

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN TPM PARA LOS
EQUIPOS DE GENERACION Y BOMBEO DEL CAMPO TILODIRAN CASANARE
DE LA EMPRESA COLOMBIA ENERGY DEVELOPMENT Co.

DIEGO FERNANDO ALVAREZ MARTINEZ
DIEGO ANDRES LARA FORERO
PILAR EUGENIA TRIANA MONTERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FALCULTAD DE CIENCIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA
2014

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN TPM PARA LOS
EQUIPOS DE GENERACION Y BOMBEO DEL CAMPO TILODIRAN CASANARE
DE LA EMPRESA COLOMBIA ENERGY DEVELOPMENT Co.

DIEGO FERNANDO ALVAREZ MARTINEZ
DIEGO ANDRES LARA FORERO
PILAR EUGENIA TRIANA MONTERO

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

Director: PhD CARLOS BORRAS PINILLA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FALCULTAD DE CIENCIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA
2014

DEDICATORIA

A mi linda madre Stellita, que con sus oraciones y su ejemplo perpetuo de responsabilidad y perseverancia hace posible mis logros, a Fer por su apoyo y motivación constante, sin ella esta meta no sería realidad, a Kema por su colaboración a esta causa.

Diego Fernando Alvarez Martinez

La culminación del presente trabajo concreta un esfuerzo dedicado a mi superación profesional, otro gran eslabón que no habria alcanzado sin el apoyo y comprensión de mis Padres y de Diana. Así que, a Dios, a ellos y al resto de mi familia que me han acompañado, dedico este logro en homenaje de admiración y cariño.

Diego Andres Lara Forero

A Dios y la Virgen, por las bendiciones derramadas en mi vida y por llenarme siempre del Espiritu Santo para recorrer el camino de mi vida.
A mis viejos del alma, quienes con su amor, esfuerzo, dedicacion y ejemplo han forjado la persona que soy.
A mi hijo amado Nicolas, quien me llena de motivos y es el principal motor que mueve mi vida.
A mi esposo, el Ingeniero Residente de mi corazón.

Pilar Eugenia Triana Montero

CONTENIDO

Pág.

| | |
|---|----|
| INTRODUCCION..... | 14 |
| 1 MARCO CONCEPTUAL | 18 |
| 1.1 GENERALIDADES DE COLOMBIA ENERGY DEVELOPMENT Co | 18 |
| 1.1.1 Bloques Geográficos de operación | 19 |
| 1.1.2 Estructura Organización de CEDCo | 20 |
| 1.1.3 Departamento de Mantenimiento | 20 |
| 1.1.4 Departamento de Producción | 23 |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 23 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN EL PROBLEMA..... | 25 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 26 |
| 1.4.1 Objetivo General | 26 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 26 |
| 2 DESCRIPCION DEL PROCESO | 27 |
| 2.1 SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO EN POZOS PETROLEROS..... | 31 |
| 2.1.1 Levantamiento artificial | 32 |
| 2.1.2 Levantamiento por flujo natural..... | 39 |
| 2.2 EQUIPOS QUE INTERVIENEN EL PROCESO..... | 40 |
| 2.2.1 Unidad de bombeo Mark II..... | 40 |
| 2.2.2 Moto generadores..... | 41 |
| 2.2.3 Compresores de aire | 42 |
| 2.2.4 Caldera de vapor | 42 |
| 2.2.5 Bombas de recirculación y despacho..... | 43 |
| 2.2.5.1 Bombas centrifugas..... | 44 |
| 2.2.5.2 Bombas de desplazamiento positivo | 44 |
| 2.2.6 Equipos Menores | 45 |
| 3 MARCO TEORICO | 46 |
| 3.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO | 47 |
| 3.1.1 Mantenimiento Correctivo | 47 |
| 3.1.2 Mantenimiento Preventivo..... | 49 |
| 3.1.3 Mantenimiento Predictivo..... | 53 |
| 3.1.4 Mantenimiento reactivo | 56 |
| 3.1.5 Mantenimiento proactivo | 57 |

| | |
|---|-----|
| 4 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL..... | 58 |
| 4.1 QUE ES TPM..... | 59 |
| 4.2 OBJETIVOS DEL TPM..... | 61 |
| 4.3 PILARES DEL TPM..... | 64 |
| 4.3.1 Mantenimiento autónomo..... | 67 |
| 4.3.2 Mantenimiento Planeado..... | 89 |
| 4.3.3 Mejora Enfocada | 96 |
| 4.3.4 Educación y entrenamiento..... | 98 |
| 4.4 INDICADORES DEL TPM A CONSIDERAR..... | 99 |
| 4.5 POR QUÉ FALLA EL TPM..... | 100 |
| 5 PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN TPM | 103 |
| 5.1 SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE | 103 |
| 5.1.1 Análisis y evaluación de riesgos | 103 |
| 5.1.2 Identificación de Amenazas o Eventos..... | 105 |
| 5.2 MANTENIMIENTO AUTONOMO | 133 |
| 5.2.1 Las 5s como punto de partida del mantenimiento autónomo | 133 |
| 5.2.2 Realización de limpieza como inspección..... | 135 |
| 5.2.2.1 Recomendaciones generales para mantener las Condiciones Básicas de las Bombas de Desplazamiento positivo y Centrifugas | 139 |
| 5.2.2.2 Recomendaciones generales para mantener las Condiciones Básicas en los Generadores de Energía..... | 141 |
| 5.2.2.3 Recomendaciones generales para mantener las Condiciones Básicas de los compresores de aire que intervienen en el proceso..... | 143 |
| 5.2.2.4 Recomendaciones generales para el taller y bodega de materiales | 144 |
| 5.2.3 Localización de focos de suciedad, y áreas de difícil acceso | 145 |
| 5.2.3.1 Generadores y Compresores..... | 147 |
| 5.2.3.2 Bombas Centrifugas y de Desplazamiento Positivo..... | 148 |
| 5.2.3.3 Taller y bodega de materiales..... | 148 |
| 5.2.4 Estandarización de las Actividades de Mantenimiento | 149 |
| 5.2.5 Capacitaciones en Técnicas de Inspección General | 149 |
| 5.2.6. Auto Gestión | 150 |
| 5.3 MANTENIMIENTO DE LA CALIDAD | 150 |
| 5.3.1 Propuesta de codificación..... | 151 |
| 5.3.2 Jerarquización..... | 153 |
| 5.3.3 Diseño de nuevos formatos de Hojas de Vida | 153 |
| 5.3.4 Diseño de formato para Rutinas de lubricación..... | 156 |
| 5.4 MANTENIMIENTO PLANEADO..... | 157 |
| 5.4.1 Declaración de inventario para los equipos de interés..... | 157 |
| 5.4.2 Análisis de Criticidad..... | 158 |

| | |
|---|-----|
| 5.4.3 Clasificación de averías en los equipos principales | 162 |
| 5.4.4 Consejos para cero fallos..... | 163 |
| 5.4.5 Formulación de procedimiento para el generador | 165 |
| 5.5 CAPACITACION, EDUCACIÓN Y ENTRENAMIENTO..... | 168 |
| 6. CONCLUSIONES | 172 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 173 |

LISTA DE FIGURAS

Pág.

| | |
|--|-----|
| Figura 1: Descripción General de Operación, Estadísticas Clave CEDCo. | 19 |
| Figura 2: Distribución Geográfica de Operaciones. | 19 |
| Figura 3: Organigrama de Colombia Energy Development Co. | 21 |
| Figura 4: Panorámica de tanques de almacenamiento en Campo Tilodirán..... | 29 |
| Figura 5: Panorámica facilidades de tanques, skimmer y Teas. | 29 |
| Figura 6: Diagrama básico del Proceso en Campo Tilodirán CEDCo..... | 31 |
| Figura 7: Sistema Mecánico del Pozo Tilodirán 2. Unidad Lufkin Mark II. | 33 |
| Figura 8: Diagrama de un sistema de levantamiento Electro sumergible. | 35 |
| Figura 9: Geometría Estator Rotor de una bomba PSP. | 36 |
| Figura 10: Sistema de Levamiento Hidráulico tipo Jet. | 38 |
| Figura 11: Sistema Gas Lift (Equipos de superficie y de fondo). | 39 |
| Figura 12: Generador a Diésel CATERPILLAR 3406. | 41 |
| Figura 13: Compresores del campo Tilodirán. | 42 |
| Figura 14: Caldera Tecnik de 50 BHP. | 43 |
| Figura 15: Área de bombas de crudo (Equipo Centrifugo de color azul rey). | 45 |
| Figura 16: Ciclo de Reparación..... | 52 |
| Figura 17: MP como mantenimiento programado..... | 53 |
| Figura 18: Clasificación de las estrategias de mantenimiento. | 57 |
| Figura 19: TPM, Cultura organizacional..... | 59 |
| Figura 20: Mantenimiento Productivo Total. | 63 |
| Figura 21: Pilares del Mantenimiento Productivo Total..... | 65 |
| Figura 22: Limpieza, inspección y ajuste. Cero fallos. | 68 |
| Figura 23: Las 5 "eses" | 74 |
| Figura 24: Las 5S. Clasificar | 76 |
| Figura 25: Las 5S. Ordenar | 77 |
| Figura 26: Las 5S. Limpiar | 78 |
| Figura 27: Las 5S. Estandarizar..... | 78 |
| Figura 28: Las 5S. Significado | 79 |
| Figura 29: Tarjetas TPM | 80 |
| Figura 30: Diagrama de Mantenimiento Planeado..... | 91 |
| Figura 31: Rombo de nivel de riesgo | 114 |
| Figura 32: PON para Eventos por DERRAME..... | 123 |
| Figura 33: PON para ATENCIÓN DE LESIONADOS - MEDEVAC. | 124 |
| Figura 34: PON para Eventos por EVACUACION. | 126 |

| | |
|---|-----|
| Figura 35: PON para Eventos por ACCIDENTE VIAL. | 127 |
| Figura 36: PON para Eventos por ACCIDENTE VIAL CON DERRAME..... | 129 |
| Figura 37: PON para Eventos para Eventos por INCENDIO EN LOCACION..... | 130 |
| Figura 38: PON para Eventos por RUPTURA DE LÍNEA DE FLUJO. | 131 |
| Figura 39: Circulo de trabajo TPM para CEDCo..... | 136 |
| Figura 40: Tarjeta propuesta para reportar averías. | 137 |
| Figura 41: Tarjetas para el reporte de averías y anomalías..... | 138 |
| Figura 42: Generadores de Campo Tilodirán (Primario y Secundario). | 140 |
| Figura 43: Baterías con suciedad del Generador Primario. | 142 |
| Figura 44: Tableros de control y distribución. | 142 |
| Figura 45: Estado actual de la bodega y el taller de mantenimiento..... | 146 |
| Figura 46: Elementos para administrar el mantenimiento Autónomo..... | 146 |
| Figura 47: Estructura de codificación propuesta para los equipos CEDCo..... | 152 |
| Figura 48: Nuevo formato de Hoja de vida para Equipos CEDCo. | 155 |
| Figura 49: Formato actual usado por el personal CEDCo como hojas de vida.... | 156 |
| Figura 50: Ruta de Lubricación de Generadores y Bombas. | 157 |
| Figura 51: Matriz de criticidad propuesta para los equipos CEDCo..... | 161 |
| Figura 52: Diagrama de clasificación de averías para los equipos principales. ... | 163 |

LISTA DE TABLAS

Pág.

| | |
|--|-----|
| Tabla 1: Resumen de bloques o contratos de operación nacional CEDCo. | 20 |
| Tabla 2: Actividades desarrolladas por el personal técnico CEDCo. | 23 |
| Tabla 3: Lista de equipos de bombeo superficial en Campo Tilodirán..... | 44 |
| Tabla 4: Lista de pilares que soportan el TPM..... | 65 |
| Tabla 5: Pasos del Mantenimiento Autónomo. | 74 |
| Tabla 6: Identificación de Escenarios. | 107 |
| Tabla 7: Calificación de la vulnerabilidad..... | 113 |
| Tabla 8: Calificación Nivel del Riesgo..... | 115 |
| Tabla 9: Clasificación y Análisis de Amenazas..... | 116 |
| Tabla 10: Vulnerabilidad en las personas..... | 116 |
| Tabla 11: Vulnerabilidad en los Recursos..... | 118 |
| Tabla 12: Vulnerabilidad en Sistemas y Procesos..... | 119 |
| Tabla 13: Calificación del Riesgo Campo Rio Verde. | 120 |
| Tabla 14: Procedimientos Operativos Normalizados. | 122 |
| Tabla 15: Clasificación propuesta para los equipos CEDCo..... | 152 |
| Tabla 16: Lista de equipos jerarquizados con sus respectivos Equipos Padre.... | 154 |
| Tabla 17: Descripción el inventario de equipos en el Campo Tilodirán..... | 158 |
| Tabla 18: Categorización por frecuencia de fallos. | 160 |
| Tabla 19: Categorización de impactos o consecuencias de fallos. | 160 |
| Tabla 20: Resultado de análisis de criticidad de los equipos considerados..... | 162 |

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN TPM PARA LOS EQUIPOS DE GENERACION Y BOMBEO DEL CAMPO TILODIRAN CASANARE DE LA EMPRESA COLOMBIA ENERGY DEVELOPMENT Co.¹

AUTORES:

DIEGO FERNANDO ALVAREZ MARTINEZ

DIEGO ANDRES LARA FORERO

PILAR EUGENIA TRIANA MONTERO²

PALABRAS CLAVE: CEDCo³, Plan de mantenimiento, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Correctivo, Rutinas de Mantenimiento, TPM.

DESCRIPCION: Este trabajo nace de la necesidad de crear un plan con rutinas de mantenimiento para los diferentes equipos de bombeo y generación en el campo Tilodirán ubicado en el municipio de Yopal, perteneciente a la empresa CEDCO.

Para elaborar el contenido se visitaron las instalaciones y facilidades con sus respectivos equipos junto a un funcionario del departamento de mantenimiento; de las visitas se conocieron los métodos aplicados, sus inconvenientes actuales y algunas propuestas del personal. Se obtuvo información clasificada de los históricos junto a las hojas de vida de algunos equipos mantenidos en el campo; en base a esto, se procede a revisar el estado actual del proceso de mantenimiento, se clasifican los equipos, codificándolos, dándoles jerarquía y estableciendo la criticidad de los mismos; considerándose de mayor relevancia, los equipos de generación eléctrica, por ser fundamentales para la confiabilidad de los sistemas de levantamiento. Se procede a trazar rutas de lubricación poniendo en práctica la rutina TLC que nos deja la filosofía del mantenimiento autónomo del TPM, lubricar, ajustar y limpiar, es fundamental aplicar esta metodología de mejora continua junto a las 5's para tener una buena base como primer paso hacia un mantenimiento autónomo para luego trazar las bases de un futuro mantenimiento planeado, se plantea un análisis de riesgos y por último se proponen dos capacitaciones en temas importantes en pro de incrementar la preparación técnica de todo el personal de campo.

¹ Monografía

² Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: PhD. Carlos Borrás Pinilla.

³ CEDCo, sigla de la empresa Colombia Energy Development Co.

SUMMARY

TITLE: MAINTENANCE PLAN APPROACH BASED ON TPM TECHNIQUES FOR THE GENERATION AND PUMPING SYSTEMS INSTALLED IN TILODIRAN FIELD BELONGING TO COLOMBIA ENERGY DEVELOPMENT Co.¹

AUTHORS:

DIEGO FERNANDO ALVAREZ MARTINEZ

DIEGO ANDRES LARA FORERO

PILAR EUGENIA TRIANA MONTERO²

KEY WORDS: CEDCo³, maintenance plan, preventive maintenance, corrective maintenance, maintenance grinds, TPM.

DESCRIPTION: This job originates from the need to create a plan with maintenance routines for the different pumping equipment and generation in the Tilodirán field located in rural area of Yopal, belonging to the company Cedco.

To develop this content, the oil facilities were visited with their respective equipment and machines together to the technical staff of the maintenance department; from the visits was possible to know the methods used, their current drawbacks and some staff proposals. It was possible to have information about some equipment installed in the field, from the reviewing historical data from resumes; on this basis, it proceed to review the current status of the maintenance process, the equipment were classified by coding, giving hierarchy and establishing criticality thereof; considered the most important to the power generation equipment, being fundamental to the reliability of lifting systems. It proceeds to set routes lubrication applying TLC, routine that leaves us the philosophy of autonomous maintenance of TPM, lubricate, adjust and clean, it is essential to apply this methodology of continuous improvement together with the 5s to have a good base as a first step towards the autonomous maintenance, then create the root for a future planned maintenance, it proposes a risk analysis and finally, two trainings on important issues favor of increasing the technical education of all field personnel are proposed.

¹ Monograph

² Engineering School Physical-Mechanical, Maintenance Management Specialization, Director: PhD. Carlos Borrás Pinilla

³ CEDCo, initials of the company name, Colombia Energy Development Co

INTRODUCCION

Cuando se obtiene lo mismo con menos esfuerzo se está logrando un camino a la eficiencia, pero que mejor aprovechar aquel desbalance de sobre esfuerzo transfiriéndolo a una mayor productividad mejorando continuamente las condiciones de confort del personal, ganan todos; gana la corporación por aumentar sus ventas y la favorabilidad de su personal, por supuesto gana la gente por sentir que sus mejoras se traducen en bienestar general. En Colombia existen gran cantidad de empresas donde por sus tradiciones y paradigmas errados se excluye implementar programas de mejora operacional, simplemente por considerarlo un rubro quizá único para grandes corporaciones menospreciando aquel beneficio que obtendrían por implementar rutinas y planes de mantenimiento más detallados producto de estudios dedicados a sus procesos e instalaciones. En algunos casos tildan de ilusos e idealistas a aquellos promotores que intentan romper aquellas barreras viejas, en estos casos algunos fracasan y otros logran que les den el aval y la razón del éxito por llevar al mejoramiento operacional; CEDCo es una empresa que no posee un gran volumen de producción petrolero pero si tiene la capacidad y los medios para contratar servicios y estudios para el diseño de planes avanzados de mantenimiento algo no logrado en la práctica. Lo que se quiere por medio de este entregable es diseñar un plan de mantenimiento que involucre nociones básicas de una filosofía de mantenimiento productivo total que involucre todos los roles de personal de campo, de aquí se focaliza y se empuja la operación a un nivel donde el esfuerzo se diversifique y los procesos sean más confiables para el beneficio de todos.

1 MARCO CONCEPTUAL

1.1 GENERALIDADES DE COLOMBIA ENERGY DEVELOPMENT Co

Colombia Energy Development Co, antes de 2010 Harken de Colombia Limited, conocida dentro de su organización como CEDCo, es una subsidiaria de la empresa Global Energy Development Plc¹, posee tres oficinas corporativas, su oficina principal en Londres Inglaterra, oficina corporativa técnica y de ingeniería en Texas USA y la oficina local en Bogotá DC; las acciones de Global cotizan en el mercado AIM (Alternative Investment Market AIM:GED) administrado por la bolsa de valores de Londres, su principal accionista con más del 60% de participación es la estadounidense Harken Energy Corporation (HKN Inc). CEDCo hace presencia en Colombia desde hace algo más de dos décadas en actividades de explotación de campos maduros y campos nuevos, algunos los ha desarrollado en alianza con la ANH y Ecopetrol S.A; este documento analizo y propuso un entregable para el campo Tilodirán, ubicado en el departamento de Casanare que hace parte del contrato o bloque Rio Verde.

CEDCo tiene en Colombia 62 empleados, de ellos 35 se encuentran en campo distribuidos en sus distintos bloques de operación. Según la Ralph E. Davis Associates Inc (RED), una empresa auditora de contratos y reservas que analiza el ejercicio productivo de CEDCo, reporto a 31/12/12 reservas probables de hidrocarburos (2P) de 87.7 millones de barriles (MMBSL) de petróleo equivalente (BOE) y reservas posibles (3P) de 198 millones de BOE, en este reporte no se mencionan reservas probadas (1P).

En la Figura 1, se aprecian los datos estadísticos más importantes, de producción y cifras de beneficios con información puntual de la operación de CEDCo.

¹Plc: Public Limited Company (UK), empresa pública de responsabilidad limitada.

Figura 1: Descripción General de Operación, Estadísticas Clave CEDCo.

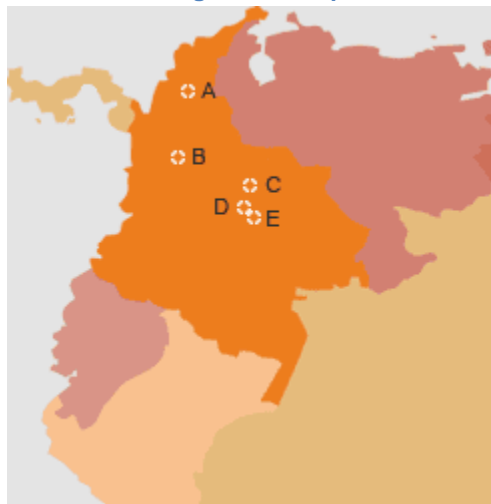
| | | | | |
|---|---|--|---|--|
| Estadísticas Clave <small>¹ Al 31 de Diciembre / 2012</small> <small>² Al 1 de Septiembre / 2013</small> | PRODUCCION DE CRUDO ANUAL¹ 492,000 Barriles ("Bbls") | RESERVAS 2P TOTALES¹ 87.7 Millon ("Bbls") | INGRESOS¹ \$44.0m | PORTAFOLIO Cinco contratos en Colombia |
| | CAPITALIZACION DE MERCADO² £29.8m | ACCIONES EN CIRCULACION² 36,112,187 | COTIZANDO AIM: GED | PERFIL CORPORATIVO Opera todos los activos en Colombia con una participación del 100%. |

Fuente: Global Energy Development PLC, INVESTOR PRESENTATION, Sep/13

1.1.1 Bloques Geográficos de operación. En la Figura 1 se menciona que CEDCo posee un portafolio de operación de cinco (5) contratos dentro del territorio Colombiano; de estos, tres son en asociación con Ecopetrol S.A y dos en concesión con la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).

Los cinco bloques de operación tal como se muestra en la Figura 2, son Bolívar, Bocachico, Rio Verde, Alcaraván y Los Hatos.

Figura 2: Distribución Geográfica de Operaciones.



- A: Bolivar
- B: Bocachico
- C: Rio Verde
- D: Alcaravan
- E: Los Hatos

Fuente: CEDCo

Tabla 1: Resumen de bloques o contratos de operación nacional CEDCo.

| CONTRATO | TIPO DE CONTRATO | | AÑO DE INICIO | FECHA FINAL | AREA APROX (HA) | RESERVAS (2P) Millones BOE | RESERVAS (3P) Millones BOE |
|-----------|------------------|-----------|---------------|-------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | ASOCIACION | CONCESION | | | | | |
| BOLIVAR | ECOPETROL | | 1996 | 12/07/2024 | 8500 | 37,1 | 48,6 |
| BOCACHICO | ECOPETROL | | 1994 | 07/03/2022 | 22136 | 78,4 | 140,7 |
| RIO VERDE | | ANH | 2004 | 14/05/2034 | 2860 | 5,4 | 10,2 |
| ALCARAVAN | ECOPETROL | | 1993 | 13/02/2021 | 9712 | 4,6 | 9,3 |
| LOS HATOS | | ANH | 2004 | 04/06/2034 | 120 | 0,2 | 0,2 |

Fuente: CEDCo

El campo Tilodirán se encuentra ubicado dentro del bloque o contrato Rio Verde a pocos kilómetros del corregimiento homónimo y a 40 kilómetros aproximadamente de la ciudad de Yopal, dentro de este campo hay tres pozos actualmente en producción, Tilodirán 1, Tilodirán 2 y Tilodirán 3; el interés de este trabajo es objetivo al pozo 2, en cuya locación está construida la batería del campo junto a unidades habitacionales para el personal de todo el bloque (Rio Verde).

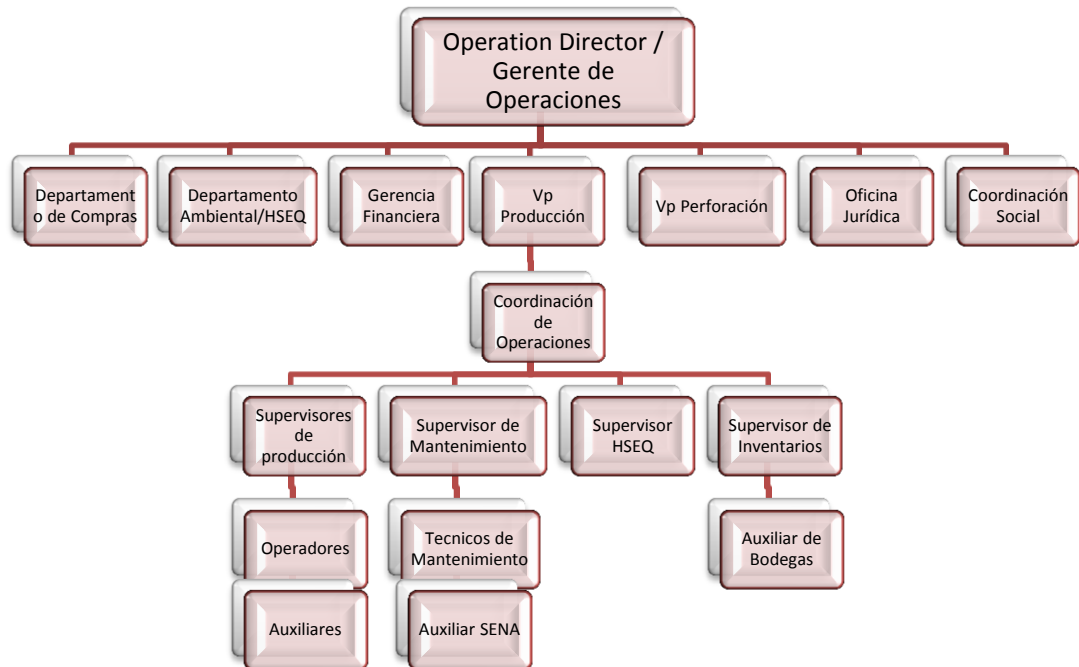
1.1.2 Estructura Organización de CEDCo. La oficina local de CEDCo en Bogotá D.C cuenta con 27 personas distribuidas en las diferentes dependencias, tal como se muestra en la Figura 3 hasta la fila 2; las demás filas están ocupadas por personal que está en los diferentes campos de operación en el territorio nacional, que suman 35 para un total de staff de 62 empleados en todo Colombia.

1.1.3 Departamento de Mantenimiento. Para su operación, CEDCo cuenta con cinco personas directamente involucradas al departamento de mantenimiento a nivel nacional, de ellas, un supervisor, tres técnicos y un auxiliar SENA; para campo Tilodirán no existe personal dedicado, sin embargo dentro de sus instalaciones vive permanentemente un técnico y un auxiliar SENA, quienes dan privilegio a las labores en el campo pero tienen que atender requerimientos en tres lugares más, de ellos uno está en el bloque Alcaraván.

Por lo anterior las labores de mantenimiento dependen en gran parte, del monitoreo y verificación del personal operador junto a sus auxiliares. El personal técnico tiene como jefe inmediato al supervisor de mantenimiento a quien reportan el cumplimiento del programa y novedades a tener en cuenta, de igual manera para cualquier labor o procedimiento especial están también a órdenes del

supervisor de producción del respectivo campo; es de importancia aclarar que el auxiliar Sena solo está presente para el bloque Rio Verde y el campo adicional en el bloque Alcaraván, los demás campos no tienen este cargo.

Figura 3: Organigrama de Colombia Energy Development Co.



El departamento de mantenimiento dentro de la organización CEDCo no tiene representación en la alta gerencia, este depende del coordinador de operaciones y está al mismo nivel de operaciones de campo, inventarios y HSE; se podría tener en cuenta como un razón por la cual no se ha establecido un plan de mejora continua, ni se haya fomentado la aplicación de metodologías de optimización en las labores que actualmente se realizan, el equipo de mantenimiento no ha sido capacitado en cursos técnicos idóneos para los equipos que mantienen, ni poseen herramientas para un monitoreo de la condición de estos, salvo su criterio producto de rutinas de verificación e inspección y la información que comparta el personal de operaciones. Las labores de operador mantenedor no se han definido claramente a pesar de su fomento dentro de los campos, esta es una razón por la que no se hacen empalmes adecuados entre operaciones y mantenimiento.

1.1.3.1 Estrategia y técnicas actualmente aplicadas. El equipo de mantenimiento ha creado algunos formatos para llevar el control y seguimiento de sus actividades, archivos en Excel donde están consignados datos relevantes de cada equipo, particularmente los generadores tienen formatos algo más completos donde se encuentra la hoja de vida de la máquina, un protocolo de mantenimiento autorizado por coordinación de operaciones y elaborado por el supervisor de mantenimiento, adicional tiene una lista de chequeo (check list) donde enumeran las actividades paso a paso para las labores de mantenimiento por cada 250, 2000, 15000 y 25000 Horas; el formato tiene buena contextualización excepto por el diseño de forma y la desactualización en las actividades consignadas allí. Los formatos que se utilizan actualmente y los propuestos por los autores de este documento, se pueden ver en detalle en el capítulo 5 en el ítem 7 de Formatos para Servicios de Mantenimiento, estos resultan ser muy importantes a la hora de normalizar y crear estándares de servicio para los diferentes equipos y componentes.

La estrategia que actualmente pone en práctica el personal mantenedor está regida por tiempos de uso de cada equipo, junto al mantenimiento correctivo que sea necesario ejecutar sobre los mismos, actividades que son producto de paradas inesperadas, de rutinas propias y de aquellas que el personal operador comparte sobre las condiciones básicas de funcionamiento, sin embargo es usual e infortunado que una máquina presente un deterioro forzado por el hecho de priorizar el proceso y no la integridad de la misma; los generadores y las bombas de agua son los únicos equipos que son intervenidos de manera programada, en la Tabla 2 se muestran algunos ejemplos de actividades para algunos equipos.

Al presente CEDCo aún no ha implementado un programa CMMS¹ para optimizar las labores de mantenimiento haciendo posible un monitoreo y un control en tiempo real de las actividades, esto sería ideal para una efectiva planeación, programación, ejecución y cierre de labores de mantenimiento en los diferentes campos con sus respectivos equipos y componentes; se obtendrían los diferentes indicadores de gestión para que toda la organización conozca, evalúe y aporte al departamento de mantenimiento; la implementación de un CMMS sería más factible quizá si el departamento contara con representación de mayor jerarquía dentro de la organización.

¹ CMMS: Computerized maintenance management software. Software de gestión de mantenimiento por computadora.

Tabla 2: Actividades desarrolladas por el personal técnico CEDCo.

| EQUIPO | POTENCIA | FRECUENCIA | ACTIVIDAD |
|-------------------------------|---------------|------------|--|
| Generador CAT-3406 | 343 KVA | 250 horas | Cambio de Lubricante, de filtros, limpieza, verificación de niveles de refrigerante ... |
| Generador CAT G-398 | 470KVA | 1000 horas | Cambio de Lubricante, de filtros, limpieza, verificación de niveles de refrigerante ... |
| Caldera Teknik | 50bhp | 90 días | Mantenimiento Contratado por un tercero. |
| Compresor IngersollRand | 150 PSI | 2000 horas | Cambio de lubricante hidráulico refrigerante, limpieza del separador fino, filtro de aire, inspección del estado de la correa, ajustes de mangueras neumáticas ... |
| Motor Siemens Mark II | 200 HP | - | Mantenimiento correctivo, cambio de rodamientos, se monta unidad de respaldo. |
| Unidad Mark II, Tilo 2 | N/A | 30 días | Engrase, verificación del nivel de fluido del lubricante del reductor, ajuste de anclajes entre otros... |
| Bombas de Crudo Despacho | 15 HP | 3 días | Inspección visual y limpieza. |
| Bombas de Transferencia | 5 HP | 3 días | Inspección visual y limpieza. |
| Bombas Wilden de diafragma | 125PSI/156GPM | - | Mantenimiento correctivo, desarme y reparación de elementos internos. |
| Bomba Milton Roy de diafragma | 110V/220V | - | Este equipo está considerado como desechable, vida útil un año. |
| Bomba de agua | 11KW | 3 meses | Inspección y desarme total, verificación del recubrimiento interno, impeler y carcasa |

1.1.4 Departamento de Producción. Como en casi toda la industria, este departamento es aquel donde están puestos los ojos de la alta gerencia, su cabeza en campo, el coordinador de operaciones tiene a su cargo todos los campos de la compañía, junto a las demás dependencias que se ven en la Figura 3. En CEDCo hay tres áreas con supervisores de producción, quienes a su vez tienen a su cargo campos en al menos dos contratos o bloques distintos; en Campo Tilodirán hay un Supervisor de Producción que tiene a su cargo tres campos con cinco pozos, Campo Tilodirán, Rio Verde 2 y Boral; en cuanto a personal hay un operador por cada campo y un auxiliar de producción solo para Tilodirán.

Desde años atrás, la filosofía de operador mantenedor se ha planteado varias veces sin éxito alguno, debido a la inexistencia de una metodología de mejora operacional seguida de una capacitación escasa en programas objetivos de mantenimiento tanto al personal operador como al técnico, esto supone una ineffectividad al involucrar al personal de producción en labores de mantenimiento.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los campos CEDCo las condiciones laborales y de operación han tenido grandes cambios durante los últimos años, los nuevos dirigentes que han ocupado cargos superiores han aportado nuevas ideas que ofrecieron la oportunidad a la empresa de evolucionar y mejorar su actividad productiva en muchos aspectos, todos aquellos cambios son evidentes en todos los niveles de la organización,

personal con experiencia de varios años confirman las buenas reformas que se han visto en años recientes; a pesar del mencionado cambio al conocer la operación es indudable la cantidad de nichos de oportunidad donde es posible aplicar efectivos procedimientos de mejora; mantenimiento es uno de esos nichos, de este se puede inferir que hay mucha tela que cortar, puesto que no se aplica ningún plan adecuado para labores de mantenimiento que detalle las diferentes actividades y tareas a realizar, del mismo modo existe un pensamiento incrédulo, que ha fundado un paradigma generalizado en el personal que no augura resultados prácticos cuando se implementan planes prescritos, además descartan cualquier auspicio o interés por parte de la alta gerencia en invertir en metodologías para reducir pérdidas y de promoción de programas de capacitación, concluyen que la atención está primero en el hacer antes que en el planear; por este pensamiento surgen frecuentes averías, algunas en equipos críticos todas a consecuencia de la pérdida de condiciones básicas de funcionamiento que ocasionan un indeseado deterioro forzado el cual precede los diferentes tipos de daños que perjudican indiscutiblemente los indicadores de desempeño de toda la organización.

Para CEDCo aún no urge la necesidad de crear un cambio en el propósito de mantener las máquinas, por ello todas aquellas actividades y procedimientos son vistos simplemente como gastos y más gastos, en rubros y no en presupuesto; debido a esto en los campos CEDCo no se vislumbran prácticas de confiabilidad y disponibilidad, el departamento de mantenimiento no aporta cifras favorecedoras a la buena concepción del proceso de mantener, al contrario se convierten en obstáculos para el logro de metas de toda la compañía.

El tipo de mantenimiento que más se aplica en Campo Tilodirán es de tipo correctivo, en algunos equipos se practican labores de mantenimiento preventivo, las inspecciones con herramientas predictivas para análisis de condición son inexistentes, actividades normalizadas simples y eficaces como de limpieza, lubricación y ajuste son desconocidas por el personal operador, estas tareas son asumidas por las rutinas del equipo mantenedor, que a su vez las ve como inútiles sin que exista la necesidad de una inspección detallada; por todo lo anterior se ha considerado que la teoría que promueve el mantenimiento productivo total es acorde para afrontar gran parte de la problemática del mantenimiento de equipos en Campo Tilodirán.

1.3 JUSTIFICACIÓN EL PROBLEMA

Actualmente CEDCo es una operadora que fomenta y patrocina sus labores con el concepto de extraer petróleo de manera limpia y segura, para las personas y para el medio ambiente, por lo tanto, seleccionar al departamento de mantenimiento como objetivo para la implementación de un plan más acorde a las necesidades actuales, resulta en el reconocimiento crucial que tiene el departamento dentro de toda la organización, de tomar conciencia del impacto positivo que permite el fomento de mejora en los procedimientos, en procura de un uso efectivo de los recursos de la compañía, de hacer previsible los gastos en los que incurran las actividades de mantener los equipos y la operación, en romper el paradigma de calificar al departamento de mantenimiento solo como un gasto y no como un ahorro, y por qué no, como una inversión. CEDCo es una empresa que puede mejorar fácilmente sus resultados de gestión a través de un programa que le brinde las herramientas suficientes para que sus empleados de campo impacten de manera directa los índices de desempeño, respaldando la idea de invertir en el cambio, de apostarle al aprendizaje y no a la ignorancia.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Proponer un plan de mantenimiento basado en TPM para los equipos de generación eléctrica y bombeo instalados en el campo Tilodirán de la empresa Colombia Energy Development Co.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Formular un plan de mantenimiento basado en Mantenimiento Productivo Total (TPM), donde se haga énfasis en establecer rutas críticas de inspección y verificación de las condiciones básicas de funcionamiento.
- ✓ Socializar los beneficios que trae la aplicación de TPM en la industria de hoy en todos los niveles de campo.
- ✓ Establecer rutinas de limpieza, lubricación y ajuste (TLC) que puedan ser llevadas a la práctica por el personal operador y técnico de manera autónoma.
- ✓ Diseñar nuevos formatos para el control de los servicios de mantenimiento preventivo y correctivo.
- ✓ Proponer un programa de capacitación y formación estratégico en mantenimiento autónomo y planeado para todo el personal operador y técnico.

2 DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso de producción que se tiene en campo Tilodirán es similar en todos los campos CEDCo, sin embargo existen adaptaciones y/o modificaciones en los sistemas de levantamiento, capacidad de los equipos de bombeo, de generación, en tanques de almacenamiento y piscinas, métodos de disposición de agua residual de producción o agua de yacimiento; Paloblanco en el bloque Alcaraván, es el único campo que despacha a ventas vía oleoducto, los demás lo hacen vía terrestre por tracto camión (tractomula).

CEDCo es una empresa operadora de campos petroleros, su labor es extraer hidrocarburos de un pozo y llevarlos a superficie, caracterizarlos a estándares de calidad para su mercadeo (ventas o regalías) mediante la inyección de químicos y procedimientos de decantación, por ultimo distribuirlos a sus clientes vía terrestre u oleoducto; el único producto que CEDCo comercializa es petróleo crudo (UN-1267¹), el agua residual de la explotación de los yacimientos (UN-3082²) es tratada por empresas autorizadas para su disposición ambiental, o mediante métodos de inyección es devuelta nuevamente al interior de los yacimientos en pozos que CEDCo tiene adecuados como inyectores; las actividades de workover, de perforación y de diseño de facilidades son contratadas con empresas privadas.

El campo Tilodirán como sistema de levantamiento tiene instalado en boca del pozo 2 una unidad de bombeo mecánica Lufkin Mark II, como unidad motriz un motor eléctrico Siemens de 200 Hp, que es alimentado por la distribución eléctrica del campo desde un bastidor de transferencia donde se interconectan los tres sistemas de suministro eléctrico, red comercial 480V, Generador Diésel Caterpillar 3406 de 343KVA y un Generador a Gas Caterpillar G-398 de 470KVA, el primer generador es propiedad de la compañía, el segundo es alquilado y el servicio comercial es dado por ENERCA³.

Parámetros técnicos como presión, temperatura y caudal no son detallados en el presente capítulo. Al mismo tiempo que la unidad Mark levanta fluido del pozo, este recibe una dosificación química constante, posterior a esto el flujo llega a un

¹ UN-1267: Código asignado al Petróleo Crudo en la lista de Materiales Peligrosos de Las Naciones Unidas.

² UN-3082: Código asignado al agua de yacimiento clasificada como sustancia líquida peligrosa para el medio ambiente de acuerdo a la lista de Materiales peligrosos de Las Naciones Unidas.

³ ENERCA: Empresa de Energía de Casanare. Es la única empresa en Casanare que distribuye energía eléctrica.

separador master trifásico de 30 barriles aproximadamente, la fase de agua está en desuso, por lo tanto el fluido es una emulsión¹ mayoritariamente crudo y agua que es direccionada a un tanque de lavado (Gun-Barrel²) de 600 barriles, de este tanque, el rebose idealmente 95% crudo, es bombeado por una bomba de desplazamiento positivo o por gravedad hacia uno de los siete tanques de 500 barriles; en cada tanque el fluido decanta unas horas y luego se drena el remanente de agua a un tanque desnatador (skimmer).

Inevitablemente, por la línea de drenaje al skimmer alcanzan a llegar trazas de crudo que forman una nata de aceite; luego de múltiples procedimientos de drenaje la cantidad de crudo que reposa en el skimmer es potencialmente recuperable, debido a esto se tiene instalada una bomba de desplazamiento positivo que bombea aquella emulsión y la retorna al proceso (recuperación), ya sea al tanque de lavado o a los tanques de decantación; el agua que contiene el skimmer es bombeada por el mismo equipo de recuperación o por gravedad a la piscina de ARI (agua residual industrial) para su almacenamiento.

La piscina de agua residual tiene una capacidad aproximada de 3000 barriles, tiene un recubrimiento en geo membrana que evita filtraciones a la superficie y al nivel freático de la tierra; junto a la piscina están instaladas un par de bombas centrifugas que se encargan del bombeo de agua hacia el cargadero para el despacho por tracto camión hacia el campo Rio Verde 2, allí es tratada bajo estándares y luego inyectada dentro de la formación del pozo; de esta forma se dispone finalmente el agua residual que se extrae de los pozos del campo Tilodirán.

Además de los siete tanques de 500 barriles, Tilodirán posee dos tanques de 2000 barriles cada uno, estos últimos destinados únicamente para el almacenamiento de crudo para despacho, concluyendo así que la capacidad de almacenamiento de crudo es de 7500 barriles; el cargadero del campo tiene espacio para dos tracto camiones, adecuado un lado para cargue de crudo y el otro para cargue de agua; el crudo es despachado desde cualquiera de los tanques de almacenamiento a través de dos bombas de desplazamiento positiva y una centrifuga.

¹ Emulsión: Mezcla de líquidos inmiscibles (que no se mezclan o no pueden formar una base homogénea).

² Gun-Barrel: Llamado tanque de lavado, es el equipo más antiguo utilizado para el tratamiento de crudo.

Figura 4: Panorámica de tanques de almacenamiento en Campo Tilodirán.



Como ya se describió, la fase de agua del separador master esta inactiva y la fase de crudo llega al tanque de lavado; la fase de gas es dirigida a un separador trifásico de prueba de aproximadamente 12 barriles, este equipo está siendo utilizado para el secado del gas el cual sale por la misma fase (Gas) y se dirige a un intercambiador que disminuye la temperatura, luego de aquí pasa por un scrubber que a su vez lo direcciona por dos vías, una a la descarga atmosférica (Tea) y la otra, a la línea de suministro del banco de filtrado de gas combustible instalado junto al generador Caterpillar G-398.

Figura 5: Panorámica facilidades de tanques, skimmer y Teas.

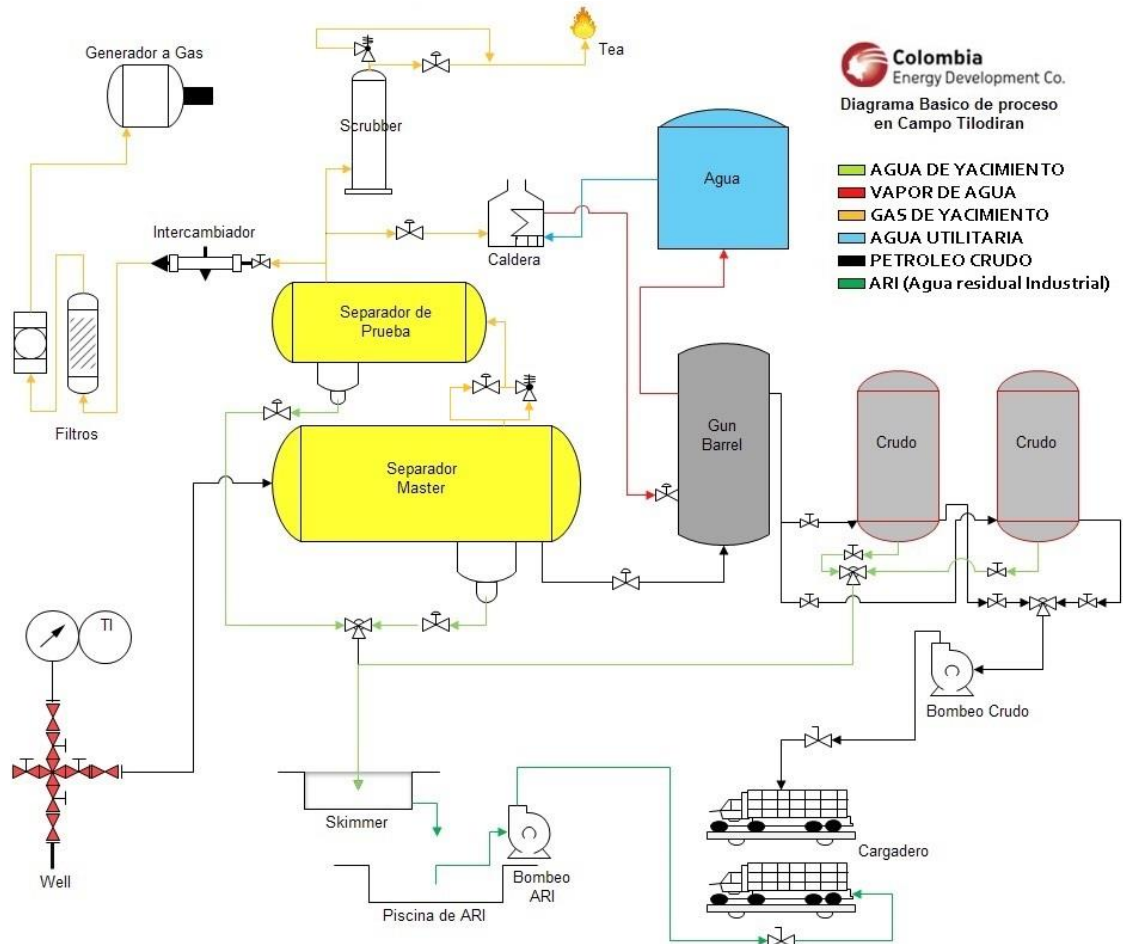


Campo Tilodirán posee una caldera Teknik de 50 bhp¹ a gas, esta se alimenta directamente de la salida de gas del separador master, la finalidad de este equipo es transferir calor al fluido dentro del Gun-Barrel, haciendo más eficaz el lavado y la decantación del rebose, esto permite que a los tanques llegue un producto casi 95% crudo es decir con bajo BS&W²; sin embargo, la caldera no está permanente trabajando, su uso se destina al recibo de recuperación del skimmer o al tratamiento de crudos fuera de especificaciones; de esta manera se concluye la descripción del proceso de explotación en campo Tilodirán, anteriormente se describieron los procedimientos de manejo del agua, del crudo y del gas, en la Figura 6 se observa un diagrama básico del proceso en el campo.

¹ BHP: boiler horsepower (caballo de fuerza de caldera), cantidad de vapor que entrega una caldera. 1 BHP=33475 BTU.

² BS&W: Basic Sediment and Water, se denomina al porcentaje de impurezas (sólidos y agua) en una muestra de crudo.

Figura 6: Diagrama básico del Proceso en Campo Tilodirán CEDCo.



2.1 SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO EN POZOS PETROLEROS

Son todos los procedimientos que se utilizan para extraer hidrocarburos del interior de los yacimientos; cuando un pozo de manera autónoma aporta una cantidad de fluido considerable que este en parámetros deseables, se le conoce como levantamiento por flujo natural; cuando un pozo no posee la energía suficiente para tener un flujo natural, es necesario la instalación de mecanismos y dispositivos que hagan posible la extracción de hidrocarburos del yacimiento, a este sistema se le conoce como levantamiento artificial; en este capítulo se analizan algunos tipos de sistemas de levantamiento sin llegar a tener en cuenta especificaciones técnicas, de diseño e implementación, solo se echará un vistazo a los conceptos básicos de funcionamiento.

2.1.1 Levantamiento artificial. Luego de terminarse un trabajo de perforación o workover con su respectivo completamiento, si el yacimiento no tiene la energía necesaria para eyectar sus fluidos producidos de manera natural en cantidades deseadas hasta la superficie, es necesario instalar un sistema que sea lo suficientemente efectivo para llevar aquella producción a las facilidades del campo para su tratamiento y aprovechamiento; los sistemas de levantamiento artificial son mecanismos externos al yacimiento, en su mayoría son dispositivos mecánicos de bombeo especializado que alcanzan el fluido del pozo; otros muy comunes son los que incluyen procedimientos de inyección de un fluido motriz que transfiere energía al caudal de la formación, consiguiendo llevar un flujo de producción a la superficie; el presente capítulo expone los métodos de levantamiento artificial más conocidos y utilizados en la industria.

2.1.1.1 Bombeo Mecánico. Es el sistema de levantamiento artificial más común y antiguo en la historia de la industria petrolera; en Campo Tilodirán, dos de sus pozos (1 y 2) tienen este sistema, específicamente mediante balancines Mark II, este es un diseño de bombeo mecánico diseñado a finales de los 60s; el pozo tres tiene instalado un sistema electro sumergible fuera de servicio, debido a ello, el fluido es levantado de manera natural; por consiguiente, el único tipo de bombeo mecánico de interés en el presente documento corresponde al balancín tipo Mark II. Comúnmente se le conoce balancín a todo el aparejo de la estructura de la unidad en superficie, sin embargo, solo como parte del equipo, el balancín corresponde a la viga o columna metálica que une el cabezal de la unidad (cara de caballo) con el poste maestro, el refuerzo angular y la biela que está unida a la manivela que transfiere el movimiento desde el reductor de velocidad, en la Figura 7 se observan algunas de sus partes.

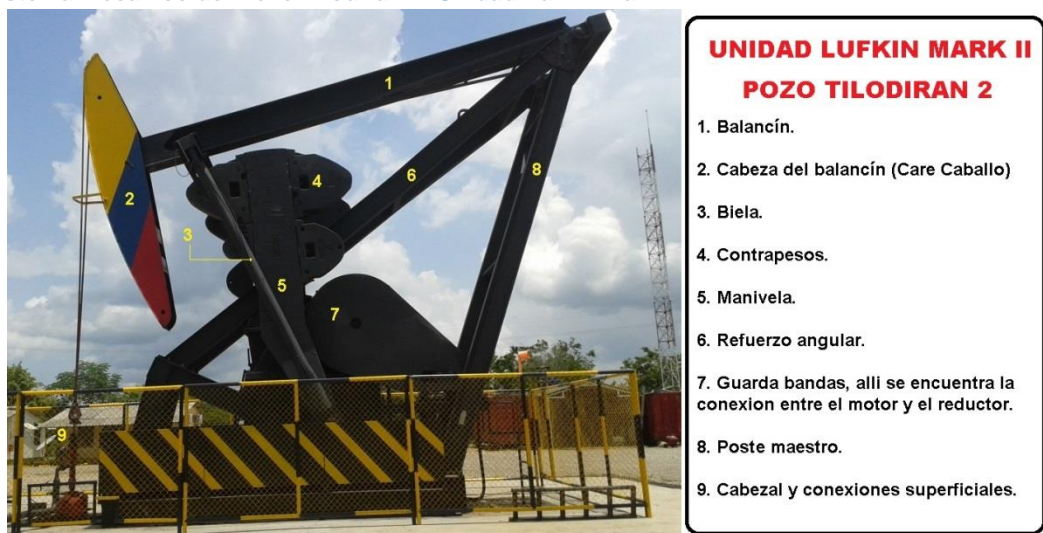
Este tipo de bombeo consiste en un mecanismo de succión y transferencia de manera casi continua; se compone del balancín en superficie que trasmite un movimiento recíprocante (sube y baja) al pistón de la bomba instalada en subsuelo mediante una sarta de varillas que va dentro de la tubería de producción, la bomba dentro del yacimiento consta de una válvula inferior fija por donde se succiona el fluido de la formación cuando el movimiento es de subida, la otra válvula en la parte superior, es la que permite que el fluido de producción llegue a superficie, esta se abre mientras baja y se cierra cuando sube, se le conoce como válvula viajera; la unidad motriz de todo el sistema está en superficie junto al balancín, para el caso de Tilodirán es un motor eléctrico Siemens de 200 HP; este tipo de

bombeo es bastante simple y robusto, su instalación es posible casi en todo tipo de pozo, es ideal para pozos con crudos pesados y extra pesados, su principal desventaja está en la ineficacia en pozos desviados y en yacimientos muy ricos en gas y sólidos, debido a que se afecta notablemente la integridad de la bomba; gracias a su diseño geométrico de ventaja mecánica y de distribución de esfuerzos, las Mark 2 tienen menos torque, son de menor coste de operación comparado con otros tipos de balancines y son más eficientes que las unidades convencionales.

CEDCo en uno de sus pozos del bloque Bocachico posee una unidad de bombeo rotaflex, en Tilodirán están las Mark II, ambos son sistemas mecánicos; el equipo de mantenimiento se encarga de labores preventivas en el motor eléctrico, el juego de poleas, caja de engranajes y los equipos eléctricos de control, entre ellos el variador de velocidad que controla al motor y el banco de resistencias de frenado que disipan la energía regenerada por el motor producto de la carrera descendente del balancín; los equipos en subsuelo son intervenidos únicamente por contratistas de workover.

2.1.1.2 Bombeo electro-sumergible. Como se mencionó en el numeral anterior el Pozo 3 tiene en su interior instalada una bomba electro sumergible inactiva, debido a problemas de años atrás, la línea de transmisión eléctrica al motor de fondo se vio afectada y desde entonces el yacimiento eyecta su producción de forma natural.

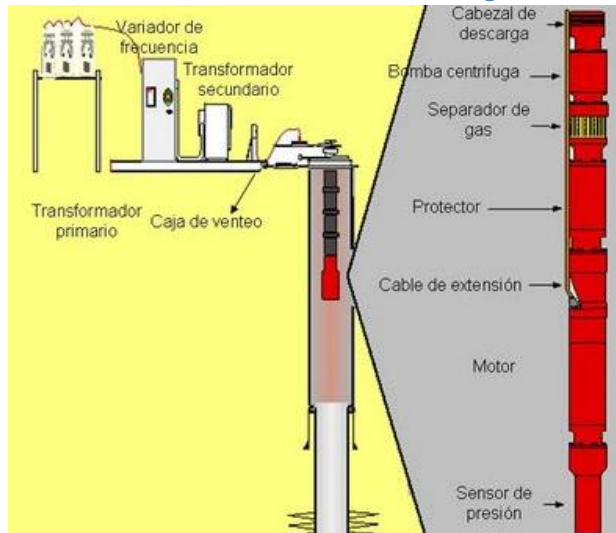
Figura 7: Sistema Mecánico del Pozo Tilodirán 2. Unidad Lufkin Mark II.



Este tipo de levantamiento es altamente efectivo en cuanto a cantidad de flujo se refiere, puede ser instalado en pozos con altísimos aportes de hasta 90000 barriles diarios, su instalación es posible en pozos desviados, el motor eléctrico confiere una eficiencia cercana al 90%, en superficie no existe más que sus sistemas eléctricos y electrónicos de monitoreo, control y alimentación, todo el aparato de bomba y unidad motriz están en el fondo del pozo cerca de la formación; desde el punto de vista de mantenimiento, para el equipo motor y bomba resulta imposible cualquier intervención, excepto monitorear la condición del sistema gracias a los sensores de fondo (centinel) que proveen parámetros de temperatura y presión, estas mediciones además de ser importantes para conocer la condición del equipo, proveen datos trascendentales acerca del comportamiento del yacimiento; por lo tanto, debido a que el sistema se encuentra dentro del pozo, cualquier labor que el personal mantenedor ponga en práctica se focaliza únicamente a los equipos en superficie, variador, transformadores, conexiones eléctricas y cajas de venteo; en la realidad, estos equipos tienen índices de confiabilidad muy altos, por lo cual su disponibilidad es por lo general del 100% de la vida útil del equipo en fondo, en casi todos los pozos que son intervenidos por fallas en el sistema de levantamiento electro sumergible, el equipo de superficie no se cambia, salvo pequeños ajustes, en conclusión, en cuanto a mantenimiento, este tipo de levantamiento está sujeto a poco o ninguna intervención.

El sistema de levantamiento electro sumergible se compone de los equipos de superficie ya descritos y el equipo de fondo, en la Figura 8 se puede observar sus diferentes partes.

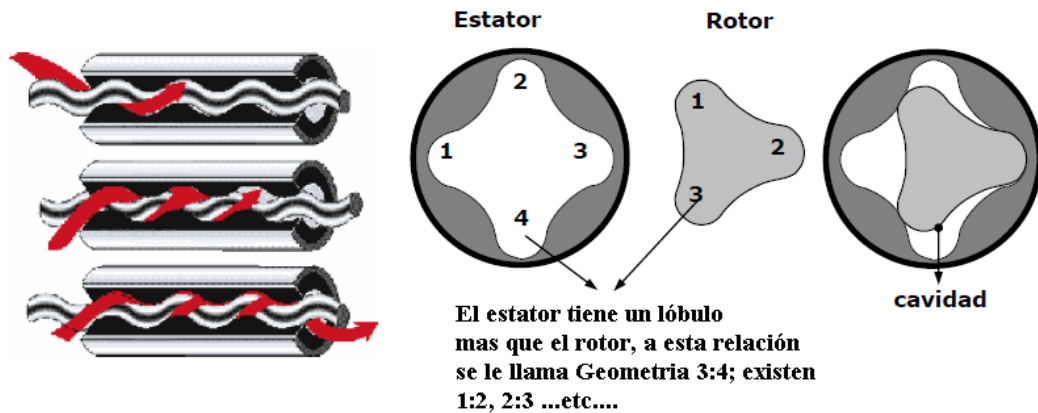
Figura 8: Diagrama de un sistema de levantamiento Electro sumergible.



Fuente: La Comunidad Petrolera

2.1.1.3 Bombeo de cavidad progresiva. PCP son las siglas en ingles de (Progressing Cavity Pump), bombeo por cavidades progresivas, al igual que el sistema mecánico, posee una unidad motriz en superficie que transfiere movimiento mediante una sarta de varillas a la bomba que está en el fondo del yacimiento, a diferencia del mecánico, el sistema montado en superficie es ligero, pequeño y se encuentra sobre el cabezal del pozo; las dos piezas más importantes de este sistema en fondo comprenden el rotor metálico y el estator; el rotor es la pieza interna del sistema PSP, está formada por una sola hélice a través de todo el tramo y el estator es la parte externa la cual está construida de forma tal que su parte interna esta moldeada en forma de hélice cuyos pasos son el doble del paso de la hélice del rotor. La geometría que hace posible el trabajo de levantar el fluido y al mismo tiempo que da nombre al sistema, proviene del diseño en sí, donde se forman cavidades iguales separadas entre ellas, con cada giro que hace el rotor dentro del estator, las cavidades se desplazan desde la succión hasta la descarga, es decir hacia la tubería de producción, como las cavidades están hidráulicamente selladas las unas de las otras, una PSP tiene el principio de funcionamiento de una bomba de desplazamiento positivo.

Figura 9: Geometría Estator Rotor de una bomba PSP.



Fuente: Manual de Cavidades Progresivas, Marcelo Hirschfeldt.

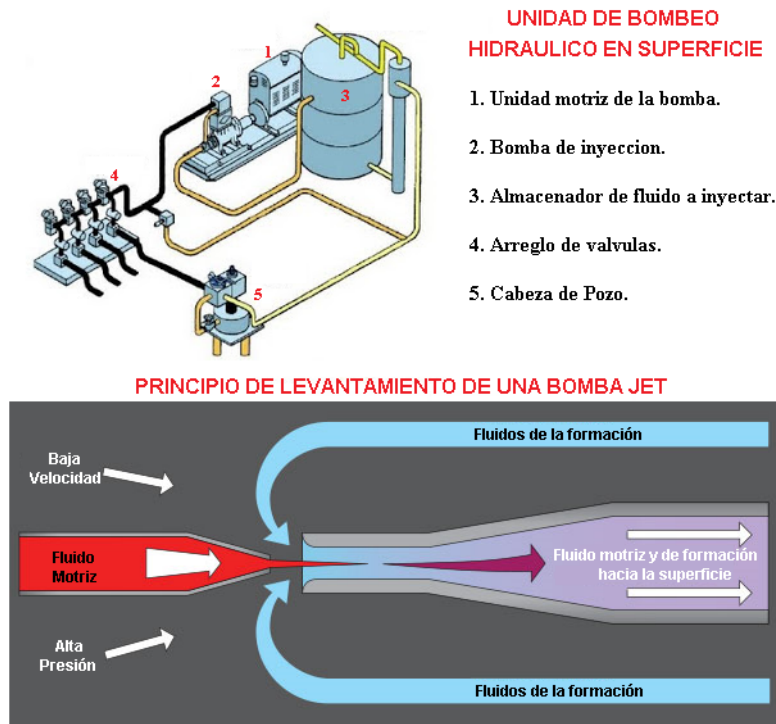
CEDCo actualmente no tiene ningún pozo adecuado con un sistema de levantamiento de este tipo, sin embargo, posee varios pozos con una caracterización muy adecuada para la implementación de este sistema, el PSP tiene una eficiencia de hasta el 60% y es muy recomendable para producir fluidos altamente viscosos, con altas concentraciones de arena, tolera el gas libre en grandes cantidades, bajos costos de inversión inicial y de consumo energético, entre otras ventajas; como no es el ideal, también posee limitaciones que lo hacen inadecuado frente a otros sistemas, su capacidad de levantamiento es baja a lo mucho levanta 4000 barriles diarios, su eficiencia se trunca si se instala más allá de los 6000 pies y vale mencionar que la experiencia en la industria nacional en la implementación de este sistema no es muy generalizada; por consiguiente la PSP hasta ahora está incrementando su participación como sistema de levantamiento en comparación con los tradicionales sistemas mecánico y electro sumergible.

2.1.1.4 Bombeo Hidráulico. Este tipo de levantamiento transfiere energía al equipo en fondo mediante la inyección de líquidos a alta presión (fluido motriz), estos suelen ser agua, crudo o una emulsión de ambos que son inyectados por una unidad de bombeo en superficie hacia un equipo en fondo, que puede ser un motor tipo pistón, cuyo funcionamiento depende de un movimiento recíprocante constante que empuja dos pistones en serie, uno en la cámara superior del equipo que corresponde al motor, el cual hace posible la conversión de la energía del fluido a alta presión a energía del movimiento recíproco que se transmite al otro pistón en la cámara inferior del sistema donde se ubica la bomba, en cada movimiento de bajada y subida las cámaras de motor y bomba eyectan fluido

hacia el espacio anular del pozo, el motor expulsa el mismo fluido motriz solo que a menor presión y la bomba hace lo mismo con el fluido de producción, ambos caudales se mezclan en el espacio anular de la tubería y son llevados hacia la superficie; el otro tipo de bomba de levantamiento hidráulica a tener en cuenta es la bomba tipo jet, que al no poseer partes móviles resulta más sencillo su funcionamiento.

En el campo Canacavare del bloque Alcaraván, CEDCo ha implementado este sistema de levantamiento, por esta razón se conocerá en mejor detalle. El sistema jet como todos los anteriores, consta de dos unidades, una superficial y la otra en fondo, el equipo de superficie es voluminoso y tiene riesgos inherentes al transporte de fluidos a alta presión, para esto las facilidades instaladas deben contar con una estructura provista de sistemas de alivio y venteo de sobrepresiones, junto a un monitoreo constante de la integridad de las líneas de inyección al cabezal del pozo, entre otras medidas de control. Generalmente la bomba es de tipo reciprocante triplex o quintuplex, como unidad motriz una (turbina o un motor diésel o a gas) con su respectivo sistema de monitoreo y arranque, también se encuentran los tanques almacenadores de fluidos a inyectar junto a las distintas configuraciones de válvulas y líneas que permite desviar el recibo y la inyección según se requiera; en fondo se encuentra la bomba jet, la cual tiene como principio de funcionamiento al efecto venturi mediante un tubo del mismo nombre, el cual luego de hacer pasar el fluido motriz por una restricción, succiona fluido de la formación debido a la pérdida de presión y aumento de la velocidad del caudal después de la restricción del venturi; mezclados el fluido motriz y la producción se levantan y retornan a la superficie por el espacio anual del pozo; una ventaja única de este sistema de levantamiento al igual que el de pistón, es la posible recuperación de la bomba de fondo, basta invertir la dirección de fluido motriz, es decir, si se inyecta por el anual del pozo la bomba retornara por la tubería de producción; una unidad de superficie puede alimentar varias bombas en diferentes pozos teniendo en cuenta su capacidad de mantener parámetros.

Figura 10: Sistema de Levamiento Hidráulico tipo Jet.



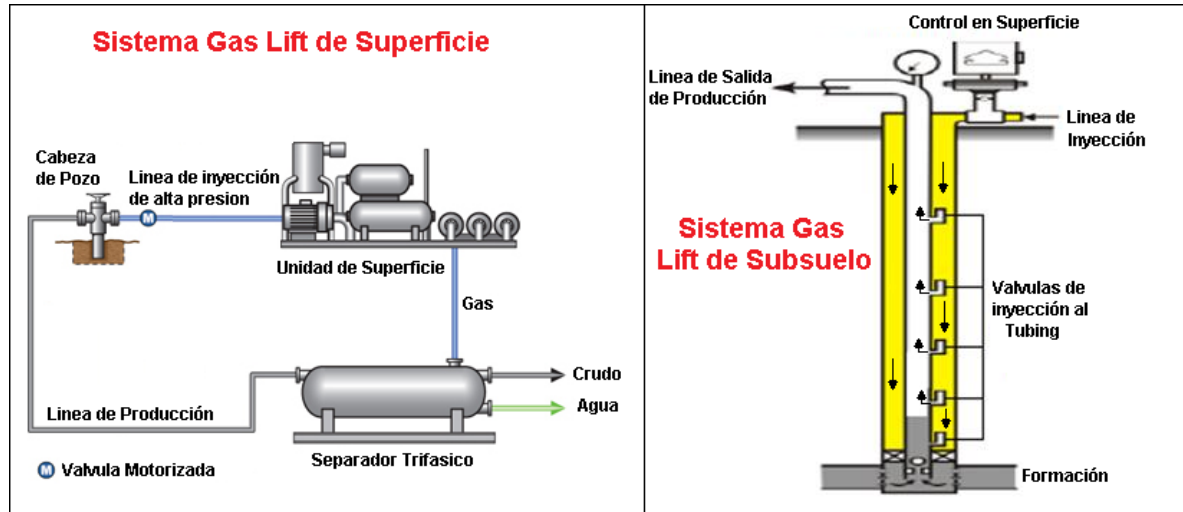
Fuente: Bombeo Hidráulico tipo Jet SlideShare

2.1.1.5 Inyección de gas. En este ítem se tomara en cuenta el sistema de levamiento por gas, conocido en el medio como sistema de gas lift. Este método se vale de un equipo en superficie generalmente compresores recíprocos que inyectan gas a alta presión dentro del pozo a diferentes profundidades, con el propósito de reducir el peso de la columna del fluido, permitiendo al yacimiento levantar la producción a la superficie. Para ser más viable la implementación de este sistema es necesario que al menos el 10% de la producción diaria del yacimiento, sea gas; los tipos básicos del sistema gas lift, son por flujo continuo y por flujo intermitente.

El método de flujo continuo consiste en un complemento al levamiento por flujo natural, ya que la inyección se hace de manera continua por el espacio anular, el gas migra a la línea de producción a través de las válvulas de inyección al tubing, ubicadas en los mandriles que son la tubería especial donde estas se instalan; por lo anterior, se crea la columna que permite a la dinámica fluyente en el yacimiento ser atraída por la diferencia de presión del tubing, de esta manera la formación aportara sus fluidos hacia el interior de la línea de producción. Por otro lado el flujo

intermitente de inyección a través de la tubería de producción hace que se produzca una acumulación de fluidos en esta, con cada ciclo de inyección, el fluido llega a la superficie y de esta forma se levanta la producción.

Figura 11: Sistema Gas Lift (Equipos de superficie y de fondo).



Fuente: Gas Lift - Bombeo Neumático, Oilproduction.net

Algunas de las ventajas de este tipo de sistema de levantamiento es la eficiencia en yacimientos ricos en gas, la posibilidad de su instalación en pozos desviados gracias al diseño de mandriles especiales, el equipo de fondo es de bajo costo, entre otras, algunas desventajas, presencia de líneas de alta presión en superficie, lo cual crea peligros y riesgos asociados, el gas a inyectar tiene una tratamiento de endulzamiento¹, no es muy adecuado en yacimientos con crudos muy pesados y a profundidades mayores a 10000 pies la eficacia del sistema cae.

2.1.2 Levantamiento por flujo natural. Como se había mencionado, este tipo de levantamiento aplica en el escenario de que un yacimiento posea la suficiente energía de eyectar sus fluidos a la superficie de manera autónoma, principalmente esa capacidad es proporcional a la cantidad de gas que posea el yacimiento; en la mayoría de pozos donde se levanta el crudo de manera natural, no viene de una opción de diseño en cuanto al sistema de levantamiento se refiere, casi siempre resulta del estudio de costos de explotación, en los cuales resulta más rentable

¹ Endulzamiento: Proceso de refinación del gas natural donde luego de remover sus impurezas, es posible de manera segura su transporte y su consumo doméstico e industrial.

dejar que el pozo lo haga por sí solo que invertir recursos que no representen incrementos significativos de la producción; un ejemplo se vio en CEDCo cuando el sistema electro sumergible del pozo Tilodirán 3 se averió, tan pronto se desactivo el equipo, el yacimiento empezó a aportar por sí solo, a los pocos días el fluido recibido era superior a las últimas pruebas con el sistema artificial funcionando; por lo cual esta opción depende únicamente del criterio de la alta gerencia de las empresas operadoras.

2.2 EQUIPOS QUE INTERVIENEN EL PROCESO

A continuación se describen los principales equipos a los que el personal de mantenimiento realiza intervenciones.

2.2.1 Unidad de bombeo Mark II. Como se detalla en el numeral 2.1.1.1 el sistema instalado en el pozo Tilodirán 2, corresponde a una unidad de estas, específicamente con designación de placa número M-1280D-427-216 según el fabricante LUFKIN; este sistema tiene sus ventajas empíricamente ya probadas frente al sistema Electro sumergible en este pozo, en la Figura 7 se puede observar la unidad de superficie montada en la boca de Tilodirán 2.

2.2.1.1 Sistema motriz en superficie. La unidad Mark de Tilodirán 2 tiene montado un motor eléctrico SIEMENS de 200 HP/149.2 KW, el precio de esta máquina es de COP\$36.496.000=; por esta razón, los técnicos de mantenimiento encuentran a este equipo, como el motor eléctrico más importante y el más costoso de todo el campo; el equipo posee rodamientos de bolas y doble sello, el juego interno tiene una vida útil de 20mil a 40mil horas de uso (2 años 3 meses a 4 años seis meses) y protección mecánica IP-55, este motor tiene menos de tres años de uso, por ello el amparo de la garantía está aún vigente. El técnico de mantenimiento junto a su auxiliar, realizan una vez al mes una rutina de observación, ajuste e inspección a la unidad Mark II, dicha rutina se realiza en una de las paradas necesarias para el mantenimiento del generador eléctrico; su intervención se limita a la verificación de correas y poleas, lubricación a la caja de engranajes entre otras inspecciones menores; al motor no se le realiza labor alguna salvo que sea evidente afectaciones a sus condiciones básicas, por ahora y hasta que la garantía expire en caso de ser necesario, se hará llegar al proveedor para su respectivo mantenimiento; se destaca que este campo cuenta

con una unidad de respaldo idéntica, en caso de ser necesario algún mantenimiento correctivo, la labor de cambio de motor tomaría alrededor de tres horas; durante este lapso de producción cero, hay probabilidades de acumulación de sólidos en el equipo de fondo que harían daños en la arrancada, consecuentemente este procedimiento debe hacerse con prontitud y con un participación del equipo de mantenimiento junto al de operaciones.

2.2.2 Moto generadores. Hay dos generadores instalados en campo Tilodirán, uno a diésel, propiedad de la compañía y otro a gas alquilado a un tercero que se encuentra fuera de servicio, desafortunadamente el campo no cuenta con respaldo al sistema de generación, durante las paradas programadas de mantenimiento preventivo al generador diésel, el campo es alimentado por la acometida comercial, si ocurre un revés en el suministro o si el generador presenta fallas que impidan estar en condiciones mínimas de servicio, resulta imposible la operación de los equipos eléctricos, al punto de clasificar los generadores como equipos críticos, trascendentales para el proceso y que requieren de una atención especial, el generador que esta fuera de servicio debería ser reparado lo antes posible para cumplir su labor como equipo de respaldo.

Las características técnicas y de servicio de mantenimiento de este equipo se pueden detallar mejor en el capítulo 5, en la sección de hojas de vida de equipos.

Figura 12: Generador a Diésel CATERPILLAR 3406.



2.2.3 Compresores de aire. En la misma caseta (shelter) donde se ubican los equipos de generación, se encuentran interconectados en serie dos compresores que mantienen una presión constante de 127 PSI alimentando al pulmón* de distribución, desde este punto se interconecta toda la instrumentación neumática de campo, además tiene conexiones disponibles para la utilización de bombas neumáticas y otros equipos que necesiten aire comprimido. Los separadores y el scrubber para el control de nivel y de presión dependen del suministro constante de aire comprimido para el funcionamiento de sus válvulas de control, si la presión está por debajo de la mínima requerida por la instrumentación, esta dejará de funcionar posiblemente ocasionando un derrame ambiental; los separadores se despresurizan, el scrubber no evacua sus fluidos de manera segura al skimmer, lo cual permitiría que los fluidos de producción lleguen a la descarga atmosférica, ocasionando una contingencia ambiental.

Figura 13: Compresores del campo Tilodirán.



El equipo de mantenimiento tiene en consideración a los compresores como equipos críticos de seguridad; en la Tabla 2 se pueden ver las actividades y frecuencias de servicio que hace el equipo mantenedor. En la Figura 13, imagen de la izquierda se aprecia al compresor primario, IngersollRand, presión máxima de 150 PSI, número de Serie CBV211980 y a la derecha el compresor secundario, Puska, presión máxima de 140 PSI.

2.2.4 Caldera de vapor. La temperatura de los fluidos producidos en Tilodirán es suficiente para que los procesos de lavado y decantación den como resultado crudo bajo estándares de comercialización, por este motivo la caldera tiene un uso exclusivo en el tratamiento de crudo fuera de especificaciones proveniente del

skimmer o de emulsiones envejecidas almacenadas en tanques; el equipo de mantenimiento no realiza intervención a este equipo, excepto labores de limpieza e inspección exterior de tuberías eléctricas, de gas y de agua; los servicios de mantenimiento preventivo y correctivo son contratados a un tercero.

En la Figura 14 aparece la caldera marca Tecnik que se tiene en campo, con una potencia de 50bhp (capacidad de evaporar 50 x 15,6 Kg de agua a una temperatura de 100°C en una hora) es suficiente para elevar la temperatura del Gun Barrel a niveles ideales; el ciclo de funcionamiento consiste en transferir calor al fluido dentro del tanque de lavado por medio de vapor de agua, luego del intercambio térmico el vapor se condensa en un tanque de 200 barriles que supe la caldera mediante una bomba centrífuga.

Figura 14: Caldera Tecnik de 50 BHP.



2.2.5 Bombas de recirculación y despacho. En la recirculación están incluidas todas las bombas cuya instalación dentro del campo no permiten bombear fuera de las facilidades, solo para la transferencia entre tanques de almacenamiento, de lavado y desde el skimmer; las bombas de despacho tienen como único fin, el bombeo de crudo y agua hacia el cargadero para su transporte a ventas, regalías o hacia el pozo inyector de agua. De la Tabla 3 se puede inferir que el departamento de compras tiene preferencia por el fabricante WEG, además la bomba número tres de carga de crudo es el doble que las dos primeras en cuanto a capacidad del motor se refiere, si se observa su instalación en campo,

los acoples y conexiones a este equipo no son diferentes a sus compañeras de desplazamiento positivo de menor potencia.

2.2.5.1 Bombas centrifugas. En campo Tilodirán solo tres de las bombas instaladas funcionan bajo este principio (Ver Tabla 3 resalte en amarillo), los demás equipos son de desplazamiento positivo. Las dos bombas instaladas para el despacho de agua hacia el cargadero están instaladas bajo una caseta junto a la piscina, sus interconexiones son líneas de acero al carbón de 4”, con esquemas de conexión y de válvulas deliberadamente instalados, al no poseer criterios de diseño hidráulico adecuado de modo que minimice los daños por cavitación y por golpe de ariete, su desgaste es rápido. El agua de la formación del pozo 3 tiene niveles de salinidad superiores a 18000 ppm¹, debido a este fenómeno, los elementos internos de las bombas así como sus carcazas están sometidos a un agente muy corrosivo como los son las sales de formación, para ello se recurre a un mantenimiento preventivo cada mes, donde se hace una inspección del recubrimiento interno, impeler y sellos, de ser necesario se recubrirá nuevamente en su totalidad, cada mantenimiento de la bomba pasa por una inspección del motor eléctrico, afortunadamente la confiabilidad de la unidad motriz es casi de la totalidad de vida útil de la bomba.

Tabla 3: Lista de equipos de bombeo superficial en Campo Tilodirán.

| IDENTIFICACION | MARCA MOTOR/BOMBA | MODELO | POTENCIA |
|--------------------|-------------------|----------------|----------|
| B#1. HT-200 | WEG/VIKING | AL4195 | 10 HP |
| B#1. GUN-BARREL | WEG/VIKING | AS4195 | 5HP |
| B#2. GUN-BARREL | WEG/VIKING | AS4195 | 5HP |
| B#1. ARI | WEG/VIKING | 10x16-15TWSVSI | 15 HP |
| B#2. ARI | WEG/VIKING | 10x16-15TWSVSI | 15 HP |
| B#1. DESPACHO | WEG/VIKING | LS 4124 A | 15 HP |
| B#2. DESPACHO | WEG/VIKING | LS4124 A | 15 HP |
| B#3. DESPACHO | WEG/VIKING | 0 | 30 HP |
| B#1. TRANSFERENCIA | WEG/VIKING | AS 4195 | 3 HP |
| B#2. TRANSFERENCIA | WEG/VIKING | AS 4195 | 7,5 HP |
| B. SKIMMER | WEG/VIKING | AK 4195 | 7.5 HP |

2.2.5.2 Bombas de desplazamiento positivo. Todas las bombas de este tipo instaladas en campo Tilodirán son rotatorias de engranajes, estos elementos atrapan el fluido a bombear entre las paredes de la carcasa y los engranes de tal manera que por el movimiento de los piñones el fluido es succionado y eyectado

¹PPM: unidad de medición de concentración; cantidad de sustancia que hay por millón de unidades del conjunto.

fuera de la bomba, gracias a que el elemento a bombear es crudo, la lubricación es constante a menos que se trabaje en vacío, situación que se evita al máximo; en la Figura 15 se puede observar los dos equipos primarios de despacho (izq), el de color azul rey corresponde a la tercera bomba que es de tipo centrífugo; los equipos de desplazamiento positivo en este campo solo bombean crudo, por lo tanto a diferencia de las bombas centrífugas de agua, no están sometidas a un desgaste tan agresivo, estos equipos por el contrario al estar lubricados por crudo, su funcionamiento resulta muy confiable con una disponibilidad casi del 95%.

2.2.6 Equipos Menores. Se han considerado equipos menos las bombas neumáticas de diafragma y las eléctricas que se utilizan para la inyección de químicos; de tipo neumático se tienen dos equipos de doble diafragma marca Wilden P8 de 2" y de tipo eléctrico se tienen tres bombas de dosificación electromagnética marca MiltonRoy, a estos equipos de inyección de químico el personal de mantenimiento las ha calificado como desechables, de estas se espera una vida útil de un año, las inspecciones que se hacen, realizan ajustes menores de las conexiones y desaire, el presente documento no hizo un plan detallado para las mismas, por lo tanto no se refuto dicho concepto del personal técnico, de este modo, las únicas bombas que se interviene en una inspección de mantenimiento preventivo, son las de tipo neumático.

Figura 15: Área de bombas de crudo (Equipo Centrífugo de color azul rey).



3 MARCO TEORICO

El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen en, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones deseadas garantizando un nivel de estabilidad en las condiciones de eficiencia. El mantenimiento debe considerarse como un factor importante que define la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa, pues falencias en los equipos de producción dan por resultado una producción variable o defectuosa.

“Mantener es realizar operaciones tales como: limpieza, lubricación, inspección, conservación, reparaciones y mejoras que permiten conservar el potencial de un equipo para asegurar su continuidad y garantizar la calidad de la producción”¹.

El mantenimiento y el personal que se dedica a este, ha tenido que adaptarse a nuevas formas de pensar y actuar, ingenieros, administradores, técnicos, supervisores, metodologías, normas y las diferentes limitaciones los han llevado a utilizar nuevas técnicas, nuevas filosofías, pero se debe tener claro que todas ellas apuntan al control y monitoreo de los costos que el mantenimiento produce, ocupando incluso, uno de los mayores puestos en los costos operativos, constituyéndose así, en una elevada preocupación por disminuir.

Por lo anterior, se puede afirmar que los objetivos fundamentales del mantenimiento son: garantizar la seguridad industrial y reducir los costos de producción. Lo anterior se logra, teniendo en cuenta entre otros, los siguientes aspectos:

- Optimizar la disponibilidad de equipos e instalaciones para la producción.
- Se busca reducir los costos de las paradas de producción ocasionadas por deficiencia en el mantenimiento de los equipos, mediante la aplicación de una determinada cantidad de mantenimiento en los momentos más apropiados.
- Incrementar la vida útil de los equipos.
- Reducir los costos de operación y reparación de los equipos.
- Buena y efectiva planeación del mantenimiento.
- Programas para la lubricación, limpieza y ajustes de los equipos.

¹ (Gonzales, Carlos Ramón, Ingeniería de Mantenimiento. Cap. I. UIS. Bucaramanga).

- El incremento en el descuido de la conservación de los equipos genera la producción de baja calidad.
- Administrar de la mejor forma el personal de mantenimiento.
- Establecer mecanismos para retirar de la producción aquellos equipos que presentan altos costos de mantenimiento.
- Proveer al personal de mantenimiento de las herramientas adecuadas para ejecutar sus funciones.
- Mantener actualizadas las lista de repuestos y lubricantes.
- Capacitación sobre aspectos técnicos y cognitivos al personal de mantenimiento.

3.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

3.1.1 Mantenimiento Correctivo. Se entiende por mantenimiento correctivo la corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan. Es habitual la reparación tras una avería que obliga a detener el proceso o máquina afectada por el fallo.

Históricamente, el mantenimiento nace como servicio a producción. Lo que se denomina Primera Generación del Mantenimiento, cubre el periodo que se extiende desde el inicio de la revolución industrial hasta la primera guerra mundial. En esos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de paro de maquina no era de mayor importancia. Esto significaba que la prevención de las fallas en lo equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes. A su vez, la mayoría de los equipos eran simples, y una gran cantidad estaba sobredimensionada. Esto hacía que fueran fiables y fáciles de reparar. Como resultado no había necesidad de un mantenimiento, a secas labores meramente correctivas.

Las posteriores generaciones del mantenimiento trajeron el preventivo sistemático, el predictivo, el proactivo, el mantenimiento basado en confiabilidad, entre otros. Y aun así, una buena parte de las empresas basan su mantenimiento exclusivamente en la reparación de averías que surgen, e incluso algunas importantes empresas sostienen que esta forma de actuar es la más rentable. En otras muchas, las tareas correctivas suponen un alto porcentaje de su actividad y son muy pocas las empresas que han planteado como objetivo reducir a cero este tipo de tareas (objetivo cero averías) y muchas menos las que lo han conseguido.

3.1.1.1 Tipos de Mantenimiento Correctivo: Programado y No programado. Existen dos formas diferenciadas de mantenimiento correctivo: el programado y no programado. La diferencia entre ambos radica en que mientras él no programado supone la reparación de la falla inmediatamente después de presentarse, el mantenimiento correctivo programado o planificado supone la corrección de la falla cuando se cuenta con el personal, las herramientas, la información y los materiales necesarios y además el momento de realizar la reparación se adapta a las necesidades de producción. La decisión entre corregir un fallo de forma planificada o de forma inmediata suele marcar la importancia del equipo en el sistema productivo, si la avería supone la parada inmediata de un equipo necesario, la reparación comienza sin una planificación previa. Si en cambio, puede mantenerse el equipo o la instalación operativa aún con ese fallo presente, puede posponerse la reparación hasta que llegue el momento más adecuado.

La distinción entre correctivo programado y correctivo no programado afecta en primer lugar a la producción. No tiene la misma afección el plan de producción si la parada es inmediata y sorpresiva que si tiene cierto tiempo para reaccionar. Por tanto, mientras el correctivo no programado es claramente una situación deseable desde el punto de vista de la producción, los compromisos con clientes y los ingresos, el correctivo programado es menos agresivo con todos ellos.

3.1.1.2 Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo como base del mantenimiento tiene algunas ventajas indudables.

- No genera gastos fijos.
- No es necesario programar ni prever ninguna actividad.
- Sólo se gasta dinero cuando está claro que se necesita hacerlo.
- A corto plazo puede ofrecer un buen resultado económico.
- Hay equipos en los que el mantenimiento preventivo tiene poco o ningún efecto, como los dispositivos electrónicos.

Las siguientes son algunas las razones que en muchas empresas inclinan la balanza hacia el correctivo. No obstante, estas empresas olvidan que el correctivo también tiene importantes inconvenientes:

- La producción se vuelve impredecible y poco fiable.
- Las paradas y fallos pueden producirse en cualquier momento. Desde luego, no es en absoluto recomendable basar el mantenimiento en las intervenciones correctivas en plantas con un alto valor añadido del producto final, en plantas que requieren una alta fiabilidad (Ej. empresas que utilizan el frío en su proceso), las que tienen unos compromisos de producción con clientes sufriendo importantes penalizaciones en caso de incumplimiento (Ej. la industria auxiliar del automóvil o el mercado eléctrico) o las que producen en campañas cortas (industria relacionada con la agricultura).
- Supone asumir riesgos económicos que en ocasiones pueden ser importantes.
- La vida útil de los equipos se acorta.
- Impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc. Por ello, la avería puede repetirse una y otra vez.
- Hay tareas que siempre son rentables en cualquier tipo de equipo. Difícilmente puede justificarse su no realización en base a criterios económicos: los engrases, las limpiezas, las inspecciones visuales y los ajustes. Determinados equipos necesitan además de continuos ajustes, vigilancia, lubricación, incluso para funcionar durante cortos periodos de tiempo.
- Los seguros de maquinaria o de gran avería suelen excluir los riesgos derivados de la no realización del mantenimiento programado indicado por el fabricante del equipo.
- Las averías y los comportamientos anormales no sólo ponen en riesgo la producción: también pueden suponer accidentes con riesgos para las personas o para el medio ambiente.
- Basar el mantenimiento en la corrección de fallos supone contar con técnicos muy calificados, con un stock de repuestos importante, con medios técnicos muy variados, etc.

En la mayor parte de las empresas difícilmente las ventajas del correctivo puro superarán a sus inconvenientes. La mayor parte de las empresas que basan su mantenimiento en las tareas de tipo correctivo no han analizado en profundidad si esta es la manera más rentable y segura de abordar el mantenimiento, actúan así por otras razones y paradigmas.

3.1.2 Mantenimiento Preventivo. El mantenimiento preventivo puede definirse como la programación de actividades de inspección de los equipos, tanto de funcionamiento como de limpieza y calibración, que deben llevarse a cabo en

forma periódica con base en un plan de aseguramiento y control de calidad de las condiciones básicas de funcionamiento. Su propósito es prevenir las fallas, manteniendo los equipos en óptima operación.

La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos, detectar las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno. Con un buen mantenimiento preventivo se obtiene experiencia en diagnóstico de fallas y del tiempo de operación seguro de un equipo.

El mantenimiento preventivo es, además, aquel que incluye las siguientes actividades:

- Inspección periódica de activos y del equipo de la planta, para descubrir las condiciones que conducen a paros imprevistos de producción, o desvalorización perjudicial.
- Conservar la planta para anular dichos aspectos, adaptarlos o repararlos, cuando se encuentren aun en una etapa incipiente.

3.1.2.1 Ventajas del mantenimiento preventivo.

- Disminuye el tiempo ocioso, hay menos paros imprevistos.
- Disminuye los pagos por tiempo extra de los trabajadores de mantenimiento en ajustes ordinarios y en reparaciones en paros imprevistos.
- Disminuye los costos de reparaciones de los defectos sencillos realizados antes de los paros imprevistos.
- Habrá menor número de productos rechazados, menos desperdicios, mejor calidad y por tanto el prestigio de la empresa crecerá.
- Habrá menor necesidad de equipo en operación, reduciendo con ello la inversión de capital y aumenta la vida útil de los existentes.
- Mayor seguridad para los trabajadores y mejor protección para la planta.
- Cumplimiento con los cupos y plazos de producción comprometida.
- Conocer anticipadamente el presupuesto de costos de mantenimiento
- Conoces los índices de productividad por sector.
- Accionar integral del servicio de mantenimiento para atender la producción.

El mantenimiento preventivo, a diferencia del correctivo, basa su acción teniendo en cuenta UN PLAN, un procedimiento previo que permitirá ejecutar las diferentes

actividades a ejecutar, permitiendo anticipar muchos aspectos del mantenimiento y programar los respectivos controles.

3.1.2.2 Alcance del mantenimiento preventivo. Un buen programa de Mantenimiento Preventivo (MP), incluirá la mayor parte de los bienes físicos de la planta; se asegurará de incluir funciones estacionales del equipo mismo. Las partes a las cuales se les va a hacer un MP dependerán del tipo de empresa. El MP es relativamente moderno, el desarrollo y aceptación que ha tenido en los últimos tiempos ha supuesto el que se haya aplicado, en ocasiones, un poco indiscriminadamente.

No siempre es conveniente aplicar el MP, los motores eléctricos de baja potencia, por ejemplo, conviene rodarlos hasta lo último, su mantenimiento resultaría muy costoso.

3.1.2.3 Tiempo de mantenimiento y tiempo de reparación. Cuando se aborda el mantenimiento preventivo se debe tener en cuenta algunos conceptos comunes, así pues, supongamos una política de MP, la que supone una revisión planificada, y quizás, el reemplazo de ciertas piezas críticas después que la máquina ha estado trabajando un período fijo, llamado período de mantenimiento preventivo. Vemos que el personal de mantenimiento preventivo le toma un tiempo promedio, T_m , llevar a cabo el MP; éste se llama ciclo de MP. Ahora bien, es claro que cierta proporción de descompostura¹ ocurrirán antes que termine el ciclo fijado (dentro del campo probabilístico) y en estos casos el personal de Mantenimiento Correctivo (MC), reparará la máquina en un promedio T_s ; éste se llama ciclo de reparación. Estos dos tiempos se muestran en la Figura 16.

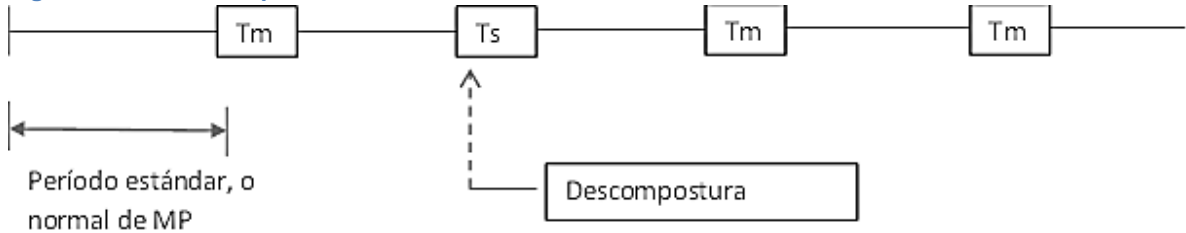
Podemos decir entonces que la probabilidad de que sucedan los dos ciclos diferentes, depende de la distribución del tiempo entre descomposturas específicas de la máquina y de la duración del período normal de MP.

Si la distribución tiene baja variabilidad y el período normal es, quizás, sólo el 80% del promedio del tiempo de funcionamiento, T_a , la descompostura real ocurriría con poca frecuencia y la mayoría de los ciclos serán de MP. Si la distribución fuera más variable, para el mismo período normal de MP, ocurrirían más

¹ Descompostura: avería, daño, defecto, rotura, descomposición de un mecanismo o equipo.

descomposturas reales antes de finalizar el período normal. Ocurriría el efecto contrario para cualquier distribución dado que el período normal sea acortado.

Figura 16: Ciclo de Reparación.



Sea que el MP o el correctivo compartan una posición óptima de trabajo para tiempos con igual probabilidad de duración, se ha demostrado que el porcentaje de funcionamiento de un bien productivo depende de la razón del período de mantenimiento normal al tiempo medio de funcionamiento, T_a .

Por lo anterior se puede considerar lo siguiente:

- A. Se justificará el MP, en principio, si la variabilidad de la distribución de tiempos entre descomposturas es baja.
- B. Ha de tenerse en cuenta también la relación entre el tiempo de MP y el tiempo MC, es decir conservarse que $T_m \ll T_s$. No ofrecerá ventaja el MP si $T_m = T_s$.
- C. Una vez cumplidos los dos puntos anteriores, la curva de porcentaje de funcionamiento presentará un máximo que será mayor que en el caso de MC.
- D. Aparte, algunas veces dado que produzca una avería, de lo anterior hay que considerar el costo de mantenimiento o de reparación para el efecto de una renovación o de hacer el respectivo mantenimiento.

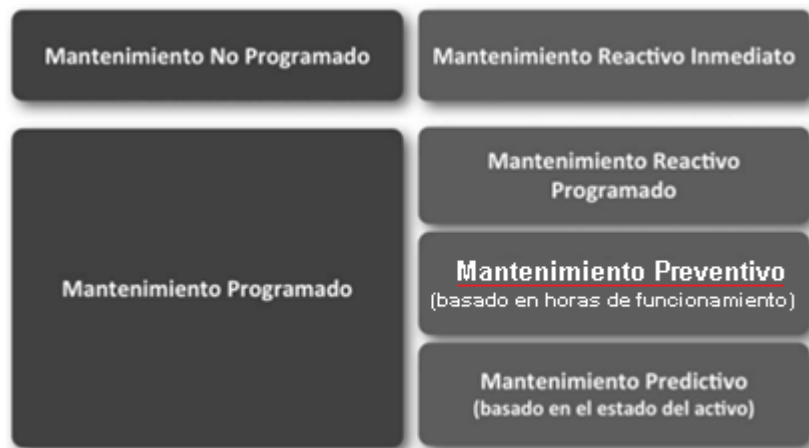
Finalmente se debe anotar, que la estrategia del mantenimiento preventivo se recomienda para aquellos activos en los cuales una avería tendría consecuencias graves y no es posible definir ningún indicador de supervisión de sus modos de fallo.

“Las intervenciones de mantenimiento pueden programarse o no, el origen de cada intervención de mantenimiento programado puede deberse a una acción reactiva, preventiva o predictiva.”¹.

¹ BALLESTEROS. Francisco. La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial, 2011. p.5.

3.1.3 Mantenimiento Predictivo. El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente en una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza. Fundamentalmente el mantenimiento predictivo se basa en “la condición”, evaluando el estado de la maquinaria. Aprovechar esta técnica es posible a la sinergia de diferentes métodos de instrumentación de medida y análisis de variables para caracterizar en términos de fallos potenciales, la condición operativa de los equipos productivos. Su misión principal es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de equipos al mismo costo. En la Figura 17 se ubica al MP como mantenimiento programado basado en tiempo de uso de un activo.

Figura 17: MP como mantenimiento programado.



Fuente: La estrategia predictiva en el mantenimiento Industrial.

El diagnóstico predictivo de maquinaria se ha desarrollado en la industria en la década que va desde mediados de los ochenta a mediados de los noventa del siglo XX. Actualmente, las filosofías predictivas se aplican en la maquinaria crítica en aquellas plantas que cuentan con una gestión optimizada de sus activos. El mantenimiento basado en la condición (CBM¹) optimiza el mantenimiento preventivo de manera que determina el momento preciso para cada intervención en los activos industriales.

¹ CBM: Conditioned-based Maintenance, se refiere a la técnica del mantenimiento basado en condición.

Desde el punto de vista técnico, una actividad de mantenimiento será considerada como predictiva siempre que se den ciertos requisitos:

- La medida sea no intrusiva, es decir, que se realice con el equipo en condiciones normales de operación.
- El resultado de la medida pueda expresarse en unidades físicas, o también en un índice adimensional relacionado.
- La variable medida ofrezca una buena precisión.
- La variable predictiva pueda ser analizada y/o parametrizada para que represente algún modo típico de fallo del equipo, es decir, ofrezca alguna capacidad de diagnóstico.

Desde el punto de vista organizativo, un sistema de gestión de mantenimiento será predictivo siempre que:

- La medida de las variables se realice de forma periódica en modo rutina.
- El sistema permita la coordinación entre el servicio de verificación predictiva y la planificación del mantenimiento.
- La organización de mantenimiento (Planificación, taller) y la de producción (operación) esté preparada para reaccionar ante la eventualidad de un diagnóstico crítico.

Actualmente, se pueden encontrar en el mercado sistemas de diagnóstico predictivo en continuo de bajo costo y altas prestaciones, que reducen considerablemente los costes de explotación de los sistemas de mantenimiento predictivo, por mencionar los basados en vibraciones. En las máquinas muy críticas que requieren una supervisión con intervalos cortos entre medidas, es más rentable instalar sensores de vibración fijos en sus partes de interés con sistemas de monitoreo continuo, que miden y procesan parámetros indicadores de los modos de fallo habituales. Las modernas redes informáticas tejidas por las plantas industriales pueden transmitir la información desde las máquinas hasta los analistas que interpretan estos datos. Los sistemas de medida de parámetros de supervisión en continuo reducen los costes de operación de los sistemas predictivos y aumentan en gran medida su fiabilidad, al generarse abundante información de gran calidad a un coste mínimo.

Las técnicas predictivas de mayor implementación entre otras son:

- Análisis de vibraciones.
- Inspecciones infrarrojas por termografía.

- Análisis de aceites.
- Detección de ultrasonidos.
- Análisis de motores eléctricos (medición de armónicos, resonancia).

Cada una de estas técnicas tiene su aplicación en la detección y diagnóstico de un conjunto determinado de fallos. Cuando dos o más técnicas permiten el diagnóstico de un mismo fallo, se comportan como complementarias y aumenta la fiabilidad del diagnóstico.

El análisis de vibraciones es la técnica que aporta más información sobre el estado de la maquinaria rotativa, consecuentemente suele ser la técnica principal sobre la que se apoya la mayoría de los departamentos de mantenimiento predictivo de las plantas industriales. Un error muy frecuente es considerar que el análisis de vibraciones es la única técnica predictiva aplicable en un plan de mantenimiento predictivo y se menosprecian otras técnicas que son también de gran utilidad.

3.1.3.1 Ventajas y beneficios de la aplicación del mantenimiento predictivo. La gestión optimizada de la programación del mantenimiento reporta las siguientes ventajas:

- Se evitan prácticamente todas las paradas no planificadas por avería.
- Se alargan los intervalos productivos entre paradas para mantenimiento y se minimizan los tiempos de reparación.
- Se aumenta la disponibilidad de la planta.
- Se evitan las pérdidas de producto por paros en el proceso productivo.
- Se amplía la duración de servicio de los componentes, solamente se sustituyen cuando comienzan a dañarse.
- Se reducen los stocks de piezas de recambio, puesto que el aprovisionamiento de estas piezas también puede programarse.
- Se impiden penalizaciones por retrasos en las entregas.
- Se mejora la calidad del producto fabricado (mecanización, laminación).
- Se evitan averías catastróficas, aumenta la seguridad de la planta, se reducen las primas de seguros.
- En definitiva, se aumenta la fiabilidad de la planta.
- El equipo mantenedor adquiere gran experiencia y capacidad en la predicción de diagnósticos.

3.1.4 Mantenimiento reactivo. Es aquel que consiste en no programar ninguna tarea hasta que la máquina falla. Este mantenimiento tiene la filosofía del bombero, donde se actúa bajo la idea central de crear una gran capacidad humana que pudiese atender a cualquier imprevisto dentro de las planta industriales, (apagar incendios). Podemos definir el mantenimiento reactivo como el mantenimiento efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido y así restablecerla a su estado operativo habitual de servicio.

En el artículo publicado bajo el nombre *La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial*, se evidencia que hay veces que es difícil decidir si una orden de trabajo se origina por Mantenimiento Reactivo o por Mantenimiento Basado en la Condición (CBM). Por ejemplo, si en una instalación aparece una fuga de aceite por el deterioro de una junta, se tiene: Si la fuga es detectada en una ruta de inspección predictiva, entonces se programaría la reaparición mediante una orden de trabajo generada por Mantenimiento Predictivo, en cambio, si la fuga es detectada por el departamento de producción o por otro personal de mantenimiento que no estuviese realizando una inspección predictiva, se trataría claramente de una corrección debida a mantenimiento reactivo.

El mantenimiento reactivo es adecuado para aquellos activos no críticos donde una avería:

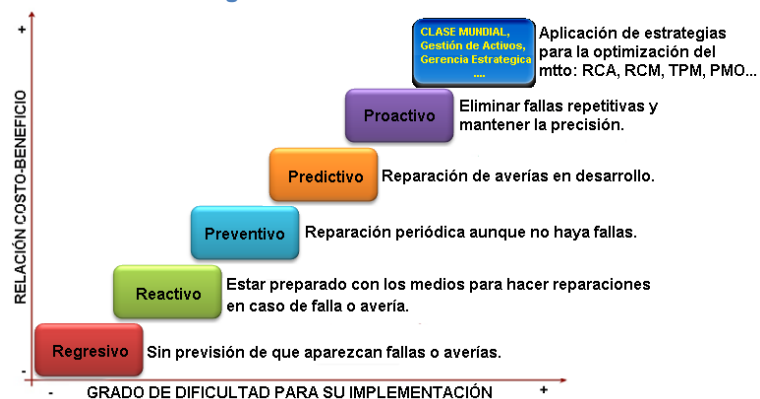
- No afecta a la seguridad
- No provoca emisiones o vertidos contaminantes.
- No interrumpe o reduce la producción.
- No provoca daños irreversibles en la máquina o costosas reparaciones.
- No afecta la calidad del producto.

En cambio, el mantenimiento reactivo no es adecuado para máquinas críticas o esenciales donde una avería inesperada genere algún problema de los enumerados anteriormente.

3.1.5 Mantenimiento proactivo. El mantenimiento proactivo investiga las causas de las averías y busca remedios para evitar que se repitan y así aumentar su fiabilidad. Esta filosofía de mantenimiento persigue el conocimiento el conocimiento de la causa raíz de los problemas (RCA) para corregirlos y así evitar que vuelvan a aparecer, lo cual aumenta la fiabilidad del activo productivo. El Artículo “*La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial*”. Por ejemplo, un acoplamiento desalineado puede producir una vibración axial y una carga cíclica que cause una fatiga constante en los rodamientos de apoyo del motor. Si nos limitamos a detectar el fallo de los rodamientos y a sustituirlos en el momento que el deterioro sea notable, probablemente evitaremos una avería catastrófica, pero no evitaremos que esta avería se repita. Sin embargo, el análisis causa raíz del problema nos llevaría a diagnosticar no sólo un problema de deterioro en rodamientos, sino además un problema de desalineación. Si al ser detectada esta desalineación, se realiza una alineación de precisión en el acoplamiento se conseguirá una mayor vida útil de los rodamientos del motor, entre otras ventajas.

Las prácticas proactivas más frecuentes en mantenimiento industrial son el equilibrado dinámico de rotores y la alineación de precisión de acoplamientos. Otras prácticas menos habituales (por requerir una mayor especialización) son los análisis estructurales del tipo ODS (Operating Deflection Shape) o Análisis Modal Experimental, aplicados a la modificación de partes y elementos estructurales con un rediseño operativo del equipo. En definitiva, el análisis de causa raíz en el ámbito del mantenimiento proactivo se ve potenciado por el uso de la tecnologías desarrolladas para el diagnóstico predictivo y así se hace más fácil establecer las modificaciones necesarias en los equipos de proceso, tanto constructivas como operativas.

Figura 18: Clasificación de las estrategias de mantenimiento.



Fuente: La estrategia predictiva en el Mantenimiento Industrial. Francisco Ballesteros.

4 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Después de la Segunda Guerra Mundial, las industrias japonesas determinaron que para competir 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 también el concepto de mantenimiento preventivo hace más de 60 años, más tarde importó otros términos que incluían: mantenimiento productivo, prevención del mantenimiento, ingeniería de confiabilidad, etc. habiendo adecuado lo anterior al ambiente industrial japonés 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 establecido en los años 1960's. El desarrollo del TPM empezó en los años 1970's. El tiempo anterior a los 1950's puede ser referenciado como el período del mantenimiento de las averías. El término TPM (Total Productive Maintenance), como mejor se conoce al Mantenimiento Productivo Total alrededor del mundo, fue establecido en 1971 por el Japan Institute of Plant Engineers, (hoy Instituto Japonés para el Mantenimiento de planta).

¿Por qué es tan popular el TPM?

Hay tres razones principales por las que el TPM ha tenido tanto auge, se difundió tan rápido en la industria japonesa y en los últimos años lo está haciendo por todo el mundo:

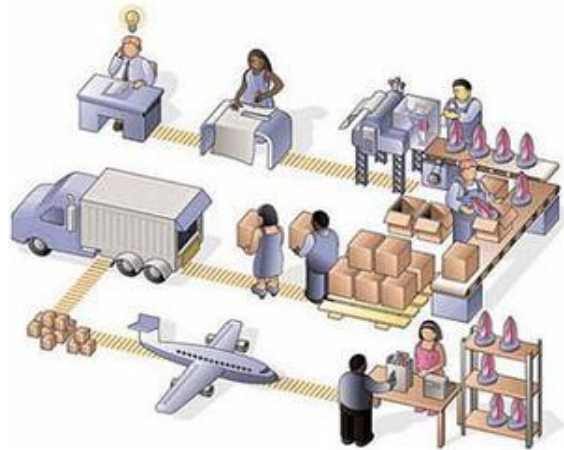
- Garantiza notorios resultados.
- Transforma visiblemente las áreas de trabajo.
- Incrementa el nivel de conocimiento y capacidad del personal de producción y mantenimiento.

4.1 QUE ES TPM

A partir del concepto de mantenimiento preventivo creado en la industria de los Estados Unidos, nace en Japón el TPM que por sus siglas en ingles significa Total Productive Maintenance por sus siglas en ingles.

Se asume el término TPM con los siguientes enfoques: la letra M representa acciones de management y mantenimiento. Es un enfoque de realizar actividades de dirección y transformación de empresa. La letra P está vinculada a la palabra "productivo" o "productividad" de equipos pero hemos considerado que se puede asociar a un término con una visión más amplia como "perfeccionamiento". La letra T de la palabra "total" se interpreta como "todas las actividades que realizan todas las personas que trabajan en la empresa".

Figura 19: TPM, Cultura organizacional.



Fuente: Mantenimiento Productivo Total, Sebastián Giraldo

El TPM se desarrolla en la industria automotriz de Japón, una de las primeras empresas en introducir estos conceptos fue la Nippon Denso Co Ltd. El término TPM fue definido en 1971 por el Japan Institute of Plant Engineers, actualmente el Japan Institute for Plant Maintenance, aunque TPM tiene más de 30 años en Japón, en el continente americano el término comienza a tomar fuerza durante la década de los 90's.

El TPM lo podemos definir como una nueva forma de administrar las máquinas, equipos de plantas de manufactura, industrias de procesos, etc..., está basado en

el mejoramiento de la efectividad de los equipos con una alta participación del personal de la empresa. Es importante tener presente que el mantenimiento no se debe ver como un gasto, puesto que a la larga una buena estrategia mantenimiento contribuye a las utilidades del negocio; El TPM es la estrategia.

El sistema TPM es una herramienta de la **manufactura esbelta** que a través de acciones sistemáticas trabaja en la eliminación de pérdidas o de actividades que no agregan valor.

La meta de implementar TPM es lograr mejorar la Efectividad Total de la Maquinaria y los Equipos (ETE) que incluye mejoras en la disponibilidad (% de tiempo de producción, garantizando que los equipos tengan menos fallas), el desempeño (que las máquinas trabajen a su máxima capacidad), y la calidad (realizando productos libres de defectos), en resumen ETE es el % de tiempo que el equipo trabaja a la máxima velocidad produciendo productos libres de defectos.

El TPM es una técnica que promueve un trabajo donde están siempre unidos, según los mismos objetivos: el Hombre, la Máquina y la Empresa. Su definición abarca los siguientes puntos:

- El TPM pretende crear una cultura corporativa para alcanzar el máximo de eficiencia posible de todo el proceso productivo.
- Establece un sistema de administración de planta, el cual previene las pérdidas y logra la reducción de metas a CERO, tales como: Cero Accidentes, Cero Defectos de calidad y Cero Fallas de los equipos involucrados en el Sistema de Producción.
- Involucrar a todas las áreas de la Compañía: Ingeniería, Planeación, Producción Mantenimiento, Recursos Humanos, costos, ventas, etc.
- Involucra activamente a todos los empleados, desde la Gerencia hasta los Operarios
- Fomenta la motivación y la participación a través de la formación de pequeños grupos de trabajo.

Cuando todo esto se ha logrado, el período de operación mejora, los costos se reducen, el inventario puede ser minimizado, y en consecuencia la productividad se incrementa.

Se entiende entonces como Mantenimiento Productivo, la utilización del tipo de mantenimiento que más se adecue a las características de la maquinaria en términos de la importancia de la línea de producción, disponibilidad y costo de repuestos, facilidad de mantenimiento y costo del equipo (valor de reposición) con el propósito de prolongar la vida útil del equipo.

Los pasos específicos para desarrollar el programa de TPM, deben ser desarrollados individualmente por cada empresa, es decir, aplicado a sus requerimientos y necesidades. Hay cinco metas interdependientes que representan los requisitos mínimos para desarrollar un programa de TPM:

1. Mejoramiento de la efectividad del equipo (identificación y eliminación de pérdidas asociadas con fallas, desempeño de equipo y calidad).
2. Mantenimiento Autónomo, Comprometer e involucrar a los operarios en el mantenimiento básico (limpieza, inspección, lubricación y ajustes menores).
3. Desarrollo y entrenamiento del personal que está en contacto con las máquinas o que de alguna manera puede influir en el estado de la maquinaria.
4. Garantizar una administración temprana y prevención del mantenimiento que ayude a lograr curvas de arranques verticales y equipos con mínimo mantenimiento y alta confiabilidad.
5. Maquinaria y equipos listos para trabajar a máxima capacidad y sin problemas a través del apoyo constante de la planeación, programación e ingeniería del mantenimiento.

Cada una de estas metas a su vez se ve apoyada por una estructura típica de TPM llamada pilar, estos pilares mencionados más adelante serán llamados pilares de confiabilidad y a través de ellos comienza la implementación de TPM.

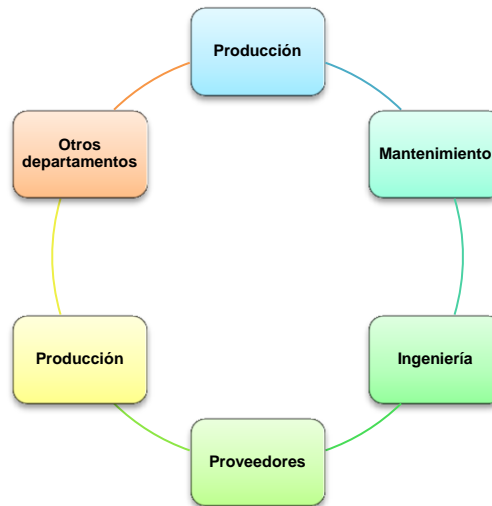
4.2 OBJETIVOS DEL TPM

Como objetivos principales del TPM se tiene:

1. Constituir una estructura organizacional que busque la máxima eficiencia del sistema de producción (o servicio) - rendimiento global.

2. Adecuar en el área de trabajo, mecanismos para prevenir las diversas pérdidas, obteniendo el cero accidente, el mínimo de defectos y el mínimo de fallas, teniendo como objetivo: disminuir el costo del ciclo de vida del sistema de producción.
3. Comprometer a todos los departamentos de la organización, empezando por el de producción (operación + mantenimiento), extendiéndose a los de desarrollo, ventas, administración etc. (incluyendo terceros).
4. Contar con la participación de todo el personal, desde los directores hasta los operarios de primera línea.
5. Lograr la pérdida cero por medio de actividades simultáneas de pequeños grupos.
6. Mejorar la calidad del personal (operadores, mantenedores e ingenieros).
7. Aumentar la calidad de los equipos, a través de la maximización de su eficiencia y de su ciclo de vida útil.
8. Mejorar los resultados obtenidos por la empresa (ventas, satisfacción del cliente, imagen etc.).

Figura 20: Mantenimiento Productivo Total.



La palabra **total** tiene 3 significados relacionados con 3 características de TPM.

1. Eficacia total: Perseguir la eficiencia económica.
2. PM total: Establecer 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.
3. Participación total: mantenimiento autónomo por operadores y actividades de grupos pequeños en cada nivel.

Con el objetivo de conciliar los intereses de los accionistas, a través del rendimiento del capital, de los empleados, de la mejora de conocimientos, estímulos económicos, ambiente de trabajo saludable y de la satisfacción de los clientes, a través de la mejora de los plazos de entrega, mejora de la calidad y reducción de los precios, debe ser la realización de la correcta administración:

Recursos humanos \implies a través de la capacitación.

Proceso \implies a través del TQC (ciclo de calidad total).

Materiales \implies a través del "just in time" (tener en el momento justo).

Medios de producción \implies a través del TPM.

De esta forma, se puede considerar que el TPM promoverá:

- Mejoramiento del personal, a través del cambio de mentalidad de todos, la adopción del mantenimiento espontáneo por los operadores, la capacitación del personal de mantenimiento y el estímulo a la revisión del proyecto de máquinas, con el objetivo de mejorar su vida útil y su mantenibilidad.
- Mejoramiento de máquinas e instalaciones, a través de la mejora de la eficiencia global, de la eficiencia técnica y del factor de utilización;
- Mejoramiento de la cultura empresarial, a través de la eliminación de tiempos de espera, resultados económicos y creación de un trabajo seguro, agradable y sin polución.

De acuerdo con informes divulgados por el pionero JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance) (Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta), con la aplicación del TPM se puede obtener los siguientes efectos tangibles:

- Mejora de la productividad por valor agregado, de 1,5 a 2 veces.
- Reducción de la proporción de defectos en proceso, de 10/1.
- Reducción en la proporción de reclamos de los clientes, de 4 a 1.
- Reducción de los costos de producción 30%.
- Reducción del almacenamiento de productos 50%.
- Obtención del cero accidente en el lugar de trabajo y cero contaminaciones.

Los siguientes son efectos intangibles, principalmente en el factor humano:

- Control autónomo total de los equipos ("Jishu Hozen"). Culto de la mentalidad a mi equipo lo cuido yo.
- Estímulo de la confianza en sí mismo, obtenida por la aplicación de la política de ejecutando se consigue, alcanzando el mínimo de falla y el mínimo de defecto.
- Desarrollo del sentido de responsabilidad, a través de la aplicación de las "5S".
- Construcción de un ambiente de trabajo salubre, pues el mismo se torna limpio, sin residuos de lubricantes o suciedades (sentido de limpieza y sentido de aseo de los "5S");
- Proporcionar la imagen de una buena empresa para los visitantes, que se asociará a nuevos pedidos para el sector de ventas.

4.3 PILARES DEL TPM

Los pilares son las **estrategias fundamentales** para desarrollar el programa.

Figura 21: Pilares del Mantenimiento Productivo Total.



Fuente: CDI Lean Manufacturing S.L.

Estos pilares sirven de apoyo para la construcción de un sistema de producción ordenado. Se implantan siguiendo una metodología disciplinada, potente y efectiva. Los pilares considerados por el JIPM como necesarios para el desarrollo del TPM en una organización son ocho a saber:

Tabla 4: Lista de pilares que soportan el TPM.

| # | PILAR | TPM |
|---|------------------------------|-----|
| 1 | Mejora Enfocada | |
| 2 | Mantenimiento Autónomo | |
| 3 | Mantenimiento Planeado | |
| 4 | Mantenimiento de Calidad | |
| 5 | Prevención del Mantenimiento | |
| 6 | Gestión Administrativa | |
| 7 | Educación y Entrenamiento | |
| 8 | Seguridad y Medio Ambiente | |

1. **Mejora Enfocada** - Kobetsu Kaisen: Es el conjunto de diferentes tareas a realizar en grupos de personas, que permiten optimizar la efectividad de los

equipos, plantas y procesos. Su esfuerzo radica en evitar en lo posible, cualquiera de las pérdidas existentes en las empresas.

2. **Mantenimiento Autónomo** – Jitshu Hozen: Se basa en la activa participación de los operadores y del personal de producción en mantenimiento, consiste en que estos realizan algunas actividades menores de mantenimiento (de baja o mediana tecnología), a la vez que conservan el sitio de trabajo en estado impecable.

3. **Mantenimiento Planeado:** El personal realiza acciones predictivas, preventivas y de mejoramiento continuo, que permiten evitar fallas en los equipos o sistemas de producción.

4. **Mantenimiento de la Calidad** - Hinshitsu Hozen: Se trata de mantener las condiciones óptimas de funcionalidad de los equipos, con el fin de no desmejorar la calidad de los productos en esos momentos en que se inicia y se mantiene la no funcionalidad adecuada de las maquinas o equipos.

5. **Mantenimiento Temprano – Prevención del mantenimiento:** Son todas las tardeas de la fase de diseño, construcción, montaje y operación de los equipos, que permiten garantizar la calidad de la operación y de los productos o bienes que generan las máquinas. Pretende elevar y mantener al máximo posible la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos.

6. **Gestión Administrativa:** Se trata de que las áreas de apoyo logístico a operación, producción y mantenimiento, sean las más adecuadas para evitar pérdidas como el ADT, LDT, LDT u otras, con el fin de mejorar los procesos administrativos y de operación indirecta.

7. **Educación, Entrenamiento, Capacitación y Crecimiento:** Se trata de establecer políticas que permitan que todo el personal de producción y de otras áreas de la compañía que inciden en la ingeniería de fábricas, se mantenga educado, entrenado, motivado y comprometido con las mejores prácticas internacionales, y que permanentemente este creciendo en lo personal e institucional. De manera que puedan evitar y solucionar problemas de una manera eficaz, que conozcan el funcionamiento de cada máquina, que detecten la incidencia de la funcionalidad de las maquinas en la calidad de los productos, y que posean en todo momento las habilidades y competencias para su trabajo.

8. **Seguridad, Higiene y Medio Ambiente:** Por medio de la aplicación de los instrumentos Mejoramiento Continuo y 5S, se garantiza la reducción de accidentes laborales o industriales, procura que todo el personal tenga la capacidad de prevenir y evitar riesgos, mantener unas condiciones adecuadas de higiene y seguridad en el puesto de trabajo y en las áreas productivas, al igual que pretende proteger y conservar el medio ambiente.

Teniendo en cuenta que los pilares dan estructura y fuerza, estos son los cimientos básicos para la consolidación del TPM, su puesta en marcha requiere trabajo de varias áreas y deben implementarse casi simultáneamente.

La clave es establecer la relación entre los pilares y las actividades actualmente en desarrollo dentro de la organización. No se debe desmontar lo que se tiene establecido y construido en la organización de la empresa, pues éstos hacen parte de esfuerzo, aprendizaje y éxito de la compañía.

Determinación, decisión, contundencia, rigor, valentía, valor.

4.3.1 Mantenimiento autónomo. Una de las actividades del sistema TPM es la participación del personal de producción en las actividades de mantenimiento. Este es uno de los procesos de mayor impacto en la mejora de la productividad. Su propósito es involucrar al operador en el cuidado del equipo a través de un alto grado de formación y preparación profesional, respeto de las condiciones de operación, empoderamiento de las responsabilidades, conservación de las áreas de trabajo libres de contaminación, suciedad y desorden.

El Mantenimiento Autónomo o Jishu Hozen, se fundamenta en el conocimiento que el operador tiene para dominar las condiciones de la máquina, esto es, mecanismos, aspectos operativos, cuidados y conservación, manejo, averías, etc. Con este conocimiento los operadores podrán comprender la importancia de la conservación de las condiciones de trabajo, la necesidad de realizar inspecciones preventivas, participar en el análisis de problemas y la realización de trabajos de mantenimiento liviano en una primera etapa, para luego asimilar acciones de mantenimiento más complejas.

Figura 22: Limpieza, inspección y ajuste. Cero fallos.



Fuente: Corporación Aceros Arequipa.

Idealmente, quién opera el equipo debería darle mantenimiento, en los inicios del TPM en Japón, esas dos funciones estaban combinadas. Hoy, muchos gerentes comprenden que un factor decisivo en la competitividad, es un equipo más eficiente, en el fondo, el mantenimiento autónomo es prevención del deterioro forzado. El mantenimiento desempeñado por los operadores del equipo o mantenimiento autónomo, pueden contribuir significativamente a la eficacia del equipo.

El programa de mantenimiento autónomo se pone en práctica mediante ocho niveles de actividades de grupos:

1. Limpieza Inicial.
2. Elimine fuentes de contaminación y áreas de difícil acceso.
3. Hacer que el equipo se limpie fácilmente.
4. Estandarizar las actividades del mantenimiento.
5. Aprender técnicas de inspección general.
6. Realizar inspecciones autónomas.
7. Organizar áreas de trabajo.
8. Involucrarse en una gestión verdaderamente autónoma.

El pilar de mantenimiento autónomo es uno de los principales pilares del TPM, ya que marca la pauta de avance en la implementación de toda la metodología en la organización; para el desarrollo de este pilar es indispensable el apoyo del

departamento de mantenimiento, consecuentemente es importante definir las funciones de cada uno en la implementación del pilar, estas son:

Actividades de departamento de producción:

Prevenir el deterioro: Operar el equipo correctamente, mantener las condiciones básicas del equipo, hacer los ajustes adecuados, anotar datos referentes a las averías y malos funcionamientos, colaborar con mantenimiento en el estudio de mejoras (proactivo).

Medir el deterioro: Hacer inspecciones diarias y hacer ciertas inspecciones periódicas.

Restaurar el equipo: Hacer reparaciones menores, hacer reportes de averías y malfuncionamientos, asistir en reparar las averías esporádicas.

Actividades del departamento de mantenimiento:

Mejorar la confiabilidad del equipo: Debe ser de las altas prioridades del departamento.

Guiar y asistir a los operadores: El mantenimiento autónomo solo puede ser establecido con la guía apropiada del departamento de mantenimiento.

Otras actividades: Investigar y desarrollar tecnología de mantenimiento, seleccionar los estándares de mantenimiento, mantener los reportes de mantenimiento, etc.

¿Cómo desarrollar el Pilar de Mantenimiento Autónomo?

El desarrollo del Mantenimiento Autónomo sigue una serie de etapas y pasos, los cuales pretenden crear progresivamente una cultura de cuidado permanente del sitio de trabajo.

1. Establecer las condiciones básicas del equipo.
2. Hacer inspección general.
3. Aplicar las 5S
4. Implementar mantenimiento autónomo en siete pasos.

5. Consideraciones importantes para la implementación del pilar de mantenimiento autónomo.

4.3.1.1 Establecer las condiciones básicas del equipo: TLC. Las condiciones básicas, son las que permiten prolongar la vida útil de las máquinas en condiciones óptimas de operación. Ellas son: Limpieza, Lubricación y Ajuste. Establecer las condiciones básicas del equipo, es una de las más importantes actividades en Mantenimiento Autónomo. El cuidado riguroso de las condiciones básicas, evita la ocurrencia de anomalías y por lo tanto de averías o fallas.

Limpieza: Significa remover suciedad, polvo y partículas que se adhieren a las máquinas, plantillas, piezas de trabajo, materia prima, etc. Los efectos dañinos de una inadecuada limpieza son numerosos: Partículas de diversos tamaños producen resistencia a la fricción, desgaste, fallas eléctricas y bloqueos, esto causa pérdida en precisión, mal funcionamiento del equipo y fallas, la presencia de partículas de polvo causan fallas eléctricas y paradas menores.

Los operadores pueden tener alguna resistencia psicológica y mostrarse apáticos para inspeccionar cuidadosamente un equipo sucio, pero el mensaje que se debe dar es que **Limpiar es inspeccionar**, al tocar y ver cada parte del equipo detectan defectos ocultos y condiciones anormales como, vibración, calentamiento y ruido, además se logra que el equipo gane respeto entre el personal al verlo limpio. Surgen también preguntas como: ¿Qué clase de averías ocurren cuando las partes están sucias?, ¿Qué causa esta contaminación?, ¿Cómo puede prevenirse?, ¿Hay una manera fácil de hacerlo?, ¿qué partes están desgastadas?, etc.

Después de la limpieza inicial, las fuentes de suciedad y sus efectos en los equipos son fáciles de ver, por lo tanto se toma acción con esos contaminantes eliminando su origen.

Aplicando la limpieza y prevención de la contaminación, los operadores identifican las condiciones óptimas para su equipo. El grupo de mantenimiento autónomo debe entonces preparar los estándares de operación requeridos para mantener esas condiciones. El mayor obstáculo para la adherencia a los estándares ocurre cuando no es la misma gente quién los fija de quién los debe seguir. No se debe forzar a los operadores a seguir estándares, los supervisores deben poner sus esfuerzos en clarificar los estándares y explicar porque los estándares deben ser

seguidos y que ocurre cuando no se hace, se debe propiciar el ambiente necesario.

Lubricación: Garantizar la adecuada lubricación es el segundo paso para que los operadores ayuden a establecer las condiciones básicas del equipo, pues este es un tema al que no se le ve tan relevante, porque no siempre está relacionado con averías y defectos de calidad. Entre las causas más comunes por las que no se tiene una adecuada lubricación están:

- La lubricación no ha sido enseñada, ni la importancia de mostrar las pérdidas causadas por una mala lubricación o por la ausencia de ella.
- Los estándares de lubricación (puntos, tipos, cantidad de lubricantes, intervalos de lubricación y herramientas) son incompletos o no enseñados.

Para reducir el tiempo de lubricación es necesario hacer varias mejoras, tales como: cambiar la ubicación de los lubricantes, adaptar un sistema de lubricación, promover uso de etiquetas de instrucción, entre otras.

Ajuste: Los operadores están en la mejor posición para asegurar diariamente que todos los tornillos y puntos de fijación sean apretados apropiadamente. El adecuado ajuste, es la tercera forma en la que los operadores ayudan a restablecer las condiciones básicas del equipo. Las tuercas, tornillos flojos y otros medios de fijación pueden causar pérdidas mayores, directa o indirectamente pueden causar fracturas en las estructuras, piezas, dados, plantillas o herramientas y ocasionar daños a equipos u ocasionar productos defectuosos.

Los problemas también ocurren cuando se fijan piezas y se desconoce el torqueo requerido, resultando en piezas sueltas o con aprietes disparejos.

4.3.1.2 Hacer Inspección General. En los programas de mantenimiento autónomo los operadores son entrenados para conducir inspecciones de rutina. Las siguientes tres razones son las más comunes para que esto no funcione adecuadamente:

La inspección es exigida pero los trabajadores no son motivados a prevenir el deterioro, no se permite suficiente tiempo para realizarla o las destrezas necesarias no son enseñadas.

Los problemas con la inspección son inevitables cuando los ingenieros de mantenimiento preparan hojas de inspección y simplemente se las pasan a los operadores y consideran su trabajo terminado cuando las hojas se llenan. Los operadores necesitan considerable tiempo antes de que puedan conducir inspecciones apropiadamente. El intervalo para cada inspección se determina a través de la experiencia y dependiendo del equipo y su ambiente.

Muchas compañías han encontrado que incrementando el conocimiento y destrezas de los operadores (sin llegar al nivel de los trabajadores de mantenimiento), adquieren habilidad para evitar las anomalías. La palabra anormal no se refiere a efectos anormales, si una máquina se descompone y para o produce productos defectuosos, esos son efectos, y lo que lo causó son anomalías causales. Los operadores al detectar anomalías pueden ser llamados sensores humanos.

Sí aceptamos el reto de desarrollar operadores con esas destrezas, debemos entrenarlos bien. El currículo a ser enseñado depende en las necesidades de los trabajadores, por ejemplo como acondicionar y operar la máquina adecuadamente, como conducir una inspección, etc.

El material más importante para el entrenamiento, son los manuales y las listas de chequeo, considerar que información técnica se requiere saber para conducir buenas inspecciones, procurar proveer suficientes detalles en las funciones básicas, mecanismos y componentes de las unidades a ser inspeccionadas junto con los nombres y funciones de la partes, los criterios y métodos de inspección, aparición, causas y tratamiento del deterioro. Cubriendo estos tópicos completamente se enseñará a los operadores la importancia de las condiciones básicas del equipo. Los manuales por si solos no transmiten un completo entendimiento de los temas, se debe usar ayudas como modelos, gráficas entendibles, partes deterioradas o dañadas, etc.

El entrenamiento es más efectivo llevado en dos pasos; los líderes de grupo son enseñados primero por mantenimiento, entonces toman el papel de profesores, comunicando lo que han aprendido a los miembros del grupo, al educar a su propio grupo los líderes aprenden las responsabilidades de liderazgo. Los instructores de mantenimiento deben asegurar que los líderes entiendan el contenido de la instrucción, si la educación basada en grupos prospera ellos deben enseñar a los líderes a enseñar y como presentar la información efectivamente.

La educación basada en grupos no debe ser confinada al salón de clases, los encuentros deben ser lo más próximo al equipo posible para permitir a los miembros del grupo examinar su propio equipo durante la instrucción y permite a los líderes hacer preguntas sobre el equipo mismo.

Durante la actividad de inspección, la cooperación del personal de mantenimiento es crucial en esta etapa en el proceso de desarrollo de TPM, los operadores descubren una gran cantidad de deterioro. Más de la mitad de los problemas y anomalías encontradas tendrán que ser reparados por mantenimiento.

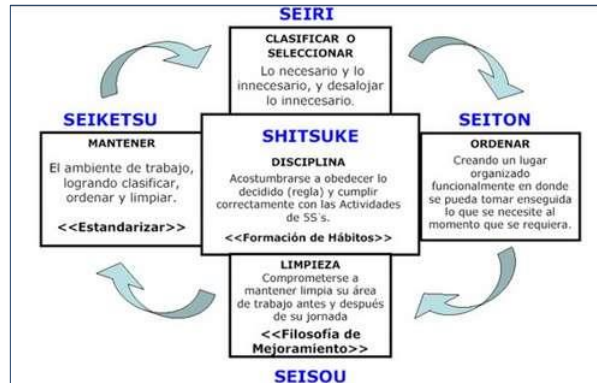
Cada vez que la inspección general de un equipo se complete, los grupos deberán considerar que inspección de rutina se requiere para mantener el estado mejorado del equipo y preparar los estándares preliminares de inspección autónoma.

4.3.1.3 Aplicar las 5S. Con el desarrollo del TPM se comprobó de forma fundamental que, además de la necesidad que cada uno de los componentes de la empresa, buscase la limpieza y la organización, para la mejora de sus actividades y del ambiente laboral de un modo general; los atributos de orden, aseo y disciplina, también influían en la mejora de la productividad, complementando, de esta manera, el grupo de las "5S", 5 palabras que en japonés, empiezan con la letra S y tienen los siguientes significados:

Seiri (Desalojar), Seiton (Clasificar), Seiso (Limpiar), Seiketsu (estandarizar), Shitsuke (disciplina), son principios fundamentales para la administración del lugar del trabajo. Son fáciles de promover, pero difícil de poner en práctica, su correcta ejecución garantiza unas bases sólidas para la implementación de los pasos de TPM.

4.3.1.4 Implementar Mantenimiento Autónomo en Siete Pasos. Estas etapas o pasos son basadas en la experiencia de muchas compañías que han implementado el TPM prósperamente. Representan una equilibrada distribución de responsabilidades entre los departamentos de producción y mantenimiento al llevar a cabo las actividades de mantenimiento y mejora.

Figura 23: Las 5 "eses"



Fuente: Genomma Lab.

Los pasos sugeridos por los líderes del JIPM para aplicar el Mantenimiento Autónomo se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5: Pasos del Mantenimiento Autónomo.

| PASO | NOMBRE | Actividades a Realizar |
|------|---|--|
| 1 | Limpieza e inspección | Eliminación de suciedad, escapes, polvo y contaminantes del equipo, revierta el deterioro. |
| 2 | Elimine fuentes de contaminación y áreas de difícil acceso. | Elimine la fuente de polvo y tierra, mejore la accesibilidad de áreas que son difíciles de limpiar y lubricar, reduzca el tiempo para limpieza y lubricación. |
| 3 | Estándares de limpieza y lubricación. | Seleccione los estándares para limpieza, lubricación y fijación que serán fácilmente mantenidos en intervalos cortos, el tiempo requerido para el trabajo diario/periódico debe ser claramente especificado. |
| 4 | Inspección general del equipo. | Conduzca el entrenamiento sobre las destrezas de acuerdo con los manuales de inspección, encuentre y corrija defectos menores en inspecciones generales, modifique el equipo para facilitar la inspección. |
| 5 | Inspección general del proceso. | Desarrolle y use la lista de verificación para mantenimiento autónomo (estandarice limpieza, lubricación e inspección para fácil aplicación). |
| 6 | Sistematización del mantenimiento. | Estandarice varios elementos del lugar de trabajo, para mejorar la eficacia del trabajo, calidad del producto y la seguridad del ambiente: reduzca los tiempos de preparación y ajuste, elimine el trabajo en proceso. Estandarice el manejo de materiales en el taller. Colecte y registre datos para la estandarización. Controle los estándares y procedimientos para materias primas, trabajo en proceso, productos, partes de repuesto, dados, plantilla, y herramientas. |
| 7 | Gestión autónoma. | Desarrolle metas para la compañía, comprométase en actividades de mejora continua. Aplicación de políticas establecidas por la dirección de la empresa. Empleo de tableros de gestión visual, tablas MTBF y tableros Kaizen. |

Fuente: Mantenimiento Productivo Total. Sebastián Giraldo.

Propósitos de los siete pasos de Mantenimiento Autónomo.

La implementación del Mantenimiento Autónomo en pasos ha sido diseñada por el JIPM para cumplir propósitos específicos en la mejora industrial. Los propósitos previstos son:

- Lograr las condiciones básicas de los equipos.
- Establecer una nueva disciplina de inspección por parte del personal operativo.
- Crear una nueva forma de dirección fundamentada en el autocontrol y "empowerment".

Etapas Inicial. Preparación del mantenimiento Autónomo.

Esta es una etapa muy importante en la que se reconoce la necesidad de implementar el mantenimiento autónomo en la planta. En esta fase se entrena al personal y se preparan los documentos necesarios para realizar las fases de limpieza, lubricación, ajuste y estandarización.

En esta etapa de preparación se establecen los objetivos del mantenimiento autónomo, se selecciona el área o equipo piloto en el que se realizará la primera experiencia y se desarrolla el programa de entrenamiento necesario para el inicio de las primeras etapas. Los operarios deben conocer la estructura interna de los equipos, el funcionamiento de las máquinas y los problemas que se pueden presentar en su operación, y perjuicios causados por el depósito de polvo y mala limpieza, falta de ajustes en tornillos y pernos, como también, los problemas que se presentan con la falta de conservación de la lubricación.

Como resultado final de este entrenamiento, los operarios deben conocer la forma de eliminar el polvo y suciedad del equipo, los métodos de lubricación, cantidad y periodicidad, como también la forma correcta de mantener apretados los elementos de fijación y el uso de las herramientas empleadas para el ajuste.

Las ayudas que se deben preparar durante esta etapa son:

1. Mapa de seguridad. Es un diagrama del equipo o área seleccionada como piloto y sus áreas cercanas donde se muestra los posibles puntos de riesgo y de peligro para el personal que intervendrá en la práctica de la limpieza y otras etapas de autónomo.
2. Manual de condiciones anormales. Se trata de un documento en el que se muestran los esquemas de los equipos, su estructura de componentes, análisis

de posibles causas de deterioro, defectos potenciales de calidad, paradas, etc. Esta información se debe entregar al personal operativo como parte de su entrenamiento en la fase inicial del mantenimiento autónomo. Algunas empresas han preparado esta información con la participación directa del operador.

3. Tarjetas de inspección de Mantenimiento Autónomo.
4. Tablero de control visual.
5. Otras listas de ayudan para la inspección y registros de situaciones que se deben mejorar en la maquinaria.
6. Registro fotográfico.
7. Formatos para la planificación de acciones de mejora.

- **Paso 0. Aplicar las 5's.**

Seiri – Sort (Clasificar).

Eliminación de todo lo innecesario para mejorar la organización. Como su nombre lo indica esta etapa consiste en identificar todos los elementos realmente necesarios para ejecutar una labor de mantenimiento, los elementos que no sean necesarios deben ser desechados o reubicados para que estos no entorpezcan u obstaculicen la labor de reparación o mantenimiento de una organización. Aquí en Colombia existe un decir popular que dice "lo que no sirva, que no estorbe", lo que no sea útil entonces que no se vuelva obstáculo.

Figura 24: Las 5S. Clasificar



Fuente: Bzgroup Comunicación Integral.

Seiton – Stabilize (Ordenar).

Después de haber clasificado lo necesario y lo innecesario, viene la siguiente etapa que consiste en ordenar los elementos que hacen parte de la actividad a realizar, organizarlos de acuerdo con la facilidad de uso, considerando la frecuencia de utilización, el tipo y el peso del objeto, de acuerdo con una secuencia lógica ya practicada, o de fácil asimilación. Cuando se trata de ordenar las cosas, necesariamente el ambiente queda más ordenado, más agradable para el trabajo y por ende, más productivo.

Figura 25: Las 5S. Ordenar

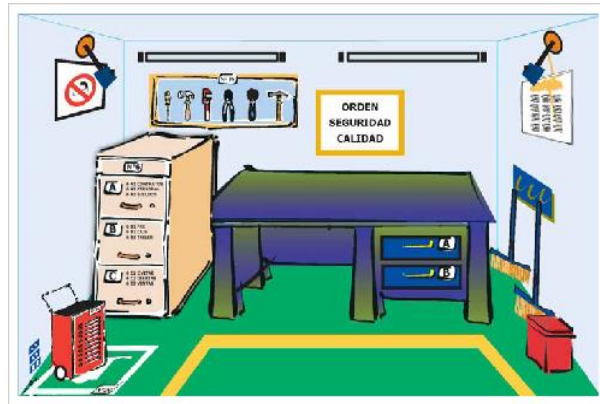


Fuente: Mechatronics Engineering.

Seiso – Shine (Limpiar).

Seiso significa eliminar y minimizar la suciedad dentro de la planta, inspeccionando para descubrir y atacar las fuentes de contaminación. La limpieza está estrechamente relacionada con el buen funcionamiento de una máquina o proceso, debe ser vista como una oportunidad de inspección y reconocimiento del entorno; por ejemplo, si existen escapes de refrigerante, grasa o similares es común que estemos ante una falla, es por esto que Seiso dentro de las labores de mantenimiento preventivas busca minimizar este tipo de situaciones. Para esto, es de fundamental importancia que la limpieza sea hecha por el operador de la máquina o equipo.

Figura 26: Las 5S. Limpiar



Fuente: GIA Consultoría y Construcción.

Seiketsu – Standardize (Estandarizar).

Cuando se habla de un estándar se habla de algo que ha sido implementado con éxito, un estándar es una norma que rige el curso de lo que se hará en un futuro, si en las organizaciones no existen estándares es probable que los viejos hábitos (los malos) reaparezcan echando abajo todo lo que se había logrado hasta el momento. El propósito de Seiketsu es identificar esos buenos hábitos de limpieza e inspección que han dado resultado dentro de la planta u organización, obviamente entre los beneficios de implementar Seiketsu se encuentra que ayuda a mantener la clasificación, el orden y el aseo dentro de las plantas (primeras 3 S). Esto es realizado a través de la estandarización de hábitos, normas y procedimientos.

Figura 27: Las 5S. Estandarizar



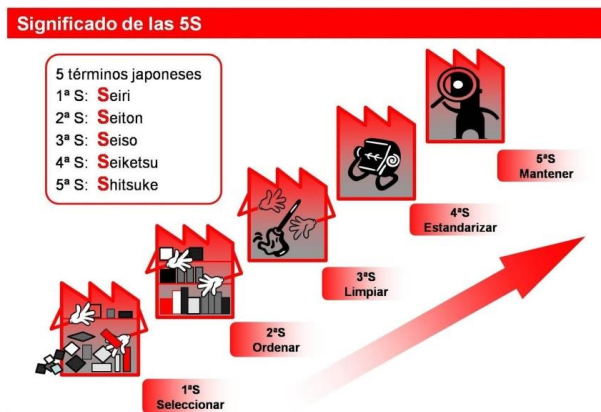
Fuente: ESPI Communication Board.

Shitsuke – Sustain (Disciplina, mantener).

Shitsuke busca disciplina de los miembros que hacen parte de una organización, que asuman y se apropien de la importancia de actuar en el trabajo con responsabilidad, orden y entusiasmo. Su aplicación garantiza que la seguridad será permanente dentro y fuera de la planta, además la productividad se verá mejorada progresivamente y por supuesto la calidad de los productos será la más alta. Cumplir rigurosamente las normas y todo lo que sea establecido por el grupo. La disciplina es una señal de respeto al prójimo.

Se debe capacitar a la gente para que de manera autónoma pueda realizar con disciplina sus tareas. Se cita de último pero debe ser el primero.

Figura 28: Las 5S. Significado



Fuente: Crealor Process Improvement.

- **Paso 1. Limpieza e inspección.**

En este primer paso se busca alcanzar las condiciones básicas de los equipos y establecer un sistema que mantenga esas condiciones básicas durante las etapas uno a tres. Los principios en los que se fundamenta la primera etapa son:

1. Hacer de la limpieza un proceso de inspección.
2. La inspección se realiza para descubrir fuentes de contaminación o cualquier tipo de situación anormal en el equipo y las áreas próximas de trabajo.
3. Para descubrir anomalías y fallas, el proceso de limpieza es muy importante, ya que en esta fase se debe cumplir el principio de "limpieza es inspección". No se debe pretender solamente asignar un tiempo para la limpieza al finalizar el turno. Se debe buscar un nivel de pensamiento superior,

en el que el operador tome contacto con el equipo para realizar inspección mediante el aseo del equipo. El TPM ofrece una metodología específica de auditoría para realizar la identificación de falta de limpieza, generando un plan de acción de mejora el cual es controlado mediante sistemas visuales y de fácil manejo por parte del operador y supervisores de planta. Es frecuente introducir en esta primera etapa las tres primeras "S" o pilares de la fábrica visual, esto es aplicar Seiri, Seiton y Seiso.

Anormalidad. Síntomas o señales que presenta una máquina o un lugar de trabajo, que se desvían de una condición ideal establecida.

Para el reporte de anomalías, podemos utilizar un sistema de tarjetas, que son el medio por el cual, la metodología TPM nos permite anticiparnos a las fallas y problemas.

Figura 29: Tarjetas TPM

Fuente: Uso de Tarjetas TPM, William Olivares.

Cada paso de Mantenimiento Autónomo debe evaluarse para verificar si el área en la que se aplica está disponible para pasar a la etapa 2. El plan de implantación del mantenimiento Autónomo debe considerar el momento en que se deben diseñar y aplicar esta clase de auditorías. Las auditorías deben asumirse como un paso donde se realiza una reflexión profunda y donde se recoge el conocimiento adquirido para su divulgación a otras áreas. Sirve como motivación, ya que la dirección de la planta reconoce y certifica que el área piloto ha ganado un peldaño en el proceso de TPM y puede iniciar su trabajo para la siguiente etapa. En

algunas empresas estas auditorías son realizadas por la Dirección General debido a la importancia de este evento y por los efectos de compromiso que se adquiere dentro de los trabajadores.

- **Paso 2. Elimine fuentes de contaminación y áreas de difícil acceso.**

En este paso se pretende que el trabajador descubra las fuentes de la suciedad que deteriora el equipo y tome acciones correctivas para prevenir su presencia. Se busca mejorar el acceso a sitios difíciles para la limpieza, eliminación de zonas donde se deposita con facilidad la suciedad y se mejora la observación de los instrumentos de control. Esta etapa es importante para el desarrollo de las actividades Kaizen o de mejora continua y son desarrolladas por los propios trabajadores que enfrentan las dificultades en la limpieza o el manejo de los procesos asignados. Los resultados se manifiestan en la mejora del sitio de trabajo, reducción de posibles riesgos y reducción del deterioro acelerado de los equipos debido a la contaminación y escapes.

Las actividades más comunes que se realizan en planta en esta segunda etapa tienen que ver con la eliminación de escapes, fuentes de contaminación, excesos de lubricación y engrase en sitios de la máquina, derrames y contaminación. Conviene empezar observando cuidadosamente el área de trabajo para determinar qué piezas se ensucian, qué es lo que las ensucia y cuándo, cómo y por qué se ensucian. Es necesario dibujar esquemas que muestren la localización de la contaminación, escapes, partículas, humos, nube de aceite, polvo, vapor y otros. Un estudio estadístico sobre los tipos de fugas será de utilidad para identificar las principales causas.

La metodología empleada en esta segunda fase se apoya en los métodos de mejora enfocada o Kobetsu Kaizen y mejora continua de la calidad. El trabajador debe desarrollar una habilidad para comprender los problemas que ocasionan la contaminación, residuos, materiales extraños y sus fuentes, ya sean de otros procesos, fuera de la fábrica, equipos o materiales con los que se trabaja. Mediante el empleo del pensamiento Kaizen se deben desarrollar ideas de mejora que permitan prevenir esta clase de fugas y contaminación. El plan debe incluirse en los tableros de control tipo Kaizen para facilitar su seguimiento. Como paso final, se deben revisar los estándares de limpieza establecidos en la etapa uno. Algunas compañías durante esta etapa han desarrollado campañas de protección de los sitios de trabajo con cubiertas, ubicación de guardas transparentes en acrílico para la protección de ciertos puntos críticos de los equipos, facilitando la

observación y evitando fugas de estas máquinas hacia el medio ambiente. En otras plantas se han diseñado programas para eliminar los orificios en las cubiertas de los edificios por donde se filtra la suciedad y en los equipos se evitan las fugas para facilitar el control de los medios sucios. La utilización de ayudas visuales como elementos de mejora del control de los equipos, permiten identificar fácilmente la forma como se debe conservar el equipo.

- **Paso 3. Estándares de limpieza y lubricación.**

Con base en la experiencia adquirida en los pasos anteriores, se preparan los estándares de inspección con el propósito de mantener y establecer las condiciones óptimas del estado del equipo. Es frecuente emplear las dos últimas "S" de la estrategia de las 5S con el objeto de garantizar disciplina y respeto por los estándares. Esta etapa es un refuerzo de "aseguramiento" de las actividades emprendidas en las etapas 1 y 2. Se busca crear el hábito para el cuidado de los equipos mediante la elaboración y utilización de estándares de limpieza, lubricación y ajuste de tornillos, pernos y otros elementos de ajuste; busca prevenir deterioro del equipo manteniendo las condiciones básicas de acuerdo a los estándares diseñados.

Estos estándares en lo posible deben ser preparados por el operador una vez se haya capacitado para realizar esta labor. Como resultado de esta etapa, el trabajador realizara proactivamente todas las actividades de cuidado del equipo, iniciando su intervención desde el mismo momento en que prepara las normas de cuidado de los equipos.

El involucrar al operario trae como beneficios evitar desgastes predecibles, reducir los errores en la operación, crear una conciencia de la necesidad de trabajar con estándares y el respeto hacia el equipo y su medio. Los estándares incluyen tareas de limpieza, inspección y lubricación. En estos estándares se debe prestar atención al empleo de diagramas o esquemas que indiquen los puntos de inspección o de presencia potencial de anomalías o problemas. En estos gráficos se debe indicar mediante un código numérico que sirve para identificar la pieza o elemento de la máquina que se debe inspeccionar y sus condiciones de chequeo.

5W y 1 H

Suzuki sugiere que durante el proceso de preparación de estándares se deben tener en cuenta las 5W y 1H (¿Dónde?, ¿Qué?, ¿Cuándo?, ¿Por qué?, ¿Quién?, y ¿Cómo?).

La información mínima sugerida para estos estándares es la siguiente:

1. Elementos de los equipos que se deben inspeccionar.
2. Puntos donde se podrían presentar problemas en el equipo debido a la suciedad, aflojamiento de pernos y lubricación insuficiente.
3. Método de inspección de la limpieza, ajuste y lubricación. Se sugiere emplear iconos o gráficos para facilitar la interpretación del estándar.
4. Herramientas. El estándar deberá indicar el tipo de instrumento que se debe utilizar para realizar la labor que se estandariza.
5. Tiempo. Este punto tiene que ver con el tiempo que debe tomar la realización de la actividad estandarizada. Es posible que el primer estándar elaborado no contenga los tiempos óptimos. Estos se lograrán con la práctica y el empleo del pensamiento Kaizen y de mejora continua de estándares.
6. Frecuencia. Se decide la frecuencia de inspección para cada elemento o punto clave del equipo, ya sea anual, mensual, semanal o diaria.
7. Responsable. Se debe asignar un líder para cada una de estas tareas para asegurar que estas se realizarán completamente.

- **Paso 4. Inspección general orientada.**

Los pasos 1 al 3 se realizan para evitar el deterioro y controlar las condiciones básicas de mantenimiento del equipo — limpieza, lubricación, y ajuste de pernos. En el paso 4, intentamos medir el deterioro con una inspección general del equipo. Adicionalmente, al trabajar restaurando las buenas condiciones de operación del equipo, se incrementa la competencia de los operarios del equipo.

Inicialmente, los líderes de círculos **TPM** reciben entrenamiento en estos procedimientos de inspección (una categoría de inspección a la vez) usando un manual de inspección general preparado por el staff y supervisores. Estos líderes participan lo aprendido con los miembros de su círculo. Los grupos de trabajadores trabajan juntos para identificar y reconocer las áreas problemáticas descubiertas durante la inspección de mantenimiento, el círculo toma la acción necesaria para corregir el deterioro y mejorar las áreas afectadas. El entrenamiento en inspección general debe realizarse en una categoría a la vez, empezando con el desarrollo de capacidad. Su efectividad se audita y refuerza

con entrenamiento adicional y aplicaciones prácticas. Este ciclo de entrenamiento, aplicación, auditoría, y modificación se repite para cada categoría de inspección. Este cuarto paso puede requerir largo tiempo para completarse, porque todos los operarios deben desarrollar la habilidad para detectar anomalías. Sin embargo, es el mejor método para producir operarios competentes, de forma que es un paso que no debe apresurarse. Los resultados positivos no podrán lograrse hasta que cada trabajador adquiera los conocimientos necesarios.

Los tres primeros pasos del mantenimiento autónomo se centran en requerimientos básicos, y por tanto los esfuerzos en estos pasos iniciales no pueden siempre exhibir resultados dramáticos. Sin embargo, para el final del paso 4, la compañía debe poder contemplar cambios espectaculares, tales como una reducción del 80 por ciento en los fallos del equipo o una tasa de efectividad global del equipo por encima del 80 por ciento.

Si para esta época, no aparecen resultados, probablemente no se ha adquirido destreza en los conocimientos enseñados en los pasos iniciales. Ello puede también señalar un nivel bajo generalizado de experticia técnica. Si este es el caso, es mejor empezar otra vez y comenzar por elevar el nivel técnico.

- **Paso 5. Inspección autónoma.**

Este paso cumple una primera función de conservar los logros alcanzados en las etapas anteriores o el equivalente de "asegurar" en el Ciclo Deming; posteriormente, la etapa cinco debe conducir a mejorar los estándares y la forma de realizar el trabajo autónomo que se viene realizando.

Se evalúan los estándares de limpieza, lubricación y apriete establecidas en las etapas previas, se mejoran sus métodos y tiempos en base a la experiencia acumulada por el operador. Las principales actividades de este paso están relacionadas con el control de los equipos y la calidad de los mismos, condiciones y estado de ellos como de las herramientas. Uno de los aportes significativos del paso cinco consiste en el incremento de la eficiencia de la inspección, al mejorar métodos de trabajo y los estándares utilizados.

El desarrollo de la etapa cinco incluye los siguientes trabajos prácticos:

1. Evaluar los procedimientos utilizados hasta el momento en las actividades autónomas. Por ejemplo, los estándares de limpieza, lubricación y apriete. Las preguntas más frecuentes son: ¿los tiempos que utilizamos son los mejores?

¿Hemos dejado "pasar" fallos? ¿Existe recurrencia de fallos? ¿Se han presentado errores de inspección? ¿El manual de inspección que utilizamos realmente está completo? ¿Podremos incorporar otros puntos al manual de inspección?

2. Se analizan los estándares para identificar si se pueden eliminar algunos puntos de inspección de alta fiabilidad, realizar trabajos en paralelo para reducir los tiempos de inspección, ¿podremos transferir algunas de estas actividades de inspección al trabajo de limpieza?

3. Se evalúan los controles visuales que hemos utilizado. ¿Son adecuados? ¿Han ayudado a mejorar la inspección? ¿Faltan puntos? ¿Se pueden introducir nuevos elementos transparentes para facilitar la inspección visual? ¿Los códigos de colores que hemos utilizado para facilitar las operaciones realmente han aportado mejoras, o se deben realizar modificaciones para detectar con facilidad los problemas?

Reflexión:

El paso cinco del Mantenimiento Autónomo consiste en aplicar el ciclo Kaizen o de mejora continua a las acciones de inspección de los equipos. En las primeras etapas de autónomo se han creado la disciplina y cultura de realizar este trabajo, el cual se consideraba como exclusivo del personal técnico. En la etapa cinco se inician los procesos de mejora y optimización de las acciones de inspección autónoma. Se busca disminuir los tiempos de inspección o realizar el mayor contenido de trabajo y de alto impacto durante el tiempo asignado para la inspección. Como producto final de esta etapa se obtiene un plan de inspección eficiente, con periodicidad adecuada y con contenidos bien identificados para cada inspección, con tiempos asignados bien dimensionados.

• Paso 6. Sistematización del mantenimiento.

La planta que completa los cinco primeros pasos del programa de mantenimiento autónomo, logra condiciones óptimas en el equipo y establece un sistema de estándares que apoya esas condiciones. Los operadores competentes en equipos y procesos son capaces de detectar y prevenir las anomalías por anticipado, a través de chequeos y operaciones apropiadas. El paso 6 proporciona los toques de acabado al sistema de mantenimiento autónomo.

Uno de los objetivos de este paso, es facilitar a los operarios que realicen un mantenimiento autónomo profundo y amplio del proceso entero, y que amplíen sus

actividades al campo del mantenimiento de la calidad. Las actividades que promueven esto, incluyen la estandarización de los diferentes elementos de control, la preparación de diagramas de flujo del proceso y manuales de mantenimiento de calidad, y profundizar en la comprensión de los operarios de la relación entre equipo y calidad.

Otro objetivo de este paso es pretender mantener un sistema efectivo de inspección autónoma, a través de:

- Mantenimiento y control de las actividades de inspección y mantenimiento de las condiciones básicas.
- Extender la actuación de los operadores a los trabajos sobre la propia máquina y las áreas de su entorno.
- Profundizar y mantener las reducciones de pérdidas ya logradas.

En el paso 6, los directores y supervisores toman el liderazgo para completar la implementación del mantenimiento autónomo evaluando el rol de los operarios y clarificando sus responsabilidades. Por ejemplo, ¿qué deben hacer los operarios para evitar averías y defectos, y qué capacidades adicionales deben adquirir? Sobre la base de las experiencias de los operadores hasta este punto, los directores deben ampliar el perfil de sus actividades relacionadas con el equipo.

Además del mantenimiento de las condiciones básicas y de la inspección del equipo, los operarios deben ser también responsables de:

- Operación y preparaciones de máquinas correctas (condiciones de montaje y chequeo de calidad del producto).
- Detección y tratamiento de condiciones anormales.
- Registrar datos de la operación, calidad, y condiciones de proceso.
- Servicios menores de máquinas, moldes, plantillas, y útiles.

Los operadores descubren el origen de los defectos de calidad realizando inspecciones generales del mantenimiento de calidad, anotando observaciones en los diagramas de flujo del proceso y en diagramas estructurales simples de los equipos, así gradualmente logran crear un sistema que les permita detectar y corregir pronto las anomalías que afectan a la calidad.

- **Paso 7. Control autónomo total.**

En las etapas 1 a 6 se logran resultados de mejora tanto en el control de los equipos, y cumplimiento de estándares mejorados de los métodos de trabajo. En la etapa 7 se integra plenamente el proceso de Mantenimiento Autónomo al proceso de dirección general de la compañía o Dirección por Políticas. Se pretende reconocer a la capacidad de autogestión del puesto de trabajo del operador, creando un sentimiento de participación efectiva en el logro de las metas y objetivos de la fábrica y de la empresa. El operario podrá tomar decisiones en el ámbito de su puesto de trabajo, cooperará para el logro de objetivos compartidos, realizará nuevas acciones Kaizen y se inician en nuevas fronteras de mejora e innovación permanente en la forma de trabajar. Es en esta etapa donde realmente se logra que una planta de producción sea en las palabras de un directivo de Chaparral Steel "un verdadero laboratorio de aprendizaje".

Reflexión:

En esta etapa se debe incluir el proceso de Mantenimiento Autónomo como parte de los macro-procesos de Dirección por Políticas. La Dirección por políticas es el instrumento que mantiene "vivo" esta clase de procesos de mejora, evitando que entren en rutina y se pierda la capacidad de autocontrol existente en la planta, cuando las acciones se hacen muy repetitivas. La Dirección por políticas emplea un proceso de comunicación conocido como "catch ball" y que permite comunicar nuevos retos anuales de mejora a los niveles operativos. El "catch ball" debe servir para establecer objetivos retadores y orientados a crear nuevas capacidades competitivas de la empresa. Cuando una planta mejora significativamente su funcionamiento operativo, es posible que entre en una etapa de complacencia, su personal toma una actitud conformista dejando de lado el deseo de mejora continua. Es en esta etapa cuando se debe emplear esta capacidad creativa y personal preparado para iniciar acciones, ya no de "mejora operativa" como las llama el experto en estrategia Michael Porter, sino mejoras progresivas de las estrategias competitivas de la empresa, apoyadas desde los niveles operativos.

4.3.1.5 Consideraciones para implementar el mantenimiento autónomo.

Educación introductoria y entrenamiento. Antes de iniciar cualquier actividad esté seguro que todos los departamentos relacionados y personal entiendan los objetivos y beneficios en el desarrollo de TPM, se requiere que cada uno atienda un seminario introductorio que explique los detalles de la implementación de TPM y en particular las funciones del mantenimiento autónomo. Cooperación entre departamentos. Los gerentes de todos los departamentos deben estar de acuerdo en cómo el departamento apoyará los esfuerzos del departamento de producción para ejecutar el mantenimiento autónomo.

Actividades de grupo. La mayoría de las actividades son desempeñadas por pequeños grupos en los cuales todo el personal participa. Los grupos pueden ser divididos en sub o mini grupos de aproximadamente cinco a diez miembros. Los líderes de grupo de cada nivel vienen a ser miembros de pequeños grupos del nivel superior y sirve como eslabón entre niveles o representantes. Para manejar tal estructura promocional efectivamente se puede requerir una oficina administrativa del comité TPM.

El mantenimiento autónomo no es una actividad voluntaria. Todos los participantes deben entender que las actividades de mantenimiento autónomo son obligatorias y necesarias, además, esas actividades son vitales, necesariamente parte del trabajo diario.

Práctica. El entendimiento viene a través de la práctica más bien que del razonable entendimiento. La educación y entrenamiento debe ser progresiva. La implementación del mantenimiento autónomo depende de la combinación del desarrollo gradual de destreza, aprendizaje experimental y cambio de actitudes. Cada paso construye conocimiento, experiencia y entendimiento adquirido en el paso previo.

Apunte sobre resultados concretos. Las mejoras claras, apropiadas y concretas deben ser articuladas con las metas para producir resultados.

Los operadores deben determinar los estándares a seguir. Son los operadores quienes seleccionan los estándares y criterios para limpieza, lubricación, inspecciones, preparaciones, ajuste y operaciones, además ellos deben adquirir las destrezas necesarias para desarrollar esas tareas autónomamente.

La gerencia debe auditar el progreso del mantenimiento autónomo. La gerencia y consultores deben auditar las actividades de los grupos en cada paso y ofrecer guías y apoyo en las áreas problemáticas, deben animar y proporcionar liderazgo a cada grupo TPM.

Usar modelos o líneas piloto, seleccionar piezas de equipos o grupos individuales de TPM para servir como modelos en el desarrollo del programa TPM.

Corregir los problemas del equipo rápidamente. Si el departamento de mantenimiento no puede resolver las nuevas demandas pronto, o las condiciones de la línea no mejoran, el mantenimiento autónomo no progresará y los grupos pequeños fallarán. Para evitar este problema serio, el departamento de mantenimiento debe planear por anticipado como responder adecuadamente, reevaluando su fuerza de trabajo, programando trabajo, horas extras y uso de contratistas.

Toma tiempo el perfeccionar del mantenimiento autónomo. Es vital mejorar el desempeño en cada etapa antes de pasar a la siguiente, si se hace de afán los progresos serán superficiales.

4.3.2 Mantenimiento Planeado. El JIPM le ha dado a este Pilar el nombre de “Mantenimiento Planeado”. Algunas empresas utilizan el nombre de Mantenimiento Preventivo o Mantenimiento Programado, también Mantenimiento Progresivo, y este adjetivo puede comunicar mejor el propósito de este Pilar, que consiste en la necesidad de avanzar gradualmente hacia la búsqueda de la meta “cero averías” para una planta industrial. El objetivo principal del mantenimiento planeado es el de eliminar los problemas del equipo a través de acciones de mejora, prevención y predicción. Para una correcta gestión de las actividades de mantenimiento es necesario contar con bases de información, obtención de conocimiento a partir de los datos, capacidad de programación de recursos, gestión de tecnologías de mantenimiento y un poder de motivación y coordinación del equipo humano encargado de estas actividades.

Dentro de los objetivos generales del Mantenimiento planeado se tiene:

1. Maximizar la producción.
2. Mejorar la confiabilidad del equipo.
3. Minimizar los recursos, mejorar la efectividad de costos.
4. Eliminar las averías no programadas.

5. Eliminar otras pérdidas asociadas a los equipos (paros menores, baja velocidad, problemas de calidad).

El propósito de este pilar es alcanzar gradualmente CERO fallas en los equipos de proceso 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 este 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.

Cuáles son las causas de las averías según este pilar:

- Debido al Deterioro Forzado.
- Equipo fuera de las condiciones de operación.
- Abandono al Deterioro Natural.
- Partes con Puntos Débiles de Diseño.
- Error Humano.

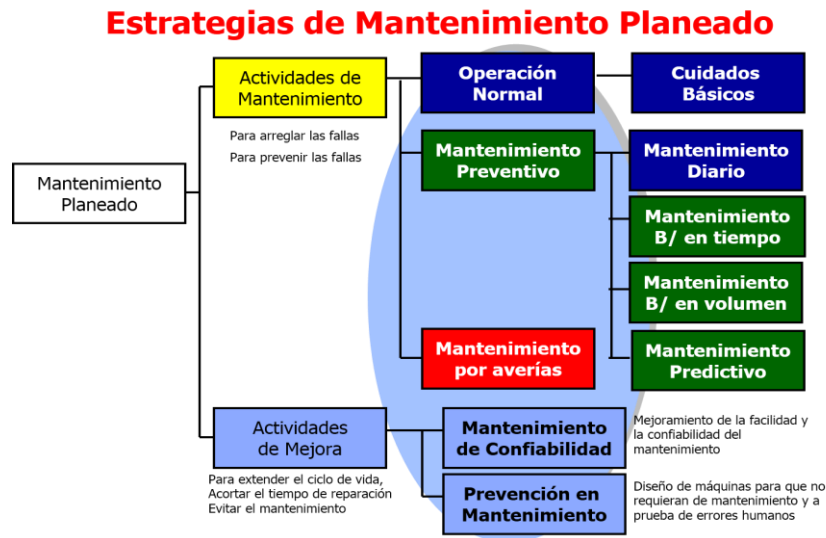
4.3.2.1 Los 6 pasos del Pilar de Mantenimiento Planeado

Paso 1. Evaluar el equipo y comprender las condiciones actuales.

Evaluar la máquina y comprender su situación actual a través de un diagnóstico de las 4M's (Personas, Máquinas, Métodos y Materiales). En este diagnóstico se realizan cinco actividades claves:

- Elaborar registros de los equipos.
- Evaluar y priorizar los equipos.
- Definir los niveles de averías.
- Comprender la situación respecto a las fallas.
- Fijar objetivos e indicadores (KPI's) de mantenimiento.

Figura 30: Diagrama de Mantenimiento Planeado.



Fuente: GA Productividad.

Es importante para tener las hojas de vida de los equipos actualizadas; para conocer los sistemas y subsistemas de los equipos; porque con la evaluación de criticidad y el historial de averías, se pueden definir los tipos de mantenimiento para cada uno de los equipos de la planta y establecer las frecuencias; para analizar indicadores y ver las tendencias; y para conocer la ocupación del personal técnico.

Paso 2. Restaurar el deterioro y corregir debilidades.

El paso dos, busca eliminar los problemas del equipo y desarrollar acciones que eviten la presencia de fallos similares en otros equipos idénticos.

Se prioriza lo siguiente:

- Eliminación de averías, en forma radical, aplicando métodos Kaizen.
- Eliminación de fallos en el proceso.
- Mejora en el manejo de la información estadística para el diagnóstico de fallos y averías.
- Implantación de acciones, para evitar la recurrencia de fallos

Este paso va de la mano con el Mantenimiento autónomo y plantea brindar apoyo a producción de la siguiente manera:

- Restaurar el deterioro forzado de equipo: Tomar acción frente a las anomalías, entrenamiento en el lugar de trabajo (inspección, restauración), formación a través de Lups (estructura y funciones del equipo).
- Establecer condiciones básicas: Enseñar a diseñar y elaborar estándares.
- Adecuar el entorno que evite el deterioro forzado: Mejorar la accesibilidad, apoyar en la eliminación de focos y fuentes de contaminación.

Para restaurar el deterioro, se tiene como actividades propias del pilar de MP las siguientes:

1. Solventar debilidades del equipo (diseño).
2. Utilizar técnicas analíticas para atacar las causas (5 por qué, Análisis PM – Paros de máquinas o fenómenos de las máquinas, AMFE – Análisis de modo de fallos y efectos).
3. Preparar informes de fallos.

Paso 3. Sistema de información.

Es una alternativa que en este paso se deba introducir un programa informático o mejorar el actual. Sin embargo, en esta etapa, lo fundamental es crear modelos de información de fallos y averías, para su eliminación, antes de implantar un sistema de gestión de mantenimiento de equipos. En esta etapa se debe preguntar:

- El diseño de la base de datos de mantenimiento, ¿es el adecuado?
- ¿Se tiene información necesaria sobre fallos, averías, causas e intervenciones?
- El conocimiento en mantenimiento ¿se conserva?, ¿se distribuye?
- ¿Se tiene la información técnica del equipo?
- ¿Se cuenta con un sistema de información que apoye la gestión de mantenimiento?
- El sistema de gestión de mantenimiento, ¿permite controlar todos los recursos de la función: piezas, planos y recambios?

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Construir un sistema de gerenciamiento de las fallas.
- Construir un sistema de control de materiales y repuestos.
- Construir un sistema de control de la información técnica.

- Controles del histórico/ planificación de los mantenimientos preventivo y predictivo.
- Gestión de las preparaciones de los equipos.
- Estructuración del sistema de presupuestos.
- Control de las piezas de repuesto, datos técnicos y unidades reserva.
- Revisión de normas de inspección de mantenimiento.

Paso 4. Sistema de mantenimiento periódico ó preventivo.

El paso cuatro, está relacionado con el establecimiento de estándares de mantenimiento, realizar un trabajo de preparación para el mantenimiento periódico, crear flujos de trabajo, identificar equipos, piezas, elementos, definir estrategias de mantenimiento y desarrollo de un sistema de gestión para las acciones de mantenimiento previsto.

Dentro de sus etapas principales se pueden señalar:

- Seleccionar equipos y componentes para el Mantenimiento Periódico.
- Preparar Planes de Mantenimiento: criticidad, frecuencia, tipo de mantenimiento, empleo de tablas MTBF, etc.
- Flujo del sistema de mantenimiento periódico.
- Formular estándares de Mantenimiento Periódico (procedimientos, manuales, materiales, trabajos, inspección).
- Preparación (piezas de repuesto, instrumentos, lubricantes, unidades reserva).
- Mejoramiento en la eficiencia de inspección y diagnósticos.
- Eficiencia del mantenimiento con parada general y control de subcontratistas.
- Gestión de información del mantenimiento programado.
- Mantenimiento de mejoramiento (reingeniería).
- Control de la evolución: evalúa la eficiencia de la planificación y la controla a través del cumplimiento del uso de los estándares; control de tiempo programado vs tiempo ejecutado; seguimiento de costos; y verificar la eficacia del entrenamiento.

Paso 5- Sistema de mantenimiento predictivo - (CBM).

De acuerdo con lo expuesto en el capítulo anterior, en una etapa más avanzada del Mantenimiento Preventivo, se evoluciona hacia el Mantenimiento Basado en Condiciones CBM, que se ajusta mejor a las necesidades del equipo, se trata del llamado Mantenimiento Predictivo.

El mantenimiento predictivo se basa en la detección y el diagnóstico de averías antes de que se produzcan; esto se logra a través de nuevas tecnologías por medio de las cuales se puede acceder a una gran cantidad de información de la máquina o equipo, que permite interpretar el estado del mismo, estos sistemas son llamados “Sistemas de Monitoreo de Información”. Algunas de estas técnicas son: Ultrasonido, Termografía, Tintas penetrantes, Análisis de aceites, Análisis por vibraciones, entre otras.

El paso cinco, busca introducir tecnologías de mantenimiento basado en la condición, y de carácter predictivo. Se diseñan los flujos de trabajo, selección de tecnología, formación y aplicación en la planta. Sus etapas son:

- Introducir tecnología para el diagnóstico de equipos.
 - Formación del personal, sobre esta clase de tecnologías.
 - Preparar diagramas de flujo de procesos.
 - Identificar equipos y elementos iniciales para aplicar progresivamente las tecnologías de mantenimiento predictivo.
 - Mejorar la tecnología de diagnóstico: automatizar la toma de información, tele-transmisión y procesos vía Internet.
- Despliegue a otros equipos.

Paso 6- Evaluar la gestión.

El paso seis desarrolla procesos Kaizen para la mejora del sistema de mantenimiento periódico establecido, desde los puntos de vista técnico, humano y organizativo.

- Diagnóstico de Implementación.
- Evaluar el aumento de la confiabilidad (nº averías, pequeñas paradas, MTBF).
- Evaluar el mejoramiento de la mantenibilidad (índice de mantenimiento periódico/ predictivo, MTTR).
- Mejoramiento en la distribución de recursos para el mantenimiento, reducción de costos.
- Seguridad
- Mantenimiento Autónomo
- Operatividad.
- Revisión del Sistema Completo.

4.3.2.2 Clasificación de averías y 5W + 1H

Avería: Es la pérdida de la función de un elemento, componente, sistema o equipo. Esta pérdida de la función puede ser total o parcial. La pérdida total de funciones conlleva a que el elemento no puede realizar todas sus funciones para las que se diseñó.

Al definir una avería como pérdida de la función y si cada elemento o sistema puede tener varias clases de funciones, necesariamente las averías se pueden categorizar. En la teoría de análisis del valor se considera que todo elemento u objeto puede tener varios tipos de funciones:

- Principales, aquellas para las que el elemento fue diseñado, por ejemplo la función principal de una bombilla es proporcionar luz.
- Secundarias, las que cumplen funciones de apoyo a las principales, por ejemplo un bombillo debe necesitar cierta resistencia a los golpes.
- Terciarias, aquellas que cumplen aspectos relacionados con la estética. El bombillo debe tener una superficie limpia.

Por tanto, pueden existir diferentes clases de averías por función afectada:

- Avería crítica o grave: La que afecta las funciones principales del elemento.
Se deben realizar actividades de análisis profundo para prevenir la reincidencia.
- Avería secundaria: La que afecta algunas de las funciones pero no a todas.
Se deben realizar actividades de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Avería leve: La que afecta al elemento sin que pierda su función principal y secundaria. Requieren actividades de mantenimiento autónomo.

Fenómeno

Es la combinación de hechos que llevan a la ocurrencia del problema, de la falla. El fenómeno se define con la frase compuesta por las respuestas del 5W + 1H

1. Qué : (What)
¿En qué cosa o producto vio el problema?
2. Cuándo : (When)
¿Cuándo ocurrió el problema? (momento en el que ocurre)

3. Dónde : (Where)
¿Dónde vio el problema? (línea/máquina/ubicación)
¿En qué parte del trabajo o material detecto el problema?
4. Quién : (Who)
El problema está relacionado con la habilidad de la persona?
- 5.Cuál : (Which)
¿Cuál tendencia o patrón tienen el problema?
1. Cómo : (How)
¿Cómo varia el estado de lo normal? (óptimo).

4.3.3 Mejora Enfocada. Este pilar se concentra la eliminación permanente de perdidas, por medio de actividades que se desarrollan con la intervención de las diferentes áreas comprometidas en el proceso productivo, con el objeto maximizar la Efectividad Global de Equipos, procesos y plantas; todo esto a través de un trabajo organizado en equipos funcionales e interfuncionales que emplean metodología específica y centran su atención en la eliminación de cualquiera de las 16 pérdidas existentes en las plantas industriales.

4.3.3.1 Pérdidas. El TPM (Mantenimiento Productivo Total) surgió como un sistema destinado a lograr la eliminación de las seis grandes pérdidas de los equipos, a los efectos de poder hacer factible la producción “Just in Time”, la cual tiene como objetivos primordiales la eliminación sistemática de desperdicios. Estas seis grandes pérdidas se hallan directa o indirectamente relacionadas con los equipos dando lugar a reducciones en la eficiencia del sistema productivo en tres aspectos fundamentales.

- Tiempos muertos o paro del sistema productivo.
- Funcionamiento a velocidad inferior a la capacidad de los equipos.
- Productos defectuosos o malfuncionamiento de las operaciones en un equipo.

Perdida es todo aquello que puede ser mejorado, por ejemplo si tenemos una eficacia de un 92%, existe todavía un 8% de pérdida que puede ser mejorado, en otras palabras una pérdida es una oportunidad de optimizar el proceso.

Las pérdidas crónicas son causadas por los defectos ocultos en la maquinaria, equipo y métodos de trabajo, es una condición fundamental que sean eliminados. El término crónico se refiere al fenómeno que ocurre repetidamente, típicamente

los problemas de mantenimiento se caracterizan como esporádicos, son eventos infrecuentes y eventuales que causan averías y una pérdida obvia de calidad. El remedio para las pérdidas esporádicas es reparación del status. La clave para las pérdidas crónicas es la innovación, para cambiar el status.

Resumiendo: Las pérdidas esporádicas son problemas visibles donde las acciones apropiadas son fáciles de diseñar en tanto que los problemas crónicos resultan de descuidos, ocurren frecuentemente, no llaman la atención de los supervisores, son difíciles de cuantificar y deben ser detectadas comparando con las condiciones originales.

Seis Grandes Pérdidas de los Equipos

- **Pérdidas por fallas en los equipos principales.**

Las averías causan dos problemas' Pérdidas de tiempo, cuando se reduce la producción, y pérdidas de cantidad, causadas por productos defectuosos. Las averías esporádicas, fallos repentinos, drásticos o inesperados del equipo, son normalmente obvias y fáciles de corregir. Las averías menores de tipo crónico son a menudo ignoradas o descuidadas después de repetidos intentos fallidos de remediarlas.

- **Pérdidas por Cambios y ajustes no programados.**

Cuando finaliza la producción de un elemento y el equipo se ajusta para atender los requerimientos de un nuevo producto, se producen pérdidas durante la preparación y ajuste, al aparecer tiempos muertos y productos defectuosos como consecuencia del cambio.

- **Pérdidas por paradas menores.**

Una parada menor surge cuando la producción se interrumpe por una falla temporal o cuando la máquina está inactiva. Puede suceder que alguna pieza bloquee una parte de un transportador, causando inactividad en el equipo; otras veces, los sensores alertados por productos defectuosos paran los equipos. Estos tipos de paradas temporales difieren claramente de las averías. La producción normal es restituida moviendo las piezas que obstaculizan la marcha y reajustando el equipo.

- **Pérdidas por reducción de velocidad.**

Las pérdidas de velocidad reducida se refieren a la diferencia entre la velocidad de diseño del equipo y la velocidad real operativa. Es típico que en la operación del

equipo la pérdida de velocidad sea pasada por alto, aunque constituye un gran obstáculo para su eficacia. La meta debe ser eliminar la diferencia entre la velocidad de diseño y la velocidad real.

- **Perdidas por defectos en el proceso.**

Los defectos de calidad y la repetición de trabajos son pérdidas de calidad causadas por el mal funcionamiento del equipo de producción. En general, los defectos esporádicos se corrigen fácil y rápidamente al normalizarse las condiciones de trabajo del equipo. La reducción de los defectos y averías crónicas, requieren de un análisis más cuidadoso, siguiendo el proceso establecido por la ruta de la calidad, para remediarlos mediante acciones innovadoras.

- **Pérdidas por Start-up Arranque.**

Las pérdidas de puesta en marcha son pérdidas de rendimiento que se ocasionan en la fase inicial de producción, desde el arranque hasta la estabilización de la máquina. El volumen de pérdidas varía con el grado de estabilidad de las condiciones del proceso, el nivel de mantenimiento del equipo, la habilidad técnica del operador, etc. Este tipo de pérdidas está latente, y la posibilidad de eliminarlas es a menudo obstaculizada por la falta de sentido crítico, que las acepta como inevitables.

4.3.4 Educación y entrenamiento. Las habilidades tienen que ver con la correcta forma de interpretar y actuar de acuerdo a las condiciones establecidas para el buen funcionamiento de los procesos. Es el conocimiento adquirido a través de la reflexión y experiencia acumulada en el trabajo diario durante un tiempo. El TPM requiere de un personal que haya desarrollado habilidades para el desempeño de las siguientes actividades:

- Habilidad para identificar y detectar problemas en los equipos.
- Comprender el funcionamiento de los equipos.
- Entender la relación entre los mecanismos de los equipos y las características de calidad del producto.
- Poder de analizar y resolver problemas de funcionamiento y operaciones de los procesos.
- Capacidad para conservar el conocimiento y poder enseñarlo a otros compañeros.
- Habilidad para trabajar y cooperar con áreas relacionadas con los procesos industriales.

Por esto la importancia de capacitar al personal para desarrollar sus habilidades y fortalecer sus capacidades y conocimientos.

En este pilar se busca planificar la capacitación de los operadores, mantenedores e ingenieros de producción (operación y mantenimiento) de forma que se puedan alcanzar las siguientes características:

- Operadores: Personal capaz de realizar actividades de mantenimiento, de forma espontánea (limpieza, lubricación, inspección, pequeños ajustes y medición).
- Mantenedores: Personal capaz de realizar actividades múltiples (mecánica, eléctrica e instrumentación), actualmente ampliado al desarrollo de actividades de análisis de ocurrencias (aplicación de las siete herramientas de la calidad total).
- Ingenieros de producción: Profesionales capaces de evaluar, revisar y proyectar equipos con reducida necesidad de intervención y alta mantenibilidad.

4.4 INDICADORES DEL TPM A CONSIDERAR

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

(P) Productividad: Mide los índices de productividad, algunos ejemplos de estos indicadores son: OEE, uso de la mano de obra, tasa de operación, número de averías, tiempo medio entre fallos (MTBF), tiempo de preparación y ajuste, número de detenciones menores, número de máquinas por persona, cantidad de productos por hora hombre etc.

(Q) Calidad: Mide los índices relacionados con la calidad como: número de reclamos, defectos encontrados en el procesos, cantidad de rechazos, porcentaje de no conformidades etc.

(C) Costo: Mide los índices en términos de costos como: reducción de costos de mantenimiento, tasa de reducción de costos en partes de repuesto, tasa de

reducción de costo de energía, costo de las ineficiencias, costo de la mano de obra por unidad producida, etc.

(D) Envíos: Mide los índices en retrasos en las entregas como: porcentaje de cumplimiento en entregas, tasa de rotación de inventario, los productos faltantes, etc.

(S) Seguridad: Mide la cantidad de accidentes, el número de reportes de accidentes o incidentes, la cantidad de días sin accidentes, etc.

(M) Moral: Mide el número de sugerencias de mejora; número de reuniones de grupos pequeños.

4.5 POR QUÉ FALLA EL TPM

Algunas de las razones por las que puede llegar a fallar algunas iniciativas o implementación del TPM:

1. Mentalidad inmediatista: La organización espera ver resultados a corto plazo, cuando hay que ser conscientes que los resultados de la implementación del TPM toma entre 1 año y 2 años o un poco más.
2. No hay sentido de pertenencia y compromiso por parte de Operaciones y Producción para lograr mejorar la Efectividad Global del Equipo (OEE): Este es posiblemente el argumento más importante. Si el equipo que administra la operación/producción no toma en cuenta para su dirección la efectividad total del equipo u OEE (disponibilidad x producción x calidad), TPM no funciona. Las iniciativas para una administración de planta confiable y esbelta, en general, no trabajan cuando este es el caso. Confiabilidad y OEE no son “mantenimiento”, y nunca lo han sido. Operaciones debe reconocer como el TPM lleva a la confiabilidad, como confiabilidad lleva a manufactura esbelta y como manufactura esbelta lleva a las utilidades.
3. El equipo no está educado en los qué y por qué de TPM: Como se indicó en el párrafo anterior, confiabilidad, no es un sinónimo de mantenimiento, más bien se complementan. Mantenimiento es restaurar un equipo a su estado original. Confiabilidad es evitar, en primer lugar, las pérdidas de funcionamiento. Para el equipo de mantenimiento, quienes han sido definidos históricamente como los

“reparadores”, la confiabilidad reta su auto percepción. Se requiere que tanto Mantenimiento y Operaciones se sientan dueños del proceso y de los equipos.

4. No se le da el valor adecuado a las inspecciones basadas en observaciones visuales y analíticas por parte del operador, dando mayor relevancia a técnicas de alta tecnología. La organización puede llegar a invertir más dinero en altas tecnologías, tiempo entrenando operadores en equipos altamente tecnificados. Al igual que facilitar la incorporación en estas tecnologías sofisticadas de monitoreo, se debe enfocar los esfuerzos en lo fundamental, las capacidades analíticas del Operador y Mantenedor. Un tip, es hacer todas las inspecciones en forma binaria - sí ó no. Aún datos cuantitativos pueden ser manejados de esta manera. Por ejemplo, “la temperatura debe estar entre 130 y 135 grados Fahrenheit – sí o no”. Manténgalo bien sencillo.
5. Implementación superficial de TPM: A menudo en algunas plantas, se ven implementaciones muy superficiales de TPM. Más que Mantenimiento Productivo Total, se tienen “Máquinas Totalmente Pintadas”. Por lo general, son a corto plazo, iniciativas para “decorar resultados”, que no producen un valor duradero.
6. La identificación del trabajo proactivo y los resultados de las inspecciones no van a ninguna parte: Va en contra de la motivación de un equipo de trabajo colocar a nivel del operador la inspección y el trabajo de identificación del proceso, con esto solo se logra que los resultados sean ignorados. Esta es la manera más rápida para matar las iniciativas de TPM. Su operador perderá el interés y fallará en completar su trabajo o “llenará por llenar” los formatos de reporte de inspecciones. Puede usted realmente culparlos? A nadie le gusta realizar un trabajo que no tenga un sentido efectivo. Asegúrese de que usted tiene la última palabra para actuar sobre las inspecciones y completar el trabajo proactivo para que sus trabajadores estén identificados, a fin de evitar que su programa de TPM caiga en frustración.
7. Los equipos de producción son premiados por cumplir con una cifra de producción, sin importar si hay demanda del producto o no, y sin ningún respeto por el efecto que sus acciones puedan causar sobre la salud de los activos. Los equipos de mantenimiento siempre han sido recompensados por resolver fallas, no por confiabilidad. Consiguen pagos extras cuando el equipo se rompe (sobretiempo) y “la palmada en la espalda al muchacho” por parte del

gerente por haber venido a reparar la máquina fuera del tiempo normal de trabajo (y por supuesto, con su respectivo pago de sobretiempo). Si usted fue premiado por corregir fallas, para que querría confiabilidad? Daría usted un paso adelante y voluntario para reducir su paga en un 10 ó 20 por ciento? La gente no le pone mucha atención a lo que dicen sus líderes con sus palabras, sino a lo que ellos hacen con sus acciones. Si el líder del equipo está diciendo que él quiere confiabilidad, pero los mantenedores están siendo pagados por corregir fallas, de dos formas, intrínseca y extrínsecamente, el líder fallará - el sistema está dañado y debe ser reparado. TPM no puede vivir en una estructura de recompensas no alineada.

5 PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN TPM

5.1 SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

5.1.1 Análisis y evaluación de riesgos. El análisis y evaluación de riesgos, es un paso previo a la realización de un plan de Mantenimiento, en él se estudian los distintos fallos que se suelen producir y las consecuencias de los mismos. El análisis de riesgos es consciente de que se han de definir unos límites bajo los que se desea estar y en función de ellos diseñar los Planes de Mantenimiento para ceñirnos a ellos. La mejora en estos dos aspectos y la disminución de los costos de Mantenimiento suponen el aumento de la rentabilidad de la empresa y por tanto tiene influencia directa sobre los beneficios.

El análisis de riesgos aplicado a Mantenimiento se basa en estudiar las consecuencias producidas por los fallos en las máquinas, en los cuatro marcos siguientes:

- Consecuencias Operacionales, en las que la falla produce trastornos en la producción o en la calidad que al final se traducen en tiempos perdidos en el proceso productivo.
- Consecuencias en la Seguridad, en las que la falla puede afectar en mayor o menor medida a la seguridad del personal de fábrica.
- Consecuencias Medio ambientales, en las que la falla pueda afectar al Medio ambiente o al entorno, considerando las disposiciones legales que existan al respecto.
- Consecuencias en los Costos, son las propias de la reparación que la falla trae consigo y que en ocasiones pueden ser de extraordinaria importancia.

El análisis del riesgo es un proceso sistemático basado en procedimientos cualitativos y cuantitativos, tendientes a identificar las amenazas a las cuales están sometidos los activos y demás recursos en una organización, proyecto o instalación, que tiene por objeto determinar la probabilidad de materialización de dichas amenazas, a fin de que sean controladas y así minimizar las consecuencias de estas sobre las mismas y/o su entorno (medio ambiente).

El concepto de riesgo es interpretado en la mayoría de las metodologías actualmente utilizadas, en términos generales, como la probabilidad de daño por unidad tiempo debido a un evento determinado y en un área específica.

La identificación de las potenciales situaciones de emergencia tiene un punto de partida fundamental que permite determinar los posibles eventos que pueden suceder, las causas que los viabilizan y las consecuencias derivadas de su ocurrencia. Este es punto de partida es el análisis / evaluación del riesgo. El análisis del riesgo es el eslabón primario y actividad básica en la planeación, preparación y definición de todas las acciones de un Plan de Contingencia, Plan de Emergencia (también llamado Plan Operativo) y el Plan de Mantenimiento.

El primer paso para el diseño, estructuración y puesta en funcionamiento del Plan de Contingencia, es conocer y valorar las características de las situaciones peligrosas que puedan presentarse en la operación del campo, lo cual es conocido como un análisis del riesgo. Este análisis involucra la evaluación de la amenaza y la estimación de consecuencias.

El análisis del riesgo es un conjunto de procedimientos cualitativos y cuantitativos, desarrollados en forma sistemática, que permite la identificación de las amenazas que pueden materializar los hidrocarburos manejados en un proyecto ó instalación, y sus consecuencias sobre el mismo y/o su entorno (medio ambiente).

Es objetivo común de estos estudios, el aportar una mejor comprensión de la magnitud de los peligros potenciales, y con base en ello, realizar reformas en el diseño, motivar la prevención y promover acciones de respuesta. Son objetivos secundarios del análisis del riesgo:

- ✓ Mejorar la operatividad.
- ✓ Reorientar los planes de contingencia (plan estratégico y plan operativo).
- ✓ Dar prioridad a las labores de mantenimiento dentro del Plan de mantenimiento.
- ✓ Diseñar las estrategias de atención a la emergencia.
- ✓ Evaluar las acciones y controles existentes.
- ✓ Tomar acciones para reducir los riesgos en las operaciones del campo.
- ✓ Asegurar el cumplimiento de las regulaciones ambientales.
- ✓ Mejorar la satisfacción y tranquilidad de la población civil y del personal de la empresa para atender una posible emergencia.

5.1.2 Identificación de Amenazas o Eventos. Teniendo en cuenta las características propias de las actividades que se desarrollan en las facilidades de producción del Campo Tilodirán CEDCo, se han identificado los siguientes incidentes o eventos de posible ocurrencia:

5.1.2.1 Amenazas de origen Tecnológico

- Incendios: Se definen como un fuego sobre el cual se ha perdido el control y clasifican en Conato o Amago (para incendios incipientes) e Incendio declarado (fuegos en pleno desarrollo). Se pueden presentar por las siguientes causas:
 - Chispa, fuente de calor o de ignición en presencia de atmósferas combustibles (tanques de almacenamiento de crudo y ACPM).
 - Cortocircuito en las instalaciones y conexiones eléctricas de los generadores.
 - Líneas de proceso expuestas durante trabajos de mantenimiento.

- Explosión: Se definen como una combustión súbita y violenta, con altos niveles de presión. Entre las posibles causas de explosión que se pueden presentar se encuentran:
 - Fuente de ignición en el interior de un tanque o cerca de las válvulas de venteo de algún equipo.
 - Sobrepresión en tanques.
 - Fuente de ignición en presencia de atmósferas explosivas en tanques de almacenamiento (hidrocarburos y combustibles), y durante trabajos de mantenimiento en equipos.

- Derrame (de Petróleo crudo, combustibles y/o sustancias químicas): Se puede presentar debido al colapso de tanques de almacenamiento de crudo, combustibles, canecas de químicos, manejo inadecuado de hidrocarburos durante la etapa de producción del campo Rio Verde (fallas operacionales y/o errores humanos durante la inyección de fluido motriz al sistema de levantamiento hidráulico), rotura o colapso de líneas de proceso. En campo Tilodirán se tiene experiencia en contingencias debido a derrames, en tanques, diques, líneas y por medio de fallas en equipos que llevan a derrames en la tea atmosférica ocasionando daños menores y de consideración.

- Accidente Laboral: Los accidentes durante el desarrollo del proyecto pueden ocurrir debido a problemas con los equipos o por el empleo de procedimientos inadecuados (lesiones menores cortadas, atrapamientos, fracturas).

- Accidentes de tránsito o con maquinaria y/o equipos que afecte al personal del proyecto o la comunidad: Ocurridos por fallas mecánicas; falta de mantenimiento de vehículos, maquinaria y/o equipos; descuido en el manejo y operación de los mismos.

5.1.2.2 Identificación de Escenarios. De acuerdo a la descripción realizada en el numeral 1.1 Generalidades de CEDCo y el numeral 2. Descripción del proceso, en la tabla 6 se presentan los posibles escenarios de emergencia que se tendrían para cada una de las áreas. Cabe anotar que se tuvieron presentes además, un conjunto de escenarios ocasionados por Amenazas naturales, en los cuales la afectación se da para todo el Campo.

Tabla 6: Identificación de Escenarios.

| INSTALACION | APLICA | ESCENARIO | CAUSAS DE FALLA | POSIBLES CONSECUENCIAS | CONTROLES EXISTENTES |
|---|-------------|----------------------|--------------------------------|--|--|
| Campo Tilodirán 2 | | Inundaciones | Origen natural | Daños estructurales, afectación de personas, incendios, parada de la operación | Plan de contingencias, extintores |
| | | Vendavales | | | |
| | | Incendios forestales | | | |
| | | Actividad cerámica | | | |
| Área administrativa y dormitorios (Concreto) | Tilodirán 2 | Incendio | Eléctrico, Diseño e ingeniería | Daño en equipos, documentos, infraestructura. Afectación de personas. | Extintor Portátil, Capacitación Personal |
| | | Accidentes Laborales | Orden y Aseo, Fallas Humanas | Afectación a personas | |
| | | Fallas Estructurales | Diseño e ingeniería | Afectación a personas. Daño en equipos e infraestructura. | |
| Batería de baños | Tilodirán 2 | Fallas Estructurales | Diseño e ingeniería | Afectación a personas. Daño en equipos e infraestructura. | |
| | | Accidentes Laborales | Orden y Aseo | Afectación a personas | |
| Contenedor HSE | Tilodirán 2 | Incendio | Eléctrico, Mecánico | Daño en equipos, documentos, infraestructura. Afectación de personas. | Extintor Portátil, Capacitación Personal |
| | | Accidentes Laborales | Orden y Aseo, Fallas Humanas | Afectación a personas | |
| Caseta de almacenamiento de sustancias químicas | Tilodirán 2 | Fallas Estructurales | Diseño e ingeniería | Afectación a personas. Daño en equipos e infraestructura. | |
| | | Incendio | Eléctrico, Mecánico | Afectación a personas. Daño en equipos, documentos, infraestructura. | Extintor Portátil, Capacitación Personal |

| INSTALACION | APLICA | ESCENARIO | CAUSAS DE FALLA | POSIBLES CONSECUENCIAS | CONTROLES EXISTENTES |
|---|-------------|---------------------------------|--|--|---|
| | | Explosiones | Inherentes a propiedades físico-químicas de los productos almacenados. | Afectación a personas. Daños | |
| | | Accidentes Laborales | Orden y Aseo, Fallas Humanas | Afectación a personas. Daño en equipos e infraestructura. | Extintor Portátil |
| | | Derrames de Sustancias químicas | Fallas humanas, Corrosión | Afectación a Personas. Contaminación de recursos naturales. | Uso de material absorbente y elementos de contención mínimos. |
| Punto de Acopio de Residuos | Tilodirán 2 | Derrames de Sustancias químicas | Fallas humanas, Corrosión | Afectación a Personas. Contaminación de recursos naturales. | Uso de material absorbente y elementos de contención mínimos. |
| | | Accidentes Laborales | Mala disposición y almacenamiento. Fallas Humanas | Afectación a personas | |
| Caseta de Generadores y/o Subestación eléctrica | Tilodirán 2 | Incendio | Eléctrico, Mecánico | Afectación a personas. Daño en equipos, documentos, infraestructura. | Extintor Portátil, Capacitación Personal |
| | | Accidentes Laborales | Mala disposición y almacenamiento. Fallas Humanas | Afectación a personas | |
| Cargadero y/o Descargadero de carrotanques | Tilodirán 2 | Incendio | Fallas humanas, Mecánicas y Eléctricas | Afectación a personas. Contaminación recursos naturales Daño en equipos e infraestructura. | Extintor Portátil, Capacitación Personal |
| | | Accidentes Laborales | Fallas humanas, Diseño e ingeniería | Afectación a personas. Daño en equipos e infraestructura. | |

| INSTALACION | APLICA | ESCENARIO | CAUSAS DE FALLA | POSIBLES CONSECUENCIAS | CONTROLES EXISTENTES |
|-------------------------|-------------|---------------------------|--|---|---|
| | | Derrames | Mecánicas, Fallas humanas | Afectación a Personas. Contaminación de recursos naturales. | |
| Laboratorio | Tilodirán 2 | Accidentes Laborales | Mala disposición y almacenamiento. Fallas Humanas | Afectación a personas | |
| | | Fallas Estructurales | Diseño e ingeniería | Afectación a personas. Daño en equipos e infraestructura. | |
| | | Incendio | Fallas humanas, Mecánicas y Eléctricas | Afectación a personas. Daño en equipos e infraestructura. | Extintor Portátil, Capacitación Personal |
| | | Explosión | Fallas humanas, Eléctricas, Corrosión | Afectación a personas. Daño en equipos e infraestructura. Contaminación de recursos naturales. | Capacitación Personal |
| Líneas de Flujo | Tilodirán 2 | Ruptura de Línea de flujo | Corrosión, Diseño e Ingeniería, sismos, terrorismo, Impactos de Terceros. | Derrames, contaminación de recursos naturales. Incendio. Afectación a Personas | Extintores. Uso de material absorbente y elementos de contención mínimos. |
| Área de Pozo / procesos | Tilodirán 2 | Derrames | Fallas humanas, Mecánicas, Corrosión, Mantenimientos inadecuados. | Afectación a Personas. Contaminación de recursos naturales. | Uso de material absorbente y elementos de contención mínimos. |
| | | Incendio | Fallas humanas, Mecánicas, operación del pozo, Terrorismo, Mantenimientos inadecuados. | Derrames, contaminación de recursos naturales. Incendio. Daño en equipos. Afectación de personas. | Extintores. Procedimientos operativos. |
| | Tilodirán 2 | Accidentes Laborales | Fallas humanas, Diseño e ingeniería. | Afectación a personas | |
| Tanques de | Tilodirán | Incendio | Fallas humanas, | Derrames, contaminación de | Extintores. |

| INSTALACION | APLICA | ESCENARIO | CAUSAS DE FALLA | POSIBLES CONSECUENCIAS | CONTROLES EXISTENTES |
|----------------|----------------|-----------|---|--|---|
| almacenamiento | 2 | | mecánicas, Corrosión, Actividad cerámica. | recursos naturales. Incendio. Daño en equipos. Afectación de personas. | |
| | Tilodirán 2 | | Fallas humanas, Corrosión, Sismo, Terrorismo, mantenimientos Inadecuados. | Afectación a Personas. Contaminación de recursos naturales. | Uso de material absorbente y elementos e infraestructura de contención. |

5.1.2.3 Metodología para la Evaluación de Riesgos. La metodología de análisis de riesgos por colores, fue la metodología utilizada para el análisis y evaluación de riesgo del Campo, que de una forma general y cualitativa permite desarrollar análisis de amenazas y análisis de vulnerabilidad de personas, recursos, equipos, sistemas y procesos, con el fin de determinar el nivel de riesgo a través de la combinación de los elementos anteriores, con códigos de colores. Asimismo, es posible identificar una serie de observaciones que se constituirán en la base para formular las acciones de prevención, mitigación y respuesta que contemplan los planes de emergencia.

5.1.2.4 Clasificación de Amenazas. Con base en la información sugerida por las fuentes de consulta y descrita en el numeral 5.1.1.1 Identificación de amenazas y eventos y la identificación de peligros / amenazas realizada en las inspecciones efectuadas, se puede establecer la calificación de la amenaza de una forma cualitativa así:

Amenaza posible: Evento que nunca ha sucedido, pero se tiene información que no descarta su ocurrencia. Se destaca con color verde.

Amenaza probable: Evento ya ocurrido en el lugar o en unas condiciones similares. Se destaca con color amarillo.

Amenaza inminente: Evento instrumentado o con información que lo hace evidente y detectable. Se destaca con color rojo.

5.1.2.5 Análisis de Vulnerabilidad. La vulnerabilidad es entendida como la predisposición o susceptibilidad que tiene un elemento a ser afectado o a sufrir una pérdida. El análisis de la vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica.

Se valora de cero (0), la más baja; a uno (1) en el nivel más alto o pérdida total.

Para su análisis se incluyen los elementos sometidos a riesgo tales como las personas, los recursos y los procesos o sistemas.

Una vez definidas las amenazas principales en cada área, se realizó el análisis de vulnerabilidad para cada amenaza.

Las acciones prácticas en prevención se dirigen a la intervención de la vulnerabilidad, con la intención de reducirla. Los elementos bajo riesgo para los cuales se hizo el análisis de vulnerabilidad son:

Vulnerabilidad en las personas.

Las personas se definen como los trabajadores, contratistas y/o visitantes, analizándose su organización para prevención y control de emergencia.

La capacitación, el entrenamiento, organización y la dotación completa de elementos para la seguridad y protección personal de acuerdo con la amenaza, son indispensables para el cálculo.

Cada uno de estos aspectos se califica cero (0), si de acuerdo con la definición del término se tiene suficiencia en la empresa, con 0.5 si se está en proceso y con uno (1) si se carece completamente o no se cuenta con recursos.

Vulnerabilidad en los recursos.

Los recursos se analizan desde 3 campos, el de los materiales y procesos desarrollados, las construcciones (edificaciones, estructura) y los equipos con los que se cuenta para reducir las consecuencias de una posible emergencia.

Para cada uno de estos campos se califica la protección física y los sistemas de control.

La protección física: la barrera o diseño estructural que disminuye los efectos que pueda ocasionar la amenaza.

Los sistemas de control: el equipo instalado o normas administrativas para responder ante la presencia de una amenaza con el fin de disminuir los efectos.

Para calificar los recursos se da a cada variable el valor de cero (0) cuando se encuentra con los implementos descritos en la definición, con 0.5 cuando se cuenta parcialmente y con uno (1) cuando no se dispone de ello.

Vulnerabilidad en los sistemas y procesos.

En este campo se analizan dos variables: la primera está relacionada con el procedimiento de recuperación o actividades previamente concebidas que permitan ante una emergencia poner nuevamente los procesos y sistemas a funcionar ya sea por sí mismos o a través del pago de seguros o de otra forma de financiación.




La segunda es el servicio alterno entendido como el proceso o mecanismo que permite realizar la misma función temporalmente en la fase de impacto o recuperación de una emergencia (ejemplo planta de emergencia).

Para analizar las variables se da el valor de cero (0) cuando se dispone de los elementos (Bueno=B), de cero cinco (0.5) cuando se hace en forma parcial (Regular=R) y de uno (1) cuando se carece o no se cuenta con el recurso (Malo=M).

Calificación de vulnerabilidad.

Para su calificación se incluye la suma de los tres elementos evaluados: las personas, los recursos y los procesos o sistemas y el total de puntos obtenidos para cada uno se interpreta de la siguiente manera:

Tabla 7: Calificación de la vulnerabilidad

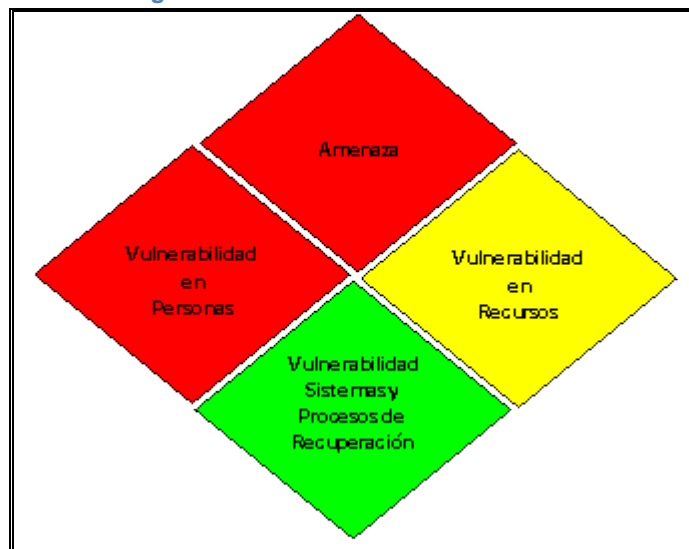
| RANGO | CALIFICACIÓN | COLOR |
|-----------|--------------|---|
| 0.0 – 1.0 | BAJA |  |
| 1.1 – 2.0 | MEDIA |  |
| 2.1 – 3.0 | ALTA |  |

5.1.2.6 Interpretación del Nivel de Riesgo. El riesgo es la posibilidad de exceder a un valor específico de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un tiempo de exposición determinado. Se obtiene de relacionar la amenaza o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con una intensidad específica y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Esta relación puede ser representada por un diamante de riesgo, el cual posee cuatro cuadrantes, uno de ellos representa la amenaza, para la cual se va a determinar el nivel de riesgo y los otros tres representan la vulnerabilidad de los elementos bajo riesgo (personas, recursos, equipos, sistemas y procesos), luego a cada cuadrante se le asigna un color según sea la probabilidad de la amenaza, Un ejemplo se presenta en la figura 2-10.

$$\text{Nivel de Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Figura 31: Rombo de nivel de riesgo




















Fuente: Formulación Plan de Contingencia.

El procedimiento para calificar con colores cada rombo se realiza teniendo en cuenta los resultados consignados en el cuadro sobre análisis de amenazas, vulnerabilidad y riesgo de la siguiente manera:

Calificación del Riesgo.

De acuerdo con los colores de cada rombo, el riesgo se califica de la siguiente manera:

Tabla 8: Calificación Nivel del Riesgo.

| Sumatoria de Rombos | | Calificación | | Ejemplo |
|---------------------|--|--------------|---|--|
| 3 ó 4 |  | Alto |  |    |
| 1 ó 2 3 ó 4 |   | Medio |  |    |
| 0 1 ó 2 |   | Bajo |  |    |

Las razones que llevan a esta calificación del riesgo son las siguientes:

Riesgo alto: significa que del 75% al 100% de los valores que representan la vulnerabilidad y la amenaza, están en su punto máximo para que los efectos de un evento representen un cambio significativo en la comunidad, la economía, la infraestructura y el medio ambiente.

Riesgo medio: significa que del 50% al 74% de los valores que representan la vulnerabilidad son altos o la amenaza es alta, también es posible que 3 de todos los componentes son calificados como medios, por lo tanto las consecuencias y efectos sociales, económicos y del medio ambiente pueden ser de magnitud, pero se espera sean inferiores a los ocasionados por el riesgo alto.

Riesgo bajo: significa que del 25% al 49% de los valores calificados en la vulnerabilidad y la amenaza representan valores intermedios, o que del 70% al 100% de la vulnerabilidad y la amenaza están controlados. En este caso se espera que los efectos sociales, económicos y del medio ambiente representen pérdidas menores.

5.1.2.7 Evaluación de Riesgos Campo Tilodirán. Esta evaluación se realiza de acuerdo a metodología descrita en el numeral 5.1.1.3 Metodología para la evaluación de riesgos. En la Tabla 9 se relacionan las amenazas, teniendo en cuenta su ubicación, causa y probabilidad de ocurrencia.

Tabla 9: Clasificación y Análisis de Amenazas.

| ORIGEN | TIPO | | CALIFICACIÓN DE AMENAZAS |
|-------------|------------------------------|---|--------------------------|
| NATURAL | Inundaciones | | Inminente |
| | Vendavales | | Posible |
| | Incendios forestales | | Probable |
| | Actividad cerámica | | Inminente |
| TECNOLÓGICO | Incendio | Incendio de Áreas administrativas | Probable |
| | | Incendio en el área de pozos / procesos | Probable |
| | | Incendio en tanques de almacenamiento | Probable |
| | | Incendio en bodega de almacenamiento de sustancias químicas | Probable |
| | Ruptura de la línea de flujo | | Inminente |
| | Explosiones | | Posible |
| | Derrames | | Inminente |
| | fallas en equipos y sistemas | | Probable |
| | Fallas estructurales | | Probable |
| | Accidente Laboral | | Probable |
| | Accidentes de tránsito | | Posible |

De acuerdo a la descripción dada en el numeral 5.1.1.3.2. Análisis de vulnerabilidad incluye los siguientes elementos evaluados: las personas, los recursos y los procesos, equipos o sistemas y el total de puntos obtenidos para cada uno se interpreta en las Tablas 9, 10 y 11.

Tabla 10: Vulnerabilidad en las personas.

| AMENAZAS | | Vulnerabilidad | Organización | Capacitación | EP P | Total |
|----------|----------------------|----------------|--------------|--------------|------|-------|
| NATURAL | Inundaciones | B | | | | 1,5 |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| | | M | | | | |
| | Vendavales | B | | | | 2,0 |
| | | R | | 0,5 | 0,5 | |
| | | M | 1,0 | | | |
| | Incendios forestales | B | | | | 2,5 |
| | | R | | | 0,5 | |
| | | M | 1,0 | 1,0 | | |

| AMENAZAS | | Vulnerabilidad | Organización | Capacitación | EP P | Total | |
|------------------------|--|--------------------------------|--------------|--------------|------|-------|-----|
| | Actividad cerámica | B | | | | 2,0 | |
| | | R | | 0,5 | 0,5 | | |
| | | M | 1,0 | | | | |
| TECNOLÓGICO | Incendio | Áreas administrativas | B | | | 1,5 | |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | |
| | | M | | | | | |
| | | En el área de pozos / procesos | B | | | | 1,5 |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | |
| | | M | | | | | |
| | | En tanques de almacenamiento | B | | | | 1,5 |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | |
| | | M | | | | | |
| | En bodega de almacenamiento de sustancias químicas | B | | | | 1,5 | |
| | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | | |
| | M | | | | | | |
| | Ruptura de la línea de flujo | B | | | | 2,0 | |
| | R | | 0,5 | 0,5 | | | |
| | M | 1,0 | | | | | |
| | Explosiones | B | | | | 2,0 | |
| | R | | 0,5 | 0,5 | | | |
| | M | 1,0 | | | | | |
| | Derrames | B | 0,0 | | | 1,0 | |
| | R | | 0,5 | 0,5 | | | |
| | M | | | | | | |
| | Fallas en equipos y sistemas | B | | | | 2,5 | |
| | R | | | 0,5 | | | |
| | M | 1,0 | 1,0 | | | | |
| | Fallas estructurales | B | | | | 1,5 | |
| | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | | |
| | M | | | | | | |
| Accidente Laboral | B | | | | 1,5 | | |
| R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | | | |
| M | | | | | | | |
| Accidentes de tránsito | B | | | | 2,0 | | |
| R | | 0,5 | 0,5 | | | | |
| M | 1,0 | | | | | | |

Tabla 11: Vulnerabilidad en los Recursos.

| AMENAZAS | | Vulnerabilidad | Materiales | Edificación | Equipos | Total | |
|------------------------------|--|--------------------------------|------------|-------------|---------|-------|-----|
| | Inundaciones | B | | | | 2,5 | |
| | | R | 0,5 | | | | |
| | | M | | 1,0 | 1,0 | | |
| | Vendavales | B | | | | 1,5 | |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | |
| | | M | | | | | |
| | Incendios forestales | B | | | | 2,0 | |
| | | R | | 0,5 | 0,5 | | |
| | | M | 1,0 | | | | |
| | Actividad cerámica | B | | | | 1,5 | |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | |
| | | M | | | | | |
| TECNOLÓGICO | Incendio | Áreas administrativas | B | | | 1,5 | |
| | | | R | 0,5 | 0,5 | | 0,5 |
| | | | M | | | | |
| | | En el área de pozos / procesos | B | | | | 2,0 |
| | | | R | | 0,5 | 0,5 | |
| | | | M | 1,0 | | | |
| | | En tanques de almacenamiento | B | | | | 2,0 |
| | | | R | | 0,5 | 0,5 | |
| | | | M | 1,0 | | | |
| | En bodega de almacenamiento de sustancias químicas | B | | | | 2,0 | |
| | | R | 0,5 | | 0,5 | | |
| | | M | | 1,0 | | | |
| | Ruptura de la línea de flujo | B | | | | 2,0 | |
| | | R | 0,5 | | 0,5 | | |
| | | M | | 1,0 | | | |
| | Explosiones | B | | | | 2,0 | |
| | | R | 0,5 | 0,5 | | | |
| | | M | | | 1,0 | | |
| | Derrames | B | | | | 2,5 | |
| | | R | | | 0,5 | | |
| | | M | 1,0 | 1,0 | | | |
| fallas en equipos y sistemas | B | | | | 2,5 | | |
| | R | | | 0,5 | | | |
| | M | 1,0 | 1,0 | | | | |
| Fallas estructurales | B | | | | 2,5 | | |
| | R | | | 0,5 | | | |
| | M | 1,0 | 1,0 | | | | |
| Accidente Laboral | B | | | | 1,5 | | |

| AMENAZAS | | Vulnerabilidad | Materiales | Edificación | Equipos | Total |
|----------|------------------------|----------------|------------|-------------|---------|-------|
| | Accidentes de tránsito | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 |
| | | M | | | | |
| | | B | | | | |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| | | M | | | | |
| | | R | 0,5 | | 0,5 | |
| | | M | | 1,0 | | |








Tabla 12: Vulnerabilidad en Sistemas y Procesos.























| AMENAZAS | | | Vulnerabilidad | Recuperación | Serv. Alternos | Serv. Públicos | Total | |
|-------------|--|--------------------------------|----------------|--------------|----------------|----------------|-------|-----|
| NATURAL | Inundaciones | B | | | | | 1,5 | |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | | |
| | | M | | | | | | |
| | Vendavales | B | | | | 0,0 | 1,0 | |
| | | R | 0,5 | 0,5 | | | | |
| | | M | | | | | | |
| | Incendios forestales | B | | | | | 1,5 | |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | | |
| | | M | | | | | | |
| | Actividad cerámica | B | | | | | 1,5 | |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | | |
| | | M | | | | | | |
| TECNOLÓGICO | Incendio | Áreas administrativas | B | | | | 1,5 | |
| | | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | |
| | | | M | | | | | |
| | | En el área de pozos / procesos | B | | | | | 2,0 |
| | | | R | | 0,5 | 0,5 | | |
| | | | M | 1,0 | | | | |
| | | En tanques de almacenamiento | B | | | | 0,0 | 1,0 |
| | | | R | 0,5 | 0,5 | | | |
| | | | M | | | | | |
| | En bodega de almacenamiento de sustancias químicas | B | | | | 0,0 | 1,0 | |
| | | R | 0,5 | 0,5 | | | | |
| | | M | | | | | | |
| | Ruptura de la línea de flujo | B | | | | 0,0 | 1,5 | |
| | | R | 0,5 | | | | | |
| | | M | | 1,0 | | | | |
| | Explosiones | B | | | | | 2,0 | |
| | | R | 0,5 | | | 0,5 | | |

| AMENAZAS | | Vulnerabilidad | Recuperación | Serv. Alternos | Serv. Públicos | Total |
|----------|------------------------------|----------------|--------------|----------------|----------------|-------|
| | Derrames | M | | 1,0 | | 1,5 |
| | | B | | | | |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| | | M | | | | |
| | Fallas en equipos y sistemas | B | | | | 1,5 |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| | | M | | | | |
| | Fallas estructurales | B | | | | 1,5 |
| | | R | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| | | M | | | | |
| | Accidente Laboral | B | | | 0,0 | 0,5 |
| | | R | 0,5 | | | |
| | | M | | | | |
| | Accidentes de transito | B | | | 0,0 | 0,5 |
| | | R | 0,5 | | | |
| | | M | | | | |
| R | | 0,5 | 0,5 | | | |
| M | | | | | | |

El procedimiento para calificar el RIESGO se describe en el numeral 5.1.1.3.3 y se realiza teniendo en cuenta los resultados consignados en las tablas 8, 9, 11 y 12 sobre análisis de amenazas, vulnerabilidad y riesgo de la siguiente manera:

Tabla 13: Calificación del Riesgo Campo Rio Verde.

| ORIGEN | TIPO | ÁREA | DIAMANTE DE RIESGO | CALIFICACIÓN | |
|---------|----------------------|---------------------|---|---|-------|
| NATURAL | Inundaciones | Toda la instalación |  |  | Medio |
| | Vendavales | Toda la instalación |  |  | Bajo |
| | Incendios forestales | Toda la instalación |  |  | Medio |
| | Actividad ceraunica | Toda la instalación |  |  | Medio |

| ORIGEN | TIPO | ÁREA | DIAMANTE DE RIESGO | CALIFICACIÓN | |
|-------------|------------------------------|---|---|---|-------|
| TECNOLÓGICO | Incendios | Áreas administrativas |  |  | Medio |
| | | Área de pozos / procesos |  |  | Medio |
| | | Tanques de almacenamiento |  |  | Medio |
| | | Bodega de almacenamiento de sustancias químicas |  |  | Medio |
| | Ruptura de la línea de flujo | Líneas de flujo |  |  | Medio |
| | Explosiones | Área de pozos / procesos |  |  | Medio |
| | Derrames | Áreas operativas, bodega de sustancias químicas y facilidades |  |  | Medio |
| | Fallas en equipos y sistemas | Áreas administrativas y facilidades |  |  | Medio |
| | Fallas estructurales | Áreas administrativas y facilidades |  |  | Medio |
| | Accidente Laboral | Toda la instalación |  |  | Medio |
| | Accidentes de transito | Vías |  |  | Bajo |

5.1.2.8 Procedimientos Operativos Normalizados – PON. Los procedimientos operativos normalizados contienen acciones específicas de

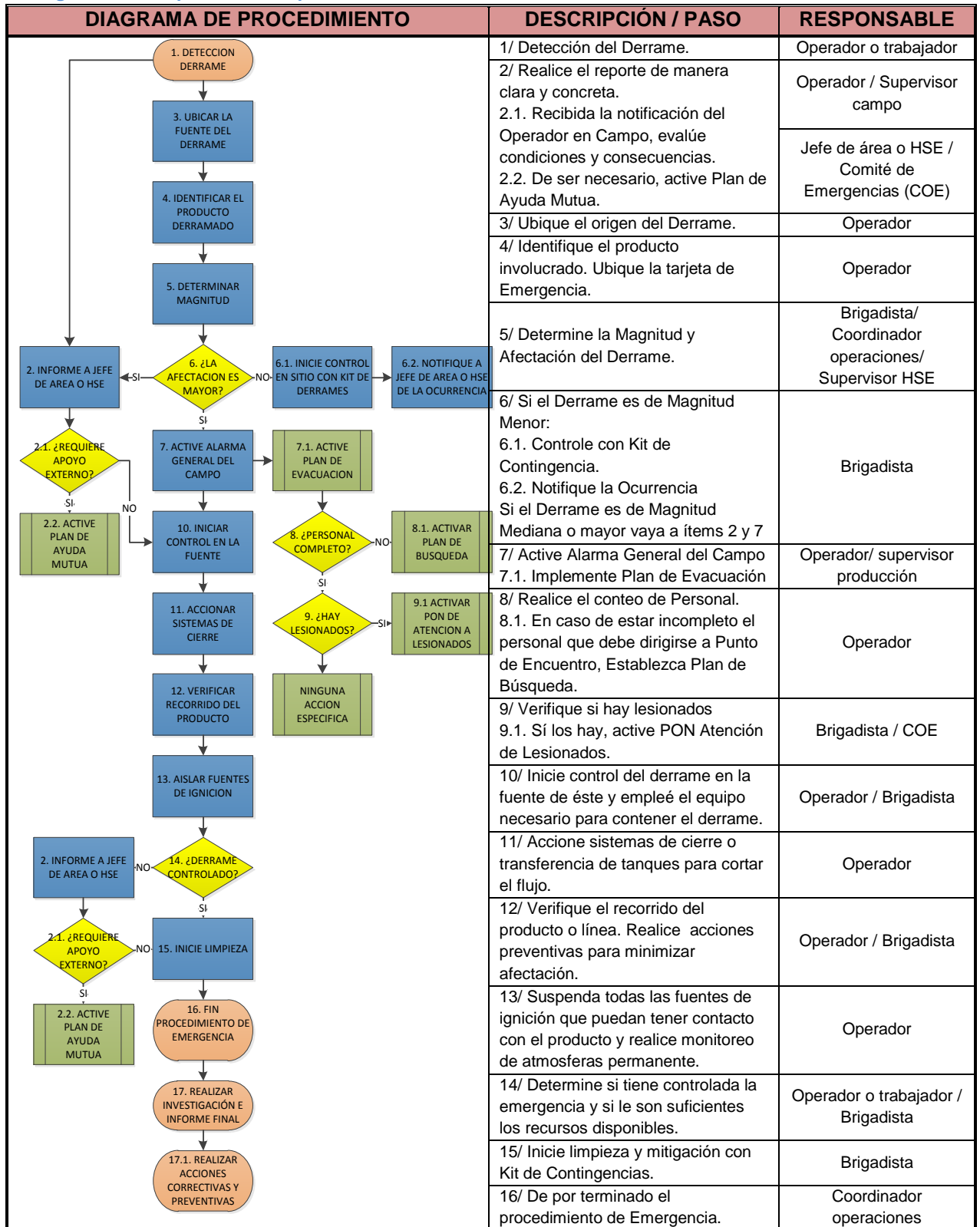
respuesta, que permiten a todos los organismos y personas que intervienen en la atención de una emergencia actuar de forma coordinada, facilitando las comunicaciones y organizando los recursos disponibles.

Tabla 14: Procedimientos Operativos Normalizados.

| FIGURA | PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO - PON |
|---------------|--|
| 33 | DERRAMES |
| 34 | ATENCIÓN DE LESIONADOS - MEDEVAC |
| 35 | EVACUACIÓN |
| 36 | ACCIDENTE VIAL |
| 37 | ACCIDENTE VIAL CON DERRAME DE HIDROCARBUROS |
| 38 | INCENDIO EN LOCACIONES |
| 39 | RUPTURA LINEA FLUJO |

Estos se elaboran para los escenarios de eventos amenazantes identificados en el análisis de vulnerabilidad. En La Tabla 14 se relacionan y presentan los procedimientos operativos normalizados para los escenarios identificados en el campo Tilodirán.

Figura 32: PON para Eventos por DERRAME.



| DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO | DESCRIPCIÓN / PASO | RESPONSABLE |
|---------------------------|--|---|
| | | /Supervisor HSQ |
| | 17-17.1/ Se debe realizar la investigación e informe de lo sucedido con el fin de determinar las causas y consecuencias y así establecer las acciones correctivas y preventivas a desarrollar. | Equipo investigador de la empresa acorde con el evento. |

Figura 33: PON para ATENCIÓN DE LESIONADOS - MEDEVAC.

| DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO | DESCRIPCIÓN / PASO | RESPONSABLE |
|---|--|---|
| <pre> graph TD A([1. OCURRENCIA ACCIDENTE]) --> B[2. NOTIFICAR A JEFE DE ÁREA O HSE] B --> C{3. ¿ES ACCIDENTE DE TRABAJO?} C -- SI --> D[3.1. INFORMAR A ARP] C -- NO --> E{4. ¿SE TIENE CAPACIDAD DE BRINDAR PRIMER AUXILIO?} E -- SI --> F{5. ¿EL ÁREA ES SEGURA?} E -- NO --> G[5.1. TRASLADAR A UN SITIO SEGURO Y/O ASEGURAR EL ÁREA] F -- SI --> H[6. PRESTAR PRIMEROS AUXILIOS] F -- NO --> G G --> H H --> I[6.1. VALORAR Y ESTABILIZAR AL AFECTADO] I --> J{7. ¿EL AFECTADO REQUIERE TRASLADO?} J -- SI --> K[8. SOLICITAR APOYO Y TRASLADO DE VEHICULO DE CEDCO] J -- NO --> L[11. REALIZAR ACOMPAÑAMIENTO] K --> M[9. SOLICITAR AYUDA A ENTIDADES DE APOYO EXTERNA] M --> N[10. TRASLADAR AL AFECTADO A ENTIDAD DE SALUD QUE CORRESPONDA] N --> L L --> O([12. REALIZAR INVESTIGACIÓN E INFORME FINAL]) O --> P([12.1. REALIZAR ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS]) </pre> | <p>1/ Ocurrencia y/o detección del Accidente</p> <p>2/ Notificación del evento. Inicio cadena de llamadas dentro de Colombia Energy. Comunicar el evento al coordinador de operaciones o supervisor HSE (ver cadena de llamadas)</p> <p>3/ Determine si al ocurrir el evento el afectado se encontraba realizando actividades laborales. 3.1 De ser así, informe a la ARP.</p> <p>4/ Determine si tiene capacidad de brindar primer auxilio, en caso contrario, salte al paso 8.</p> <p>5/ Determine si el área es segura para prestar primeros auxilios. Tenga en cuenta otros posibles escenarios derivados del evento inicial que genere la emergencia. 5.1. Si el área no es segura, asegure el área o traslade a un sitio seguro en donde pueda brindar primeros auxilios.</p> <p>6/ Preste los primeros auxilios a los afectados. Hágalo con las debidas precauciones y normas de bioseguridad. 6.1. Valore el estado del afectado e intente estabilizar.</p> <p>7/ Evalúe si el afectado requiere traslado a un centro asistencial.</p> <p>8/ Llamar a contratista de transporte para que desplace el vehículo que se encuentre en la locación más cercana al lugar de ocurrencia del evento, para brindar apoyo o trasladar a lesionado(s).</p> <p>9/ Solicite apoyo externo para realizar el traslado a un centro asistencial.</p> <p>10/ Efectuar el traslado a la entidad de salud correspondiente.</p> | <p>Trabajador U Operador</p> <p>Operador o jefe de área</p> <p>Coordinador HSE / Supervisor HSE</p> <p>Brigadista</p> <p>Brigadista</p> <p>Brigadista</p> <p>Brigadista</p> <p>Brigadista/ Supervisor HSE</p> <p>Brigadista / Supervisor HSE</p> <p>Coordinador operaciones/ Supervisor HSE</p> <p>Brigadista / Coordinador</p> |

| DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO | | DESCRIPCIÓN / PASO | RESPONSABLE |
|--|---|---|---|
| Teléfonos de Emergencias | | | operaciones/ Supervisor HSE |
| | | 11/ Realizar acompañamiento aún en el centro asistencial, mientras se requiera. | Coordinador operaciones/ Supervisor HSE |
| Cargo / Entidad | | 12-12.1/ De por terminada la emergencia. Realice la investigación e informe de lo sucedido con el fin de determinar las causas y consecuencias y así establecer las acciones correctivas y preventivas a desarrollar para evitar eventos similares. | Equipo investigador de la empresa acorde con el evento. |
| Teléfono | | | |
| Coordinador operaciones (en caso de no encontrarse llamar al supervisor HSE o la coordinadora HSE) | 3208301951 | | |
| Supervisor HSE (en caso de no encontrarse llamar al coordinador de operaciones) | 3138850870 | | |
| Coordinadora HSQ | 3115628558 | | |
| Contratista transporte | 3103040617 | | |
| Contratista transporte | 3203124683 | | |
| HOSPITAL YOPAL (Nivel 2) o CRUEE | 6324517 6345555 | | |
| CLÍNICA CASANARE. | 6324517 6324537 | | |
| ARP LIBERTY | Bta: 6445410 - 3077050 01 8000919957 018000113390 | | |
| Operadores | Boral: 321 3115156 Tilodiran 1, 2 y 3: 314 2983856 / 320 3413108 | | |

Figura 34: PON para Eventos por EVACUACION.


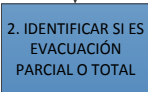
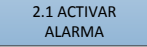
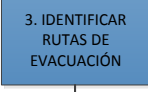

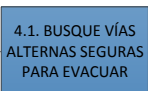
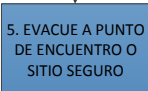
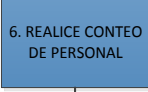

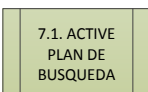

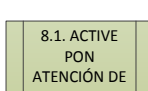
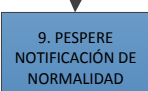
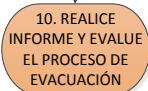
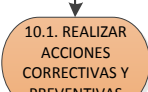
| DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO | DESCRIPCIÓN / PASO | RESPONSABLE |
|---|---|--------------------------------------|
|  | 1/ Se recibe la Orden o notificación de evacuación. | Operador o trabajador |
|  | 2/ Se debe identificar si la evacuación es Total o Parcial, Si es parcial determinar el área a evacuar. 2.1 Operador activa alarma general para evacuar. | Brigadista / Supervisor HSE |
|  | 3/ Se deben identificar las rutas para realizar la evacuación, ver flechas de evacuación. | Todo el personal involucrado |
|  | 4/ Determinar si la rutas de evacuación están despejadas y no generan peligro al personal. | Brigadista |
|  | 4.1. Si no son seguras o no se encuentran despejadas, se debe buscar rutas alternas. | Brigadista |
|  | 5/ Evacue a Punto de encuentro | Todo el personal involucrado |
|  | 6/ Una vez se encuentren en punto seguro o punto de encuentro, se debe realizar el conteo del personal que debía evacuar y se establece el tiempo de evacuación. | Brigadista |
|  | 7/ Determine si el personal está Completo o no, con la lista del personal que ingresa a la locación. | Brigadista / Coordinador operaciones |
|  | 7.1. Si no está completo, active Plan de Búsqueda | Brigadista / Coordinador operaciones |
|  | 8/ Determine si hay heridos. | Brigadista / Coordinador operaciones |
|  | 8.1. Si hay heridos, active PON Atención de Lesionados. | Brigadista / Coordinador operaciones |
|  | 9/ Permanezca en Punto de encuentro o sitio seguro, hasta que se reciba la orden de volver a la normalidad o se den otras instrucciones. | Todo el personal involucrado |
|  | 10-10.1/ Una vez finalizada la emergencia, realice la evaluación del proceso de evacuación y genere el informe. Determine las causas y consecuencias y establezca las acciones correctivas y preventivas a desarrollar. | Todo el personal involucrado |
|  | 10-10.1/ Una vez finalizada la emergencia, realice la evaluación del proceso de evacuación y genere el informe. Determine las causas y consecuencias y establezca las acciones correctivas y preventivas a desarrollar. | Todo el personal involucrado |
|  | 10-10.1/ Una vez finalizada la emergencia, realice la evaluación del proceso de evacuación y genere el informe. Determine las causas y consecuencias y establezca las acciones correctivas y preventivas a desarrollar. | Todo el personal involucrado |

Figura 35: PON para Eventos por ACCIDENTE VIAL.

| DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO | DESCRIPCIÓN / PASO | RESPONSABLE |
|---------------------------|--|---|
| | 1/ Ocurrencia y/o detección del Accidente | Operador o trabajador |
| | 2/ Notificación del evento. Inicio cadena de llamadas dentro de Colombia Energy. | Operador |
| | 3/ Verifique si hay heridos en el Evento. 3.1. Si hay heridos se debe activar PON para atención de Lesionados. | Operador Supervisor HSE |
| | 4. Comuníquese con autoridades competentes y notifíqueles del evento. 4.1. Notifique al SOAT. | Coordinador operaciones. Supervisor HSE |
| | 5/ Determine si al ocurrir el evento el afectado se encontraba realizando actividades laborales. 5.1. De ser así, informe a la ARP. | Supervisor HSE/ Coordinador HSQ |
| | 6/ Evalúe si el afectado requiere traslado a un centro asistencial. | Brigadista |
| | 7/ Solicitar a Colombia Energy el desplazamiento del vehículo que se encuentre en la locación más cercana al lugar de ocurrencia del evento, para brindar apoyo y trasladar a lesionado(s). 7.1. Si es necesario, solicite apoyo a entidades externas, ver cadena de llamadas | Brigadista / Supervisor |
| | 8/ Efectuar el traslado a la entidad de salud más cercana o a la que corresponda. | Brigadista / Coordinador operaciones Supervisor HSE |
| | 9/ Realizar acompañamiento aún en el centro asistencial, mientras se requiera. | Coordinador operaciones Supervisor HSE |

| DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO | DESCRIPCIÓN / PASO | RESPONSABLE |
|---|--|---|
| <pre> graph TD 1([1. OCURRENCIA ACCIDENTE]) --> 2[2. NOTIFICAR A JEFE DE ÁREA O HSE] 2 --> 3{3. ¿HAY HERIDOS?} 3 -- SI --> 3.1[3.1. ACTIVAR PON ATENCION DE LESIONADOS] 3 -- NO --> 2 3 --> 5{5. ¿ES ACCIDENTE DE TRABAJO?} 5 -- SI --> 5.1[5.1. INFORMAR A ARP] 5 -- NO --> 2 5 --> 6{6. ¿EL AFECTADO REQUIERE TRASLADO?} 6 -- SI --> 7[7. SOLICITAR TRASLADO DE VEHICULO DE CEDCO] 6 -- NO --> 7.1[7.1. SOLICITAR AYUDA A ENTIDADES DE APOYO EXTERNA] 7.1 --> 4.1[4.1. REPORTAR AL SOAT] 7 --> 8[8. TRASLADAR AL AFECTADO A ENTIDAD DE SALUD QUE CORRESPONDA] 8 --> 9[9. REALIZAR ACOMPAÑAMIENTO] 9 --> 10([10. REALIZAR INVESTIGACIÓN E INFORME FINAL]) 10 --> 10.1([10.1. REALIZAR ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS]) 4 --> 4.1 4.1 --> 10 10 --> 10.1 </pre> | <p>10 – 10.1/ De por terminada la emergencia. Realice la investigación e informe de lo sucedido con el fin de determinar las causas y consecuencias y así establecer las acciones correctivas y preventivas a desarrollar para evitar eventos similares.</p> | <p>Equipo investigador de la empresa acorde con el evento</p> |

Figura 36: PON para Eventos por ACCIDENTE VIAL CON DERRAME.




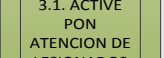


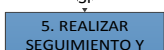


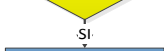
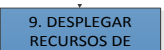





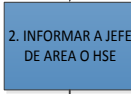

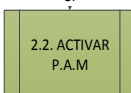


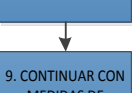


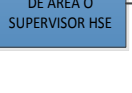
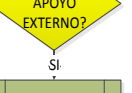


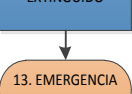


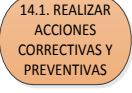






| DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO | DESCRIPCIÓN / PASO | RESPONSABLE |
|---|--|--|
|  | 1/ Ocurrencia y detección del Evento | Transportadora |
|  | 2/ Notificación detallada del Evento a Colombia Energy por parte de la Transportadora. | Transportadora |
|  | 3/ Verificar si hay heridos. 3.1. Si los hay, activar PON Atención de Lesionados, del contratista. | Transportadora / Supervisor de campo o HSE |
|  | | |
|  | 4/ Determinar si la Transportadora asumió la atención de la emergencia y si ésta ya se encuentra en proceso. | Supervisor de campo o HSE |
|  | 5/ Verificar y controlar que la atención a la emergencia sea oportuna y adecuada. | Supervisor de campo o HSE |
|  | 6/ Determinar si el Evento ocurrió dentro del alcance de una posible respuesta por parte de CEDCO. | Supervisor de campo o HSE |
|  | 7/ Evaluar si los recursos disponibles son suficientes para superar la emergencia. Si no lo son, brindar el apoyo para la atención del derrame. | Supervisor de campo / Transportadora |
|  | 8/ Inicie labores para mitigar el derrame. | Supervisor de campo o HSE / Transportadora |
|  | 9/ Desplazar los recursos necesarios para dar una adecuada y oportuna atención al evento. | Supervisor de campo o HSE / Transportadora |
|  | 10/ Active PON Derrame. Considere la necesidad de desplegar recursos adicionales. | Coordinador operaciones y supervisor HSE |
|  | 11/ Active Plan de Ayuda Mutua o solicite Apoyo Externo dependiendo de si el evento ocurrió dentro del área de influencia. | Coordinador operaciones y supervisor HSE |
|  | 12 – 12.1/ Declarar control de la Emergencia. | |
|  | Realice la investigación e informe de lo sucedido con el fin de determinar las causas y consecuencias y así establecer las acciones correctivas y preventivas a desarrollar para evitar eventos similares. | Equipo investigador de la empresa acorde con el evento |
|  | | |


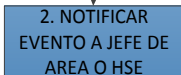
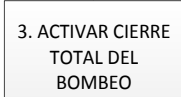
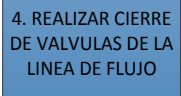
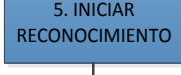
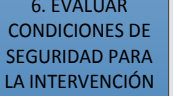
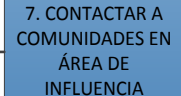
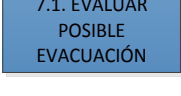
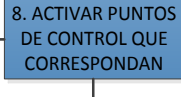
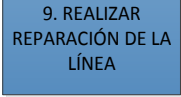
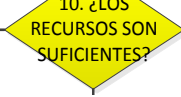

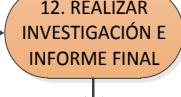
Figura 37: PON para Eventos para Eventos por INCENDIO EN LOCACION.

| DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO | DESCRIPCIÓN / PASO | RESPONSABLE |
|---|---|--|
|  | 1/ Ocurrencia y Detección del Evento. | Operador o trabajador |
|  | 2/ Notificación del evento. Realice el reporte de manera clara y concreta. Inicio cadena de llamadas dentro de Colombia Energy. | Operador trabajador |
|  | 2.1. Recibida la notificación del Operador en Campo, evalúe condiciones y consecuencias. | Coordinador operaciones / supervisor HSE / Comité de Emergencias |
|  | 2.2. De ser necesario, active Plan de Ayuda Mutua. | |
|  | 3/ Identifique la fuente del incendio. | Brigadista |
|  | 3.1. Evalúe magnitud, afectaciones y posibles escenarios en cadena. Si le es posible inicie el control del incendio. | |
|  | 3.2 Verifique la dirección del viento (ver manga veleta o dirección del humo). | |
|  | 4/ Activar Alarma General del Campo. | Operador |
|  | 5/ Todo el personal que no esté dentro de las brigadas que atienden la emergencia, deben evacuar a Punto de Encuentro | trabajador /, visitantes |
|  | 6/ Realice el conteo de Personal. | Brigadista |
|  | 6.1. En caso de estar incompleto el personal que debe dirigirse a Punto de Encuentro, Establezca Plan de Búsqueda. | |
|  | 7/ Verifique si hay lesionados | Brigadista |
|  | 7.1. Si los hay, active PON Atención de Lesionados | |
|  | 8. Determine si se logró controlar el incendio y evalúe si los recursos le son suficientes para superar la emergencia. | Brigadista / Coordinador operaciones y supervisor HSE |
|  | 8.1. Si le son suficientes accione sistemas de cierre local en el área afectada. | |
|  | 8.2. Si NO le son suficientes, accione sistemas de cierre general en el campo. | |
|  | 9/ Continúe con las medidas de control del incendio haciendo uso de todos los recursos disponibles. | Brigadista |
|  | 10/ Evalúe nuevamente si los recursos le son suficientes para mantener el control de la emergencia. Notifique constantemente al Jefe de área o HSE y de ser necesario repita pasos 2.1 y 2.2. | Brigadista / Supervisor Campo |
|  | 10.1. Si los recursos le son suficientes termine de controlar el fuego. | Brigadista |
|  | 11/ Si los recursos le son suficientes termine de controlar el fuego. | Brigadista |
|  | 12/ Una vez esté controlado el incendio, se de por controlada la emergencia. | Coordinador operaciones y/o supervisor HSE |
|  | | |
|  | | |
| | | |
| | | |
| | | |

| DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO | DESCRIPCIÓN / PASO | RESPONSABLE |
|---------------------------|--|--|
| | 12 – 12.1/ Realice la investigación e informe del incidente con el fin de determinar las causas y consecuencias y así establecer las acciones correctivas y preventivas a desarrollar para evitar eventos similares. | Equipo investigador de la empresa acorde con el evento |

Figura 38: PON para Eventos por RUPTURA DE LÍNEA DE FLUJO.

| DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO | DESCRIPCIÓN / PASO | RESPONSABLE |
|---------------------------|---|---|
| | 1/ Detección de la anomalía. Se detecta una pérdida de volumen, entre el volumen entregado y el volumen de crudo recibido, o se recibe la notificación por parte de la comunidad. | Operador o trabajador |
| | 2/ Notifique la ocurrencia del evento al Jefe de área o HSE y estos a la vez al Comité de Emergencias (COE). | Operador |
| | 3/ Recibida la notificación, como medida preventiva se debe proceder a realizar el cierre del bombeo de crudo. | Operador / Supervisor de campo Coordinador operaciones |
| | 4/ Se deben iniciar los cierres manuales de las válvulas. Igualmente se inicia el desplazamiento de Contenedor de kit de emergencias ubicado en Tilodiran 2. | Operador/ Supervisor de campo |
| | 5/ Recibida la notificación, se deben evaluar condiciones del evento y consecuencias e iniciar reconocimiento para determinar punto donde se está presentando la fuga. | Brigadistas |
| | 6/ Se deben evaluar las condiciones de seguridad del área para el ingreso a la zona de atención. 6.1. – 6.2. Si el área no es segura, se debe realizar actividades para asegurar el área. Acordonar la zona. Si es necesario, y por condiciones de orden público solicitar apoyo a la fuerza pública. Si es segura, proceder al ingreso para activar puntos de control ya establecidos. | Coordinador operaciones y/o supervisor HSE |
| | 7/ Contactar a la comunidad del área de influencia del derrame para tomar acciones preventivas sobre posibles | Coordinadora social / Coordinador operaciones y/o |

| DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO | DESCRIPCIÓN / PASO | RESPONSABLE |
|---|---|--|
|  | afectaciones que se puedan generar. 7.1. Según la magnitud y afectación del derrame se debe evaluar si es necesario o no realizar evacuación de zonas afectadas. | supervisor HSE |
|  | 8/ Activar puntos de control establecidos. | Coordinador operaciones / Brigadistas |
|  | 9/ Evaluar las acciones pertinentes necesarias para la reparación de la línea de flujo. | Coordinador operaciones / Comité de Emergencias - COE |
|  | 10/ Evaluar si los recursos con los que se cuentan son suficientes. 10.1. Continuar realizando control en los puntos establecidos. 10.2. Si los recursos no son suficientes, evaluar Activación del Plan de Ayuda Mutua. | Coordinador de la emergencia / Brigadistas |
|  | 11/ Se debe evaluar periódicamente el control de la emergencia y del derrame. Si el derrame no ha sido controlado, active Plan de Ayuda Mutua, si es necesario, o solicite apoyo externo. | Brigadistas/ Coordinador operaciones / Supervisor HSE |
|  | 13 – 13.1/ Una vez se controle el derrame se debe realizar la investigación e informe del incidente, con el fin de determinar las causas y consecuencias y así establecer las acciones correctivas y preventivas a desarrollar para evitar eventos similares. | Equipo investigador de la empresa acorde con el evento |
|  | 6.1. ¿EL ÁREA ES SEGURA? | |
|  | 6.2. ASEGURAR EL ÁREA | |
|  | 10. ¿LOS RECURSOS SON SUFICIENTES? | |
|  | 10.1. CONTINUAR CON PUNTOS DE CONTROL | |
|  | 10.2. ACTIVAR PLAN DE AYUDA MUTUA | |
|  | 12. REALIZAR INVESTIGACIÓN E INFORME FINAL | |
|  | 12.1. REALIZAR ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS | |

5.2 MANTENIMIENTO AUTONOMO

Tal como se ha abordado en el marco teórico, el mantenimiento productivo total o TPM, busca de carácter fundamental el cambio cultural en las personas, el derrumbamiento de paradigmas que no permiten estar abiertos a los cambios que logran alcanzar innovaciones y logran crear hábitos en cada uno de los trabajadores para estar más involucrados con la empresa y con sus activos, obteniendo mayor motivación y aptitudes que los harán crecer en lo personal y a su vez redundará en un mejor rendimiento de la compañía. El TPM debe difundirse en todos los roles de una compañía, logrando integrar todas las áreas y estableciendo una comunicación única que permita alcanzar los objetivos comunes.

Adicional a lo anterior, cuando se quiere implementar alguno de los pilares del TPM, se debe ser consciente que se debe iniciar edificándose en el concepto y la práctica del *Kaizen* o la mejora continua, ya que teniéndolo presente, el desarrollo de la metodología se realizará con éxito y cada acción y actividad que se establezca se ejecutará con éxito y siempre demandará lo mejor de las personas que estén involucradas.

Basado en lo anterior, la construcción del pilar de Mantenimiento Autónomo, para el campo Tilodirán de la empresa CEDCo, debe iniciar con el establecimiento de las 5s, pasando por la instauración del hábito de la limpieza, la búsqueda de las fuentes de suciedad y áreas de difícil acceso, la estandarización de las actividades generales de lubricación y limpieza, el aprendizaje de técnicas de inspección general, la revisión del proceso desarrollado y finalmente la evaluación y autogestión del pilar construido.

5.2.1 Las 5s como punto de partida del mantenimiento autónomo. Las 5s es una técnica o metodología que permite introducir conceptos sencillos para mejorar nuestro entorno laboral, abordando el “SEIRI”, Selección, de todos aquellos elementos que no deben estar en el área de trabajo; “SEITON”, Organización, del entorno en el que desarrolla las actividades; “SEISO”, Limpieza, del lugar donde más tiempo se permanece; “SEIKETSU”, Estandarización, de los procedimientos que se realizan y de la planeación de las actividades, y finalmente “SHITSUKE”, Disciplina, en la ejecución de las anteriores actividades, mejorando continuamente para crear hábitos que logren administrar eficientemente el puesto de trabajo.

De la visita realizada a los puestos de trabajo de los operarios que se encuentran en campo, se evidencia que debido a que deben estar moviéndose continuamente, no le prestan mucha atención a su oficina y no se han apropiado de ella verdaderamente. También existe otro inconveniente con la asignación de los lugares de trabajo, para los tres (3) trabajadores de mantenimiento (2 técnicos y 1 auxiliar Sena), solo existe (1) puesto dentro de la oficina, pues se asume que los tres nunca van a estar presentes al mismo tiempo, pero la realidad demuestra que en muchas ocasiones siempre se van a encontrar y deben juntar otras sillas para compartir el escritorio. Adicional a lo anterior, se puede evidenciar que debido a que el personal debe estar en continuo movimiento y en continuo traslado a otros campo, el escritorio no pertenece a nadie en específico y por tanto, ninguno tiene la motivación de mantenerlo cuidado. Por lo anterior, el análisis de las 5s se realizó de manera grupal y se evidenció lo siguiente:

- ✓ Los trabajadores deben hacer una selección de elementos que no les ayudan a cumplir sus funciones o a sentirse bien emocionalmente, como es el caso de revistas y periódicos de entretenimiento, y acumulación de estos en el puesto de trabajo. Acumulación de documentación que no les involucra, planos y documentos de ingeniería que no es pertinente para ellos y elementos de protección personal en desuso. Cajones con objetos innecesarios y basura mal ubicada. Es importante solicitar a personal HSE de la empresa por lo menos la ubicación de otro nuevo puesto de trabajo con todas las características ergonómicas que se requiera, además teniendo en cuenta el tema legal laboral, cada uno de los trabajadores debe tener su propio puesto de trabajo, el cual debe ser garantizado por su empleador.
- ✓ Al terminar de evacuar aquellos elementos innecesarios, se hace útil organizar el puesto de trabajo que se tiene, repartir los cajones de forma equitativa para cada uno de los trabajadores y ordenarlos. Solicitar al personal de HSE de la empresa la entrega de elementos de oficina útiles para el confort, como porta bolígrafos, portapapeles, papelera, soporte para computadores, teclados, y sillas más cómodas que garanticen la ergonomía. La organización también incluye la adecuada ubicación de las herramientas de trabajo, la organización de documentación que se genere o utilice (permisos, chek list de equipos, manuales), la cual puede ser ubicada en estantes debidamente marcados.
- ✓ Durante la selección de los elementos inservibles, se debe ir realizando la limpieza a los escritorios y al sitio alrededor (piso, paredes y estantes), eliminar aquellos elementos que no permiten una limpieza adecuada del lugar y que son puntos de acumulación de polvo, como cajas, cartones y estantes en

desuso. Luego de esta limpieza general al lugar, se debe garantizar el mantener un control y vigilancia para que el sitio siempre se mantenga de la mejor manera.

- ✓ Con el consentimiento del supervisor de producción y del operador de producción (quienes comparte el sitio de trabajo con el personal de mantenimiento), se debe crear normas para todos los que se encuentran en el contenedor, con el fin de mantener el orden, la organización y la limpieza; esas normas deben ser lo más claro y sencillo posible, ya que son actividades básicas que brindan confort y armonía al sitio de trabajo. Este reglamento puede ser muy didáctico, donde se estimule de forma visual las actividades que se deben realizar y como represalia, puede imponerse multas simbólicas (almuerzo para todos, onces, \$1000 pesos, etc.) por desorganizar el lugar, por no poner la basura en su lugar, por no limpiar su puesto de trabajo, por generar ruido, por generar mal ambiente laboral, etc.
- ✓ Finalmente, se debe mantener disciplina en la ejecución de lo expuesto anteriormente, no pueden ser actividades que se realizan una sola vez, deben hacerse de forma continua y de la mejor manera, con el fin de que no se convierta en una obligación sino en un hábito que logrará crear un ambiente laboral agradable.

El grupo de trabajo de mantenimiento para CEDCO, debe darse cuenta que la ejecución de las 5s es sencillo, son actividades básicas que lograrán una sensación de cambio inmediato, permitirán introducir conceptos como trabajo en equipo, gestión visual y ambiente laboral agradable, además promueven los hábitos de organización y disciplina; en la implementación de estas cinco reglas los trabajadores iniciarán con el rompimiento de paradigmas simples y el cambio cultural de ellos se empezará a notar.

Para continuar con la implementación del mantenimiento autónomo es importante establecer el círculo de trabajo TPM que involucre a todo el grupo del área y a sus respectivos supervisores, con el fin de alcanzar los objetivos propuestos:

5.2.2 Realización de limpieza como inspección. Esta actividad debe iniciar con la limpieza total de todos los equipos del campo Tilodirán 2 a los que el grupo de mantenimiento realiza controles y seguimiento (ver equipos del proceso). Se debe retirar toda la suciedad y polvo que se ha acumulado en los equipos durante

años. Ya que esta tarea es tediosa y larga, es importante que el Equipo TPM la realice en un intervalo de tiempo de forma diaria; la actividad puede ser programada 20 minutos después de almuerzo, programar una hora exacta del día o realizarla en tiempos extra de la jornada laboral común; el tiempo será determinado por acuerdo entre el líder de sección, el líder del equipo y el equipo TPM.

Figura 39: Circulo de trabajo TPM para CEDCo



Durante la limpieza que el equipo TPM realice, este debe estar atento sobre cualquier anomalía que pudiese advertirse sobre el equipo al que le está haciendo la actividad. Para lo anterior, es importante realizar una capacitación para reconocer las anomalías en las máquinas, para esto es recomendable que el propio líder del equipo o una persona experta les brinde el conocimiento necesario a todo el equipo de mantenimiento para que hallen las anomalías y si está al alcance de ellos las puedan reparar, pues existirán averías de un nivel más crítico que otras y que para capacidad de intervención de los operarios serán difícil reparar. El equipo podrá encontrarse con arandelas sueltas, pernos que faltan, roturas pequeñas de carcazas o bases de los equipos, cables sueltos, tapas desajustadas, ruido por suciedad, fuga de lubricante entre partes, entre otras anomalías que el personal podrá reparar y ajustar tan pronto las identifique.

Las anomalías más críticas, peligrosas y que requieran de un cambio de un elemento por fractura, fisura o que requiera la parada total de la máquina y que no podrán ser reparadas de forma rápida por el grupo mantenedor, deben ser

marcadas y señaladas con la tarjeta que muestra la Figura 40. Esa tarjeta no debe sobrepasar dimensiones de 7cm de largo x 5cm de ancho, y pueden ser hechas de cartón u hojas bond, se sugiere que sean colgadas con cable delgado. Adicional a la reseña anterior dejada en el equipo, las averías y anomalías deben ser reportadas en tarjetas informativas (ver Figura 41) que describan el problema y la gravedad de está para la operación, según el color de la tarjeta. Posteriormente el grupo de mantenimiento deberá recoger todos los reportes y programar un plan de mantenimiento que les permita intervenir la máquina o el equipo y reestablecerlo a las condiciones de funcionamiento.

Figura 40: Tarjeta propuesta para reportar averías.

| | |
|--|--|
| Inspección. |  |
| <small>Plan de Mantenimiento autónomo</small> | |
| Fecha: _____ | |
| Reportado por: _____ | |
| Avería: | |

Las tarjetas de reporte tendrán dos colores característicos el amarillo y el rojo, las cuales permitirán al área de mantenimiento diferenciar las **anormalidades** de las **averías** respectivamente, puede guardar dimensiones de 10cm de ancho x 12 cm de alto, según se muestra en la Figura 41, las tarjetas tendrán un control numérico y un espacio donde se realizará la descripción del problema de forma clara, de ninguna manera se debe escribir la solución. Las anomalías entre otras que se podrán reportar son: desalineamientos, puntos de oxidación, fugas, superficies calientes, elementos torcidos, desajustes, superficies o partes deformadas, entre otras anomalías que deben ser reportadas en el formato amarillo, mientras que si en la inspección se evidencia una detención de la función básica de la máquina o

de un elemento vital y requiere un cambio o reparación exhaustiva debe ser registrado en el formato rojo, por lo tanto, se hace trascendental identificar la diferencia entre una anomalía y una avería, ya que pequeñas anomalías que se presenten en los sistemas o equipos, con el paso del tiempo producirán una avería que puede ser irreparable y afectar de manera directa a la operación y con ello pérdida de producción, afectación a promesas corporativas, entre otros. Así que, el librar a los equipos de suciedad, manchas, polvo, grasa, etc., permitirá el hallazgo de defectos ocultos y se evitará que la máquina y equipos sufran de un deterioro forzado y mayores daños a futuro, permitiendo al operario el contacto continuo con la máquina, alcanzando uno de los objetivos del TPM, el cual consiste en lograr que el trabajador empiece a conocer su máquina y entienda su funcionamiento.

Figura 41: Tarjetas para el reporte de averías y anomalías.

The figure shows two identical maintenance report cards side-by-side. The left card has a red border, and the right card has a yellow border. Both cards feature the following layout:

- Header:** "Tarjeta No." followed by a box containing "0001". To the right is the "Global Energy Development PLC" logo and the text "Plan de Mantenimiento autónomo".
- Form Fields:** Four horizontal lines for "Fecha:", "Área/sección:", "Equipo:", and "Reportado por:".
- Description Area:** A large rounded rectangle labeled "DESCRIPCION DEL PROBLEMA" containing ten horizontal lines for text entry.

Dentro del grupo TPM (operarios), es importante infundir la idea, que de manera continua se debe mantener las condiciones básicas para que operen las máquinas, siempre teniendo presente la limpieza (como se plasmó anteriormente), la lubricación y el ajuste.

5.2.2.1 Recomendaciones generales para mantener las Condiciones Básicas de las Bombas de Desplazamiento positivo y Centrifugas. Para la lubricación es importante revisar las horas de servicio (que siempre oscila entre 500 a 800 horas) según el catálogo y realizar la lubricación externa con un aceite multiusos- NLG2- aplicándolo lentamente con una pistola manual en todos los puntos de engrase. No se debe utilizar demasiado aceite, la recámara de lubricación debe mantenerse en el nivel deseado con el fin de saber si se presentan fugas. Las aplicaciones que requieran temperaturas muy altas o muy bajas necesitan de otro tipo de lubricación. Es de suma importancia conocer el tipo de líquido empleado en la bomba y las precauciones necesarias para su manejo seguro, si es un líquido desconocido hay que estudiar la hoja de datos de este. Finalmente, si en la inspección de la lubricación básica se quiere realizar apertura de alguna de las cámaras de líquidos de las bombas (sección de bombeo, deposito, tapa de ajuste de la válvula descarga, etc.), se debe tener seguridad de eliminar toda presión en la cámara de succión o de descarga, bloquear funcionamiento de las vías de transmisión (motor, turbina, etc.) y asegurarse que estas transmisiones no se activen mientras se realiza la actividad. Inspeccionar la lubricación de las juntas y toda la extensión del eje de la bomba, recordar que son la mejora continua en la limpieza se puede evitar la suciedad en las partes engrasadas e ingreso de partículas no deseables al equipo a través del líquido o grasa lubricante. Se debe realizar inspección visual continua y minuciosa alrededor de las bombas para detectar goteos de las uniones de elementos mecánicos o fugas a través de los empaques y carcasa, además de revisar el aspecto físico del lubricante (color y viscosidad).

El ajuste de los tornillos, arandelas y tuercas en las carcasas es una condición básica que debe realizarse de forma continua, pues con esto se podrá detectar algún tipo de problema de vibración o calor (por el asunto de la dilatación de los materiales). Para las bombas de desplazamiento positivo de la serie 4124 es básico conocer el ajuste del prensa estopa. La verificación de los sellos mecánicos de estas bombas se puede garantizar con la revisión del ajuste de los elementos de sujeción externos, ya si se requiere realizar algunas reparaciones dentro del rodete de las bombas, se debe seguir las recomendaciones de seguridad nombradas en el párrafo anterior y marcar los diferentes elementos para evitar malos montajes. En algunas bombas se tienen en las uniones de succión y descarga, kit's de aislamientos para los elementos de sujeción (debido a la diferencia entre los materiales a juntar), que en la mayoría de los casos tienen una

vida útil de 1 a 2 meses y que si no se cambian pueden ocasionar desuniones y fugas. Para los ajustes se debe inspeccionar que las arandelas, tuercas y tornillos sean las indicadas según el fabricante y cumplan con las medidas estipuladas, porque una sola arandela desajustada puede generar grandes defectos a futuro y acelerar el deterioro de los elementos mecánicos de la bomba.

Finalmente cuando se requieran realizar algunas reparaciones en las bombas, se debe disponer fuera de los alicates normales, llaves españolas y destornilladores, de martillos con cabeza blanda, llaves Allen (para tornillos de fijación y sellos mecánicos especiales), alicates de anillos para los resortes de la bomba, manguito de instalación de sellos mecánicos (según referencias vienen con la bomba), llave de gancho de tuerca para seguro de rodamientos, llave de gancho ajustable para su uso en el capote extremo de la caja de rodamientos y utilizar siempre los elementos de protección.

Figura 42: Generadores del Campo Tilodirán (Primario y Secundario).



5.2.2.2 Recomendaciones generales para mantener las Condiciones Básicas en los Generadores de Energía. El iniciar con establecer la metodología de las 5s para el “shelter” donde se encuentran ubicados los generadores, debe ser primordial. Prosiguiendo con el mantenimiento autónomo que se requiere alcanzar, se recomienda la limpieza de suciedad, polvo y manchas para todo el equipo de forma externa, teniendo una precaución absoluta ya que el generador-diésel, está continuamente trabajando (limpieza externa en caliente). Debido a que es un equipo que posee dimensiones altas, vale pena trabajar la limpieza de la manera que sea más conveniente para los operarios, con el fin de alcanzar la inspección general. En la Figura 42 se distinguen los dos equipos de generación que posee campo Tilodirán.

Tal como lo revelan la Figura 43, las baterías deben ser limpiadas de forma continua, verificar su carga, chequear los bornes y el nivel de electrolito; hay que inspeccionar y limpiar los tableros (de control y de distribución), las rejillas que están dispuesta en diferentes sitios del generados, los cables deben estar mejor organizados y marcarlos para conocer la disposición de estos. Para el aspecto de la **lubricación**, hay que hacer revisión de la varilla medidora a fin de conocer el nivel que posee el generador y si está fuera de lo normal iniciar con la verificación de fugas y revisión de exceso de calor. De forma gradual revisar el engrase de los rodamientos y la suciedad que pueden llegar a poseer. Periódicamente hay que tomar muestra de aceite con motor caliente a fin de realizar análisis por parte del representante del producto. Verificar averías externar (fugas de fluidos), verificar el grado de contaminación al drenar el aceite del cárter, enfriador de aceite y del porta filtros, reemplazar filtro y aceite cuando se cumpla las horas de trabajo establecidas por el fabricante, también hay que hacer cambios de filtros y separadores de combustibles, verificar el filtro de aire, revisar el juego axial del eje del turbocompresor, inspeccionar el radiador y soportes, desmontar las protecciones del ventilador del radiador, limpiar rejillas y limpiar aletas del radiador junto con sus paneles y finalmente no olvidar revisar el nivel del refrigerante.

Para el ventilador, hay tener en cuenta que el reajuste o reemplazo de las bandas es fundamental, así como el **ajuste** a tapas de aceite, tablero de distribución; tornillos y arandelas cuando se revisa el radiador; el tablero de distribución automática debe conservarse hermético, los cables de interconexión con las baterías también deben encontrarse debidamente sujetos, las tapas de ventilación luego de la limpieza deben quedar bien colocadas al igual que las distintas rejillas cuando se retiran para lavar; por último las tapas de los drenajes del aceite y del radiador deben quedar con el apriete normal para evitar fugas. Los cables de

potencia y control deben permanecer bien sujetos a las bandejas respectivas y a los conduit específicos.

Figura 43: Baterías con suciedad del Generador Primario.



Figura 44: Tableros de control y distribución.



5.2.2.3 Recomendaciones generales para mantener las Condiciones Básicas de los compresores de aire que intervienen en el proceso. De manera general los compresores se encuentran bien localizados, el montaje no tiene ningún inconveniente, están bien nivelados, tienen buena circulación de aire y tienen buena área para operatividad, sin embargo la limpieza básica y continua debe ser implementada. Para el compresor primario de marca Ingersoll Rand el equipo TPM debe cerciorarse de limpiar los alrededores de los mandos de control, quitar suciedad o costras de mugre que se acumulen en las diferentes superficies, pues se necesita preservar la lectura clara del manómetro y que los indicadores y pulsadores operen de forma adecuada; comprobar el estado del filtro y limpiarlo lo más que se pueda; la rejilla y el prefiltro deben ser inspeccionado y limpiados de forma continua; cada 24 horas de trabajo se debe comprobar el nivel del refrigerante y rellenar si es necesario, según manual de operación para el filtro de refrigerante se debe tener presente las horas trabajadas; si al momento de la limpieza de las superficies exteriores y accesorios, se evidencia corrosión excesiva en distintas zonas de la superficie, debe reportarse inmediatamente y lograr enfrentar la anomalía lo más pronto posible; revisar polvo y suciedad en las superficies del motor eléctrico permitirán disipar ruidos y eliminar exceso de calor; recordar que si se presenta averías o se debe realizar reparaciones exhaustivas en intrusivas, es importante tomar todas la medidas de seguridad necesarias, incluyendo aislar eléctricamente el equipo y disipar toda la presión atrapada y antes de volver a restablecer la máquina comprobar todos los elementos.

Para la **lubricación** del compresor primario se debe verificar con el manual de operación según el período de uso, el cambio del lubricante, sin embargo es necesario revisar el nivel continuamente; realizar una inspección visual a toda la máquina y sus alrededores (incluyendo dentro de la caja de operación mecánica) permitirá verificar fugas de aceite y posibles fugas de aire. Dentro del mecanismo de transmisión mecánica se debe verificar que no exista salpique de aceite ni algún tipo de líquido que afecte su funcionamiento. **Ajustar** compuertas, tapas y rejillas luego de verificar las condiciones básicas de lubricación y limpieza debe ser mandatorio, sin embargo los ajustes no deben realizarse sólo de forma posterior sino durante la inspección general, pues por temas de vibración o calor, arandelas y pernos pueden perder ajuste y en la mayoría de ocasiones los ruidos y desajustes se hacen evidentes por la vibración. Con las correa en la zona de transmisión mecánica se puede realizar una verificación rápida para determinar si el ajuste es correcto, observando el lado flojo de la correa por si se forma un ligero arco cuando la unidad esté en funcionamiento. Si este ligero arco resulta evidente,

la correa está, por regla general, ajustada satisfactoriamente, pero si por el contrario se observa desbalanceada y con un arco exagerado y no uniforme, la tensión de la correa se puede conseguir aflojando los pernos de anclaje de la unidad compresora, sin embargo se debe seguir el procedimiento de fijación y medición de la correa propuesto por el manual de operaciones de la máquina.

El **compresor secundario** de marca PUSKA de tipo pistón, sufre su deterioro natural debido a que se encuentra en funcionamiento en campo desde hace 15 años, sin embargo paso a ser el backup del compresor primario hace tan solo 2 años. De manera general la **limpieza** para este equipo debe centrarse en los dos sistemas de motor compresores, pues son elementos que siempre están expuestos al medio ambiente y requieren de limpieza continua. Hay verificar que la carcasa de los motores se mantenga limpias retirando suciedad y polvo de sus rejillas. Los compresores tipo pistón deben ser pintados con emulsión anticorrosiva y mantener la limpieza en sus exteriores. El tablero de control al igual que para el compresor primario, debe mantener limpios sus indicadores, pulsadores y botones, y a la caja de distribución que los sostiene, debe revisarse las zonas que inicien con puntos corrosión para evitar filtraciones y daños a la parte electrónica. Respecto a la **lubricación** de este compresor, se hace primordial la inspección de fugas y goteos que presenten su dos compresores y controlar continuamente el nivel de aceite en sus cámaras de lubricación, pues al ser compresores altamente mecánicos, el lubricante es fundamental para evitar el contacto metal-metal, y debido a que no se cuenta con un manual robusto por el asunto de la antigüedad, del conocimiento que tendrá el operario sobre su máquina dependerá mantener la condición de lubricación ideal. Finalmente los **ajustes** de los que debe estar pendiente el operario, son aquellos que tienen que ver con las arandelas, tuercas y pernos que permiten la sujeción de los motores y compresores a la base instalada sobre el tanque recolector de aire, el equipo TPM también debe estar pendiente de los puntos de soldadura evidenciados entre la base de los motor-compresores y el tanque recolector, además de la rotura que puede presentarse también son puntos de acumulación de suciedad, polvo y posibles focos de corrosión.

5.2.2.4 Recomendaciones generales para el taller y bodega de materiales. La limpieza debe ser la tarea principal que se realice de forma diaria dentro de esta área, no se debe permitir la colocación inapropiada de desechos de comida, bolsas y tarros plásticos. El establecimiento de las 5s al lugar debe poseer la disciplina necesaria para lograr seleccionar todos aquellos elementos

innecesarios que se hallen (ver Figura 45). Los estantes deben ser debidamente marcados y organizados, permitiendo dar a conocer con que materiales y herramientas se cuenta. Así mismo, estos materiales que se encuentren allí deben ser catalogados para poder llevar control dentro de tablas de datos de inventarios que se posea. La limpieza de los estantes y de los elementos que allí reposan deben ser limpiados con periodicidad alta y revisados, teniendo a la mano el manual técnico respectivo para conocer si se están tratando de la mejor manera a las máquinas, siguiendo condiciones básicas de almacenamiento. Se debe solicitar otro estante que permita la colocación de más herramientas, más materiales y espacios libres que permitan evitar el arrime de los materiales y equipos. Para llevar a cabo un control para la limpieza del recinto, de forma divertida se puede exigir algún tipo de multa a quien incumpla el compromiso de mantener el lugar en perfectas condiciones de orden, organización y limpieza.

La realización de la limpieza como inspección permite avanzar notablemente en el mantenimiento autónomo, pero como todo proceso, debe tener un buen control y seguimiento, el cual permita conocer avances, alcance de tareas y desempeño en la realización de actividades, se recomienda instalar un tablero de gestión donde se logre visualizar las tareas propias de limpieza, el hallazgo de averías y anomalías, y la cantidad de soluciones y reparaciones que puede realizar el grupo TPM con respecto a las anomalías. En este tablero de gestión también se puede señalar la cantidad de reportes realizados y los mismos operarios pueden realizar seguimiento a la solución de estos. En el tablero de gestión se recomienda que se señale y se muestre de forma básica para tomar ejemplo ver la Figura 46.

5.2.3 Localización de focos de suciedad, y áreas de difícil acceso. Luego de realizar una gestión con la limpieza como inspección de los equipos, lo que se quiere lograr es desaparecer por completo los focos que generan polvo, basura y mugre, y por tanto, el presente capítulo abordará algunas recomendaciones que se realizarán a CEDCo para que pueda encontrar de manera exitosa fuentes de suciedad que afectan a sus equipos críticos y algunas maneras para dar solución. Se tratará el tema de los generadores y compresores que se encuentran en la misma caseta o “shelter”, posteriormente se abordará los focos de suciedad de las bombas centrífugas y de desplazamiento involucradas; y por último se realizará las recomendaciones para las fuentes de contaminación que afectan el área de taller y bodega de materiales.

Figura 45: Estado actual de la bodega y el taller de mantenimiento.



Figura 46: Elementos para administrar el mantenimiento Autónomo.



GESTIÓN DE MTO. AUTÓNOMO

Anormalidades Averías Reparaciones Autónomas Tarjeta de registro

Fuente: Sebastián Giraldo.

5.2.3.1 Generadores y Compresores. Estos equipos se encuentran bajo techo y en un área amplia que permite la respectiva operación de estos, también están sobre piso de concreto y totalmente nivelados, se podría afirmar que se encuentran en condiciones poco agresivas, sin embargo están expuestos a polvo y a diferentes plagas que los están afectando. Los agentes nombrados anteriormente en gran medida se presentan porque hay secciones muy pequeñas de la infraestructura que no están totalmente sellados lo que ocasiona que el viento traiga consigo polvo, mugre y hojarasca, además que los diferentes insectos comunes de la zona ingresen de forma rápida y fácil. Realizando recolección de información, se pudo inferir que en ciertas ocasiones se ha presentado mucha producción de telarañas y pegadas a estas, hay diferentes tipos de insectos (hormigas, zancudos, mosquitos, saltamontes, etc.), estas telarañas se focalizan en su mayoría en el techo y en los generadores (en especial en el generador primario). El problema con las plagas se está presentando de forma específica con los ratones, que no sólo han causado algunos estragos en esta área sino en varios sectores del campo (área de habitaciones, casino, áreas comunes, entre otros). Los ratones de forma especial han afectado todo tipo de cableado que está presente en el área (lo han mordido y sus heces fecales han afectado la manipulación y deterioro de estos), además de entrar a áreas de difícil acceso a esconderse ocasionando miedos en los trabajadores para la realización de su actividades; hasta el momento no han ocasionado daños con alto impacto para la industria y los trabajadores, pero el hecho que estén merodeando pueden presentar un peligro para los trabajadores y personal encargado (mordeduras, bacterias, malos olores, etc.).

El alcance del presente trabajo, permite recomendar que las pequeñas zonas que se encuentran libres en el “shelter” sean cerradas, pero para tener en cuenta la buena circulación del aire se puede cerrar con polisombras de muy pequeños intersticios, con lo cual evitará el paso de insectos, roedores y cuando corra mucho viento disminuirá el transporte de polvo. Respecto al cuidado con los compresores se había sugerido de forma inicial, para el moto-compresor secundario, una protección pequeña y sencilla (en forma de casa) para los dos compresores de pistón, pero analizando con mayor prospectiva este tipo de protección crea áreas de difícil acceso y más superficies para acumular suciedad, además obstruirá la lubricación, por lo tanto, la mayor recomendación es que los trabajadores siempre inspeccionen este equipo y con el trapo que deben cargar siempre desde el momento que apliquen las 5s, realizar la limpieza rutinaria; claro está que si alguien del equipo TPM tiene una idea innovadora para evitar la suciedad a este equipo debe aplicarla y evaluarla, porque el objetivo del TPM no

se debe desdibujar, y son los propios trabajadores lo que lo construyen. Se debe recomendar al área HSE y administrativa del campo, contratar con temporales que ejecuten periódicamente jornadas de fumigación de control de plagas.

5.2.3.2 Bombas Centrifugas y de Desplazamiento Positivo. A diferencia de las máquinas anteriores, estos equipos están localizados en su mayoría a la intemperie y unas pocas (las bombas para despacho de agua residual) se encuentran bajo techo. Las bombas están diseñadas generalmente para resistir ambientes agresivos, sin embargo, este tipo de ambientes acelera el deterioro de los equipos en un porcentaje considerable. En diálogo con el Líder de sección y el Líder de equipo, ellos ya habían pensado en jaulas a la medida de las diferentes bombas con tapas totalmente desarmables para su inspección, pero por manejos técnicos terminaron aconsejando a la empresa que se construyera un shelter parecido al que cubre los generadores y compresores (un poco más reducido en dimensiones), pero por asuntos económicos altos directivos manifestaron que era más práctico y barato dejar que falle la bomba y cambiarla. La mejor manera de mantener sus condiciones básicas, sin poder eliminar sus fuentes de contaminación (que mayormente es el medio ambiente) es realizar limpieza diaria, eliminando polvo, suciedad, telarañas, insectos e ir inspeccionando averías o anomalías.

5.2.3.3 Taller y bodega de materiales. Para el taller y bodega de materiales de mantenimiento, es de suma importancia mantener el orden, la limpieza y la organización, mejora continua con la metodología de las 5s. En esta área la directa fuente de contaminación son los trabajadores, ya que ellos son los que realizan trabajos de reparación, utilizan herramientas, repuestos y materiales y según como se está trabajando actualmente el sitio continuará con desorganización, mugre y suciedad, y los materiales y herramientas dispuestos aleatoriamente en el lugar. Otro foco de contaminación que se presenta en este lugar es que la puerta es totalmente con rejas, lo que ocasiona que se presente problemas con los insectos, el polvo transportado por el viento y los roedores merodeando en el lugar. Se sugiere la buena implementación de la metodología de las 5s, la vigilancia por parte del jefe de sección y el líder de equipo para que el equipo cumpla con la ejecución de las actividades enfocados con el TPM; la colocación de otro estante para la ubicación de los diferentes materiales o herramientas que se encuentran arrojados en el piso se hace necesario; la fumigación, la colocación de una polisombra a la puerta, contrarrestará las fuentes

de contaminación, de insectos, roedores y polvo. Con una prospectiva más gerencial, se debe realizar la gestión de adecuar el taller como una verdadera oficina y recinto para el almacenamiento de materiales, con su respectivo aire acondicionado, en una estructura prefabricada que brinde condiciones totalmente confortables para un taller de mantenimiento, que pueda afrontar cualquier inclemencia del clima y de sus alrededores.

5.2.4 Estandarización de las Actividades de Mantenimiento. En el desarrollo del pilar del mantenimiento autónomo dentro de un área, se hace necesario realizar la estandarización de los procedimientos y actividades que ya se han adelantado dentro del pilar; para el caso específico de CEDCo luego de que el equipo de mantenimiento logre ejecutar las 5s, manifieste su interés por realizar una limpieza a sus equipos y máquinas críticas como una manera de realizar inspección para reportar anomalías y averías, se hace necesario, luego de atacar de la mejor manera las fuentes de contaminación, hacerlos escribir y dibujar lo que han hecho. Al lograr que ellos escriban y dibujen los procedimientos y las actividades que los han llevado a alcanzar los objetivos trazados basados en el TPM, pueden obtener manuales provisionales de mantenimiento autónomo para limpieza, inspección y lubricación del equipo, esto estimulará su compromiso con el equipo, mejor desempeño en sus actividades y conciencia sobre el cuidado de sus equipos y máquinas.

Por lo anterior, se debe fomentar en los trabajadores, la cultura de llevar un cuaderno o un block de notas donde plasmen con frases y dibujos sus tareas desarrolladas para la mantenibilidad del equipo. Estas anotaciones pueden contener también lista de chequeo para los equipos, dibujos a mano alzada o técnicos y comentarios sobresalientes de la labor; de cada operario y técnico dependerá la estandarización del procedimiento, y será aprobada en conjunto por el líder de equipo, por el líder de sección y por los inspectores de TPM.

5.2.5 Capacitaciones en Técnicas de Inspección General. Continuando con la construcción del pilar del mantenimiento autónomo, para que CEDCo posea un mantenimiento con un equipo de trabajadores comprometido y motivado, se debe invertir tiempo y dinero en lograr que ellos obtengan conocimientos básicos sobre sus máquinas. El grupo de trabajo de este proyecto, sugiere que debido a que es un grupo pequeño el que pertenece al área de mantenimiento, se puede programar sesiones de clases con profesionales de la misma empresa para que

expliquen y muestren las máquinas y equipos con mayor profundidad a los operarios y estos a su vez logren poder realizar ciertas actividades básicas con mayor seguridad y teniendo confianza que están ejecutando sus actividades con el respaldo de conocimientos ya apropiados.

Para este tipo de capacitaciones se debe seguir una metodología modular, donde exista un módulo teórico, un módulo práctico y un módulo evaluativo. Todo conocimiento y práctica enseñada debe ser evaluada bajo altos rangos de exigencia. El valor agregado de tener técnicos y operarios conocedores de su máquina, no sólo en la parte exterior sino en ciertos aspectos más profundos de funcionamiento, logrará desacelerar el deterioro de la máquina y prolongar la vida útil de esta, además ellos nutrirán más los manuales de procedimientos para limpieza, lubricación y ajustes, pues con mayor conocimiento, el equipo TPM llegará a más lugares, a más elementos y identificará más anomalías en los sistemas y máquinas que tiene a su alrededor. Cuando se vaya a añadir nuevos conceptos a los manuales de mantenimiento autónomo, se debe verificar que no se repitan conceptos, y que no vayan en contravía con las funciones primordiales y las condiciones básicas ya establecidas. Luego de la modificación de los manuales, estos deben ser plenamente revisados y si se puede ser revisado por los profesionales de calidad e integridad de equipos, pues podrán ser de gran ayuda para actualización de listas de chequeo, programación de mantenimiento y gestión de activos.

5.2.6 Auto Gestión. Todos los procedimientos sugeridos hasta este momento, deben estar vigilados y monitoreados por el líder de sección, el líder de equipo y los inspectores TPM, pues la mejora continua no se alcanzará si no se tienen alertas, llamados de atención y control en la ejecución de las tareas. Con la disciplina de cada uno de los comprometidos con el mantenimiento autónomo, se alarga la vida útil de las máquinas, se logra trabajadores más comprometidos, con mayor conocimiento y concientizados de los equipos, que finalmente son la columna vertebral del negocio.

5.3 MANTENIMIENTO DE LA CALIDAD

Con el objetivo de hacer un trabajo más eficiente, normalizado y con un mejor estilo para el reporte de actividades en equipos y componentes, se propone una metodología de clasificación codificada y ordenada jerárquicamente, junto a

nuevos formatos para las hojas de vida de los equipos en campo, esta propuesta hará posible que todo el personal y áreas de la compañía hablen el mismo idioma al referirse a equipos y componentes; la codificación actualmente en CEDCo no existe de manera global o estandarizada, por lo tanto la clasificación de equipos está sujeta a números de inventario que son de conocimiento exclusivo de la áreas administrativas responsables de capitalizar activos y de los encargados de inventarios y bodegas; en cuanto a hojas de vida, los formatos actuales son muy breves, de diseño de forma inadecuada, los que se proponen a continuación tienen una mejor distribución y hacen más fácil su entendimiento. Queda a juicio del personal de campo su implementación, desde luego se recomienda estar al tanto de los cambios hechos en los diferentes equipos buscando siempre tener a la mano una información actualizada y precisa.

5.3.1 Propuesta de codificación. Pensando en un ambiente organizado donde se espera en un futuro implementar un entorno informatizado para el área de mantenimiento en CEDCo, la codificación de equipos y componentes es vital para una administración eficiente y responsable de todos los activos fijos representados en planta y equipos, la mayoría imprescindibles para la integridad de los procesos en campo.

La codificación es producto de una detallada y selectiva organización que dispone los activos de maquinaria y equipo relacionados o vinculados al área de mantenimiento, identificándolos según su función, al proceso al que pertenecen y a criterios de espacio; para llevar a cabo la codificación, se acude a la ubicación funcional de estos, la cual se entiende como la clasificación anteriormente mencionada. Todos los equipos de campo deben estar incluidos en ubicaciones funcionales así como sus componentes de partes y repuestos. La estructura de codificación propuesta para CEDCo en campo Tilodirán es bastante sencilla y corta, se puede observar en la Figura 49, donde a partir de la estructura de ubicación funcional se declaran niveles de clasificación.

La estructura de ubicación funcional se determina a partir de siete (7) niveles por regla general, para esta propuesta debido al tamaño y cantidad de los equipos de interés, se ha planteado implementar la codificación a partir de solo tres niveles, donde el primero identifica el campo donde se encuentra ubicado el equipo, el segundo exhibe las siglas que describen las máquinas, equipos o subequipos, por último el tercer nivel está representado por dígitos que constituyen una identificación numérica del equipo, dicho número lo diferenciará del resto de

equipos que correspondan al nivel 2 del cual se desprende; del nivel 2 se cuelgan o dependen todos los equipos y componentes. En la Tabla 15 se exponen las clasificaciones propuestas para cada nivel de acuerdo al ámbito de campos de operación, equipos y componentes que posee CEDCo.

Figura 47: Estructura de codificación propuesta para los equipos CEDCo.

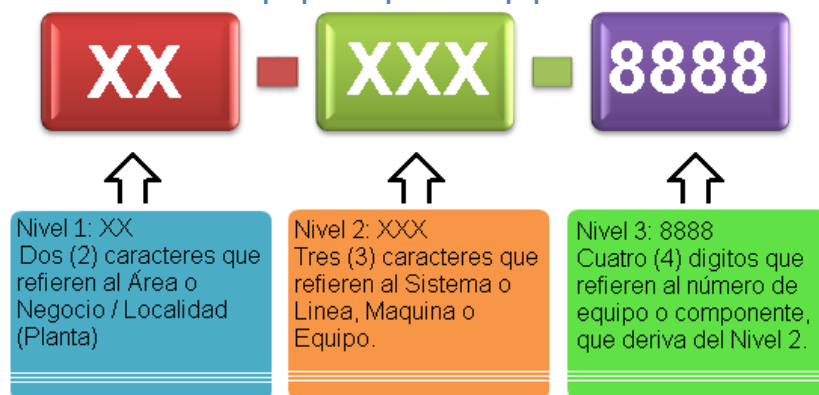


Tabla 15: Clasificación propuesta para los equipos CEDCo.

| NIVEL I: Área o Negocio / Localización (Planta) | | NIVEL II: Equipo, Conjunto o SubEquipo (sistema) | |
|---|-------------------------|---|----------------------------------|
| CODIGO | DESCRIPCIÓN | CODIGO | DESCRIPCIÓN |
| CT | CAMPO TILODIRÁN | GE | GENERADOR ELECTRICO |
| CP | CAMPO PALOBLANCO | BIQ | BOMBA DE INYECCIÓN QUIMICA |
| CV | CAMPO CANACAVARE | BR | BOMBA RECIPROCANTE |
| CB | CAMPO BORAL | BC | BOMBA CENTRIFUGA |
| CR | CAMPO RIO VERDE 2 | BDP | BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO |
| CC | CAMPO CATALINA | BN | BOMBA NEUMATICA |
| CZ | CAMPO TORCAZ | ME | MOTOR ELECTRICO |
| NIVEL III: Identificación numérica | | K | COMPRESOR |
| | | CA | CALDERA |
| 1000's | GENERADORES | SG | SISTEMAS DE GENERACION |
| 2000's | BOMBAS DEL HT-200 | SBS | SISTEMAS DE BOMBEO SUPERFICIALES |
| 3000's | BOMBAS SUPERFICIALES | SC | SISTEMAS COMPLEMENTARIOS |
| 6000's | BOMBAS DEL GUN-BARREL | TK | TANQUE |
| 7000's | EQUIPOS COMPLEMENTARIOS | IC | INTERCAMBIADOR DE CALOR |
| Ejemplo: CT-BDP-3041 | | El equipo # 3041, es una bomba de desplazamiento positivo del conjunto Bombas Superficiales, ubicada en el Campo Tilodirán. | |

La Tabla 15 ha sido planteada al criterio de los autores de este documento, para el tercer nivel se ha finiquitado que cuatro dígitos son suficientes para el tamaño de inventario que posee CEDCo actualmente, para evitar agregar un dígito más, se propone un orden jerárquico del cual se distinguirán equipos padres e hijos; recapitulando la codificación permite que cada equipo, conjunto o subequipo (sistema) tenga una identificación única en el inventario de toda la compañía, a esta identificación se le llamará código o tag de equipo.

5.3.2 Jerarquización. El objetivo de jerarquizar acude de la necesidad por identificar los activos que representen equipos, conjuntos o subequipos (sistemas) que asuman una mayor importancia en la operación, así mismo se procura que a estos activos les sea posible incluir o asociar muchos más equipos o componentes que se relacionen a su funcionalidad, para ello se designa un Equipo Padre del cual surgen otros activos más que serían sus equipos hijo, para que sea posible considerarlos como tal, estos deben tener relación directa a su Equipo Padre; un Equipo Hijo puede ser Padre cuando afín a su funcionalidad tiene otros equipos, partes o componentes que merecen un detalle o importancia ya sea por su costo, criticidad etc.; no se ha limitado el grado de equipos hijo que pueda tener un padre, este orden es criterio del personal que tiene la competencia de discernir la importancia de aquellos activos que deben ser incluidos en su inventario y listas jerarquizadas. Para Campo Tilodirán se han propuesto tan solo cinco Equipos Padre, desde luego es posible agregar muchos más debido a que todos los equipos hijos conciernen a activos importantes como bombas y generadores que tienen asociados muchos equipos menores, partes y componentes que deben ser considerados con cierto grado de detalle. En la Tabla 16 se muestra la lista jerarquizada de equipos a tener en cuenta, es evidente la distinción de equipos padre respecto a los hijos por el sombreado más oscuro.


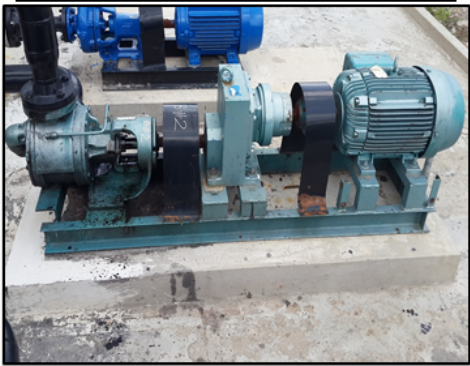

5.3.3 Diseño de nuevos formatos de Hojas de Vida. En base al formato de hoja de vida diseñado por el personal de campo se han trasladado todos los datos de estas a los nuevos formatos que se han propuesto en este documento, en la Figura 47 está el nuevo formato que tiene una mejor distribución espacial junto a un diseño de forma que resulta en una mayor comodidad para la visualización de la información. El formato posee una sección para los datos principales del equipo, otra para los datos secundarios, para los consumibles en sus intervenciones de mantenimiento tales como el tipo o referencia de lubricante, o-ring, bujes, sellos, retenedores, filtros etc., tiene además un campo para el registro de observaciones;

la información registrada en estos formatos por tener como fuente a los formatos actuales es necesario su revisión para contar con el aval de conformidad del personal de mantenimiento que vela por aseguramiento de la información allí consignada.

Tabla 16: Lista de equipos jerarquizados con sus respectivos Equipos Padre.

| ITEM | CODIGO (TAG) | DESCRIPCION DE EQUIPO |
|------|--------------------|---|
| 1 | CT-SG-1000 | SISTEMA DE GENERACION ELECTRICO DE CAMPO TILODIRAN |
| 2 | CT-GE-1001 | MOTOGENERADOR ELECTRICO PRIMARIO |
| 3 | CT-GE-1002 | MOTOGENERADOR ELECTRICO DE RESPALDO |
| 4 | CT-TK-HT200 | TANQUE DE LAVADO Y TRANSFERENCIA DE 200BBLs |
| 5 | CT-BDP-2011 | BOMBA DE TRANSFERENCIA HT-200 A TANQUES |
| 6 | CT-TK-GB600 | GUN-BARREL (TANQUE DE LAVADO) Y TRANSFERENCIA |
| 7 | CT-BDP-6001 | BOMBA #1 DE TRANSFERENCIA DE GB A TANQUES |
| 8 | CT-BDP-6002 | BOMBA #2 DE TRANSFERENCIA DE GB A TANQUES |
| 9 | CT-SBS-3000 | SISTEMA DE BOMBEO SUPERFICIAL |
| 10 | CT-BC-3101 | BOMBA #1 PARA EL DESPACHO DE A.R.I |
| 11 | CT-BC-3102 | BOMBA #2 PARA EL DESPACHO DE A.R.I |
| 12 | CT-BDP-3011 | BOMBA #1 DE DESPACHO DE CRUDO |
| 13 | CT-BDP-3012 | BOMBA #2 DE DESPACHO DE CRUDO |
| 14 | CT-BC-3113 | BOMBA #3 DE DESPACHO DE CRUDO |
| 15 | CT-BDP-3021 | BOMBA #1 DE TRANSFERENCIA ENTRE TANQUES |
| 16 | CT-BDP-3022 | BOMBA #2 DE TRANSFERENCIA ENTRE TANQUES |
| 17 | CT-BDP-3041 | BOMBA DE TRANSFERENCIA DEL SKIM-TANK |
| 18 | CT-SC-7000 | SISTEMAS COMPLEMENTARIOS |
| 19 | CT-CA-7101 | CALDERA A GAS |
| 20 | CT-K-7071 | MOTOCOMPRESOR PRINCIPAL DE AIRE UTILITARIO |
| 21 | CT-K-7072 | MOTOCOMPRESOR SECUNDARIO DE AIRE UTILITARIO |
| 22 | CT-BIQ-7212 | BOMBA DE INYECCION DE QUIMICO DEL CABEZAL DE TILO-2 |
| 23 | CT-BIQ-7213 | BOMBA DE INYECCION DE QUIMICO DEL CABEZAL DE TILO-3 |
| 24 | CT-BN-7990 | BOMBA NEUMATICA PARA EL TRASIEGO DE FLUIDOS |

Figura 48: Nuevo formato de Hoja de vida para Equipos CEDCo.

| | | | | | |
|---|---|---|--|----------------------|--|
|  | | CAMPO TILODIRAN CEDCo. | | CEDCO-HF-0614 | |
| FORMATO PARA REGISTRO Y TOMA DE DATOS DE EQUIPO | | Revisión: 0 | | 1/1 | |
| ESPECIALIDAD: EQUIPO ROTATIVO | | BOMBA PARA EL DESPACHO DE CRUDO | | | |
| ESTACION O PLANTA: SISTEMAS DE BOMBEO SUPERFICIAL | |  | | | |
| DESCRIPCION: BOMBA #2 PARA EL DESPACHO DE CRUDO | |  | | | |
| TAG EQUIPO: 01-SB-3000 | | | | | |
| CODIGO COMPONENTE: 01-BD-3012 | | | | | |
| FABRICANTE: WEG PUMP INC. | | | | | |
| MODELO: L54D44 | | | | | |
| NUMERO DE SERIE: 1205549 | | | | | |
| NUMERO DE INVENTARIO: 1000361 | | | | | |
| SERVICIO: BOMBA PARA EL DESPACHO DE CRUDO | | | | | |
| COLOCACIONES: BDP-3012 | | | | | |
| FECHA DE TOMA DE DATOS: 27 de abril de 2014 | | | | | |
| TOMADOS POR: PERSONAL DE MANTENIMIENTO TILODIRAN CEDCo. | | | | | |
| DATOS TÉCNICOS | | | | | |
| 1 | | | | | |
| 2 | NUMERO DE INVENTARIOS ACTIVOS FIJOS: 1000322 | | | | |
| 3 | MOTOR ELECTRIC : | | | | |
| 4 | FABRICANTE / MODELO: WEG / LR50962 | | | | |
| 5 | VOLTAJE DE ENTRADA: 208 - 230 - 460 VOLTIOS | | | | |
| 6 | CORRIENTE: 41,6 - 37,6 - 18,8 AMPERIOS | | | | |
| 7 | FRECUENCIA: 60 Hz | | | | |
| 8 | VELOCIDAD DE GIRO: 1755 rpm | | | | |
| 9 | POTENCIA: 15 HP | | | | |
| 10 | AISLAMIENTO: CLASE B | | | | |
| 11 | FACTOR DE SERVICIO: 1,15 | | | | |
| 12 | | | | | |
| 13 | | | | | |
| 14 | | | | | |
| 15 | | | | | |
| 16 | | | | | |
| 17 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 19 | | | | | |
| CONSUMIBLES | | | | | |
| 1 | RODAMIENTO DELANTERO: 6303-C3 | | | | |
| 2 | RODAMIENTO TRASERO: 6203-Z-C3 | | | | |
| 3 | ACOPLE REX-OMEGA M-R: # 10 | | | | |
| 4 | ACOPLE REX-OMEGA R-B: # 30 | | | | |
| 5 | | | | | |
| REMARKS | | | | | |
| 1 | LOS DATOS TÉCNICOS CONSIGNADOS EN LA INFORMACION PRIMARIA (SUPERIOR) CORRESPONDEN A LA BOMBA. | | | | |
| 2 | BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO. | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |

El formato actual visto en la Figura 48 esta *implementado* hace un par de meses pero es poco el uso que le da el personal de mantenimiento, tiene un par de columnas dedicadas para el registro de actividades, así mismo una pestaña que permite crear y planear actividades en un cronograma anual; como se mencionó es un recurso que es inutilizado y no posee información de primera mano debido a su desactualización. El diseño de forma no es el conveniente porque tiene sus campos mal distribuidos y no se permite una visualización en una pantalla, además la fotografía no tiene el ángulo apropiado para que el usuario se haga una correcta ubicación espacial dentro del campo.

Figura 49: Formato actual usado por el personal CEDCo como hojas de vida.



COLOMBIA ENERGY DEVELOPMENT.CO.

HOJA DE VIDA DE EQUIPOS

| | | | |
|---------------------------------|--------------------|--|------------------|
| NOMBRE DEL EQUIPO | | BOMBA #2 CARGUE CRUDO | |
| MODELO | LS4124 A | SERIE | 12085980 |
| POTENCIA | | INVENTARIO ACTIVOS | 1000361 |
| UBICACIÓN DEL EQUIPO | | CAMPO TILODIRÁN 2 | |
| ÁREA | | | |
| DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO | | BOMBEO DE FLUIDO DE TANQUES A VEICULO DE TRASPORTE | |
| GENERALIDADES | | | |
| PROPIETARIO | HARKEN DE COLOMBIA | | |
| FECHA DE INSTALACION | | | |
| CARACTERISTICAS MOTOR | | | |
| MOTOR MARCA | WEG | MODELO | LR50962 |
| FABRICANTE | | PAIS | |
| INVENTARIO | 1000322 | VELOCIDAD | 1755 RPM |
| POTENCIA | 15 HP | VOLTAJE | 208-230-460 V |
| FACTOR DE SERVICIO | 1,15 | AMPERAJE | 41,6-37,6-18,8 A |
| FRAME | 254T | AISLAMIENTO | CLASE B |
| PROTECCION | IP55 | FRECUENCIA | 60 HZ |
| TEMPERATURA AMB | 40 °C | RODAMIENTO | 6309-C3 |
| RODAMIENTO TRASER | 6209-2-C3 | ACOPLE RES-OMEGA | # 10 |
| ACOPLE RES-OMEGA | # 30 | | |
| CARACTERISTICAS CABEZOTE | | | |
| MARCA | | MODELO | |
| FABRICANTE | | PAIS | |
| INVENTARIO ACTIVOS | | VELOCIDAD | |
| FILTRO DE AIRE | | | |
| ACOPLE | | REF POLEAS | |
| OBSERVACIONES | | FECHA INSTALACION | |



Fuente: CEDCo.

5.3.4 Diseño de formato para Rutinas de lubricación. El formato propuesta en la Figura 50 corresponde a la ruta diseñada para los equipos de interés en campo Tilodirán, se tiene en cuenta campos como la descripción de la actividad de lubricación a realizar, la referencia del lubricante o grasa, la cantidad puede ser en una unidad métrica o coloquial que sea entendible por todo el personal, la cantidad de puntos a lubricar, la frecuencia de la actividad y por último se especifica la parte a lubricar.

Figura 50: Ruta de Lubricación de Generadores y Bombas.

| Colombia Energy Development Co. | | RUTA DE LUBRICACION EQUIPOS DE GENERACION Y BOMBEO FACILIDADES DE PRODUCCION DEL CAMPO TILODIRAN CEDCo. | | | | | | |
|------------------------------------|-------------|--|--|------------|-------|--------|------------|------------|
| ITEM | TAG-EQUIPO | DESCRIPCION DE EQUIPO | ACTIVIDAD | LUBRICANTE | CANT. | PUNTOS | FRECUENCIA | PARTE |
| 1 | CT-SG-1000 | SISTEMA DE GENERACION ELECTRICO DE | | | | | | |
| 2 | CT-GE-1001 | MOTOGENERADOR ELECTRICO PRIMARIO | | | | | | |
| 3 | CT-GE-1002 | MOTOGENERADOR ELECTRICO DE RESPALDO | | | | | | |
| 4 | CT-TK-HT200 | TANQUE DE LAVADO Y TRANSFERENCIA DE | | | | | | |
| 5 | CT-BDP-2011 | BOMBA DE TRANSFERENCIA HT-200 A | Aplicar grasa a rodamiento externo e interno | Polirex M | | 2 | | Rodamentos |
| 6 | CT-TK-GB600 | GUN-BARREL (TANQUE DE LAVADO) Y | | | | | | |
| 7 | CT-BDP-6001 | BOMBA #1 DE TRANSFERENCIA DE GB A | | | | | | |
| 8 | CT-BDP-6002 | BOMBA #2 DE TRANSFERENCIA DE GB A | | | | | | |
| 9 | CT-SBS-3000 | SISTEMA DE BOMBEO SUPERFICIAL | | | | | | |
| 10 | CT-BC-3101 | BOMBA #1 PARA EL DESPACHO DE A.R.I | | | | | | |
| 11 | CT-BC-3102 | BOMBA #2 PARA EL DESPACHO DE A.R.I | | | | | | |
| 12 | CT-BDP-3011 | BOMBA #1 DE DESPACHO DE CRUDO | | | | | | |
| 13 | CT-BDP-3012 | BOMBA #2 DE DESPACHO DE CRUDO | | | | | | |
| 14 | CT-BC-3113 | BOMBA #3 DE DESPACHO DE CRUDO | | | | | | |
| 15 | CT-BDP-3021 | BOMBA #1 DE TRANSFERENCIA ENTRE | | | | | | |
| 16 | CT-BDP-3022 | BOMBA #2 DE TRANSFERENCIA ENTRE | | | | | | |
| 17 | CT-BDP-3041 | BOMBA DE TRANSFERENCIA DEL SKIM-TANK | | | | | | |
| 18 | CT-SC-7000 | SISTEMAS | | | | | | |
| 20 | CT-K-7071 | MOTOCOMPRESOR PRINCIPAL DE AIRE | | | | | | |
| 21 | CT-K-7072 | MOTOCOMPRESOR SECUNDARIO DE AIRE | | | | | | |
| 22 | CT-BIQ-7212 | BOMBA DE INYECCION DE QUIMICO DEL | | | | | | |
| 23 | CT-BIQ-7213 | BOMBA DE INYECCION DE QUIMICO DEL | | | | | | |

5.4 MANTENIMIENTO PLANEADO

A este nivel se tiene claro que para poder desarrollar labores previamente programadas es necesario tener definidas las tareas en el alcance de cada persona, dentro de las labores de mantenimiento en campo, ya sea como operador o como técnico de mantenimiento, de esta forma la balanza de esfuerzo estará en posición horizontal donde de manera conjunta el personal trabaja en beneficio de la disponibilidad de los equipos sin llegar a sobreesfuerzos laborales.

5.4.1 Declaración de inventario para los equipos de interés. En la Tabla 17 se enumeran los equipos para la propuesta en Campo Tilodirán, correspondiendo con el título del presente documento, el objetivo se focaliza a los equipos que tienen relación con el sistema de generación eléctrica de campo y los que pertenecen a los sistemas de bombeo superficial dentro del mismo, desde luego se han considerado otros importantes como los sistemas de compresión de aire, la caldera a gas así como un par de bombas de inyección de químico que han sido excluidas de toda labor de mantenimiento por el propio personal CEDCo al considerarlas desechables.

Tabla 17: Descripción el inventario de equipos en el Campo Tilodirán.

| ITEM | DESCRIPCION DE EQUIPO |
|------|---|
| 1 | MOTOGENERADOR ELECTRICO PRIMARIO (DIESEL) |
| 2 | MOTOGENERADOR ELECTRICO DE RESPALDO (GAS) |
| 3 | BOMBA DE TRANSFERENCIA HT-200 A TANQUES |
| 4 | BOMBA #1 DE TRANSFERENCIA DE GunBarrel A TANQUES |
| 5 | BOMBA #2 DE TRANSFERENCIA DE GunBarrel A TANQUES |
| 6 | BOMBA #1 PARA EL DESPACHO DE A.R.I |
| 7 | BOMBA #2 PARA EL DESPACHO DE A.R.I |
| 8 | BOMBA #1 PARA DESPACHO DE CRUDO |
| 9 | BOMBA #2 PARA DESPACHO DE CRUDO |
| 10 | BOMBA #3 PARA DESPACHO DE CRUDO |
| 11 | BOMBA #1 DE TRANFERENCIA ENTRE TANQUES |
| 12 | BOMBA #2 DE TRANFERENCIA ENTRE TANQUES |
| 13 | BOMBA DE TRANSFERENCIA DEL SKIM-TANK |
| 14 | CALDERA A GAS |
| 15 | MOTOCOMPRESOR PRINCIPAL DE AIRE UTILITARIO |
| 16 | MOTOCOMPRESOR SECUNDARIO DE AIRE UTILITARIO |
| 17 | BOMBA DE INYECCION DE QUIMICO DEL CABEZAL DE TILO-2 |
| 18 | BOMBA DE INYECCION DE QUIMICO DEL CABEZAL DE TILO-3 |

Resumiendo la Tabla 17, la cantidad de equipos a tener en cuenta en el proceso de Campo Tilodirán es muy pequeña; si se parte del hecho de que en campo Tilodirán no se han puesto en práctica métodos o acuerdos básicos de conocimiento general en materia de clasificación de inventario o equipos, se considera relevante que todo el personal involucrado en campo tenga presente el tipo y las cantidades de unidades que posean, tanto de equipos instalados como de respaldo y de reposición; actualmente el seguimiento y control de estos es exclusivo del personal de materiales y bodegas.

5.4.2 Análisis de Criticidad. Para este subcapítulo se ha definido como criticidad al indicador de riesgo que permite establecer un rango o prioridad en los equipos, de este modo se propone una categorización que permite la toma de decisiones de manera más acertada y eficiente logrando un mejor direccionamiento del esfuerzo colectivo del personal de mantenimiento y operador hacia las áreas donde sea más importante mejorar la confiabilidad de los equipos que intervienen en el proceso; con esto se busca romper uno de los paradigmas

más divulgados en la industria que considera que a los equipos críticos se les debe realizar mayor mantenimiento comparado a los demás; se subraya que no existen fallas o averías que no generen consecuencias, todas ellas tienen un impacto negativo en el equipo o sistema en el que se presentan, este ha sido otro paradigma en el personal de CEDCo, en donde esporádicamente se menosprecian averías, incluso se pasan por alto modos de falla que pudieran atestiguar futuras fallas funcionales ocasionando sobrecostos por mantenimiento correctivo.

Para el análisis de criticidad en los equipos CEDCo se recurre a la observación del riesgo que contempla un ponderado entre la frecuencia de fallos y las consecuencias de estos, es decir el análisis de riesgos y efectos precede al cálculo de criticidad en los equipos, para lograrlo será necesario categorizar las frecuencias, los impactos en personas, en el medio ambiente, en la producción, en las instalaciones y en los costos de mantenimiento; a las frecuencias y a los impactos se les asigna un valor entero, el cual es proporcional a su rango de importancia, estos valores se ponderan y se calcula la calificación que será consignada en una matriz de criticidad donde se aprecia de manera gráfica para su entendimiento y discusión.

En CEDCo el histórico de fallas es información difícil de obtener, debido a que el personal de campo carece de datos actualizados a consecuencia de tener tablas en hojas de cálculo que no son refrescadas luego de realizar tareas o labores de mantenimiento; el uso de bases de datos y de compartir información a nivel de toda la compañía aún no es posible, por lo que la información de cada campo es encontrada solo en dicho campo, si se necesitan datos más certeros y actualizados, se deben solicitar los cuadernos de anotaciones antes que a las mencionadas hojas de cálculos, los reportes de mantenimiento algunas veces y por disposición ambiental no son impresos, estos se redactan en el cuerpo de mensajes de correo electrónico con destino a los departamentos administrativos, los autores de este documento se han basado en datos dispersos y empíricos que el personal mantenedor ha compartido sobre las frecuencias de fallos en los diferentes equipos.

Para estimar la frecuencia se propone una tabla donde se tiene en cuenta el tiempo medio entre fallas (MTBF) y se le asigna un valor de categoría entre 1 y 4 de acuerdo a su tiempo de ocurrencia, para este caso se determina por el número de eventos por año. Es claro que un equipo con falla funcional puede tener más de un modo de falla, el más determinante será aquel con mayor incidencia en el

proceso. En la Tabla 18 se estima la categorización por frecuencia de falla, (λ) es el número de fallas por año, es decir el inverso de MTBF que sería el indicador de número de años entre fallas.

Tabla 18: Categorización por frecuencia de fallos.

| Categoría | MTBF (Años) | # Fallas Anuales (λ) | Interpretación |
|-----------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 4 | MTBF > 0.5 | $\lambda > 2$ | Más de 2 fallas por año |
| 3 | $0.5 \leq \text{MTBF} \leq 1$ | $1 \leq \lambda \leq 2$ | Entre 1 y 2 fallas por año |
| 2 | $1 \leq \text{MTBF} < 2$ | $0.5 \leq \lambda < 1$ | Falla entre 1 y 2 veces cada 2 años |
| 1 | MTBF > 2 | $\lambda < 0.5$ | Falla menos de 1 vez cada 2 años. |

Para la estimación de impactos de falla se ha empleado el siguiente criterio con sus respectivos rangos, en la Tabla 19 se establece el formato de categorización de impactos.

Tabla 19: Categorización de impactos o consecuencias de fallos.

| Categoría | Personas | Medio Ambiente | Costos de Mantenimiento | Pérdida de Producción | Daños a Instalaciones |
|-----------|--|---|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 4 | Muerte o incapacidad total, heridas graves o enfermedades en varios miembros de la compañía. | Daños irreversibles, afectación a un cuerpo de agua, se violan leyes ambientales. | Mayor a 20 Millones de pesos | Mayor a 90 Millones de pesos | Mayor a 50 Millones de pesos |
| 3 | Incapacidad parcial, heridas o enfermedades en varios miembros de la compañía. | Daños considerables, afectación a un cuerpo de agua. | De 5 a 19 Millones de pesos | De 30 a 89 Millones de pesos | De 10 a 49 Millones de Pesos |
| 2 | Heridas menores en un miembro de la compañía. | Daños recuperables sin afectación a ningún cuerpo de agua. | De 500mil a 4.9 Millones de pesos | De 5 a 29 Millones de pesos | De 1 a 9 Millones de Pesos |
| 1 | Lesiones mínimas con asistencia de primeros auxilios básicos. | Pequeños derrames contenidos por el personal de la compañía. | Menor a 500mil pesos | Menor a 5 Millones de Pesos | Menor a 1 Millón de Pesos |

Con la estructura ya definida para la categorización de frecuencias y de impactos o consecuencias por fallos, se procede a calcular la criticidad con los valores ponderados obtenidos de la categorización en las tablas ya mencionadas.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

La matriz de criticidad donde se han de marcar los valores calculados anteriormente, se muestra en la Figura 51. El tamaño es proporcional al máximo de categorización, para este caso fue de 4, su mayor calificación posible será su cubo, es decir 64.

Figura 51: Matriz de criticidad propuesta para los equipos CEDCo.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Frecuencia | 4 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 | 44 | 48 | 52 | 56 | 60 | 64 |
| | 3 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 48 |
| | 2 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 |
| | 1 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | | Consecuencia o Impacto | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|------------------|--------------|-------------------------------------|
| Criticidad Alta | (A) ROJO | $27 \leq \text{Criticidad} \leq 64$ |
| Criticidad Media | (M) AMARILLO | $17 \leq \text{Criticidad} \leq 26$ |
| Criticidad Baja | (B) VERDE | $4 \leq \text{Criticidad} \leq 16$ |

A partir de la fuente de datos en campo, se procedió a dar los valores para calcular la criticidad de los equipos de interés en campo Tilodirán, los resultados se observan en la Tabla 20, donde se evidencia que los generadores eléctricos son los de mayor criticidad, adicional a un par par de bombas superficiales de calificación media, sin embargo el único generador de criticidad alta es el secundario a gas, el cual ha presentado más de dos fallas en el último año, actualmente dicho generador esta fuera de servicio, por lo tanto el generador primario esta en solitario respondiendo por la alimentación eléctrica de campo, es decir en cuanto a flexibilidad operacional, el generador primario también tendría una criticidad alta por no tener equipo de respaldo, sin embargo dicho impacto no fue tenido en cuenta para este análisis, de allí que su calificación fue media. Lo anterior acarrea toda la atención por parte del equipo de mantenimiento sobre los

mencionados activos, los autores de este documento proponen la necesidad de romper este paradigma que asigna más recursos de mantenimiento en los equipos críticos, no siendo lo más adecuado, debido a sobrecostos y a la necesidad de implementar un mantenimiento sin previa planeación, sin lugar a dudas es algo que se quiere evitar con la implementación del pilar de mantenimiento planeado donde los dueños de los cronogramas, en tiempo y disposición de ejecutar mantenimiento son las personas y no a necesidad de los equipos en la operación.

Tabla 20: Resultado de análisis de criticidad de los equipos considerados.

| ITEM | TAG-EQUIPO | FRECUENCIA | CONSECUENCIA/IMPACTO | | | | | CRITICIDAD | |
|------|-------------|------------|----------------------|---|---|---|---|------------|---|
| 2 | CT-GE-1001 | 2 | 2 | 1 | 2 | 4 | 1 | 20 | M |
| 3 | CT-GE-1002 | 4 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 32 | A |
| 5 | CT-BDP-2011 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 12 | B |
| 7 | CT-BDP-6001 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 18 | M |
| 8 | CT-BDP-6002 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 12 | B |
| 10 | CT-BC-3101 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 18 | M |
| 11 | CT-BC-3102 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 18 | M |
| 12 | CT-BDP-3011 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 12 | B |
| 13 | CT-BDP-3012 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 12 | B |
| 14 | CT-BC-3113 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 7 | B |
| 15 | CT-BDP-3021 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 12 | B |
| 16 | CT-BDP-3022 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 | B |
| 17 | CT-BDP-3041 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 21 | M |
| 19 | CT-CA-7101 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 21 | M |
| 20 | CT-K-7071 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 10 | B |
| 21 | CT-K-7072 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 | B |
| 22 | CT-BIQ-7212 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | B |
| 23 | CT-BIQ-7213 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | B |
| 24 | CT-BN-7990 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | B |

5.4.3 Clasificación de averías en los equipos principales. Es primordial tener claro a qué tipo de avería se está enfrentado el personal de mantenimiento quien tiene la responsabilidad en primera línea de reintegrar las condiciones básicas de funcionamiento en los equipos cuando ocurra alguna avería; hay averías menos graves que otras, cuando no se hace una intervención eficiente frente a una avería leve, esta se puede convertir en grave por el despilfarro de tiempo que en la mayoría de los casos resulta por ignorar o desconocer modos y causas de falla, para que este tipo de labores sea efectiva se requiere buena y acorde

capacitación del personal de mantenimiento; para la clasificación de averías en los equipos principales, se propone regirse por el análisis de criticidad de los mismos en donde vale la pena hacer una clasificación de las averías más comunes de aquellos activos especiales, es decir se tienen en cuenta las averías de los equipos más críticos; una tabla de calificación de las averías es importante tenerla a mano, y si fuese mejor exponerla en un tablero de conocimiento general para el grupo de mantenimiento y operador.

Figura 52: Diagrama de clasificación de averías para los equipos principales.



5.4.4 Consejos para cero fallos. Perpetuando el objetivo del pilar de mantenimiento planeado en maximizar la producción, mejorar la confiabilidad de los equipos minimizando los recursos, las perdidas y averías asociadas a los equipos en su funcionamiento normal, a continuación se mencionan cinco consejos para estar lejos de los fallos.

Primer consejo: Restablecer las condiciones básicas de funcionamiento: Hay que tener claro que sin tener esta característica o estar fuera del intervalo en donde se considere optimo las condiciones de trabajo normal de un equipo, se está incurriendo en un riesgo muy grande elevando las probabilidades de sufrir un indeseado deterioro forzado; recordando que es el deterioro que se evita con labores de mantenimiento, siempre se busca el envejecimiento normal o el desgaste de diseño el cual permite a un equipo trabajar a lo largo de su vida útil. Para llevar a cabo la puesta en práctica de este consejo es necesario que los

operarios reconozcan las anomalías de sus equipos, poner en práctica las rutinas de limpieza, lubricación y ajuste que son tan importantes de base principal para el mantenimiento autónomo; es fiel argumento para dar por concluido que la planificación de actividades de mantenimiento es puesta por el personal no por los equipos. Para el campo Tilodirán, el análisis de criticidad dio como resultado que los generadores eléctricos y un par de bombas superficiales son los únicos equipos de criticidad apreciable, es importante que la compañía cuanto antes, contrate capacitaciones y entrenamientos dirigidos a esos activos, específicamente a esas marcas, con esto se busca que en el intercambio de conceptos entre técnicos y operarios halla un mejor entendimiento logrando que cuando la situación amerite ir al punto de avería sin tener contratiempos de interpretación por parte de operador y técnico. Tomando como ejemplo el generador Caterpillar 3406, tiene tareas que son correctivas tales como el reemplazo de la batería pero otras deben estar incluidas en el recorrido diario del operador y en cada inspección del técnico, por citar drenar y verificar el tanque de agua/refrigerante o radiador previniendo la acumulación sólidos y por supuesto el nivel de lubricante.

Segundo consejo: Cumplir las condiciones de uso: El conocimiento de los manuales de operación es muy importante para seguir este consejo, no es adecuado pensar en adquirir un equipo capaz de bombear 3000 barriles cuando la producción es de apenas 750; en CEDCo aún hay desconocimiento por parte de operarios y técnicos sobre el significado de factor de servicio y factor de potencia, es solo un ejemplo para el caso de un motor eléctrico o un generador; parámetros importantes en cuando a potencia y carga eléctrica; para CEDCo se recomienda que todo el personal operador para su enriquecimiento en el pilar de mantenimiento planeado y autónomo, se relacionen de manera más detallada sobre las características de diseño de los equipos que manejan; se debe programar capacitación en aseguramiento técnico al personal de mantenimiento y que este a su vez lo comparta con el personal operador. Por concluir con este consejo se busca que los equipos trabajen en sus rangos de servicio y no sobrecargados llevando a recalentamientos y sobreesfuerzos ocasionando deterioros de manera forzada en sus partes.

Tercer Consejo: Restauración del deterioro. El recurso más importante en cualquier empresa sin lugar a dudas deberían ser sus empleados, aquel capital invaluable con sentimientos y motivaciones que hacen posible la rentabilidad en los procesos productivos de las industrias; por esta y otras razones se recomienda elevar la condiciones de importancia que la empresa muestre por sus empleados,

con talleres éticos y de pertenencia en busca de la identificación y el sentido de conservación para con la compañía sea creado y así tener personas que les guste y quieran a su empleador; en resumen para CEDCo se le recomienda apostarle por la primera llave que hace posible seguir este consejo y tiene que ver con la concientización, la educación y el entrenamiento de todo el personal de campo en temas relacionados al mantenimiento, así el generador o la bomba que esta en servicio y bajo su responsabilidad son de su empoderamiento y se siente como propia, dejar de lado paradigmas respecto a que la calidad de un equipo sea inversamente a la cantidad de esfuerzo en mantenimiento que se le practique; reconocer el deterioro como algo previsible pero que así mismo se puede restaurar una condición.

Cuarto consejo: Mejorar los puntos débiles del equipo. En este consejo se supone que un operario o técnico es capaz de comprender la función y estructura de sus equipos, sin llegar a términos poco necesarios de parámetros físicos y teoría innecesaria; el personal debe entender la diferencia entre una condición normal y una que no lo es; se debe estar muy enterado de la fidelidad del equipo y la integridad de su funcionamiento.

Quinto Consejo: Aumento de la capacidad técnica. En los anteriores cuatro consejos se ha mencionado su importancia para el personal en sus competencias como responsables de la integridad de los equipos; este documento tiene un espacio dedicado a sugerencias y propuestas en capacitación y entrenamiento, el cual vale la pena tener en cuenta, importante para cambiar en CEDCo donde la capacitación es limitada a destrezas en HSEQ y de lado se han dejado aquellas que generan mayor valor en los perfiles de los empleados como son sus habilidades técnicas en resolución y prevención de fallos.

5.4.5 Formulación de procedimiento para el generador. El grupo de técnicos que realizan sus labores en campo Tilodirán trabajan juntos desde hace más de cuatro años, por lo tanto CEDCo posee un personal muy familiarizado entre sí, donde cada uno ha de tener claro sus fortalezas y sus falencias, del mismo modo los cargos superiores conocen el desempeño del personal de mantenimiento.

El generador Caterpillar 3406, según el análisis de criticidad tiene una calificación media, pero si se tiene en cuenta la flexibilidad operación que actualmente se presente en el campo, su criticidad se eleva a nivel alto por no contar con respaldo.

El personal de mantenimiento CEDCo ejecuta una intervención cada 250, 2000, 15000 y 25000 horas; por catálogo el fabricante en este caso Caterpillar recomienda intervenciones e inspecciones, de periodicidad diaria, semanal y cada 1000 horas, sin embargo las intervenciones sugeridas son especificadas con mejor detalle no por el tiempo de servicio si no por el consumo de combustible, el paralelo respecto a una intervención de 250 horas corresponde a 2500 galones de DIESEL consumido, el servicio de 3000 horas por 30mil galones, el de 5000 horas por 50mil galones, 6000 horas por 60mil galones; para CEDCo, este generador debe ir a overhaul a las 25mil horas de servicio, en las recomendaciones del fabricante someten a consideración de overhaul a los 100mil galones de diésel consumido o las 10mil horas de servicio, es decir que CEDCo está dando el 250% de trabajo extra para contemplar una inspección para ejecutar un overhaul; se aclara que este tipo de mantenimiento a profundidad que involucra cambio de partes, rectificaciones y reparaciones generales es contratado por un tercero que es el encargado de retirar el equipo de campo y reintegrarlo puesto en marcha con los reportes de mantenimiento.

Procedimiento para la realización de mantenimiento preventivo al generador Caterpillar 3406, el formato con el presente procedimiento se encuentra en los anexos de soporte digital en formato Excel.

Objetivo: Garantizar la disponibilidad y confiabilidad del generador primario.

Alcance: Este procedimiento describe de manera breve la secuencia lógica y segura para la realización de un mantenimiento preventivo al generador 3406.

Responsables:

TM: Técnico de mantenimiento: Ejecuta en sitio la tarea en forma segura y responsable, siguiendo todos los procedimientos establecidos, advirtiendo de los riesgos relacionados.

OC: Es el dueño de área, es la persona encargada de realizar el aislamiento necesario para que el TM ejecute su labor, sin embargo esta actividad es en junto a este; el OC tiene la última palabra para proceder la actividad.

SC: Es quien autoriza los recursos para que la actividad se realice, y deja bajo responsabilidad al OC del aseguramiento el área.

Herramientas y equipos:

Llaves mixtas de 7/16", 1/2", 9/16", 11/16", 3/4", 7/8", 15/16", 1"1/16, 1"1/8, 1"1/4.

Copas cte 1/2" de 7/16", 1/2", 9/16", 11/16", 3/4", 7/8", 15/16", 1"1/16, 1"1/8, 1"1/4.

1 Rache con cuadrante de 1/2", 1 Llave para tubo, 1 Llave expansiva.
1 Llave de correa para filtros, 1 garrafa de 5 galones vacía
1 Boquilla para sopletear, 1 Kit para control de derrames, 1 Embudo
1 balde para drenar, 1 Chesterton 803D, 2 Guantes de nitrilo, 2 Pate cabras

Consumibles:

1 Filtro de Aire, 1 Filtro de Aceite, 1 Filtro de combustible, Lubricante 15W40.

Precauciones de seguridad.

Diligenciar el formato ATS correspondiente, ver ATS propuesto en este documento en el pilar correspondiente, importante socializar la tarea ante todo el personal de campo, en espera de dar cumplimiento a todas las medidas de control que se planteen para sobrellevar los riesgos. Vital que el personal involucrado sepa la diferencia entre riesgo, peligro y consecuencia, así mismo este convencido que las medidas de control son suficientes y necesarias para realizar la actividad.

Actividades de preámbulo:

Abrir un permiso de trabajo, en CEDCo la recomendación llama a diligenciar un permiso a un miembro de la compañía cuando este realice una actividad especial o fuera de la rutina, por lo tanto para la realización del mantenimiento preventivo es necesario cumplir con este requisito. El OC debe realizar el aislamiento necesario tanto eléctrico como de combustible, el TM debe verificar estas medidas que el OC ha realizado. Socializar actividad con una lección aprendida junto a la charla de seguridad.

Procedimiento:

Retirar filtro de aire, limpiar el alojamiento de este y hacer cambio si se requiere.
Verificar nivel de agua del radiador, se aconseja tomar una muestra de esta y analizarse en laboratorio si es posible.

Limpieza de radiador.

El agua que se utiliza para el radiador en campo Tilodirán proviene de fuentes subterráneas en la misma área del campo, por análisis detallados y conocimiento de la comunidad, las aguas subterráneas de esta zona son muy ricas en minerales, metales y bacterias del hierro, por lo que el uso de este tipo de agua es perjudicial para los componentes metálicos del radiador, se recomienda el uso de agua filtrada; por este motivo se recomienda lavar el radiador en cada intervención. Aplicar una mezcla de agua/Chesterton a presión con hidrolavadora posterior hacer enjuague con solo agua.

Cambio de lubricante de motor:

Abrir válvula del cárter para que el aceite se vacíe por la manguera dispuesta para ello, los derrames por más pequeños que sean siguen siendo derrames, por lo tanto para una labor tan sencilla si se toman todas las precauciones no deben haber salpicaduras de aceite. Abrir la tapa lateral del cárter y llenar hasta la medida idónea con lubricante nuevo de referencia 15W40.

Cambio de Filtro de aceite:

Drenar el alojamiento del filtro para evitar derrames innecesarios. Retirar el filtro, limpiar el alojamiento e ingresar nuevo filtro. Ajustar pernos y tapa.

Cambio de filtro de combustible:

Desmontar el filtro de combustible utilizando una llave de correa, retirar el elemento filtrante, instalar nuevo filtro.

Estado de Correas.

Inspeccionar estado de correas y tensión, de ser necesario reemplace y verifique tensión, la correa que se reemplaza debe ser examinada en detalle en busca de alguna fuente de que pueda estar ocasionando el deterioro si este es anormal.

Actividades finales:

Coordinar con OC para retirar los aislamientos, verificar fugas en el sistema. Tomar datos operacionales del equipo, retirar herramientas y limpieza final. Realizar reportes de la intervención y dar arranque al equipo.

5.5 CAPACITACION, EDUCACIÓN Y ENTRENAMIENTO.

El presupuesto que CEDCo asigna anualmente para la capacitación y entrenamiento del personal de campo es exclusivo a temas relacionados al área HSE, esto acontece como fin de dar cumplimiento al marco legal que rige las labores en campo petroleros y las habilidades mínimas certificadas que debe tener el personal que ejecuta dichas labores; en cuanto a temas que conciernen a estrategias o actividades técnicas de competencias en operaciones de facilidades y mantenimiento, el rubro para este tipo de actividades es nulo e inexistente, hace un par de años se contrató una capacitación en metrología básica en tanques almacenadores de crudo, desde aquella época no se programan alicientes parecidos, pero sí de seminarios o cursos exclusivos para habilidades de

mantenimiento se trata, en CEDCo no existe dicha cultura de extender la competencia y eficiencia en sus trabajadores con capacitación y entrenamiento; por todo esto y en el transcurso del desarrollo de este documento se ha hecho hincapié respecto a la importancia de invertir en la gente, en el principal activo que posee una organización, el recurso humano. Para CEDCo se han propuesto dos capacitaciones para motivar e incrementar las competencias de los trabajadores involucrados en tareas propias de mantenimiento, especialmente a los operarios, técnicos y sus auxiliares.

Elite Training es una empresa nacional con amplia experiencia en entrenamiento y formación de personal para la industria petrolera, en desarrollar cursos y programas especializados que mejoren las destrezas de los operarios y todo el personal involucrado; CEDCo ya tiene experiencia contratando sus servicios de capacitación. En esta ocasión se propone un Diplomado en operación de facilidades de producción, este curso es ideal para todo el personal de producción.

Objetivo del curso. Actualizar a los participantes en todo lo relativo a conceptos básicos para la operación de equipos en las facilidades de superficie que abarquen los diferentes sistemas elementales como de tratamiento, almacenamiento, medición y despacho de hidrocarburos (crudo y gas), mejorando las habilidades, actitudes y aptitudes del personal mediante la concientización y el uso adecuado de los equipos de producción y las variables que intervienen en el diseño para la construcción de una facilidad petrolera elemental.

Contenido del Curso:

- Mecanismos de extracción y recolección de petróleo.
- Generalidades de recolección de crudo, agua y gas.
- Fundamentos de separación de fluidos.
- Tratamiento químico del crudo, de agua residual y tratamiento del gas natural.

Costo de la capacitación: Elite Training ofrece una modalidad de precio por persona que ronda los COP\$2'350.000=, por grupos de más de seis personas se hará un descuento del 15%. La inversión para el personal de campo Tilodirán es cercana a los dieciséis millones de pesos (COP\$16 millones), teniendo en cuenta a los dos supervisores de producción y al supervisor de mantenimiento, a los tres operadores y los tres técnicos de mantenimiento, para un total de nueve (9) personas.

La estrategia TLC (de limpieza, lubricación y ajuste) que se propone en este documento, tiene beneficios espectaculares en todos sectores de proceso en la industria de hoy, desde sus fundamentos básicos de inspección hasta labores más específicas que el personal de mantenimiento debería practicar de manera autónoma; infortunadamente gran parte del personal de campo no tiene claro generalidades de labores de aceitar partes y de lubricar mecanismos, por ello se propone incluir dentro del plan de capacitación, un seminario teórico práctico en Tribología y Confiabilidad de Maquinas, el cual busca dar a conocer las bondades y ventajas de una correcta lubricación de equipos, paso previo para merecer una confiabilidad operativa, algunas veces tan inalcanzable, precisamente por dejar de lado la inversión en el personal que hace posible su alcance.

Tribos Ingeniera, es una empresa colombiana dirigida por uno de los expertos más reconocidos a nivel nacional en el área de la tribología, el Ing. Pedro Albarracín Aguillón; Tribos ofrece una variedad de seminarios, cursos, capacitaciones y publicaciones en temas relacionados a la lubricación, ajuste y confiabilidad de máquinas; se ha escogido uno de sus seminarios como propuesta de capacitación y entrenamiento para el personal de CEDCo.

Objetivo del curso:

Aprender la correcta lubricación de equipos.

Proveer los procedimientos necesarios al personal operador y técnicos en la aplicación de procedimientos de lubricación predictiva de los diferentes mecanismos.

Contenido del curso:

- Tribología, fricción, desgaste y lubricación.
- Vibración y termografía.
- Desarrollo de la rutina tribológica en planta.

Costo del curso:

Tribos Ingeniería ofrece un paquete a veinte asistentes por un valor de COP\$12'800.000=, se destaca que el conferencista asiste a las instalaciones de la compañía, además el diseño de la ruta tribológica se hace en campo con los equipos que allí operen.

Las dos propuestas anteriormente descritas además de las habilidades que puedan aprender los asisten tienen un beneplácito de los trabajadores como un incentivo a su formación laboral; de los funcionarios de campo que tiene CEDCo

actualmente, más del 90% son personas con más de cuatro años en la empresa, por lo tanto, la inversión en capacitación y entrenamiento es una opción a la que vale la pena apostar.

6. CONCLUSIONES

- La capacitación al personal de mantenimiento se verá reflejada en la empresa en el incremento de la vida útil de los activos.
- Uno de los principales problemas que se presenta en la industria del sector energético, al tratar de plantear un programa de mantenimiento basado en TPM, está relacionado con la concepción y cultura errada que tienen los operadores respecto al rol del mantenimiento, de ahí que una de las prioridades es poder lograr un cambio cultural y transformar paradigmas, a través de programas de capacitación.
- Las personas son el mayor activo de una compañía, la motivación constante por medio de capacitación para mejorar competencias agregará valor a la empresa y así mismos.
- Los equipos críticos no deberán recibir la mayor inversión de recursos.
- Esta propuesta tendrá un buen recibimiento con el compromiso de cada uno de los involucrados en el personal de campo.
- La codificación de equipos hace posible que todo el personal de campo de la compañía hable un mismo idioma en catalogación de equipos.
- Construyendo ciertos pilares del TPM, CEDCo no deberá invertir muchos recursos en estrategias y metodologías adicionales para crear modelos de mantenimiento aplicable a sus campos.
- Un buen entendimiento entre el área de operaciones y mantenimiento hace posible que se eliminen barreras comunicativas y de conocimiento, donde todos ganan en pro de la disponibilidad de los equipos.

BIBLIOGRAFIA

ACEVEDO, Mélaney. DIAZ, Pedro. LÓPEZ, Germán. Bombeo Mecánico. [Abril de 2014]. Disponible en: <<http://www.slideshare.net/gabosocorro/bombeo-mecanico-presentacion>>

Anónimo. CATERPILLAR, 3406 INDUSTRIAL ENGINES, maintenance intervals. 2007. 32p.

Anónimo. Ecopetrol, El petróleo y su mundo. [Abril de 2014]. Disponible en: <<http://www.ecopetrol.com.co/especiales/elpetroleoysumundo/introduccion.htm>>

Anónimo. Ingeniería de Mantenimiento. [Abril de 2014]. Disponible en: <http://ingenierademantenimiento.blogspot.com/p/mantenimiento_6394.html>

Anónimo. Metodología para el Análisis de Criticidad (AC). [Junio de 2014]. Disponible en: <http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/guia_sco_analisis_criticidad.pdf>

Anónimo. Sistema de Levantamiento Hidráulico. [Abril de 2014]. Disponible en: <http://oil-mail.blogspot.com/2011/05/sistema-de-levantamiento-artificial-por_4374.html>

BALLESTEROS ROBLES, Francisco. La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial. [Abril de 2014]. Disponible en: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:daLl1l4mxQJ:www.predittec.com/rep/6be8/pdf/374602/21/la-estrategia-predictiva-en-el-mantenimiento-industrial---pdf-847-kb%3Fd%3D1+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>>

Carpatt. Bombeo Electro sumergible. [Abril de 2014]. Disponible en: <<http://www.slideshare.net/carlpatt/bombeo-electrosumergible-jrroc>>

FUENTES DIAZ, David Alfredo. Sistemas de Información en Mantenimiento. Abri 3, 2013. 31p.

Global Energy Development PLC. Company profile.[Marzo de 2014]. Disponible en:< <http://www.globalenergyplc.com/overview.asp>>

Global Energy Development PLC. Operations. [Marzo de 2014]. Disponible en: <<http://www.globalenergyplc.com/operationsoverview.asp>>

HIRSCHFELDT, Marcelo. Manual de Bombeo por Cavidades Progresivas. [Abril de 2014]. Disponible en: <<http://www.oilproduction.net/files/PCPump-Handbook-2008V1.pdf>>

MADRID, Marcelo. Bombeo Electro sumergible, diseño. [Abril de 2014]. Disponible en: <<http://www.portaldelpetroleo.com/2012/07/bombeo-electrosumergible-diseno.html>>

Oiler. Sistemas de Levantamiento. [Abril de 2014]. Disponible en: <<http://sistemadelevantamientoartificial.blogspot.com/>>

ROJAS POLO, Ana María. Gun Barrel. [Abril de 2014]. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/89418426/4-Gun-Barrel>>

SAMPAYO FERNANDEZ, Víctor Hugo. Plan de mantenimiento para la empresa IRM Ingeniera de Mantenimiento Industrial Ltda. Empleando conceptos básicos del TPM. Bucaramanga Santander, 2010. 139p.

TANGARIFE, Diego. Levantamiento Artificial por Gas Lift. [Abril de 2014]. Disponible en: <<http://producciondepetroleo.blogspot.com/2011/04/levantamiento-artificial-por-gas-lift.html>>

WILLIAMS, Ana. GED Plc Investor Presentation. London UK: GED, 2013.19p.