 15% del presupuesto)

Los siguientes ítems son considerados equipos o costos triviales:

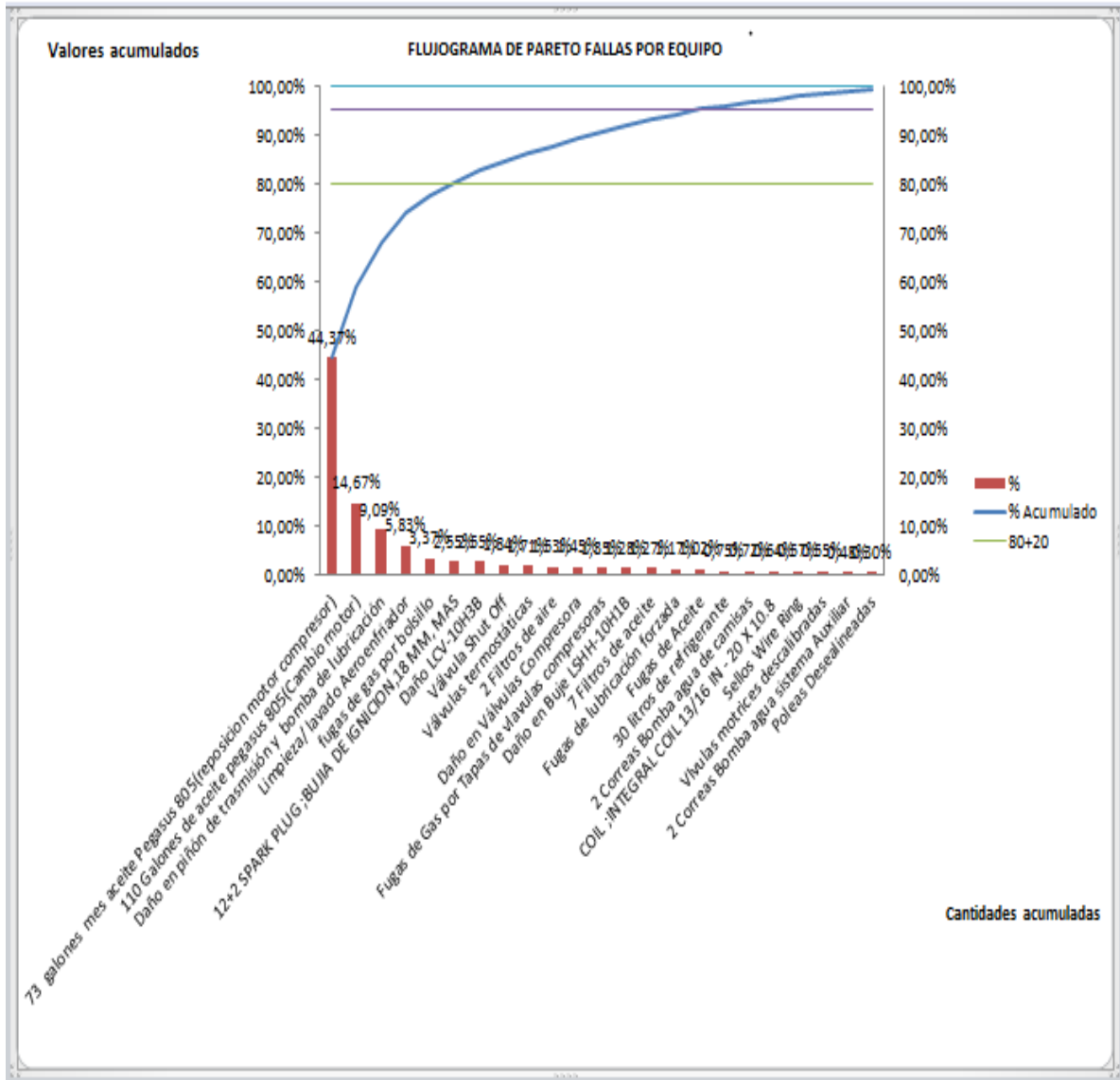
- Fuga de gas por Bolsillos compresores
- Spark Plug (Bujías de ignición)
- LCV-10H3B (Válvula controladora de nivel)
- Válvula Shut Off (Válvula de cierre de combustible parada motor)
- Válvulas termostáticas (parada de planta)
- Filtros de aire
- Válvulas Compresoras
- Fugas de gas por tapas de válvulas compresoras
- LSHH-10H1B(swiche de alto-alto nivel scrubber 1ra etapa)
- Filtros de aceite
- Fugas de lubricación forzada
- Fugas de aceite motor-compresor
- Refrigerante
- Correas bomba agua de camisas
- Coil Integral 13/16 inch 20X 10,8 mm (Bobina)
- Válvulas motrices descalibradas
- Corneas bomba de agua auxiliar
- Poleas desalineadas

Figura 20. Grafico Pareto equipos críticos



En el gráfico se representa la criticidad de los ítems mantenibles medidos por costos, en el análisis se hallan: Reposición de aceite con el 44,37%, Cambio de aceite con el 14,67%, Daño en piñón de transmisión y bomba de lubricación con el 9,09% y limpieza / lavado del Aero enfriador con el 5,83%

Figura 21. Gráfico Pareto Frecuencia de fallas por equipo



Fuente: Ecopetrol. Años medidos 2012-2014

El gráfico muestra todos los ítems mantenibles que han fallado con las respectivas frecuencias de falla el 80%+ 20%.

7.1.6 Análisis de criticidad de modos y efectos de falla (FMECA), asociados al paquete Z-010B según los costos de mantenimiento.¹⁰

Figura 22. Fotografía Panorámica paquete de compresión Z-0101B



Fuente: Cortesía Ecopetrol. Facilidades NW. Año 2014

A continuación se aplica el análisis de criticidad de modos y efectos de fallas FMECA a los cuatro ítems críticos hallados en el Pareto 80/20:

- Consumo mensual de aceite por reposición al motor –compresor
- Cambios de aceite al motor
- Daño de la bomba de aceite del motor

¹⁰ Análisis de criticidad de equipos cumplimiento con el segundo objetivo de la investigación

- Limpieza y lavado del Aero enfriador

El análisis de criticidad de modos y efectos de falla, es una herramienta analítica que ayuda a diagnosticar la ocurrencia de fallos en los equipos.

Tabla 22. Hoja de Análisis FMECA

Hoja de trabajo típico FMECA													
SISTEMA:		SISTEMA DE COMPRESION				FECHA DE REALIZACIÓN:				20/06/2015			
SUBSISTEMA:		PAQUETE DE COMPRESION Z-0101B				FECHA DE ACTUALIZACIÓN:				29/06/2015			
DIAGRAMA:		FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052-2/2				REALIZADO POR:				Julián Preciado /Henry Morales			
HOJA:		1		DE		2		APROBADO POR:		Andrea Siabato			
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO FUNCIONAL				COD. F.F		DESCRIPCIÓN DE LOS EFECTOS				ANÁLISIS DE CRITICIDAD			
COD. ITEM	ITEM	COD. FUNC	DESCRIPCIÓN DE LA <u>FUNCION</u>	C O D. F. F	DESCRIPCIÓN DE LA <u>FALLA FUNCIONAL</u>	C O D. M. F.	DESCRIPCIÓN <u>MODO DE FALLA</u>	DESCRIPCIÓN DEL <u>EFFECTO</u>	CONSECUENCIA	FRE CUE NCI A	SE VE RID AD	DE TE CCI ÓN	RPN Numero de prioridad del riesgo
NW-Z-0101B	CONSUMO MENSUAL DE ACEITE MOTOR-COMPRESOR	Z-0101B	LUBRICAR	A	NO LUBRICAR	1	RATA ELEVADA DE ACEITE DE LUBRICAION FORZADA SWICHES DE NIVEL DESCALIBRADOS O MAL POSICIONADOS DAÑO DE LOS ANILLOS RASCADORES DEL COMPRESOR QUEMA DE ACEITE EN LAS CAMARAS DE COMBUSTION DEL MOTOR EXTRACTOR DE NIEBLA DE LOS VAPORES DEL CARTER DEL MOTOR EN MAL ESTADO FUGAS EXTERNAS	EXCESO DE LUBRICACION REDUCCION DE LA POTENCIA POR FRICCON (ALTOS NIVELES DE ACEITE EN EL CARTER MOTOR COMPRESOR) ALTAS TEMPERATURAS Y DESGATE PREMATURO DE COMPONENTES PERDIDA DE EFICIENCIA DE LA COMPRESION ALTA TEMPERATURA EN CILINDROS MOTRICES Y PERDIDA DE POTENCIA MECÁNICA DEL MOTOR SALIDA DE MAQUINA POR BAJO NIVEL DE ACEITE	COSTOS EXCESIVOS BAJO DESEMPEÑO DE LA MAQUINA	18	8	7	1008

NW-KM-0101B	CAMBIOS DE ACEITES EN EL MOTOR	KM-0101 B1 MOTOR	LUBRICAR	B	NO LUBRICAR	2	ACEITE EMULSIONADO CONTAMINACION DE ACEITE POR OTROS FLUIDOS (CONDENSADOS, AGUA) FUGAS EXTERNAS ANÁLISIS DE ACEITE	INCORPORACION DE FALLAS AL SISTEMA RECAMBIO DE EMPAQUES PERDIDA DE EFICIENCIA MECÁNICA SALIDA DE MAQUINA	REDUCCION DEL TIEMPO ENTRE FALLAS(MTBF) BAJO DESEMPEÑO DE LA MAQUINA DEBIDO A LAS PARADAS	4	8	6	192
NW-KMP1-0101B	BOMBA DE ACEITE DEL MOTOR	KMP1-0101 B	RECIRCULAR ACEITE A 60 PSI	C	NO RECIRCULAR ACEITE	3	PERDIDA DE AJUSTE D LOS ENGRANES DE LA BOMBA / DESGASTE DE LOS BRONCES FATIGA DE LOS DIENTES DEL ENGRANE DE TRANSMISION OBSTRUCCIÓN DEL TAMIZ DE SUCCION DE LA BOMBA	SALIDA DE MAQUINA POR BAJA PRESION DE ACEITE DAÑO PREMATURO DE COMPONENTES (TURBO-CARGADORES)	DAÑO EN EL PIÑON DE TRANSMISION DE LA BOMBA DAÑO DE LA BOMBA	1	8	8	64
NW-HE-101B	AEROENFRIADOR DEL MOTOR	HE-101B	REALIZAR TRANSFERENCIA DE CALOR -ENFRIAR	D	NO TRANSFERIR CALOR/ NO ENFRIAR	4	PERSIANAS BLOQUEADAS OBSTRUCCION DE LOS SERPENTINES ALETAS DE LATON PERDIDA DE LA ANGULARIDAD DE LAS ASPAS DEL VENTILADOR TAPONAMIENTO INTERNO DEL HAZ DE TUBOS BAJO NIVEL DE REFRIGERANTE VALVULAS TERMOSTATICAS DAÑADAS O DE RANGO INCORRECTO	LA EFICIENCIA DEL AEROENFRIADOR DISMINUYE SALIDA DE LA MAQUINA POR ALTA TEMPERATURA DE AGUA DE CAMISAS / SISTEMA AUXILIAR	MAQUINA POR FUERA DE OPERACION	4	7	6	168

Fuente: Stork. 2015

7.1.7 Seguridad de procesos¹¹

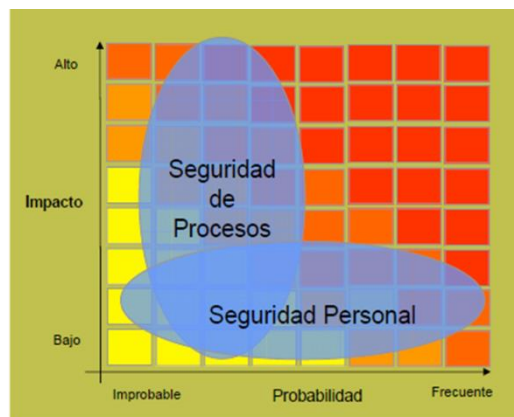
Seguridad de Procesos es la adecuada implementación de buenas prácticas de la industria centradas en la prevención de accidentes catastróficos, particularmente explosiones, incendios y escapes tóxicos, asociados con el uso de productos químicos y derivados del petróleo

La seguridad del proceso busca asegurar que las facilidades estén bien diseñadas, operadas de forma segura y con un mantenimiento adecuado.

7.1.7.1 Diferencia entre seguridad de procesos y HSE

Los incidentes y accidentes de HSE se presentan a menudo y sus consecuencias o impactos son bajos

Figura 23. Grafico comparativo entre HSE y Seguridad de procesos



Fuente: Tomado de seguridad de procesos. Pptx.4.Stork Technical services

¹¹ JAIMES, Luis. Stork Technical Services. Ingeniero de seguridad de procesos. 2014. Los incidentes de Seguridad de Procesos tienen el potencial de producir eventos catastróficos de muy alto impacto en las personas y en el medio ambiente.

Los incidentes de Seguridad de Procesos tienen una probabilidad de ocurrencia baja, pero el potencial de causar catástrofes a las instalaciones, el personal y el medio ambiente es alto¹².

¹² Ecopetrol realiza pruebas SIL(Safety Integrity Level) nivel de integridad segura, a las facilidades Cupiagua NW

7.1.8 Equipos críticos del paquete Z-0101B por seguridad de procesos

Tabla 23. Equipos críticos por ASP (Assurance Safety Process)
Ecopetrol

LISTA DE EQUIPOS	CRITICIDAD	P&ID	Arbol de Equipos		DESCRIPCION DEL EQUIPO
NW-Z-0101B	NO APLICA (CRITICIDAD)	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-Z-0101B		PAQUETE DE COMPRESION TREN B
NW-PDI-0110B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-PDI-0110B	INDIC. PRES. DIF. ENTRADA PAQ. Z-0101B
NW-PSV-0108B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-PSV-0108B	VALV. ALIVIO PRES. RECIRC. ARRANQUE
CHVNW027-2-BA-05	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		CHVNW027-2-BA-05	HV BOLA AGUA ARRIBA PSV0108B
CHVNW028-3/4-GA-01	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		CHVNW028-3/4-GA-01	HV COMPUERTA AGUA ARRIBA PSV0108B
CHVNW029-3-BA-02	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		CHVNW029-3-BA-02	HV BOLA AGUA ABAJO PSV0108B
NW-V-101B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-V-101B	SCRUBBER 1RA ETAPA COMPRESOR
NW-LCV-10H3B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-LCV-10H3B	VALV. CONTROL NIVEL V-101B
CHVNW030-1	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		CHVNW030-1	HV BOLA AGUA ARRIBA LCV10H3B

CHVNW031-1	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		CHVNW031-1	HV BOLA AGUA ABAJO LCV10H3B
NW-LC-10H2B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-LC-10H2B	CONTROLADOR NIVEL V-101B
NW-PCV-10G1B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-PCV-10G1B	VALV. CONTROL PRESION V-101B
NW-LSHH-10H1B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-LSHH-10H1B	SWITCH ALTO NIVEL V-101B
NW-LG-10H4-TB	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-LG-10H4-TB	INDICADOR NIVEL V-101B
NW-BV-10H5B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-BV-10H5B	VALV. PURGA INFERIOR V-101B DRENAJE
NW-TW-10H7B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TW-10H7B	TERMOPOZO DE V-101B
NW-TI-10H6B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TI-10H6B	INDIC. TEMP. DE V-101B
NW-NV-10G2B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-NV-10G2B	VALV. ESCAPE SUPERIOR V-101B
NW-PSHL-10A1B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-PSHL-10A1B	SWITCH PRESION DE V-101B
NW-PI-10A1B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-PI-10A1B	INDIC. PRES. PARA PSHL-10A1B
NW-PAHL-10A1B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-PAHL-10A1B	ALARMA PRESION ALTA PSHL-10A1B
NW-V-104B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-V-104B		SCRUBBER 2DA ETAPA COMPRESOR

NW-LCV-10J3B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-LCV-10J3B	VALV. CONTROL NIVEL V-104B
CHVNW032-1	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		CHVNW032-1	HV BOLA AGUA ABAJO LCV10J3B
CHVNW033-1	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		CHVNW033-1	HV BOLA AGUA ABAJO LCV10J3B
NW-LC-10J2B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-LC-10J2B	CONTROLADOR NIVEL V-104B
NW-LSHH-10J1B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-LSHH-10J1B	SWITCH ALTO NIVEL V-104B
NW-LG-10J4B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-LG-10J4B	INDICADOR NIVEL V-104B
NW-BV-10J5B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-BV-10J5B	VALV. PURGA INFERIOR V-104B DRENAJE
NW-TW-10J7-TB	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TW-10J7-TB	TERMOPOZO DE V-104B
NW-TI-10J6-TB	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TI-10J6-TB	INDIC. TEMP. DE V-104B
NW-NV-10JB	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-NV-10JB	VALV. ESCAPE SUPERIOR V-104B
NW-PI-10J8B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-PI-10J8B	INDIC. PRES. PARA NV10JB
NW-K-0101B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-K-0101B		COMPRESOR DE GAS TREN B
NW-V-102B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-V-102B	BOTELLA SUCCION 1RA ETAPA COMPRESOR
NW-V-103B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-V-103B	BOTELLA DESCARGA 1RA ETAPA COMPRESOR

NW-NV-10G2B-V103	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-NV-10G2B-V103	VALV. ESCAPE BOTELLA DESCAR. V-103B
NW-PSHL-10A1B-V103	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-PSHL-10A1B-V103	SWITCH PRESION DE V-103B
NW-PI-10A1B-V103	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-PI-10A1B-V103	INDICADOR PRES. PARA PSHL-10A1B-V103
NW-PAHL-10A1B-V103	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-PAHL-10A1B-V103	ALARMA PRESION ALTA PSHL-10A1B-V103
NW-V-105B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-V-105B	BOTELLA SUCCION 2DA ETAPA COMPRESOR
NW-V-106B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-V-106B	BOTELLA DESCARGA 2DA ETAPA COMPRESOR
NW-NV-10G2B-V106	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-NV-10G2B-V106	VALV. ESCAPE BOTELLA DESCAR. V-106B
NW-PSHL-10A1B-V106	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-PSHL-10A1B-V106	SWITCH PRESION DE V-106B
NW-PI-10A1B-V106	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-PI-10A1B-V106	INDICADOR PRES. PARA PSHL-10A1B-V106
NW-PAHL-10A1B-V106	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-PAHL-10A1B-V106	ALARMA PRESION ALTA PSHL-10A1B-V106
NW-TW-10D2B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-TW-10D2B	TERMOPOZO DESC. CILINDRO 2 ELEM. PRIMARIO TEMP. DESC. CILINDRO 2
NW-TE-10D2B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-TE-10D2B	SWITCH ALTA TEMP. DESCAR. CILINDRO 2
NW-TSH-10A1B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-TSH-10A1B	ALARMA ALTA TEMP. DESC. CILINDRO 2
NW-TAH-10A1B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2			NW-TAH-10A1B	CILINDRO 2

NW-TI-10A1B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TI-10A1B	INDIC. TEMP. DESCAR. CILINDRO 2
NW-TW-10N2B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TW-10N2B	TERMOPOZO DESC. CILINDRO 2
NW-TI-10N1B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TI-10N1B	INDIC. TEMP. DESC. CILINDRO 2
NW-TW-10D2B-C4	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TW-10D2B-C4	TERMOPOZO DESC. CILINDRO 4
NW-TE-10D2B-C4	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TE-10D2B-C4	ELEM. PRIMARIO TEMP. DESC. CILINDRO 4
NW-TSH-10A1B-C4	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TSH-10A1B-C4	SWITCH ALTA TEMP. DESCAR. CILINDRO 4
NW-TAH-10A1B-C4	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TAH-10A1B-C4	ALARMA ALTA TEMP. DESC. CILINDRO 4
NW-TI-10A1B-C4	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TI-10A1B-C4	INDICADOR TEMP. DESCAR. CILINDRO 4
NW-TW-10N2B-C4	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TW-10N2B-C4	TERMOPOZO DESC. CILINDRO 4
NW-TI-10N1B-C4	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TI-10N1B-C4	INDIC. TEMP. DESC. CILINDRO 4
NW-TW-10D2B-C1	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TW-10D2B-C1	TERMOPOZO DESC. CILINDRO 1
NW-TE-10D2B-C1	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TE-10D2B-C1	ELEM. PRIMARIO TEMP. DESC. CILINDRO 1
NW-TSH-10A1B-C1	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TSH-10A1B-C1	SWITCH ALTA TEMP. DESCAR. CILINDRO 1
NW-TAH-10A1B-C1	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TAH-10A1B-C1	ALARMA ALTA TEMP. DESC. CILINDRO 1
NW-TI-10A1B-C1	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2	NW-TI-10A1B-C1	INDIC. TEMP. DESCAR. CILINDRO 1

		00-052 2/2		C1	CILINDRO 1
NW-TW-10N2B-C1	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TW-10N2B-C1	TERMOPOZO DESC. CILINDRO 1
NW-TI-10N1B-C1	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TI-10N1B-C1	INDIC. TEMP. DESC. CILINDRO 1
NW-TW-10D2B-C3	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TW-10D2B-C3	TERMOPOZO DESC. CILINDRO 3
NW-TE-10D2B-C3	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TE-10D2B-C3	ELEM. PRIMARIO TEMP. DESC. CILINDRO 3
NW-TSH-10A1B-C3	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TSH-10A1B-C3	SWITCH ALTA TEMP. DESCAR. CILINDRO 3
NW-TAH-10A1B-C3	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TAH-10A1B-C3	ALARMA ALTA TEMP. DESC. CILINDRO 3
NW-TI-10A1B-C3	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TI-10A1B-C3	INDIC. TEMP. DESCAR. CILINDRO 3
NW-TW-10N2B-C3	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TW-10N2B-C3	TERMOPOZO DESC. CILINDRO 3
NW-TI-10N1B-C3	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TI-10N1B-C3	INDIC. TEMP. DESC. CILINDRO 3
NW-PSV-5C1B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-PSV-5C1B	VALV. ALIVIO PRES. DESCARCA 1RA ETAPA
NW-PSV-5C1B-2	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-PSV-5C1B-2	VALV. ALIVIO PRES. DESCARCA 2DA ETAPA
NW-BV-5B1B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-BV-5B1B	VALV. PURGA RECIRCULACION Z-0101B
NW-RO-0109B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-RO-0109B	PLATINA ORIFICIO RECIRCULACION Z-0101B
NW-BV-5B4B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-BV-5B4B	VALV. PURGA DESCAR. Z-0101B HACIA TEA

NW-HS-0101B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 1/2		NW-HS-0101B	BOTON PARADA COMPRESOR K-0101B
NW-HE-101B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-HE-101B	AEROENFRIADOR COMPRESOR K-0101B
NW-PI-0107B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-PI-0107B	INDIC. PRES. DESCARGA Z-0101B
CHVNW034-3/4-BV-360	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		CHVNW034-3/4-BV-360	HV VENDEO Y PURGA PI0107B
NW-FIT-0102B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-FIT-0102B	TRANS. FLUJO DESCARGA Z-0101B
NW-FE-0102B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-FE-0102B	ELEM. PRIM. FLUJO DESCARGA Z-0101B
NW-PIT-0102B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-PIT-0102B	TRANS. PRES. DESCARGA Z-0101B
CHVNW035-3/4-BV-02	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		CHVNW035-3/4-BV-02	HV VENDEO Y PURGA PIT0102B
NW-TIT-0102B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TIT-0102B	TRANS. TEMP. DESCARGA Z-0101B
NW-TE-0102B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-052 2/2		NW-TE-0102B	ELEM. PRIM. TEMP. DESCARGA Z-0101B
NW-V-0108B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-056 2/2		NW-V-0108B	TANQUE DE DRENAJE DE FILTROS
NW-V-0106B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-056 2/2		NW-V-0106B	FILTRO DE VENDEO DISTANCE PIECE
NW-V-0107B	NO CRITICO	FFD/F-PWP-NW-PRE-00-056 2/2		NW-V-0107B	FILTRO VENDEO PACKING

Fuente: Ecopetrol

7.2 DIAGNÓSTICO DEL PAQUETE DE COMPRESIÓN Z-0101B ¹³

El ítem más crítico es el **consumo mensual de aceite pegasus 805 motor-compresor**, el cual representa el mayor costo del mantenimiento total, con un 41,37%. Por lo tanto es preciso indicar que este ítem, representa una frecuencia de falla de 18, la cual se debe priorizar en el plan de mantenimiento. Los siguientes modos de falla fueron hallados por la metodología FMECA:

- Rata elevada de consumo de aceite de lubricación forzada
- Interruptores de nivel descalibrados o mal posicionados
- Daño de los anillos rascadores del compresor
- Quema de aceite en las cámaras de combustión del motor
- Extractor de niebla de los vapores del carter del motor en mal estado
- Fugas externas

NOTA: comprobar con datos suministrados por el fabricante del Motor Waukesha L-7042 y del compresor Ingersoll Rand J4 las ratas de consumo normal de aceite. El consumo actual de aceite del motor es de 2,2 galones por día y del compresor es de 2.3 galones por día.

Se evidencia que el segundo ítem más crítico, **Cambio de aceite pegasus 805 al motor por mantenimiento preventivo**, presenta una frecuencia de falla (Cambio) de cuatro veces, con un 14,67% del presupuesto y una operación del motor de **13.082,00** horas, conociéndose además que al motor diariamente se le adicionan 2,2 galones de aceite nuevo, estas condiciones guardan relación con las tareas de mantenimiento basadas en el tiempo realizadas por la empresa Petrotiger. Los siguientes modos de falla fueron hallados por FMECA:

- Aceite emulsionado

¹³ Diagnóstico, información complementaria que le da cumplimiento al segundo objetivo de la investigación

- Contaminación de aceite por otros fluidos (condensados, agua)
- Fugas externas
- Análisis de aceite

Para el ítem, **daño en piñón de transmisión y bomba de lubricación del motor** Aunque solo presenta una frecuencia de falla de 1, su nivel de criticidad es alto tanto por el costo del componente como por las repercusiones que se derivan de esta falla, pudiendo llegar a comprometer la integridad total de la máquina en el análisis FMECA los siguientes modos de falla fueron contemplados:

- Perdida de ajuste de los engranes de la bomba / desgaste de los bronces
- Fatiga de los dientes del engrane de transmisión
- Obstrucción del tamiz de succión de la bomba

NOTA: Iniciar un programa de monitoreo de vibraciones choque y ruido, donde se incluyan las bombas rotativas de piñones de lubricación del motor y del compresor y hacer seguimiento.

Para el ítem, **limpieza y lavado del Aero enfriador**, se listaron los siguientes modos de falla de acuerdo con FMECA:

- Persianas bloqueadas
- Obstrucción de los serpentines aletas de latón
- Perdida de la angularidad de las aspas del ventilador
- Taponamiento interno del haz de tubos
- Bajo nivel de refrigerante
- Válvulas termostáticas dañadas o de rango incorrecto

NOTA: Realizar un programa de limpieza como inspección paso 1 del mantenimiento autónomo donde el operador realice limpieza de las mallas de

pájaros del radiador, con una frecuencia de acuerdo a las temporadas de verano e invierno.

Las anteriores consideraciones tenderían a disminuir el 20% de las fallas que originan el 80% de los costos.

Se debe priorizar la asignación de recursos para la implementación de las acciones correctivas de los equipos que representan el 20% de las fallas.

Se detectó que la LCV-10H3B V-101B 1ST STAGE SCRUBBER, no funciona de manera automática, por daño en los componentes internos, que al parecer se dañan prematuramente por acción de los condensados. En razón a esto el operador mantiene la válvula de corte manual aguas abajo de la LCV-10H3B, ligeramente abierta todo el tiempo para evitar que se suba el nivel de líquidos en la vasija de primera etapa y dispare la máquina. Esto aumenta los niveles de quemas en la tea, bajando también el desempeño del compresor. Durante el tiempo de la medición del paquete de compresión objeto de esta investigación, se ha convivido con esta condición.

Los equipos listados como críticos por seguridad de procesos que han fallado y coinciden con los equipos listados en el Pareto como crítico de la Zona A y trivial de la Zona B, se encuentran:

Tabla 24. Equipos críticos ASP que han fallado durante la operación

TAG	CRITICIDAD	P&D	CODIGO	DESCRIPCIÓN
NW-LSHH-10J1B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW- PRE-00-052 2/2	NW-LSHH-10J1B	SWITCH DE ALT- ALTO NIVEL
NW-HE-101B	CRITICO ASP	FFD/F-PWP-NW- PRE-00-052 2/2	NW-HE-101B	AEROENFRIADOR COMPRESOR K- 0101B

El paquete de compresión Z-010B se puede alternar con el Z-0101 A y operar de back up (respaldo), lo que hace bajar su nivel de criticidad operativa. Es decir que en una eventual falla se puede alinear la máquina A y realizar los correctivos sin mucho afán. No obstante se evidencia ruptura de la programación de mantenimiento por las fallas correctivas 19%.

Porcentaje de equipos críticos según los costos de mantenimiento 20%

Porcentaje de equipos críticos según seguridad de procesos 14,43%

NOTA: El pozo NW 43 que fluye por la facilidad solo aporta cerca de 8,38 MMSCFD, esto limita el desempeño del compresor debido a que no hay gas disponible. Capacidad de diseño del compresor 13 MMSCFD.

Tabla 25. Prueba de producción del Pozo NW 43 23/05/2014 17:13 h

ANÁLISIS DE AGUA		AGUA			PETRÓLEO			GAS			
Cloruros p.p.m.	834	Agua Residual	BWPD	29	Bruto	BOPD	964	Calculado	MMSCFD	8,348	
pH	5	Agua Libre	BWPD	0	Seco	BOPD	935	Medido	MMSCFD	8,384	
ANULARES(psi)		Factor de corrección volumétrico			0,992	Merma	MEDIDO	0,805	GOR1	(scf/bbl)	11.100
A	0	Factor de Correc. Medidor Agua			1,003	Factor Correc. Medidor Aceite		0,999	GOR2	(scf/bbl)	519
B	0	Neto	STBWPD	29	Neto	STOBD	752	Neto	MMSCFD	8,738	
C	0	BSW	Neto%	3,67%	GLR	(scf/bbl)	11.193	GOR	(scf/bbl)	11.619	

Fuente: Archivo Ecopetrol / Petrotiger Mayo 2014.

7.3 INDICADORES DE EFICACIA GLOBAL DE PLANTA¹⁴

El macro-indicador de eficacia global de planta (OEE) Overall Equipment Effectiveness. Se compone de tres sub-indicadores: Disponibilidad, desempeño y tasa de calidad.

¹⁴ Indicadores, información que da cumplimiento al tercer objetivo de la investigación

Para el cálculo se tiene la siguiente información del equipo Z-0101B

Tiempo total Disponible -----13346 h
 -Paradas programadas ----- 454 h
Tiempo de operación programado----- 13192h

Tiempo de operación programado-----13192 h
 -Paradas no programadas----- 110 h
Tiempo de operación----- 13082h

DISPONIBILIDAD

$$= (\text{Tiempo de operación programado} - \text{tiempo de paradas no programadas}) / (\text{Tiempo de Operación programado}) \times 100$$

$$DISPONIBILIDAD = \frac{13192h - (110 h)}{13192 h} \times 100 = 99,1\%$$

El tiempo de ciclo del compresor se estima de 24 horas (1 día), la capacidad de diseño es 13 MMSCFD (Millones de pies cúbicos estándar día) la producción actual promedio del compresor es de 8,31MMSCFD. El gas que se quema debido a los alivios de la planta que afecta la calidad de producción es de 0,053MMSCFD.

$$DESEMPEÑO = \frac{\text{Tasa media de Producción actual MMSCFD}}{\text{Producción de diseño MMSCFD}} \times 100$$

$$DESEMPEÑO = \frac{8,31MMSCFD}{13MMSCFD} \times 100 = 64\%$$

$$CALIDAD = \frac{\text{Producción actual MMSCFD} - \text{RECHAZOS GAS QUEMADO}}{\text{Producción ACTUAL MMSCFD}} \times 100$$

$$CALIDAD = \frac{8,31MMSCFD - 0,053MMSCFD}{8,31MMSCFD} \times 100 = 99,36\%$$

EFICACIA GLOBAL DE PLANTA

$$= DISPONIBILIDAD * DESEMPEÑO * CALIDAD$$

$$EGP = (0,991 * 0,64 * 0,993) * 100 = 62,98\%$$

7.4 INDICADORES DE MANTENIMIENTO (MTBF –MTTR)

De forma general se evalúa los aspectos de mantenimiento. Primero se evalúan las mejoras de confiabilidad, y se comprueba como ayudan a mejorar la eficacia global de planta. En segundo lugar, se evalúa la eficiencia de mantenimiento.

Con base en la información procesada del paquete de compresión Z-0101B se calcula el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio entre reparaciones.

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)

$$= \frac{\text{Numero total de horas de operación}}{\text{Numero total de fallas}}$$

$$MBTF = \frac{13082h}{23} = 568,7h = 23,69 \text{ Dias.}$$

TIEMPO MEDIO DE REPARACIONES (MTTR) = $\frac{\text{Tiempo total de paradas}}{\text{Numero de paradas}}$

$$MTTR) = \frac{576}{24} = 24h = 1 \text{ Día}$$

Tabla 26. Comparación de Indicadores de eficacia y mantenimiento del equipo
Z-0101B

Indicador Equipo	VALOR	Indicador Objetivo Benchmarking ¹⁵	Intervalos	observaciones
Disponibilidad	99,1%	90% o más	Semestral	
Desempeño	64%	95% o más	semestral	Indica el rendimiento del equipo
Calidad	99,3%	99% o más	Mensual	Tasa de calidad para el conjunto del proceso
Eficacia Global del Equipo	62,98%	80%-90%	Semestral	Eficacia global de subproceso
MTBF	23,69 Días	De acuerdo con metas anuales	Mensual	Tiempo medio entre fallas
MTTR	1 Día	De acuerdo con Metas anuales	Mensual	Tiempo medio en reparaciones

Fuente: Indicadores Benchmarking tomados de Estudio sobre la implementación del TPM en Chile. Juan Francisco Zamora Morales.

NOTA: Según los estándares internacionales el valor del OEE debe ser mayor o igual al 85%, para lograr esto, los índices de disponibilidad, rendimiento y calidad deben tener los siguientes valores:

DISPONIBILIDAD = Mayor del 90%

DESEMPEÑO = Mayor del 95%

CALIDAD = Mayor del 99%

¹⁵ Benchmarking. (Evaluación comparativa) Es un proceso sistemático y continuo para evaluar los productos, servicios y procesos de trabajo de las organizaciones reconocidas como representantes de las mejores prácticas, con el propósito de realizar mejoras organizacionales. Spendolini, 1995

8 DEFINICION DEL TPM

Como las actividades TPM (Mantenimiento Productivo Total) fueron contempladas primeramente en el entorno de los departamentos de producción en Japón, el TPM se definió originalmente por el Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM). No obstante en la figura 16, se muestran otros significados.

Figura 24. Significados del TPM



Fuente: JIPM. (Japan Institute of plant Maintenance). Assessment Agency accreditation. Sebastian Giraldo. Instructor de TPM.

8.1 INTRODUCCIÓN AL TPM

Después de la segunda guerra mundial, las industrias japonesas determinaron que para competir prósperamente en el mercado mundial, tenían que mejorar la calidad de sus productos, así, importaron técnicas de manufactura y de administración de los Estados Unidos y las adaptaron a sus circunstancias.

Para mejorar el mantenimiento del equipo, Japón importó el concepto de mantenimiento preventivo hace más de 30 años, más tarde importó otros términos que incluían: mantenimiento productivo, prevención del mantenimiento, ingeniería de confiabilidad, etc. Habiendo modificado lo anterior al ambiente industrial japonés, se formó lo que se conoce como TPM (Mantenimiento Productivo total), algunas veces definido como: mantenimiento productivo implementado por todos los empleados, está basado en que la mejora del equipo debe involucrar a todos en la organización, desde los operadores hasta la alta dirección.

El mantenimiento preventivo fue introducido en los años 1950's y el mantenimiento productivo viene a ser bien establecido en los años 1960's. El desarrollo del TPM comenzó en los años 1970's. El equipo anterior a los 1950's puede ser referido como el periodo del mantenimiento de las averías.

El término TPM fue definido en 1971 por el Japan of Plant Engineers, (hoy Japan Institute of Plant Maintenance), la definición oficial de TPM fue presentada en su momento como:

“El TPM se orienta a crear un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de todo sistema productivo, estableciendo un sistema que previene las pérdidas en todas las operaciones de la empresa. Esto incluye “cero accidentes, cero defectos y cero fallos” en todo el ciclo de vida del sistema productivo. Se aplica en todos

los sectores, incluyendo producción, mantenimiento y todos los departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los integrantes de la empresa, desde la dirección hasta los niveles operativos. La obtención de cero perdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos”

El TPM en resumen desde su concepto incluye las siguientes cinco metas:

- Maximizar la eficacia del equipo
- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para toda la vida del equipo
- Involucrar a todos los departamentos que planean, diseñan, usan, o mantienen el equipo
- Involucrar activamente a todos los empleados, desde la alta dirección hasta los trabajadores de piso.
- Promover el TPM a través de motivación con actividades autónomas de pequeños grupos.

La palabra “total” tiene tres significados relacionados con tres características de TPM

- Eficacia económica total: Perseguir la eficiencia económica
- PM total: Establece un plan de mantenimiento para la vida del equipo, incluyendo prevención del mantenimiento (técnicas de monitoreo para diagnosticar las condiciones del equipo, identificando signos de deterioro y la inminente falla) y mantenimiento preventivo.
- Participación total: Mantenimiento autónomo por operadores y actividades de grupos pequeños en cada nivel.

TPM tiene un triple objetivo: Cero averías de producción, cero defectos de calidad y cero accidentes, cuando esto se ha logrado, el periodo de operación mejora, los costos se reducen, el inventario puede ser minimizado, y en consecuencia la

productividad se incrementa. Típicamente se requieren tres años desde la introducción del TPM para obtener resultados satisfactorios y el costo dependerá del estado inicial del equipo y de la experiencia del personal de mantenimiento.

Para introducir TPM en una planta, la alta dirección debe incorporar el TPM dentro de las políticas básicas de la compañía, y concretar metas, tales como incrementar el periodo de uso del equipo a más del 80%, reducir las averías en 50%, etc. Una vez que las metas han sido establecidas cada empleado debe entender, identificar y desarrollar las actividades de pequeños grupos en el lugar de trabajo, que aseguren el cumplimiento de las metas, En TPM, los grupos pequeños establecen sus propias metas basadas en las metas globales.¹⁶

8.3 RESULTADOS DEL TPM

Ford, Dana Corporation, Allen Bradley, Harley Davidson; son solamente unas pocas de las empresas fuera de Japón que han implementado TPM con éxito. Prácticamente todas ellas reportan una mayor productividad gracias a esta disciplina.

Las empresas mencionadas aseguran haber reducido sus tiempos perdidos por fallas en el equipo en 50% o más, también reducción de inventarios de refacciones y mejoramiento en la puntualidad de sus entregas. La necesidad de subcontratar manufactura también se vio drásticamente reducida en la mayoría de ellas.

8.4 INDICADORES DEL TPM

¹⁶ GIRALDO C, Sebastián. Resumen –Mantenimiento productivo total -TPM

Una de las maneras clásicas de medir el impacto del TPM se logra a través de indicadores asociados a PQCDMS (productivity, quality, cost, delivery, safety and morale)

8.4.1 (P) Productividad

Mide los índices de productividad, algunos ejemplos de estos indicadores son: OEE(Overall Equipment Effectiveness) Eficacia global de equipos de producción, uso de la mano de obra, tasa de operación, número de averías, tiempo medio entre fallas(MTBF), tiempo de reparación y ajuste(MTTR), número de detenciones menores, número de máquinas por persona, número de productos por hora hombre etc.

8.4.2 (Q) Calidad

Mide los índices relacionados con la calidad como: número de reclamos, defectos encontrados en los procesos, número de rechazos, porcentaje de no conformidades etc.

8.4.3 (C) Costo

Mide los índices relacionados en términos de costos como: Reducción de costos de mantenimiento, tasa de reducción de costos en partes de repuestos, tasa de reducción de costo de energía, costo de ineficiencias, costo de mano de obra por unidad producida, etc.

8.4.4 (D) Entregas

Mide índices en retrasos en las entregas como: Porcentaje de entregas, tasa de rotación de inventario, los productos faltantes etc.

8.4.5 (S) Seguridad

Mide la cantidad de accidentes, el número de reportes de accidentes o incidentes, el número de días sin accidentes etc.

8.4.6 (M) Motivación

Mide el número de sugerencias de mejora, número de reuniones de pequeños grupos

En una implementación promedio de TPM (3 o 4 años) pueden esperarse los siguientes resultados en los indicadores PQCDMSM... ver tabla 26

Tabla 26. Ejemplos de resultados TPM

BENEFICIOS TANGIBLES	
P....	<ul style="list-style-type: none">• Aumento de la productividad neta: entre 1,5 y 2 veces• Descenso del número de averías súbitas: desde 10 a 1 de lo anterior• Eficacia global de la planta: de 1,5 a 2 veces de la anterior
Q....	<ul style="list-style-type: none">• Descenso de la tasa de defectos del proceso: 90%• Descenso de reclamaciones de clientes :75%
C....	<ul style="list-style-type: none">• Reducción de costos de producción: 30%
D....	<ul style="list-style-type: none">• Stocks de productos y trabajos en curso: reducción a la mitad
S....	<ul style="list-style-type: none">• Accidentes: 0• Incidentes de polución: 0
M....	<ul style="list-style-type: none">• Sugerencias de mejora: de 5 a 10 veces más que antes
BENEFICIOS INTANGIBLES	

- Logro de autogestión plena: Los operarios asumen la responsabilidad de los equipos, se ocupan de ellos, sin necesidad de recurrir a departamentos indirectos.
- Se eliminan averías y defectos y se infunde confianza en “puedo hacerlo”
- Los lugares de trabajo antes sucios y grasientos, son ahora limpios, brillantes y vivos
- Se ofrece una mejor imagen a los visitantes y clientes

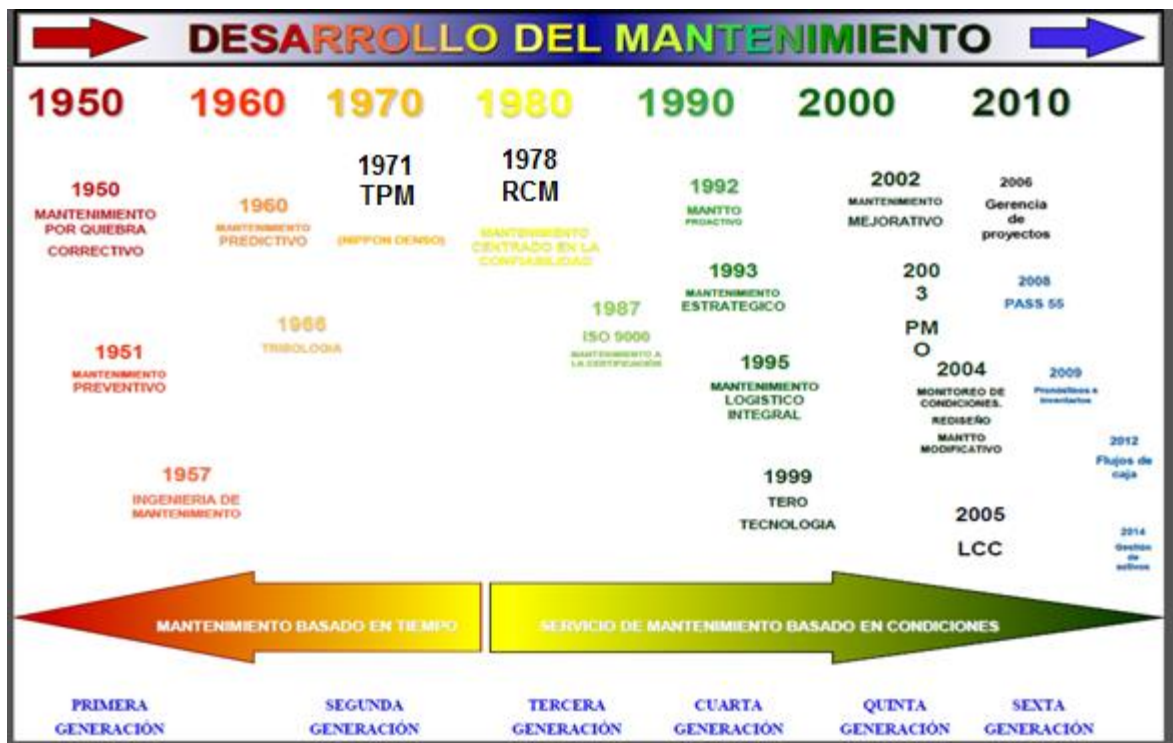
Fuente: TPM en industrias de proceso. Editado por Tokutaro Suzuki. 1995

8.5 MARCO DE ANTECEDENTES DEL TPM

8.5.1 Historia de productividad Japonesa

- 6 y 9 de Agosto de 1945 Hiroshima y Nagasaki
- William Edwards Deming (1950-1960) Calidad Total. Total Quality Management (TQM)
- Nippondenso Company (PM) mantenimiento planeado 1961
- JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance) define el concepto de TPM 1971
- Taiichi Ohno (1995), Toyota Production System (TPS)
- Lean Manufacturing (USA) 1980

Figura 25. Cuadro Evolución del Mantenimiento



Fuente: Tomado de Gerencia estratégica y operacional de Mantenimiento 1 pdf. Carlos Mario Tamayo Domínguez

TPM. Se creó y se desarrolló en la industria japonesa automovilística (Toyota, Mazda, Nissan etc)

Desde 1995 USA y Japón se trabaja con T.P.M. en empresas del sector químico, paplero y petroquímico obteniéndose mejoras de productividad en más del 30 %

8.6 PROCESO DEL DESARROLLO DEL TPM

La metodología que se propone, es mediante campañas motivacionales a pequeños grupos.

JIPM (Japan Institute for Plant Maintenance) promueve el uso de “grupos pequeños autónomos” de acuerdo a TPM las actividades son basadas en el modelo de círculos de calidad y contruidos en la estructura de la organización, la función de los grupos pequeños en cada nivel y a través de las divisiones, es cumplir con los objetivos de la compañía.

Los pasos para la implementación del TPM se muestran en la siguiente tabla...

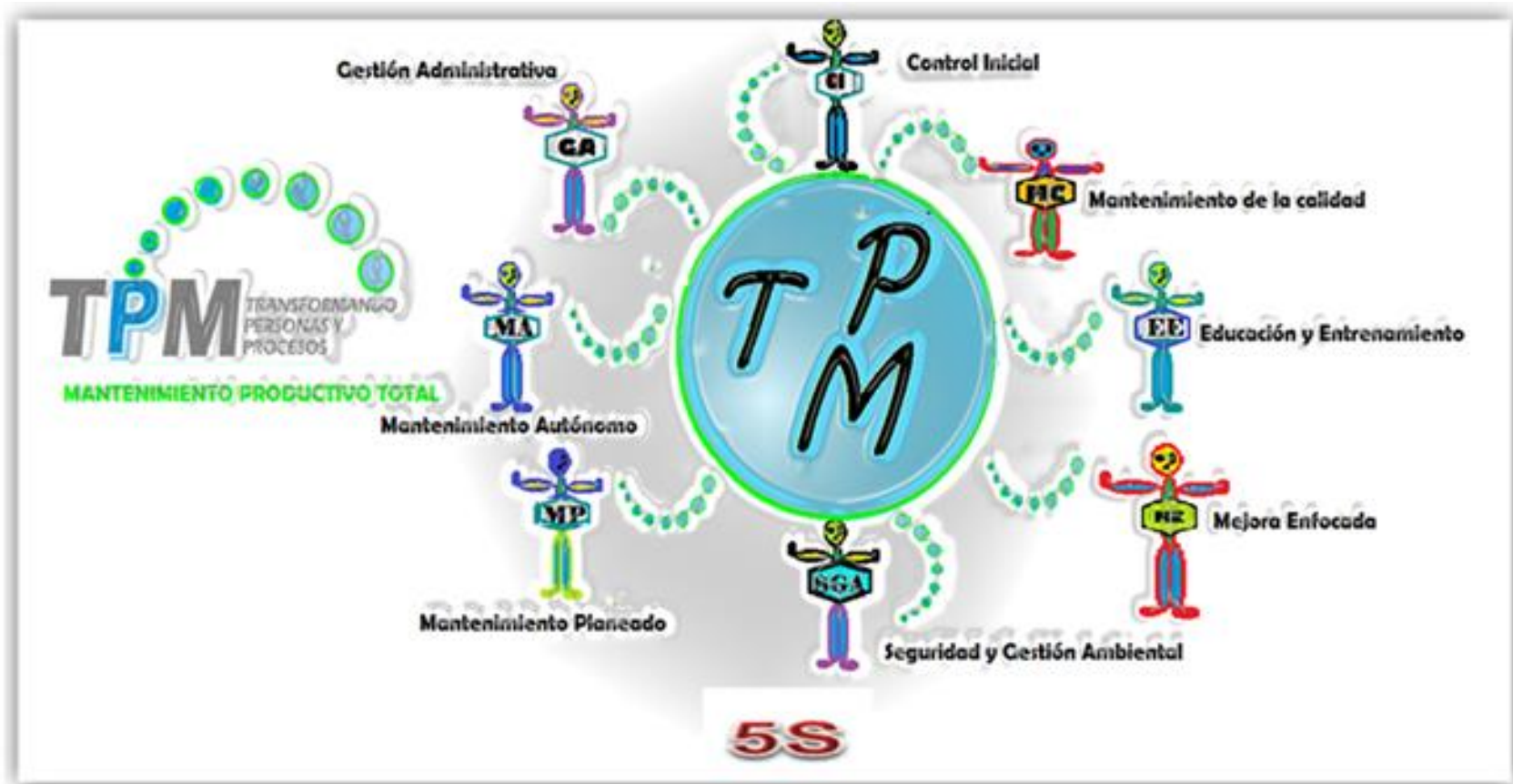
Tabla 28. Los doce pasos del nuevo programa TPM

PASOS	PUNTOS CLAVE
Fase 1. Preparación	La alta dirección anuncia su decisión y el programa de introducción del TPM en una reunión interna; publicidad en revista de la empresa, etc
1. Anuncio formal de la decisión de introducir TPM	
2. Educación introductoria sobre TPM y campaña de publicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Dirección superior: grupos de formación para niveles específicos de dirección • Empleados: Cursos, diapositivas, ejemplos etc
3. Crear una organización para promoción interna del TPM	<ul style="list-style-type: none"> • Comité de dirección y subcomités especializados • Oficina de promoción del TPM
4. Establecer los objetivos y políticas básicas TPM	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer líneas de actuación estratégica y objetivos • Prever efectos
5. Iniciar un plan maestro para implementar el TPM	Desde la fase de preparación hasta la postulación para el premio(Plan Maestro)
Fase 2. Introducción	
6. “KICK Off “ Adopción y lanzamiento del proyecto empresarial TPM	Invitar a clientes, filiales y subcontratistas
Fase 3. Implantación	Perseguir hasta el final la eficacia global de la producción
7. Crear una organización corporativa para maximizar la eficacia de la producción	
7.1 Realizar actividades centradas en la mejora	Actividades de equipos de proyectos y de pequeños grupos en puntos de trabajo
7.2 Establecer y despegar programa de mantenimiento autónomo	Proceder paso a paso, con auditorías y certificado la superación de cada paso

7.3 Implementar un programa de mantenimiento planificado	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento correctivo • Mantenimiento con parada • Mantenimiento predictivo
7.4 Formación sobre capacidades de mantenimiento y operación correctos	Educación de líderes de grupo que después forman a miembros de grupos
8. Crear un sistema para la gestión temprana de nuevos equipos y productos	Desarrollar productos y equipos fáciles de usar y mantener
9. Crear un sistema de mantenimiento de calidad	Establecer, mantener y controlar las condiciones para el cero defectos
10. Crear un sistema administrativo y de apoyo eficaz	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementar la eficacia de los departamentos de apoyo a producción • Mejorar y agilizar las funciones administrativas y el entorno de oficinas
11. Desarrollar un sistema para gestionar la salud, la seguridad y el entorno	Asegurar un entorno de trabajo libre de accidentes y polución
Fase 4. Consolidación	
12. Consolidar la implantación del TPM y mejorar las metas y objetivos legales	<ul style="list-style-type: none"> • Postular para el premio PM • Contemplar objetivos más elevados

Fuente: TPM en industrias de proceso. Editado por Tokutaro Suzuki. 1995

Figura 26. TPM y sus ocho pilares



Fuente: Los Autores

8.7 LOS OCHO PILARES DEL TPM

Una implementación exitosa del TPM, requiere el apoyo de ocho pilares fundamentales como soporte a la estructura.

Figura 27. Pilares del TPM



8.7.1 Pilar del Mantenimiento Autónomo

Objetivos del pilar

- Evitar el deterioro del equipo
- Llevar el equipo a su estado ideal
- Establecer las condiciones básicas
- Usa los equipos pilotos como medio para enseñar y trabajar distinto
- Desarrolla nuevas competencias y habilidades

Se debe iniciar con el pilar cero, o pilar de las 5s: Seiri (desalojar), Seiton (clasificar), Seiso (limpiar), Seiketsu (estandarizar) y Shitsuke (disciplina) que son los principios fundamentales para la administración del lugar de trabajo. Son fáciles de promover pero difícil de poner en práctica, su correcta ejecución garantiza unas bases sólidas para la implementación de los pasos TPM

8.7.1.1 Beneficios de las 5 S. Paso cero.

- Paso inicial en la implementación de TPM. (más que una campaña de limpieza).
- Promueve la cultura de organización y disciplina.
- Elimina tiempos perdidos.
- Mejora las condiciones del lugar de trabajo higiene y seguridad.
- Aumenta los niveles de calidad.
- Genera mayor productividad y eficiencia.

8.7.1.2 Limpieza como inspección. Paso 1.

- Prevención vs. Corrección
- Anormalidad y Avería
- Tarjetas.
- Condiciones básicas
- Deterioro Natural y Forzado
- Elementos de máquinas
- Limpieza
- Estandarización

8.7.1.3 Eliminar focos y áreas de difícil acceso. Paso 2

“En el paso 1 se usan las manos, en el paso 2 se usa la cabeza para crear mejoras eficaces” Takutaru Suzuki.

- Disminuir tiempos de limpieza y chequeo.
- Evitar fallos de equipo.
- Garantizar la calidad del producto.
- Eliminar pérdidas

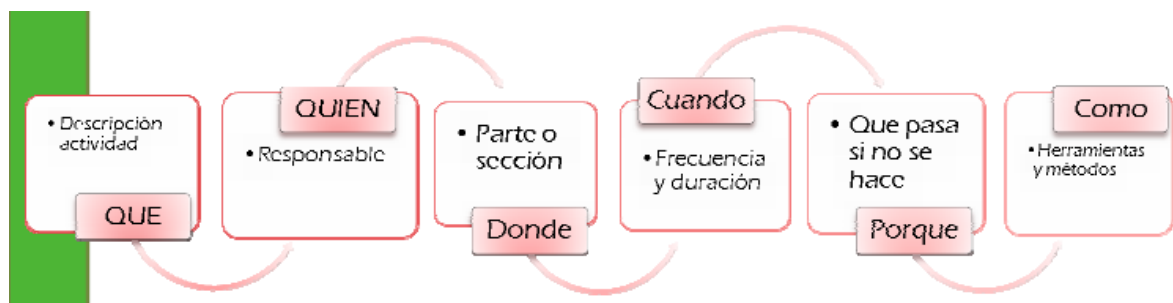
8.7.1.4 Estándares de limpieza y lubricación. Paso 3

Garantizar el mantenimiento de los logros obtenidos en los pasos 1 y 2, asegurando el mantenimiento de las condiciones básicas y la situación óptima.

“un estándar debe ser lo suficientemente específico como para ser una guía útil pero lo suficientemente general como para permitir alguna flexibilidad”

Seleccionar los estándares de limpieza, lubricación y fijación que serán mantenidos en intervalos cortos, el tiempo requerido para el trabajo diario / periódico debe ser claramente especificado

Figura 28. Características de un estándar



Fuente: Mantenimiento autónomo. Sebastián Giraldo.

Beneficios para el trabajador:

- Facilita aprender nuevas operaciones.
- Facilita los turnos con diferencias operacionales.
- Facilita ver problemas y contribuye con ideas.
- Evita confusiones y ambigüedades

Beneficios para la empresa

- Reduce variabilidad de los procesos y productos
- Reduce los desperdicios.
- Reduce los costos.
- Mejora la calidad
- Mejora los tiempos
- Hace más predecible los tiempos de entrega.
- Apoya la certificación en otros procesos.
- Herramienta de aprendizaje

8.7.1.5 Inspección general de equipos. Paso 4.

Conduce el entrenamiento sobre las destrezas de acuerdo con los manuales de inspección, se encuentran y se corrigen defectos menores en inspecciones generales, se modifica el equipo para facilitar la inspección.

8.7.1.6 Inspección general del proceso. Paso 5

Desarrollar y usar la lista de verificación para mantenimiento autónomo (Limpieza estandarizada, lubricación e inspección para fácil aplicación)

8.7.1.7 Sistematizar el mantenimiento. Paso 6.

Estandarizar varios elementos del lugar de trabajo, para mejorar la eficacia del trabajo, calidad del producto y la seguridad del ambiente; reducir los tiempos de reparación y ajuste, eliminar el trabajo en proceso. Estandarizar el manejo de materiales en el taller. Recolectar y registrar datos para la estandarización. Controlar los estándares y procedimientos para materias primas, trabajo en proceso, productos, partes de repuesto, plantillas y herramientas.

8.7.1.8 Gestión autónoma. Paso 7.

Desarrollar metas para la compañía, comprometerse en actividades de mejora continua (Kaizen)

Tabla 29. Resumen pasos del mantenimiento autónomo

PASO	MANTENIMIENTO AUTONOMO	HABILIDADES ADQUIRIDAS
0 5S	SEIRI: DESALOJAR	HABILIDAD 1 Descubrir anomalías y mejorar el equipo y su entorno
	SEITON:CLASIFICAR	
	SEISO:LIMPIEZA	
	SEIKETSU:ESTANDARIZAR	
	SHITSUKE:DISCIPLINA	
	1 LIMPIEZA COMO INSPECCION	
2	ELIMINAR FOCOS Y AREAS DE DIFÍCIL ACCESO	
3	ESTANDARES DE LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN	
4	INSPECCIÓN GENERAL DE EQUIPOS	HABILIDAD 2 Conocer las funciones y la estructura del equipo
5	INSPECCION GENERAL DEL PROCESO	Habilidad 3 Conocer con precisión el equipo y relacionarlo con la calidad del producto
6	SISTEMATIZAR EL MANTENIMIENTO	
7	AUTO GESTION	Habilidad 4 Gestionar autónomamente todos los aspectos de su línea de producción

8.7.2 Pilar del Mantenimiento Planeado

Objetivo del pilar

Asegurar y mantener la confiabilidad de las máquinas y su interacción con los procesos, de forma eficiente y segura, para la obtención de productos de excelente calidad.

El propósito de este pilar es alcanzar gradualmente cero fallas en los equipos a través del perfecto conocimiento de los mismos, la reversión del deterioro, la creación de un sistema de información, el mantenimiento preventivo y las metodologías de análisis de fallas.

Es el pilar más antiguo, de él nace el TPM con el concepto de eliminar las pérdidas, hasta las más ocultas; pero la tarea de descubrir los problemas no debía hacerla el “instructor”, debía ser un trabajo en equipo para la búsqueda y solución de los problemas; y así nace el mantenimiento autónomo”.

Causas de las averías según este pilar:

- Deterioro forzado
- Equipo fuera de condiciones de operación
- Abandono al deterioro natural
- Partes con puntos débiles de diseño
- Error humano

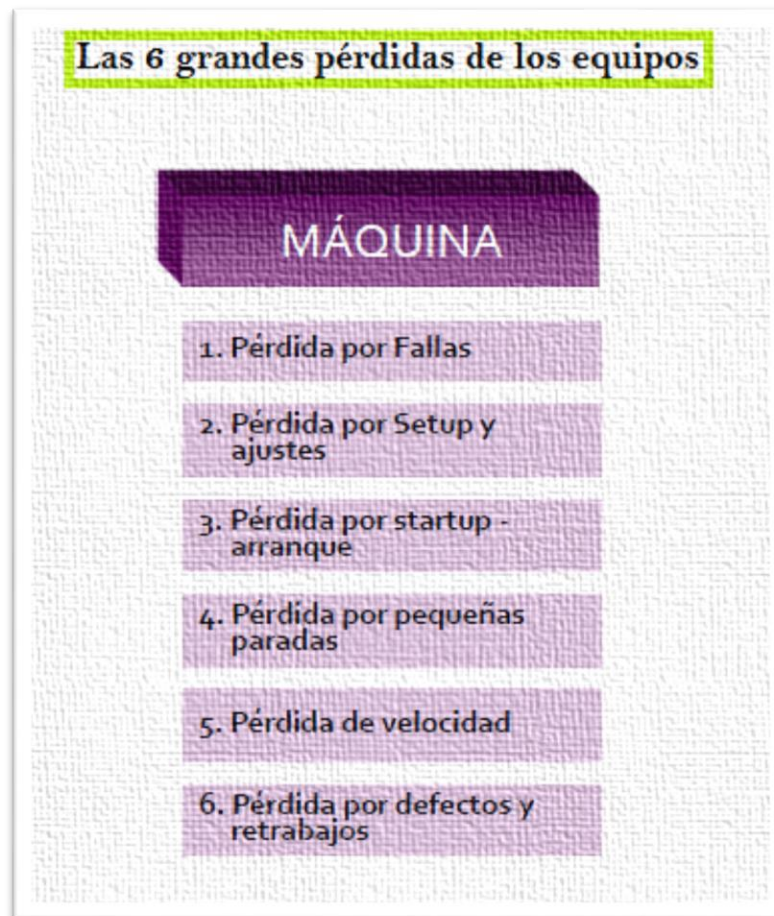
Figura 29. Pasos del mantenimiento planeado



8.7.3 Pilar de la mejora enfocada

Este pilar se concentra en la eliminación permanente de pérdidas para lograr la máxima eficiencia global de los equipos y procesos de la compañía, lo cual se desarrolla a través de equipos interdisciplinarios que lideran el mejoramiento continuo (Kaizen) y la eliminación de pérdidas

Figura 30. Pérdidas de los equipos



Fuente: Mejora enfocada. Sebastián Giraldo. Arreglo los autores.

8.7.4 Pilar de educación y entrenamiento

Desarrolla las habilidades y competencias de las personas para garantizar altos niveles de desempeño en su puesto de trabajo, a través de programas integrados de formación y lecciones de un punto.

Las LUPS o lecciones de un punto también conocidas como OPLS (one point lesson) tienen como finalidad documentar de manera clara la información que se va a transferir en un formato sencillo que recoge información específica para

transferir en un tiempo no mayor a 5 minutos, durante todo el proceso de implementación de mantenimiento autónomo se incentiva la generación de LUPS en los departamentos de mantenimiento y producción de manera que se multiplique el conocimiento hacia otras áreas de la compañía.

8.7.5 Pilar del control inicial de equipos

Es el desarrollo de equipos, con óptima ingeniería altamente fiable, amigable de operar y mantener, busca además fabricar productos libres de pérdidas y defectos durante el tiempo de vida del equipo.

8.7.6 Pilar de seguridad y medio ambiente

Crea un sistema de gestión integral de la seguridad y el medio ambiente que permite lograr cero accidentes y contribuir a prevenir riesgos que podrían afectar la integridad de las personas y generar efectos adversos al medio ambiente

8.7.7 Pilar de la gestión administrativa

Este pilar tiene como propósito reducir las pérdidas que se pueden producir en los procesos administrativos.

La mejora de tareas administrativas se orienta a su eficiencia y velocidad y a reducir el número de personas necesarias. Para lograr esto, se automatizan las tareas de oficina y se instalan sistemas de proceso de datos tales como redes electrónicas locales, etc. Al mismo tiempo, hay que incrementar la eficiencia administrativa en el apoyo a las decisiones y acciones de planificación de directores y ejecutivos.

Algunas máximas que considerar antes, de ir a la propuesta para la implementación del TPM en la Facilidad Cupiagua NW

“Usted no tiene que cambiar, la supervivencia no es obligatoria”... William Edwards Deming

“Los costos no existen para ser calculados, los costos existen para ser reducidos”... Taiichi Ohno

“Productividad no lo es todo, pero en el largo plazo es casi todo”... Paul Krugman

“Insanidad es esperar resultados distintos, haciendo siempre lo mismo” ...Albert Einstein

“Las especies que sobreviven no son las más fuertes sino las que mejor se adaptan a los cambios”...Charles Darwin.

9. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DEL TPM EN LAS FACILIDADES TEMPRANAS CUPIAGUA NW¹⁷

9.1 HALLAZGOS EN LAS FACILIDADES TEMPRANAS NW SIN TPM

- Eficacia global de planta (Paquete Z-0101B): 64% valor de referencia 85%
- MTBF(Tiempo medio entre fallas Z-0101B): 24 días valor de referencia de acuerdo con las metas anuales
- MTTR(Tiempo medio de reparaciones Z-0101B):1 día de acuerdo con las metas anuales
- Excesivo consumo de aceite de lubricación motor -compresor
- Mantenimiento correctivo 19%
- Mantenimiento planeado 81%
- Equipos críticos por mantenimiento Z-0101B: 20%
- Equipos críticos por seguridad de procesos Z-0101B:15%
- Puntos de control skimmers sedimentados
- No hay Iluminación en área de almacenamiento de aceites
- Orden y aseo piscina contraincendios
- Acopio inadecuado de repuestos y materiales
- Instalaciones hidráulicas de aires acondicionados deficientes
- Instalaciones de gas: En el Ko drum venteos de gas muy cerca a puntos calientes del camión de vacío durante actividades de trasiego.
- Dispositivos de seguridad y protección : inhibidos y relacionados en certificados de aislamiento a largo Plazo (FD-0103,LSLL-0105,PSE-0105)
- Trampas de grasa sedimentadas
- Bomba contraincendios sin dique
- Canales internos de escorrentías con demasiada vegetación

¹⁷ Propuesta de implementación, estrategias de implantación del TPM, información que valida y da cumplimiento al cuarto objetivo de la investigación

9.2 ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN

9.2.1 Formación y entrenamiento

El técnico aprende los conceptos básicos de TPM, del pilar de mantenimiento planeado, conceptos de anomalía, criticidad de equipos, tipos de tarjetas de reporte, relación con otros pilares TPM, conceptos de pérdidas, 5S, Estandarización, etc.

9.2.2 Definición de la estructura

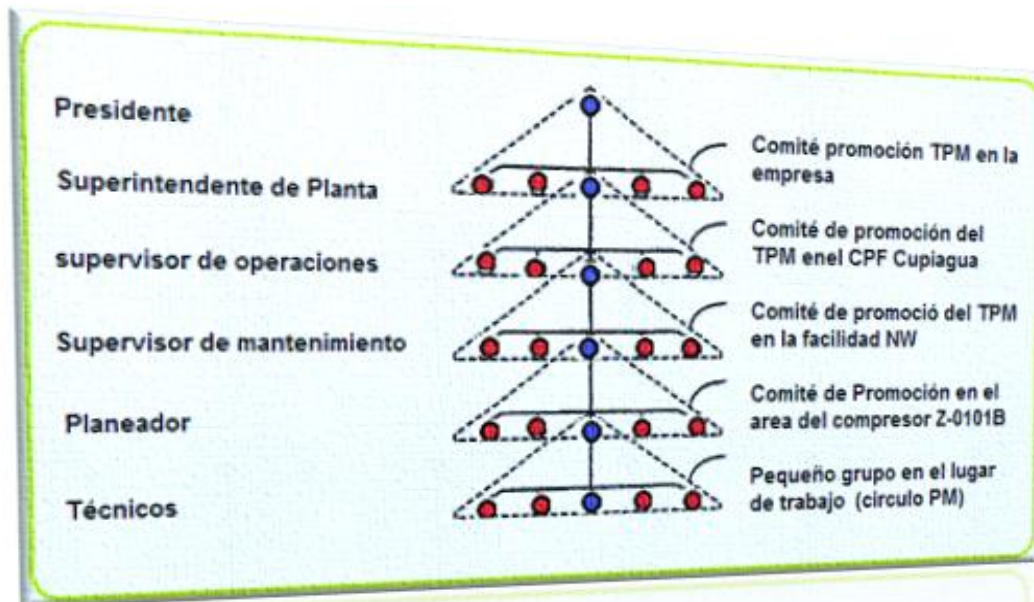
Se definen las personas que participarían en la línea piloto, los asistentes que liderarán los equipos y el soporte desde otros pilares TPM.

Figura 31. Etapas de implementación del TPM



Fuente: TPM Integral congreso de mantenimiento. Sebastián Giraldo

Figura 32. Organización para Promoción del TPM facilidad cupiagua NW



Fuente: Tomado de TPM en industrias de proceso

9.2.3 Selección de objetivos

- **Visión**

En el 2018 realizar evaluación del sistema de mantenimiento planificado (Paso 6) soportando el 100% de la facilidad Cupiagua NW en metodología TPM, tener una reducción del 90% en el número de averías con respecto al 2015, Maximizando la eficacia global de la planta a niveles de referencia del 85%

- **Misión**

Mediante trabajo en equipo en todos los sistemas de la facilidad Cupiagua NW se mantendrá las condiciones óptimas de confiabilidad en los equipos a costos razonables, que se reflejen en la reducción de cantidad y tiempo de fallas

- **Objetivos**

- Eliminar radicalmente los fallos
- Incrementar la confiabilidad de equipos
- Reducir el costo de mantenimiento
- Reducir el número de accidentes a cero(0)
- Desarrollar habilidades en los técnicos
- Transferir conocimiento técnico a operadores para detectar anomalías.

- **Indicadores de resultado**

- % de fallos (del tiempo operativo de los equipos).
- Número de fallos (promedio mes)
- % de reducción del costo de mantenimiento VS presupuesto.
- Número de accidentes

- **Indicadores de desempeño**

- Número de análisis de fallos efectuados por mes.
- MTTR(tiempo medio para reparar)
- MTBF(Tiempo medio entre fallas)
- Número de ideas de mejora realizadas
- % de tarjetas rojas ejecutadas
- Número de tarjetas verdes generadas
- Número de LUPS(Lecciones de un punto)
- % de cumplimiento 5S
- % de cumplimiento del plan maestro TPM

Se deben integrar los objetivos del área con la estrategia de la organización y se definen indicadores de resultado y desempeño

9.2.4 Plan maestro

El plan maestro incluye la alineación de los pasos del pilar, las metas anuales, el acompañamiento a las áreas de producción y el monitoreo de los avances...Ver figura 34.

Indicadores equipo piloto Z-0101B 1er semestre 2015

- OEE (eficiencia global de equipo): 63%
- % De averías: 19%
- Número de averías promedio al mes: 1,2 Z-0101B
- MTBTF:24 días
- MTTR:1 Día

9.2.5 Inicio de Actividades TPM

9.2.5.1 Limpieza Inicial

Primera actividad práctica del pilar de mantenimiento autónomo en la que a través de la limpieza de los equipos los operadores aprenden a detectar y reportar anomalías con el acompañamiento de mantenimiento.

Limpiar los equipos y áreas de trabajo de suciedad, manchas, polvo, grasa, etc. y encontrar defectos ocultos como: tornillos faltantes o sueltos, piezas sin lubricar, desgastes. Conocer los equipos, y entender su funcionamiento desde la perspectiva de calidad, mantenimiento, seguridad y producción

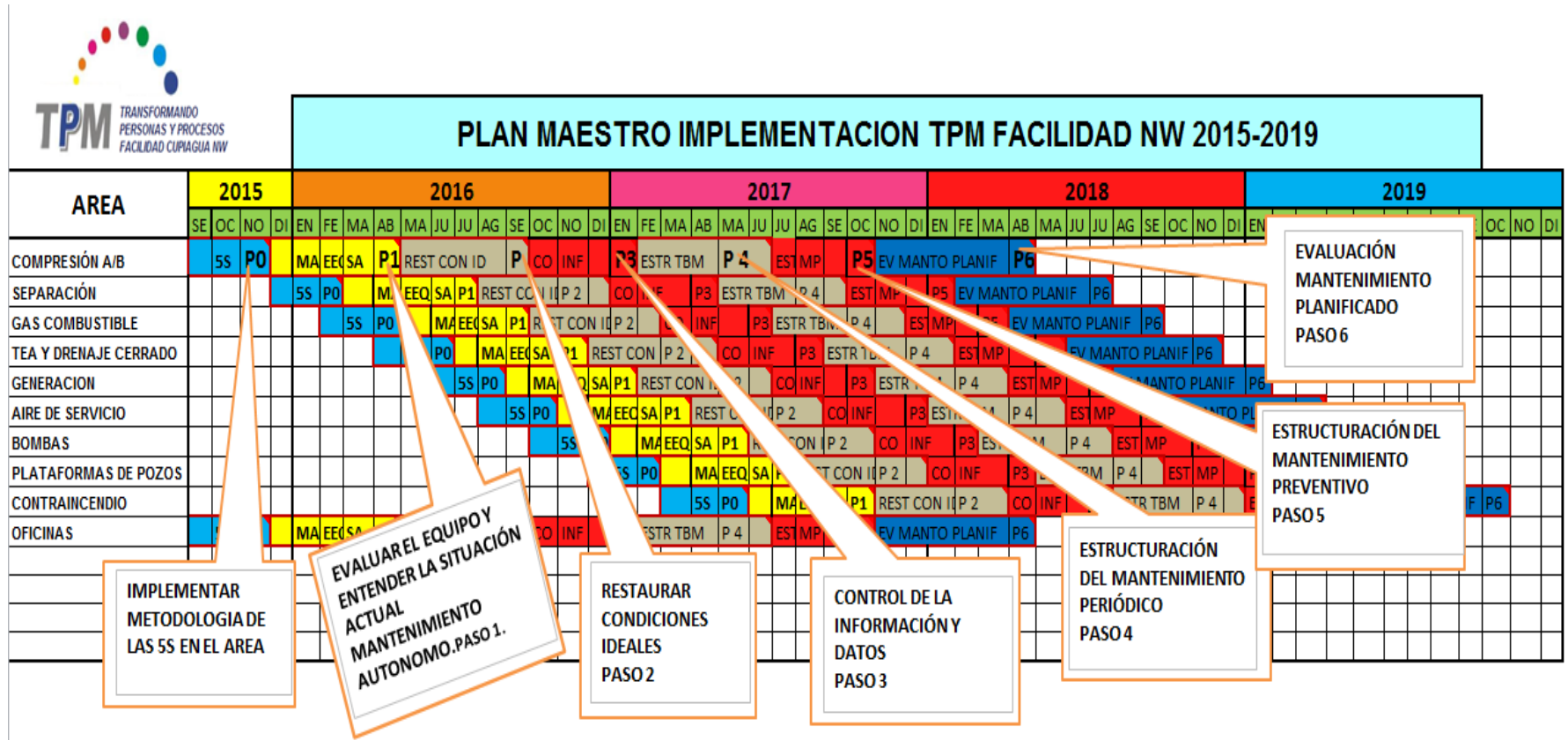
9.2.5.2 Estabilización semanal

Se debe acordar espacios semanales en los que mediante estándares de inspección se reporten anomalías y se revierta poco a poco el deterioro de los equipos

9.2.5.3 Reuniones autónomas

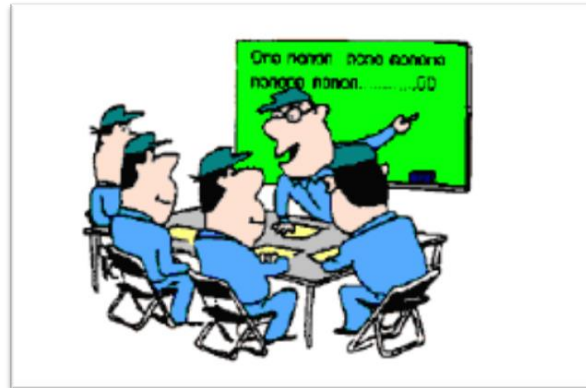
Reuniones programadas en las que se evalúan los resultados, se analizan los problemas, se involucran los responsables y se enfocan en los esfuerzos.

Figura 33. Plan Maestro implementación TPM facilidad Cupiagua NW



Fuente: Los autores.

Figura 34. Reuniones autónomas



Fuente: Arreglo los autores.

9.2.5.4 Apoyos metodológicos

- **Lección de puntos. LUPS**

Es una herramienta desarrollada por TPM para transmitir conocimientos y habilidades sobre el equipo. Las lecciones de un punto (OPL. One Point Lesson) sirven para estandarizar el mantenimiento autónomo. Es una herramienta que se puede aplicar a todos los estamentos de la empresa donde sea necesario estandarizar una tarea, compartir una modificación o mejora, informar de problemas o desarrollar habilidades en los operadores.

Categorías:

- **Conocimiento básico**

Son lecciones que sirven para rellenar lagunas de conocimientos en algunas operaciones. Con ello se garantiza una realización eficiente de los trabajos y una

mejora de seguridad de la misma. Un ejemplo de esta categoría son lecciones para la revisión de la presión y la temperatura de un equipo

- **Ejemplo de mejora**

Ejemplo ruptura de un eje como consecuencia de la holgura en un ajuste determinado

- **Ejemplo de problemas**

Situación inicial donde se expone el problema origen que obliga a crear un grupo de mejora en la siguiente tabla... se representa en una lección de un punto

Fuente: Monografía. Propuesta para implementar TPM. Oscar Fernando Puerto Fonseca

- **Estándares**

Figura 36. Fotografía. Aislamiento seguro de plantas de proceso



Fuente: Los Autores. Facilidad Cupiagua NW

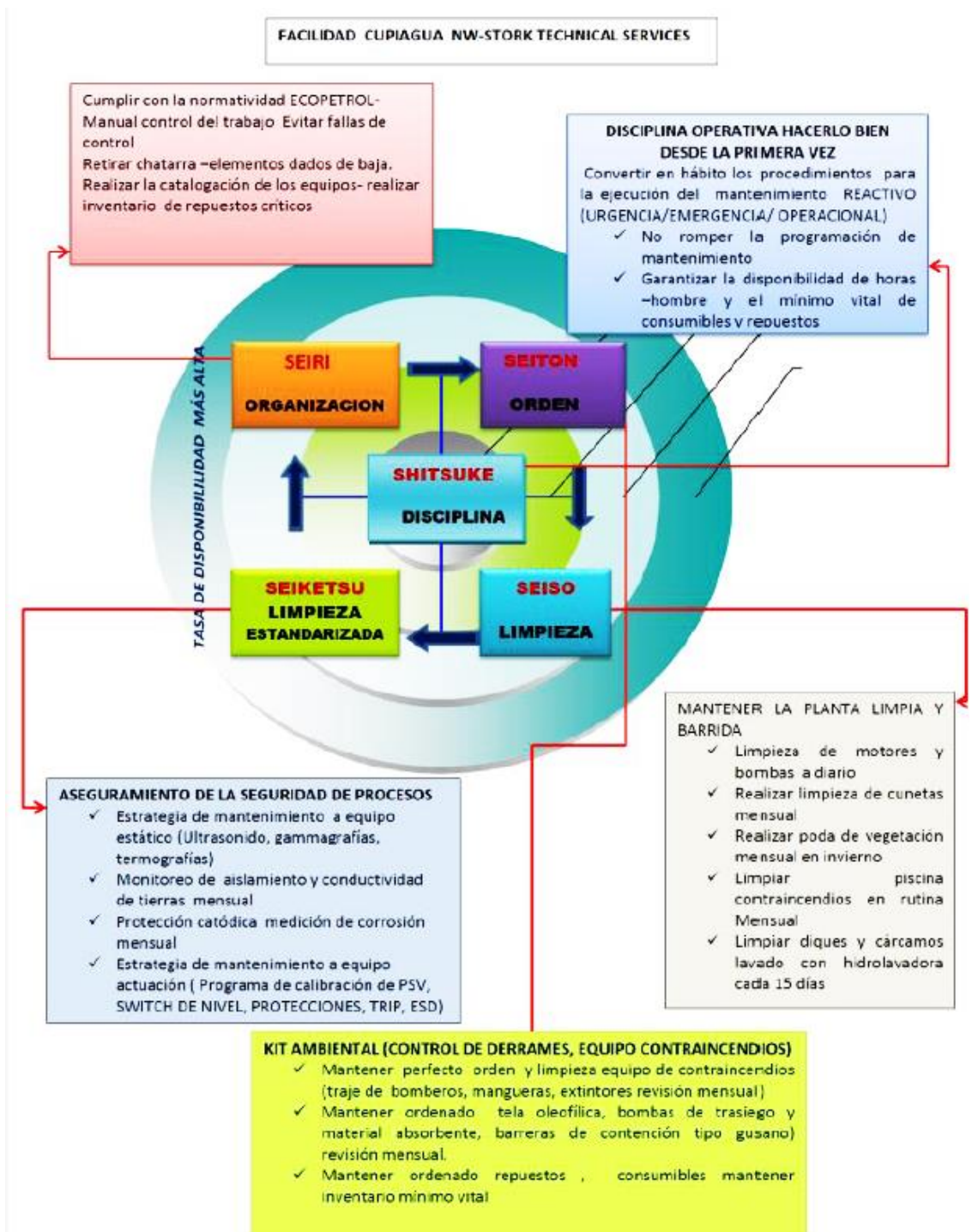
- **5S**

Figura 37. Ejemplo de despliegue de las 5s



Fuente: Los autores

Figura 38. Despliegue de las 5S en la facilidad cupiagua NW



9.2.5.5 Despliegue del pilar de Mantenimiento Planeado

Figura 39. Despliegue del mantenimiento planeado



Fuente: TPM integral congreso de mantenimiento 2014.

9.2.5.6 Cruce de Pilares

Tabla 30. Cruce de pilares

FASE	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	
PII AR	Reducir las variaciones de los tiempos entre averías	Extender la vida de los equipos	Restaurar periódicamente los deterioros	Predecir la vida útil de los equipos	
AUTONOMO	PASO 1. Limpieza como inspección PASO 2. Lugares de difícil acceso y focos de contaminación PASO 3. Estandarización	PASO 4. Inspección general del equipo.	PASO 5. Inspección general del proceso	PASO 6. Sistematización del mantenimiento autónomo. PASO 7. Auto-gestión.	PASO 6: EVALUACIÓN DEL MANTENIMIENTO
	TRANSFERENCIA DE HABILIDADES				
	PASO 1. Evaluación del equipo y diagnóstico actual.				
	PASO 2. Revertir el deterioro. (prevención de reincidencias)		ACTIVIDADES DE MEJORA EN EL EQUIPO		
PLANEADO		PASO 3. Estructuración del control de información y de datos.	ACTIVIDADES DE TIPO PERIÓDICO		
			PASO 4. Estructuración del mantenimiento planeado	PASO 5. Estructuración del mantenimiento predictivo.	

9.2.5.7 El primer día de la implementación del TPM

Programa para el primer día:

Primer paso

La Implementación de TPM es un proceso largo y serio, un concepto crítico es la participación total. Esto significa que hay una necesidad de comunicar a todo el personal. En una breve pero muy importante presentación de 15 a 20 minutos, todas las personas aprenderán que lograr el Mantenimiento Productivo Total es una meta para todos y cada uno de ellos. Todos se beneficiarán de esta decisión de la gerencia. Todos tienen la oportunidad de ser los promotores de esta iniciativa que traerá a la empresa a un nivel de rendimiento mucho mayor. Obviamente, la empresa será más estable, competitiva y productiva.

El TPM no es un libro, ni viene en una caja o tambo. No es algo que se puede simplemente “Conectar y Activar.”

¡El TPM es una cultura!

La buena noticia:

Ya están ahí en la empresa todos los ingredientes necesarios para una implementación exitosa. Están en la mente de cada asociado, operador, técnico, administrador, líder o jefe.

Se llaman: Inteligencia, Creatividad, Objetividad, Sentido Común y Buena Voluntad.

El proceso de implementación consiste en organizar y combinar todos esos excelentes recursos humanos para la mejora de los resultados que todo el mundo necesita para ayudar a preservar la seguridad en el frente de trabajo, ahora y en el futuro.

Segundo Paso.

Tras el anuncio, el consultor debe tener una primera oportunidad de visitar las instalaciones y hablar con algunas de las personas en el piso, tomando nota de sus observaciones y sus primeras ideas.

Tercer Paso

Entonces, una reunión con el grupo de liderazgo es fundamental, para que todos comprendan y apoyen las actividades que están a punto de iniciar.

Cuarto Paso

Finalmente, la última actividad del primer día es reunirse con el Equipo Piloto y luego de explicar el plan de acción, visitar junto con ellos el Área Piloto.

El Área Piloto generalmente ha sido elegida por el alto número de oportunidades que puede representar. Generalmente es una máquina o un área que ha estado experimentando tiempos de inactividad inaceptables o fallas operacionales, que se convierten en baja confiabilidad, defectos en el producto, un flujo lento de la producción; o una combinación de estas condiciones. Generalmente, el área piloto ofrecerá el "campus" ideal para que el equipo pueda empezar a desarrollar las habilidades de detección ya que todos ellos se convertirán en los "agentes de cambio", que traerán esa Área Piloto a un rendimiento cada vez más alto.

Después de eso, comenzarán una serie de clases y sesiones prácticas en piso, llevando a cabo las mejoras que se van acumulando y constantemente ayudan a aumentar el rendimiento y confiabilidad, mientras que todo el equipo se siente cada vez más fuerte y satisfecho.

¿Suenan fáciles, verdad? El proceso no será tan fácil, pero con la disciplina y técnicas adecuadas, el proyecto piloto será un éxito seguro. Éste será el escaparate y el ejemplo que todo el mundo seguirá en un futuro cercano.

La elección de los participantes en el equipo piloto es un elemento clave de ese éxito.

El Equipo Piloto

Siempre se recomienda traer a ese equipo una buena representación de la población de la planta. Si hay mujeres trabajando en la organización, se debe tratar de tener una proporción igual en el equipo Piloto.

Enseguida, se incluyen tantas personas de mantenimiento como sea posible; se debe entender, que algunos de ellos no pueden estar en acción de TPM todo el tiempo, porque necesitan prestar atención a algunos asuntos urgentes en la planta.

Se debe tener también un selecto grupo de personal de producción; algunos con antigüedad y algunos de reciente ingreso (pensadores frescos).

También la inclusión de uno o dos asociados de áreas administrativas contribuirá a la calidad del equipo piloto.

Así mismo se incorpora a un individuo que haya mostrado interés en su desarrollo profesional que podrá calificar como Coordinador de TPM.

Finalmente considerar tener al menos un líder o gerente que se asociará con el equipo la mayoría del tiempo durante este taller de Lanzamiento, (Usualmente de entre 1 y 2 semanas).

Clausura del taller de lanzamiento:

Esta función de una (1) hora es un vital cierre del evento. Debe ser atendido por la mayoría de los más altos dirigentes de la empresa. En esta sesión los participantes del equipo piloto presentarán sus hallazgos, resultados y logros, y los gerentes tendrán la oportunidad de medir el potencial de las mejoras. Les surge a Todos un compromiso mutuo y sucederá espontáneamente la “compra” del proceso TPM.

Los Certificados de Participación deben entregarse a cada elemento del equipo piloto. Se debe evitar títulos como: Señor, Ingeniero, Doctor u otros.

Los mejores deseos para un lanzamiento exitoso.

Tabla 31. Lección de un punto. Resumen implementación TPM.

		RESUMEN MODELO DE GESTION PARA IMPLEMENTAR EL TPM			
TEMA	Lanzamiento del TPM	FECHA	09/2015	NO	
UBICACIÓN	CUPIAGUA NW	EQUIPO	CUP-NW	PAG	_1_ DE _1_
ELABORADO	H. MORALES/J.PRECIADO	APROBADO			
CLASIFICACIÓN					
CONOCIMIENTO BASICO		✓	MEJORA		✓
MANTENIMIENTO AUTONOMO		✓	MANTENIMIENTO PLANEADO		✓
SEGURIDAD		✓	PROBLEMA		✓
OTRO: IMPLEMENTACIÓN		✓			
PASOS			DESCRIPCIÓN		
Fase 1. Preparación					
1.	Anuncio formal de la decisión de introducir TPM en la Facilidad NW		La alta dirección anuncia su decisión y el programa de introducción del TPM en una reunión interna; publicidad en revista de la empresa, etc		
2.	Educación introductoria sobre TPM y campaña de publicidad		<ul style="list-style-type: none"> • Dirección superior: grupos de formación para niveles específicos de dirección • Empleados: Cursos, diapositivas, ejemplos etc 		
3.	Crear una organización para promoción interna del TPM		<ul style="list-style-type: none"> • Comité de dirección y subcomités especializados • Oficina de promoción del TPM 		
4.	Establecer los objetivos y políticas básicas TPM		<ul style="list-style-type: none"> • Establecer líneas de actuación estratégica y objetivos • Prever efectos 		
5.	Iniciar un plan maestro para implementar el TPM (ver plan maestro tabla.		Desde la fase de preparación hasta la postulación para el premio(Plan Maestro)		
Fase 2. Introducción					
6.	“KICK Off “ Adopción y lanzamiento del proyecto empresarial TPM		Invitar a clientes, filiales y subcontratistas		
Fase 3. Implantación					
7.	Crear una organización corporativa para maximizar la eficacia de la producción		Perseguir hasta el final la eficacia global de la producción(Disponibilidad, rendimiento, calidad)		
8.	Realizar actividades centradas en la mejora		Actividades de equipos de proyectos y de pequeños grupos en puntos de trabajo		
9.	Establecer y despegar programa de mantenimiento autónomo (Operadores)		Proceder paso a paso, con auditorías y certificado la superación de cada paso		
10.	Implementar un programa de mantenimiento planificado (Ya existe ERP-ELLIPSE)		<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento correctivo • Mantenimiento con parada • Mantenimiento predictivo 		
11.	Formación sobre capacidades de mantenimiento y operación correctos		Educación de líderes de grupo que después forman a miembros de grupos		
12.	Crear un sistema para la gestión temprana de nuevos equipos y productos (Ya existe Gestión de Activos)		Desarrollar productos y equipos fáciles de usar y mantener		
FECHA		INSTRUCTOR		PARTICIPANTES	

Fuente: Pasos para la implementación del TPM En la Facilidad Cupigagua NW.

10 CONCLUSIONES

Con relación a la información primaria y secundaria se identifica que en la facilidad actualmente se desarrolla un mantenimiento correctivo del 19% y un mantenimiento planificado del 81% el cual se encuentra dentro de los valores de referencia de indicadores clase mundo; se halla el macro-indicador de eficacia global de planta (OEE) aplicado al equipo piloto compresor Z-0101B que alcanza al 64% teniendo como valor de referencia el 85%, esto se debe a que la capacidad de producción de gas del pozo NW-43 que fluye por la facilidad, solo aporta 8,34 MMSCFD y la capacidad de diseño del compresor es de 13 MMSCFD.

Se observa alto consumo de aceite en el moto-compresor, los costos de mantenimiento por consumo de aceite son del 59,04% del costo total.

En una operación de 18 meses cada 24 días (MTBF) se presentó una parada por correctivo programado y no programado.

El MTTR, tiempo medio de reparaciones es de un (1) día

Con TPM se buscaría reducir en el macro-indicador global de planta los costos por consumo de aceite y averías en un 90%

Los resultados de la implementación del TPM deben lograrse en todos los indicadores PQCSDM (E) Productividad, calidad, costos, seguridad, entregas, motivación y medio ambiente.

Los resultados del TPM se logran sin aumentar el recurso humano

La definición de los objetivos con el plan estratégico de la compañía es fundamental

Ecopetrol tiene implementado un sistema de información (ERP-Ellipse), 3er paso del mantenimiento Planeado (sistema de gestión de la información) y sexto paso del mantenimiento autónomo (sistematizar el mantenimiento), esto facilita la implementación del TPM en la facilidad Cupiagua NW

El modelo de gestión para implementar el TPM como cultura organizacional, está en la mente de cada socio, trabajador, operador, técnico, administrador, líder o jefe, que mediante el uso de la inteligencia, creatividad, objetividad, sentido común y buena voluntad se logra una buena sinergia que busca llevar la facilidad y obviamente la empresa a ser más estable, competitiva y productiva.

11 RECOMENDACIONES

De conformidad con el modelo de gestión de TPM, se recomienda revisar el estado de los anillos rascadores del compresor, ajustar las pintas de lubricación forzada teniendo en cuenta la información técnica del fabricante (Ingersoll rand) para restaurar las condiciones ideales de los equipos y dar cumplimiento al paso dos (2) del plan maestro, descrito anteriormente en la página 95.

Se debe posicionar el Kenco (indicador de nivel de aceite del motor y del compresor) y probar el lazo de control. Lo anterior para dar cumplimiento al paso dos (2) del plan maestro, que consiste en restaurar las condiciones ideales de los equipos y realizar una inspección general de equipos diariamente, que es el paso cuatro (4) del mantenimiento autónomo realizado por los operadores, el cual está contemplado como paso uno (1) dentro del plan maestro. El propósito de esta recomendación es reducir el consumo de aceite en los equipos por fugas y fallos.

Se recomienda hacer pruebas de presión de compresión de los cilindros motrices del motor con el objeto de determinar que no se esté pasando el aceite a las cámaras de combustión este criterio se establece dentro de la programación del mantenimiento planeado, descrito en el plan maestro.

Se recomienda realizar limpieza como inspección al equipo con el objeto de descubrir fugas de aceite ocultas en el moto-compresor consiste en desplegar el primer paso del mantenimiento autónomo, liderado por los operadores cuyo propósito es desarrollar habilidades en ellos para detectar y prevenir fallas a tiempo.

Se recomienda hacer prueba a las válvulas termostáticas (baño de María) del sistema de agua de camisas del motor y verificar que la actuación corresponda con el rango de temperatura establecido por el fabricante para este sistema. Lo

anterior se encuentra dentro de los hallazgos de los ítems mantenibles que más frecuencias de falla presentaron, limpieza del radiador por presentar alta temperatura en el agua de camisas. Restaurar las condiciones ideales de los equipos. Paso dos del plan Maestro.

BIBLIOGRAFIA

BECERRA, F y ESCOBAR, M. Facilidades de superficie: diseño, funcionamiento y operación. Petrogroup: Training & Consulting Company. Bogotá, Colombia. 2010, P.2.

DHYLLON B.S.Traduccion y adaptación de: Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. P.4.

ECOPETROL S.A. Lógicas Narrativas Y Filosofía de control. Facilidad Cupiagua NW 40/NW 43. 2010.

ECOPETROL. Gestión de activos industriales grupo central de mantenimiento

GARCÍA C, Alfonso. Mantenimiento Predictivo. Diapositivas 2013.79 diapositivas

GIRALDO, Sebastián. Instructor TPM. Mantenimiento productivo total. UIS. Especialización gerencia de mantenimiento. Cohorte 2. Yopal. 2015.

GONZALEZ, Isnardo. Seminario I. Profundización Bibliográfica. Especialización Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. 2014. p 26-38.

HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNANDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar, Metodología de la investigación. Cuarta Edición. 2006.

INCONTEC. NORMA TECNICA COLOMBIA NTC 1486

INCONTEC. NORMA TECNICA COLOMBIA NTC 5613

JAIMES, Luis. Stork Technical Services. Ingeniero de seguridad de procesos. Cupiagua NW. 2014.

MORA. E." El Primer día de Implementación de TPM". Consultado. En línea. NEW-TPMonline.COM. El 13/07/2015.

MORA G, Alberto. Predicciones-UIS- Especialización Gerencia de mantenimiento. (Fundamentación de ingeniería de fábricas).Diapositiva 6. Enfoque sistémico Kantiano del mantenimiento. Yopal, Julio 2014

RODRIGUEZ, M. Orlando, et al. En: Estrategias de Mantenimiento para la nueva planta de gas de Cupiagua. P. 43.

SEIICHI, Nakajima. "Programa de desarrollo de TPM" Madrid, Productivity Press, 1991.

SPENDOLINI. Benchmarking. (Evaluación comparativa).Diapositivas. Ppt. 2.1995

TAMAYO D, Carlos. Gerencia estratégica y operacional de mantenimiento 1. PDF.2015.

SUZUKI, Tokutaro. "TPM en industrias de proceso". TGP-HOSHIN SL. Marqués de cubas, 25. 28014-Madrid España.1995.