

**MODELO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA AUMENTAR EL
MANTENIMIENTO MAYOR DE LOS MOTORES SULZER DE 6000 A 9000
HORAS DE LAS UNIDADES DE BOMBEO DE LA PLANTA ORÚ DEL
OLEODUCTO CAÑO LIMÓN**

ALEJANDRO MEZA MARTINEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017**

**MODELO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA AUMENTAR EL
MANTENIMIENTO MAYOR DE LOS MOTORES SULZER DE 6000 A 9000
HORAS DE LAS UNIDADES DE BOMBEO DE LA PLANTA ORÚ DEL
OLEODUCTO CAÑO LIMÓN**

ALEJANDRO MEZA MARTINEZ

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

**Director: ING. ROBINSON RAMOS
Especialista en gerencia de Mantenimiento**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017**

DEDICATORIA

Este trabajo y esfuerzo está dedicado a todas las personas que me apoyaron directa e indirectamente para hacer posible el gran logro de ser un especialista en lo que más me gusta, MANTENIMIENTO.

Como siempre se lo digo a la vieja Made, gracias por orientarme cuando en algún momento de mi carrera profesional titubé y pensé en devolverme a Cartagena porque mis amistades ya llevaban la carrera adelantada y yo pasaba de paro en paro. Hoy en día pude seguir con esta especialización que me ayuda a crecer profesionalmente y como persona.

Me gustaría nombrarlos a todos pero tampoco quiero que alguno me quede por fuera.

Gracias Dios por esta nueva meta alcanzada.

AGRADECIMIENTOS

El sacrificio y esfuerzo personal son fundamentales, insustituibles a la hora de conseguir los objetivos que nos trazamos en la vida, pero siempre es bueno encomendar todos esos esfuerzos a Dios. Sólo Él puede conseguir que el camino se haga más claro cuando más difícil veamos una situación. Hoy agradezco a Dios por Haber culminado con éxito mi especialización.

Agradezco a mi Familia en especial a mi Madre, Hermanos, Amigos y compañeros que de una u otra manera aportaron su granito de arena para poder llevar a cabalidad este sueño y reto que me tracé.

Muchas Gracias a todos ¡!!

Alejandro Meza Martinez

Contenido

INTRODUCCIÓN	20
1. OBJETIVOS.....	21
1.1 OBJETIVO GENERAL	21
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	22
2.2 FORMULACIÓN DEL problema.....	23
2.3 ANTECEDENTES	24
2.4 JUSTIFICACIÓN.....	25
3. MARCO CONTEXTUAL	26
3.1 MARCO TEÓRICO	27
3.2 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO	29
3.3 GESTION DEL MANTENIMIENTO.....	31
3.3.1 Sistema Integral de Mantenimiento.....	34
3.3.2 Mantenimiento Correctivo	35
3.3.3 Mantenimiento Preventivo.....	35
3.3.4 Mantenimiento Predictivo.....	36
3.3.5 Mantenimiento Proactivo.....	37
3.3.6 Acciones “a Falta de”	37
3.3.7 Mantenimiento de Clase Mundial.....	38
3.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM).....	40
3.4.1 Origen del RCM	40
3.5 MANTENIMIENTO Y EL RCM	48
3.5.1 Beneficios del RCM	49
3.5.2 Componente a realizar RCM.....	50
3.5.3 RCM: Las Siete Preguntas Básicas	51
3.5.4 Análisis de Efectos y Modos de Falla (AMEF)	51

3.5.4.1 Funciones.	53
3.5.4.2 Fallas Funcionales.	54
3.5.4.4 Efectos de Falla.	55
3.5.4.5 Consecuencias de Falla.....	56
3.5.4.6 Numero de Ponderación del Riesgo	56
3.5.5 Tareas de mantenimiento	57
3.5.5.1 Tipos de tareas	60
3.5.6 Diagrama de Árbol Lógico de Decisión	61
3.5.7 Resultados de un Análisis RCM.....	65
3.6 INDICADORES DE GESTIÓN EN MANTENIMIENTO	66
3.6.1 Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	67
3.6.2 Tiempo Medio para Reparar (MTTR).....	68
3.6.3 Tiempo Medio para la Falla (MTTF).....	69
3.6.4 Disponibilidad (A: Availability)	69
3.6.5 Confiabilidad (R: Realiability)	72
3.6.6 Mantenibilidad (M)	73
3.7 PRESENTACIÓN DE LA UNIDAD DE BOMBEO	74
3.7.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA	74
3.7.2 UBICACIÓN GEOGRAFICA	75
3.7.3 PRESENTACION UNIDAD	77
3.7.4 TÉCNICA PARA EL MANTENIMIENTO DE MOTORES MEDIANTE EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ACEITE LUBRICANTE	78
3.7.5 PARAMETROS PARA EL ANALISIS DE ACEITE	80
3.7.6 LUBRICANTE USADO EN LOS MOTORES SULZER ATV-25	80
3.7.7 CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS ARGINA 40.....	81
3.8 MARCO LEGAL	82
4. DISEÑO METODOLOGICO.....	83
5. DESARROLLO DEL PROYECTO	85
5.1 ANALISIS DOFA PARA EL MANTENIMIENTO MAYOR DE LA UNIDAD DE BOMBEO MOTOR SULZER.....	85

5.1.1 Debilidades	86
5.1.2 Oportunidades	87
5.1.3 Fortalezas	87
5.1.4 Amenazas	88
5.1.5 Matriz DOFA	91
5.2 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO SULZER ATV-25.....	93
5.3 GUÍA GENERAL PARA MANTENIMIENTO	95
5.4 MANTENIMIENTOS 2015 ESTACION ORU	128
5.4.1 ANALISIS DE METROLOGIA CADA UNO DE LOS MANTENIMIENTOS..	129
5.4.2 REPORTE DE FALLAS.	133
5.4.3 ANALISIS CBM.....	138
5.5 COSTOS DEL MANTENIMIENTO	138
5.5.1 ANTECEDENTES DE TIEMPO Y COSTO UNIDADES 2015.....	140
5.5.1 PROYECCIÓN COSTOS DE MANTENIMIENTO.....	142
5.5.2 PRESUPUESTO PARA EL PROYECTO.....	148
5.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES (Red PERT, o diagrama de Gantt, o sistema de barras	149
6.CONCLUSIONES	¡Error! Marcador no definido. 145
7.RECOMENDACIONES.....	146
BIBLIOGRAFÍA.....	152
ANEXOS.....	153

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Patrones de Falla de Nwlan & Heap	28
Figura 2. Sistema Integral de Mantenimiento y Operación	34
Figura 3. Mtto. Correctivo. Cambio de tubería de alta de combustible de la unidad	35
Figura 4. Mtto. Preventivo de 6.000 hrs. Unidad de bombeo.	35
Figura 5. Medición de Termografía y Vibraciones Unidad de Bombeo.	36
Figura 6. Diagrama de Pilares de Mantenimiento de Clase Mundial	38
Figura 7. Pirámide de Excelencia de Mantenimiento	39
Figura 8. Patrones de Fallas y evolución del mantenimiento.	41
Figura 9. Expectativa de Mantenimiento.	42
Figura 10. Técnicas de Mantenimiento.	42
Figura 11. Mapa del RCM.	43
Figura 12. Diagrama Cuarta Generación Mantenimiento	45
Figura 13. Algoritmo del Método basado en RCM	46
Figura 14. Esquema Probabilidad de Falla Vs Vida útil	47
Figura 15. Diagrama de Tipos de AMEF.	52
Figura 16. Modos de Falla	55
Figura 17. Curva P-F	57
Figura 18. Diagrama de Decisión RCM	64
Figura 19. Diagrama de fuljo del RCM	65
Figura 20. Indicadores de Confiabilidad	71
Figura 21. Sistema Integrado del Mantenimiento y Producción	74
Figura 22. Descripción del Sistema de Bombeo Oleoducto Caño Limón.	75
Figura 23. Mapa del Norte de Santander. Municipio del Tarrá.	76
Figura 24. Planta Orú.	76
Figura 25. Unidad de Bombeo 106. Costado Derecho	77
Figura 26. Unidad de Bombeo 106. Costado Izquierdo.	78
Figura 27. Diagrama de Cilindros Motor Sulzer ATV25	94
Figura 28. Diagrama de Culatas Motor Sulzer ATV25	94
Figura 29. DURACION DE LOS ULTIMOS MANTENIMIENTOS AÑO 2015 ESTACION ORU	129
Figura 30. Resumen de Costos.	140

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Hoja de Decisión RCM II.....	63
Tabla 2. Especificaciones de consumo aceite lubricantes motor sulzer ATV-25	79
Tabla 3. Características de la Argina 40. Shell Argina XL.....	82
Tabla 4. Componentes del Análisis DOFA.....	86
Tabla 5. Matriz DOFA OVERHAUL DE 6000 A 9000 HRS.....	91
Tabla 6. Vida útil esperada de los componentes del Motor Sulzer ATV-25.	118
Tabla 7. Programa de Mantenimiento Motor Sulzer ATV-25.	119
Tabla 8. Tablas de tolerancias para motores Sulzer ATV-25.....	123
Tabla 9. Descripción del Presupuesto del Proyecto.....	148

LISTA DE CUADROS

	Pág
Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs. Motor Sulzer ATV-25.....	97
Cuadro 2. Culatas Reparadas Mto 6000 Hrs. Unidad 4I-106.....	130
Cuadro 3. Pistones Nuevos Sistema APR MTTO. 6000 Hrs. Unidad 4I-106.	130
Cuadro 4. Bielas Nuevas Mto 6000 Hrs. Unidad 4I-106.	131
Cuadro 5. Casquete de Bancada Nuevos y Usados Mto 6000 Hrs. Und 4I-106.	131
Cuadro 6. Fallas Reportadas SAP 2015 Unidad 4I-106.....	135
Cuadro 7. Fallas Reportadas SAP 2015 Unidad 4I-108.....	136
Cuadro 8. Fallas Reportadas SAP 2015 Unidad 4I-109.....	137
Cuadro 9. Costo de Overhaul por Unidad.....	139
Cuadro 10. Costo de Mantenimiento 6000 hrs Unidad de Bombeo 4I-109.....	141
Cuadro 11. Costo de Mantenimiento 6000 hrs Unidad de Bombeo 4I-106.....	141
Cuadro 12. Costo de Mantenimiento 6000 hrs Unidad de Bombeo 4I-108.....	141
Cuadro 13. Proyección de Mantenimientos Rutinarios de 6000 Hrs.	142
Cuadro 14. Proyección de Mantenimientos Rutinarios de 9000 Hrs.	143
Cuadro 15. Proyección Costo Total de Mantenimiento Rutinario de 6000 Hrs. ...	144
Cuadro 16. Proyección Costo Total de Mantenimiento Rutinario de 9000 Hrs. ...	144
Cuadro 17. Proyección Anual de Costos de Mantenimiento de 6000 Hrs.	146
Cuadro 18. Proyección Anual de Costos de Mantenimiento de 9000 Hrs.	146
Cuadro 19. Cronograma de Actividades del Proyecto de Investigación	149

LISTA DE GRAFICAS

	Pág
Gráfica 1. Comparación de Costos Mantenimiento 6000 hrs.....	142
Gráfica 2. Proyección de Costos de Mantenimiento para Mantenimiento Rutinario de 6000 Hrs.	147
Gráfica 3. Proyección de Costos de Mantenimiento para Mantenimiento Rutinario de 9000 Hrs.	147

LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo A. Unidad 4I-106. Metrología del Balancín Auxiliar.....	154
Anexo B. Unidad 4I-106. Metrología del Balancín Principal.....	155
Anexo C. Unidad 4I-106. Metrología Biela.....	157
Anexo D. Unidad 4I-106 Metrología Seguidor de Levas.....	159
Anexo E. Unidad 4I-106. Metrología Pistón y Anillos.....	161
Anexo F. Unidad 4I-106 Listado de Culatas Instaladas.....	164
Anexo G. Unidad 4I-106 Metrología Pistón y Bulón.....	166
Anexo H. Unidad 4I-106 Metrología de la Camisa.....	169
Anexo I. Análisis de Condición de Activos-Unidad 4I-106.....	173
Anexo J. Análisis de Condición de Activos-Unidad 4I-108.....	184
Anexo K. Análisis de Condición de Activos-Unidad 4I-109.....	195

GLOSARIO

ACEITE: La base fluida, usualmente un producto refinado del petróleo o material sintético, en el que los aditivos son mezclados para producir lubricantes terminados.

ACEITE MINERAL: aceite derivado del petróleo o de una fuente mineral, a diferencia de algunos aceites que tienen origen en plantas y animales.

ACEITE MONOGRADO: aceites cuyos índices de viscosidad varían considerablemente en función de la temperatura. Estos aceites deben ser cambiados si las condiciones de temperatura presentan variaciones importantes.

ACEITE MULTIGRADO: aceites que mantienen su índice de viscosidad aunque se produzcan grandes variaciones en su temperatura de funcionamiento.¹

ACERO: metal formado a base de hierro y aleado con carbono en una proporción entre el 0,03% y el 2%. El acero dulce se caracteriza por ser muy maleable (con gran capacidad de deformación) y tener una concentración de carbono inferior al 0,2%. Por encima de esta proporción de carbono, el acero se vuelve más duro, pero más frágil.

ACERO INOXIDABLE: acero que presenta una gran resistencia a la acción de la oxidación, característica que se consigue aleándolo con el cromo y el níquel.

ADITIVOS: elementos naturales o químicos que se añaden a un producto para añadir o potenciar alguna de sus características. Se utilizan en los lubricantes, combustibles, líquidos refrigerantes, etc.

ALEACIÓN: sustancia con propiedades metálicas compuesta por dos o más elementos químicos de los cuales al menos uno es un metal.

ALTERNADOR: dispositivo accionado por un motor que convierte la energía mecánica en corriente eléctrica alterna. El alternador suministra energía para hacer funcionar todos los componentes eléctricos del vehículo cuando el motor está funcionando, y para la carga del acumulador o batería.

AMORTIGUADOR: sistema que absorbe la energía cinética del vehículo cuando se produce un desplazamiento vertical de las ruedas. Para realizar su función utilizan la resistencia que ofrece el aceite al pasar por pequeños conductos. Los amortiguadores trabajan junto a los resortes (muelles, ballestas, barras de torsión) y evitan sus oscilaciones que generan durante su proceso de deformación y recuperación.

ANÁLISIS DE FALLA: el análisis de falla es un examen sistemático de la pieza dañada para determinar la causa raíz de la falla y usar esta información para mejorar la confiabilidad del producto.

El análisis de falla está diseñado para:

- a) Identificar los modos de falla (la forma de fallar del producto o pieza)
- b) Identificar el mecanismo de falla (el fenómeno físico involucrado en la falla)
- c) Determinar la causa raíz (el diseño, defecto, o cargas que llevaron a la falla)
- d) Recomendar métodos de prevención de la falla.

ANTIOXIDANTES: productos que prolongan el periodo de inducción del aceite básico en la presencia de condiciones oxidantes y metales catalizadores a elevadas temperaturas, evitando o retardando la oxidación de los elementos lubricados.

BUJE: cojinete de suspensión que acomoda el movimiento giratorio limitado y que está generalmente compuesto por dos tubos de acero coaxiales unidos por un manguito de goma.

CARRERA: la distancia máxima recorrida por un pistón entre el centro estático inferior y el centro estático superior. Cuanto mayor sea la carrera, mayor será el desplazamiento.

CHUMACERA: un tipo de cojinete deslizante teniendo movimiento ya sea oscilatorio o rotatorio en conjunto con el muñón con el que opera.

CILINDRADA: la cilindrada del motor es la medida del volumen total cilíndrico a través del cual los pistones de un motor se mueven de un extremo de la carrera al otro, multiplicado por el nº de cilindros.

CORONA: engrane, elemento del diferencial que recibe el movimiento del piñón de ataque y lo transmite a la caja de satélites.

PIÑÓN: el más pequeño de dos engranes en contacto. Puede ser el impulsor o el impulsado.

REDUCTOR: un conector que tiene un tamaño menor de línea en un lado que en el otro.

RESORTE: elemento elástico, muelle para automatismos mecánicos.

RELACIÓN DE COMPRESIÓN: en un motor de combustión interna, la relación del volumen del espacio de combustión entre el punto con el pistón en su punto más bajo en relación con el espacio con el pistón en su punto más bajo.

RODAMIENTO: elemento antifricción que contiene elementos rodantes en la forma de bolas o rodillos, Un soporte o guía en la que una flecha o eje es posicionado, con respecto a las otras partes de un mecanismo.

ROZAMIENTO: es la fuerza que aparece entre dos superficies con movimiento relativo entre ellas. Está en función del coeficiente de rozamiento, de la superficie en contacto y de la fuerza que presiona ambas superficies entre ellas.

TERMOPEGADO: unión entre tubos y racores con pegamento y posterior horneado.

VÁLVULA: un dispositivo que controla la dirección del fluido o la tasa de flujo.

VISCOSIDAD: medida de la resistencia de un líquido a fluir. La medida común métrica de la viscosidad absoluta es el Poise.

RESUMEN

TITULO: Modelo Basado En Confiabilidad Para Aumentar El Mantenimiento Mayor De Los Motores Sulzer De 6000 A 9000 Horas De Las Unidades De Bombeo De La Planta Orú Oleoducto Caño Limón *

AUTOR: ALEJANDRO MEZA MARTINEZ **

PALABRAS CLAVE: MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD, CBM

DESCRIPCIÓN:

Partiendo del hecho que la prioridad de nuestro sistema es la disponibilidad y el funcionamiento efectivo de las unidades de bombeo, siendo este el principal y el ser de la planta, durante la operación se realizan diversos monitoreo y rondas estructuradas con el fin de identificar avisos de posibles fallas.

Los altos costos y el tiempo para obtener los repuestos son la principal causa de que motiva al aumento de horas de operación del equipo, adicionalmente los estudios de metrología de los componentes desmontados arrojan que estos aún permanecen entre los parámetros permisibles aceptados por el proveedor, lo que nos permitiría con este cambio de mantenimiento ahorrar sin poner en riesgos la confiabilidad y disponibilidad de la máquina. Se pretende analizar el estado de partes y componentes principales del equipo para aumentar el periodo del mantenimiento mayor de 6000 a 9000 horas de los motores Sulzer de las unidades principales de la planta Orú, sistema de bombeo oleoducto caño limón, estableciendo parámetros confiables de horas de operación de acuerdo al análisis de los componentes y partes que influyen en el mantenimiento mayor de los motores Sulzer evaluando la vida útil de los componentes y partes que influyen en el Overhaul de los motores Sulzer, llevándolos a los límites máximos permisibles de desgaste y uso; Realizando muestreo y análisis de partes, factores y sistemas que intervienen al realizarse el mantenimiento mayor de los motores Sulzer, Verificándolos rubros económicos principales del proyecto que permitan conocer su viabilidad financiera evaluando financieramente las necesidades de la organización para cambiar las rutinas de mantenimiento mayor de 6000 a 9000 horas de los motores Sulzer.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Robinson Ramos, Ingeniero Industrial.

ABSTRACT

TITLE: Reliability-Based Model to Increase Main Maintenance of Sulzer Engines from 6000 to 9000 Hours of Pumping Units of the Orú Caño Limón Oil Pipeline.*

AUTHOR: ALEJANDRO MEZA MARTINEZ**

KEY WORDS: MAINTENANCE, CONFIABILIDAD, CBM

DESCRIPTION:

Based on the fact that the priority of our system is the availability and effective operation of the pumping units, being this the main and the being of the plant, during the operation several monitoring and structured rounds are carried out in order to identify warnings of possible faults.

The high costs and the time to obtain the spare parts are the main cause that motivates to the increase of hours of operation of the equipment, additionally the studies of metrology of the disassembled components show that these still remain between the permissible parameters accepted by the supplier, which would allow us with this maintenance change to save without jeopardizing the reliability and availability of the machine.

It is intended to analyze the condition of main parts and components of the equipment to increase the period of maintenance of more than 6000 to 9000 hours of the Sulzer engines of the main units of the Orú plant, pumping system pipeline lemon, establishing reliable parameters of hours of operation according to the analysis of the components and parts that influence the major maintenance of the Sulzer engines by evaluating the useful life of the components and parts that influence the Overhaul of the Sulzer engines, taking them to the maximum limits of wear and use; Performing sampling and analysis of parts, factors and systems involved in the major maintenance of the Sulzer engines, Verifying the main economic items of the project that allow to know its financial viability financially assessing the needs of the organization to change maintenance routines greater than 6000 to 9000 hours of the Sulzer engines.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Robinson Ramos, Ingeniero Industrial.

INTRODUCCIÓN

Para aquellas organizaciones en donde su sistema productivo esta en continua operación, es de vital importancia la disponibilidad de sus equipos, por lo cual la mantenibilidad es uno de los procesos prioritarios a los que se rigen las empresas. La planeación de estas paradas y fechas propuestas dentro de sus planes de mantenimiento se deben cumplir conforme a lo establecido. Cada una de las fases dentro de los mantenimientos a largo plazo está basada de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, es por ello que estas actividades son precisas en cuanto al alcance, la planeación y ejecución.

Para cualquier empresa en este caso Cenit la filial de Ecopetrol en la vicepresidencia de transporte, tiene como enfoque estratégico lograr estándares internacionales de operación segura, sana, limpia pero con sostenibilidad financiera, lo cual este objetivo incluye que la mantenibilidad de sus equipos debe regirse bajo parámetros confiables que garanticen la operación, para lo cual se incluyen monitoreos que permitan intervenir de manera programada y eficiente las paradas de los equipos, maximizando de manera sostenida la operatividad de las unidades productivas.

Las continuas estrategias de la organización para obtener ganancias en medio de la crisis del sector, hacen que se establezca presupuestos eficientes en la mantenibilidad de sus equipos, para lo cual es de vital importancia el uso de tecnologías en monitoreos e inspecciones que nos permitan a tiempo detectar fallas en los equipos, para así planear los tipos de intervenciones o reparaciones programadas de las unidades productivas de manera eficaz, optimizando recursos y asegurando la integridad de las personas, el medio ambiente, la infraestructura, y la armonía con el entorno.

Por todo lo anterior, el presente Estudio basado en confiabilidad tiene como objetivo establecer la factibilidad de ampliar el periodo del mantenimiento mayor de 6000 a 9000 horas de los motores Sulzer de las unidades principales de la planta Orú.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar estado de partes y componentes principales del equipo para aumentar el periodo del mantenimiento mayor de 6000 a 9000 horas de los motores Sulzer de las unidades principales de la planta Orú, sistema de bombeo oleoducto caño limón.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar financieramente las necesidades de la organización para cambiar las rutinas de mantenimiento mayor de 6000 a 9000 horas de los motores Sulzer.
2. Estudiar los factores, partes y sistemas que intervienen al realizarse el mantenimiento mayor de los motores Sulzer.
3. Establecer parámetros confiables de horas de operación de acuerdo al análisis de los componentes y partes que influyen en el mantenimiento mayor de los motores Sulzer evaluando la vida útil de los componentes y partes que influyen en el Overhaul de los motores Sulzer, llevándolos a los límites máximos permisibles de desgaste y uso.
4. Establecer los rubros económicos principales del proyecto que permitan conocer su viabilidad financiera.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Partiendo del hecho que la prioridad de nuestro sistema es la disponibilidad y el funcionamiento efectivo de las unidades de bombeo, siendo este el principal y el ser de la planta, durante la operación se realizan diversos monitoreos y rondas estructuradas con el fin de identificar avisos de posibles fallas.

Las unidades de bombeo de la planta se componen de fin fan, motor, incrementador y bomba, siendo el motor el equipo crítico a la hora de planear el mantenimiento mayor. Las intervenciones a la máquina se realizan a las 1500, 3000, y 6000 horas adicional a los monitoreos CBM, todo con el fin de intervenir oportunamente el equipo permitiendo mantener la integridad y confiabilidad de la operación.

En la Rutina de las 6000 hras se realiza el desmonte, revisión, metrología y montaje de los componentes, todo estas actividades son programadas para ser desarrolladas en dos meses, de acuerdo a los datos de horómetros de operación de cada equipo se define que unidad ingresa a overhol y la posible fecha, por lo general y de acuerdo bombeo de la planta se programan dos mantenimientos por año.

Los altos costos y el tiempo para obtener los repuestos son la principal causa de que motiva al aumento de horas de operación del equipo, adicionalmente los estudios de metrología de los componentes desmontados arrojan que estos aún permanecen entre los parámetros permisibles aceptados por el proveedor, lo que nos permitiría con este cambio de mantenimiento ahorrar sin poner en riesgos la confiabilidad y disponibilidad de la máquina.

Se cuenta con técnicas avanzadas de monitoreos como termografía, vibraciones, análisis de aceites y los resultados de esos monitoreos los cuales son certificados, arrojan recomendaciones que son de intervención inmediata, dentro de las conclusiones más frecuentes de estos estudios se tienen los altos contenidos de metales en el aceite, las altas temperaturas producto de la falta de refrigeración, la obstrucción en las líneas de refrigeración producto del material particulado, sedimentos en el agua; también por ser equipos mecánicos se presentan vibraciones, cambios de rpm de manera repentina, ruidos anormales, entre otros.

La unidad para su óptimo funcionamiento consta de cuatro componentes principales como lo es el motor, incrementador, bomba y fin fan, pero el que genera mayor costos por el tiempo de intervención, mano de obra, valor de repuestos, entre otros factores es el motor, y en vista de que está generando confiabilidad en la operatividad de las unidades, es de vital importancia evaluar la oportunidad de aumentar los mantenimientos programados mayores de 6000 a 9000 horas y realizar 1 por año.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Cada año al momento de programar los mantenimientos y proyectar el presupuesto del año inmediatamente siguiente, surgen inquietudes y dudas que se dan con los resultados de los overhaul que se han tenido; muchas veces la metrología, revisión de componentes y métodos empíricos muestran y reflejan que las 6000 horas son muy cortas para realizar un mantenimiento que oscila entre los 1200 y 1300 millones.

Teniendo en cuenta que se tiene 5 unidades de bombeo trabajando a 250 mil barriles día se mantiene 3 unidades en línea de forma permanente durante 24 horas y 2 de respaldo. Esto nos proyecta que se deben hacer mínimo 3 mantenimientos al año.

La siguiente pregunta se realiza con el fin de aumentar la frecuencia de intervención a los equipos, sin alterar la confiabilidad y disponibilidad y así mismo reducir los costos de manteamiento.

¿Realmente la estación Orú requiere de un estudio basado en confiabilidad que le permita reducir los altos costos de mantenimiento y maximizar la vida útil de los componentes de los motores Sulzer ampliando la frecuencia de 6000 a 9000 horas?

2.3 ANTECEDENTES

Las técnicas y estrategias gerenciales de la organización en los últimos años, constituye un reto constante para proponer y ejecutar cambios en los procesos sin alterar las garantías del bombeo y la operación. La estandarización y el monitoreo de los sistemas principales ha cobrado importancia para la reducción de costos y adaptabilidad en los retos de rentabilidad que propone el negocio del transporte de crudo.

Con el propósito de lograr los objetivos de competitividad en el mercado del transporte de crudo a nivel nacional e internacional la VIT y Cenit inician en Colombia un proceso de reinvención desde el 2013 involucrando a todas sus áreas en la generación de valor, por lo que cada una de ellas inicia la evaluación minuciosa de los equipos a cargo y las posibles propuestas a implementar con el fin de garantizar una operación sana, segura y limpia con reducción de costos.

Actualmente El sistema caño limón a través de las coordinaciones de operación y mantenimiento han generado propuestas con el firme propósito de reducir el presupuesto en las instalaciones como en los trabajos de la línea sin alterar el cumplimiento en las exigencias de transporte del cliente, por lo que con mucha cautela y a través de propuestas de gestión de Cambios ante la Gerencia Técnica de Activos han incorporado nuevos equipos y han generado aumento de horas en los programas de mantenimientos programados de algunos equipos principales dentro de los cuales se destacan los siguientes:

Planta Banadia, oleoducto caño limón – vicepresidencia de transporte. 2014-2015. Aumento en la frecuencia del mantenimiento mayor de las unidades de bombeo Allen de 12.500 a 14.000 horas en sus cinco motores, como también en el mantenimiento de 3.000 a 3500 horas.

Planta Samoré, oleoducto caño limón – vicepresidencia de transporte. 2014-2015. Aumento en la frecuencia del mantenimiento mayor de las unidades de bombeo Allen de 12.500 a 14.000 horas en sus seis motores, como también en el mantenimiento de 3.000 a 3500 horas.

Planta Toledo, oleoducto caño limón – vicepresidencia de transporte. 2014-2015. Aumento en la frecuencia del mantenimiento mayor de las unidades de bombeo

Allen de 12.500 a 14.000 horas en sus cuatro motores, como también en el mantenimiento de 3.000 a 3500 horas.

Planta Oru, oleoducto caño limón – vicepresidencia de transporte. 2014. Implementación del sistema apr camisa - pistón - biela en el motor sulzer de las unidades principales, cuyo objetivo es optimizar la optimización del aceite en el equipo.

2.4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la crisis por la que pasa el sector energético a nivel mundial hace que internamente las organizaciones realicen cambios con el fin de mantenerse en el mercado, por lo que la implementación de nuevas tecnologías que permitan mejorar sus procesos a través de la reducción de los costos, satisfacción del cliente y el uso eficiente de los recursos es el foco.

De ahí la importancia de promover y estructurar estrategias que permitan la reducción de costos en los procesos de mantenimiento, siendo éste, uno de los que generan mayor inversión por el alto costo de los repuestos y mano de obra.

La planta Orú cuenta con 5 unidades de bombes compuesta por motores sulzer, los cuales son de tecnología suizos con más de 30 años de fabricación, de ahí surge la importancia de la rigurosa planeación de los mantenimientos y la solicitud de pedidos, teniendo en cuenta los tiempos administrativos, de fabricación de piezas, de transporte y legalización de la importación una vez llegan al país.

La experiencia de mantenimiento en los últimos tres años ha arrojado que muchas de las partes que se cambian por recomendaciones del fabricante en la rutina de las 6000 hrs del equipo se encuentren en óptimo estado, quedando estas disponibles en caso de presentarse alguna falla.

Con base a toda la información anterior y la reducción significativa de los presupuestos, se plantea para la Planta Orú del sistema de bombeo de Crudo del oleoducto Caño Limón Coveñas, un estudio basado en confiabilidad que le permita reducir los altos costos presupuestados por la mantenibilidad de los motores zulser instalados en las unidades principales a través del aumentando del overhol de 6000 a 9000 hrs.

3. MARCO CONTEXTUAL

RESEÑA HISTORICA. En septiembre de 1983, en Arauquita (Arauca) se produjo la mejor noticia para la historia de Ecopetrol y una de las mejores para Colombia: el descubrimiento en asociación con Occidental Petroleum Corporation del Campo Caño Limón, un yacimiento con reservas estimadas en 1100 millones de millones de barriles. Gracias a este campo, la empresa inició una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser un país exportador de petróleo.

En los años noventa Colombia prolongó su autosuficiencia petrolera, con el descubrimiento de los gigantes Cusiana y Cupiagua, en el Piedemonte Llanero, en asocio con la British Petroleum Company. En 2003 el gobierno colombiano reestructuró la Empresa Colombiana de Petróleos, con el objetivo de internacionalizarla y hacerla más competitiva en el marco de la industria mundial de hidrocarburos.

La construcción de la Planta Oru se remonta a 1986, luego de la terminación de la construcción del Oleoducto Caño Limón – Río Zulia, con el fin de recibir el crudo proveniente del campo Caño Limón y reimpulsarlo hacia la siguiente Planta del Oleoducto (Ayacucho), para de ahí enviarlo a Refinería Barrancabermeja y/o Terminal Coveñas.

Toda la tubería de la estación, se construyó subterránea, a diferencia de las demás estaciones y fue diseñada con una capacidad de bombeo de 240.000 BD. Fue diseñada con cinco unidades principales de bombeo, ubicadas en serie, la única ampliación que se realizó fue colocar tres filtros en la entrada de la estación, los cuales fueron montados tiempo después de haber entrado en operación.

Como medida de seguridad, en el año 2000 se construyeron búnker para proteger la sala de operaciones y la oficina de seguridad de la estación.

Sistema de Alivio de Presión, que protege el sistema contra las sobre presiones que pueden presentarse.

Sistema de Suministro de Energía a través de la red ISA que controla y garantiza el suministro apropiado de energía para el permanente funcionamiento de la Planta.

Sistema Contra incendios, el cual es una medida preventiva para la atención de eventos que atenten contra la integridad de las personas, ambiente e infraestructura de la Planta.

Sistemas Auxiliares como el sistema centrifugador, Trampas de Raspadores, Separador API y tanque sumidero, Sistemas de Lubricación, Aire Acondicionado, Sistemas de Combustible, descargadero de Carrotanques, entre otros.

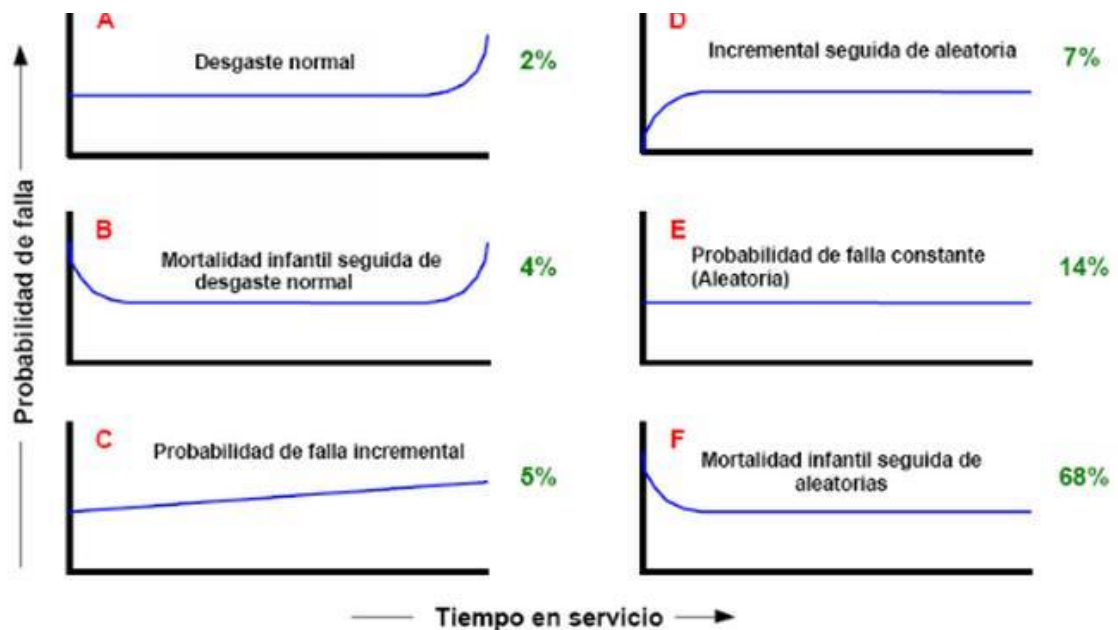
A partir del 25 de Octubre de 2012 el oleoducto Bicentenario que se conectó al sistema Caño-Limón Coveñas, requiere la operación permanente del sistema, es decir la operación a máxima rata de las plantas Banadia, Samoré ,Toledo y Orú; Como sucedía cuando la producción de campo Caño-Limón permitía desplazar flujos superiores a 180 KBD.

En el año 2014 entró en funcionamiento el sistema de inyección de DRA.

3.1 MARCO TEÓRICO

El concepto de mantenimiento preventivo prevalecía en la segunda generación del mantenimiento en los años 50's a 70's. Grandes reparaciones y sustitución cíclica de elementos, eran las características de esta época en la que se pensaba que el tiempo de uso de un componente estaba estrechamente ligado a la probabilidad de falla del mismo, que junto con una conciencia de la posibilidad de fallas prematuras, daba origen a la popular curva de la bañera como patrón de fallas. Hoy en día parece haber cada vez menos relación entre la edad de un activo y la probabilidad de falla del mismo, de hecho se han identificado 6 diferentes patrones de falla según el tipo de equipo (Figura 1).

Figura 1. Patrones de Falla de Nwlan & Heap



RCM nace del desarrollo de una propuesta de mantenimiento basada en preservar la función del equipo en su contexto operacional, es decir preservar lo que el usuario considera se debe preservar. Para un mismo activo en diferentes contextos operacionales, lo que para uno es una falla para otro no. Específicamente RCM nace de la necesidad de mejorar las prácticas de mantenimiento de los equipos de aviación civil en Estados Unidos, tema que será tratado más adelante. Hoy en día esta metodología es aplicable casi a cualquier industria a nivel mundial, para poder realizar un plan de mantenimiento basado en RCM, para equipos de generación eléctrica para campos petroleros. Dicha iniciativa nace como respuesta a la gran responsabilidad que las fallas en dichos componentes tienen sobre la producción diferida de la empresa. Dentro de las

fronteras del equipo en estudio descritas bajo la norma ISO14224, que a su vez desarrolla la metodología RCM se identifica tres tipos de tareas: Correctivas y por oportunidad, a condición y tareas detectivas con frecuencias de 120 y 180 días.

El impacto y alto costo que las turbinas Aero derivadas tienen dentro de un sistema de interconexión eléctrica, ha motivado también la aplicación de la metodología RCM en las estrategias de mantenimiento de estos equipos. La metodología a turbinas en la industria petrolera, motivado por mejorar las prácticas de mantenimiento de estos equipos considerados críticos para la empresa a la que prestan servicio, además porque el contexto operacional está estrictamente regulado por leyes de protección ambiental. Se debe recordar que RCM considera las implicaciones ambientales y de seguridad por encima de las operacionales¹.

En conclusión la metodología RCM está siendo aplicada cada vez más en el sector eléctrico para crear, modificar u optimizar planes de mantenimiento, debido a que ha demostrado ser una metodología económica (Se ha demostrado que partiendo desde 0 se puede ahorrar entre un 5% y un 15% de los costos de mantenimiento²) que mejora la confiabilidad del equipo, que se adapta al entorno operacional de cada empresa y que acerca más a los involucrados en el mantenimiento con los equipos a cargo, mejorando las habilidades para planear y ejecutar el mantenimiento.

Con el propósito de satisfacer técnica y eficientemente los objetivos que nos hemos trazado, teniendo en cuenta la filosofía del LCC, se planteará el estudio básico apoyado en el RCM (FMECA), para ir preparando la estrategia del mantenimiento definiendo a qué equipos le aplicaremos la técnica de Mantenimiento Proactivo o Predictivo.

3.2 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO

Desde los años cincuenta hasta la actualidad el mantenimiento ha venido sufriendo una serie de grandes cambios en cuanto a su filosofía, ya que desde principios de los 50's, se conocía sólo la práctica del mantenimiento reactivo (correctivo) donde el estándar solamente consistía en la reparación de los equipos una vez estuvieran en falla.

¹ CASTILLO, HERNAN, Iluminación en las faenas, Elemento clave para evitar accidentes. simma. Artículo en línea, 2016.

² UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO, Introducción a Grupos Electrónicos. Seminario de aprendizaje en línea, sección 1, 2011.

A finales de los 50's tanto la industria como los fabricantes de equipos introducen cierto tipo de recomendaciones para realizar algunas tareas de mantenimiento para poder alargar la vida útil de los mismos, introduciendo con ello la primera generación de mantenimiento de preservación (Preventivo).

Para la década de los 60's todo el recurso se centra en orientar y obtener la máxima eficiencia de las máquinas y el mantenimiento se focaliza en extender aún más la vida útil de los equipos con un óptimo contexto de utilización que la de capacidad normal.

Ya para los 70's y 80's, nace en Japón, orientado a las nuevas filosofías de calidad total, el Mantenimiento Productivo Total (TPM), que se basa en cinco principios fundamentales.

- Incrementar la confiabilidad de los equipos buscando cero fallas (equipos libres de mantenimiento).
- Mantenimiento autónomo, basado en que el operador debe efectuar parte del mantenimiento al equipo.
- Gente: Adiestramiento centrado en formar mantenedores multi-oficio. Programas de motivación personal.
- Trabajo basado en pequeños grupos, integrados por operadores y mantenedores en la búsqueda de la causa raíz de las fallas de los equipos en falla.

Ya en los 90's se conjugan los elementos principales de las filosofías o tendencias como TPM (Mantenimiento Total Productivo), RBM (Mantenimiento Basado en Confiabilidad), RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) para construir una filosofía llamada Mantenimiento de Clase Mundial WCM por sus siglas en inglés, que su mayor aporte es servir como referencia para la determinación del nivel de excelencia de las empresas.

The World Class en el mundo industrial es sinónimo de excelencia; el concepto World Class Manufacturing (literalmente «Fabricación industrial de nivel

mundialmente reconocido») significa de primera división, es la manera de fabricar algo que los demás fabricantes quieren imitar. Recoge estrategias como el Control Total de la Calidad (TQC), el Método justo a tiempo (JIT), el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y otras estrategias de gestión, tecnología y servicios.

World Class Manufacturing significa ser competitivo en la fabricación industrial a nivel de los mejores en todo el mundo; no es solamente una extensión de TPM. Al contrario: es una herramienta para conseguir estar entre los mejores a nivel mundial (World Class Manufacturing).

WCM puede considerarse una ampliación del TPM (Total Productive Maintenance or Management). A los 4 pilares básicos de TPM que son, a saber: mejora focalizada, mantenimiento autónomo, mantenimiento profesional y mantenimiento en la concepción, se han unido otros pilares, que son: seguridad, higiene y ambiente en el trabajo, medio ambiente, servicio al cliente, control total de la calidad del producto, desarrollo del personal y reducción de costes. Esto da una idea del nuevo modelo industrial, que se enfoca directamente al cliente. Las factorías, desde lo más básico hasta lo más avanzado en sus procesos, procuran alcanzar la total satisfacción del cliente.

3.3 GESTION DEL MANTENIMIENTO

En la actualidad las consideraciones demandadas por el mercado, se encuentra en un estado de transición en la que la Excelencia es considerada parte del producto, por ello sería inconcebible que el Mantenimiento, siendo función importante de apoyo a la Producción, y por ende parte de la Organización Empresarial, no la tuviera. Eventualmente, las Empresas tienen latente el reto de cómo mejorar sus actividades de Gestión del Mantenimiento para ser más sostenibles. Es importante recordar que la sostenibilidad incorpora dos factores: el ambiente y la subsistencia de la Organización, aunado al indisociable compromiso social.

El Mantenimiento como estructura de apoyo, es un centro de costos a efectos de los intereses de la Empresa. Ciertamente, como un costo sólo se justifica si

“perfecciona” el Negocio a través de la mejora de las condiciones de productividad, mediante la capacidad continúa de adaptación, desarrollo y conservación (independiente de sus funciones particulares). Para ello, se debe

enfocar adecuadamente la visión y la misión mediante la definición clara de políticas, objetivos, valores, entre otros.

Es un hecho que, en los escenarios de hoy, las Empresas se juegan su capacidad competitiva por la cantidad y calidad de los recursos que se comprometen en el área de Mantenimiento, debido a la capacidad de ésta para generar beneficios a su más inmediato grupo de interés como es, el área de Producción. La principal ventaja que ofrece el Mantenimiento, reside en la consecución de que los “Sistemas Productivos” (SP) continúen desempeñando las funciones deseadas y de esta forma contribuir a conservar las actividades productivas, de las cuáles la empresa obtiene las utilidades económicas (produciendo su sostenibilidad en un Negocio particular).

Aunado a ello, se encuentran las ventajas de obtener mayor utilidad económica para la empresa, al disminuir los costos de mantenimiento por pérdidas (sobre mantenimiento, indisponibilidad de los SP, entre otros), con lo cual se podría aumentar el margen potencial de ganancias, al sostener la influencia del costo del mantenimiento, en el costo final del producto, dentro del rango del 5 al 12%.

Por lo tanto, es necesario gestionar correctamente las necesidades y/o Ponderaciones de la función de Mantenimiento, para lograr los efectos adecuados, a través de la mejora en cuanto a eficacia y eficiencia de procesos con lo cual alcanzar la Excelencia Operativa, cuyo fundamento básico se refiere a ofrecer servicios a un precio competitivo mediante el equilibrio entre la calidad y la funcionalidad, siendo la idea principal brindar el Mejor Costo Total.

Es importante recordar, que las funciones del mantenimiento cubren dos dimensiones: la primera está formada por las funciones primarias que son las que justifican el sistema de mantenimiento implementado en una empresa, como un conjunto de elementos que generan valor, claramente definido por el objetivo de asegurar la disponibilidad planteada de los SP al menor costo posible, dentro de las recomendaciones de garantía y uso de los fabricantes y de las normas de seguridad, para salvaguardar a la empresa de los fallos y sus consecuencias en la producción, contribuyendo también a la eficacia económica dentro de su función productiva.

En segundo lugar, se encuentran las funciones secundarias como consecuencia de las características particulares de cada empresa, que demandan acciones

prioritarias en distintas áreas como los inventarios de materiales y de medios específicos (para el desarrollo de los trabajos como las herramientas, instrumentos de medida, entre otros), además, de la capacitación de recursos humanos y el desarrollo de los programas de mantenimiento, con el fin de reducir las restricciones que optimizan la Gestión.

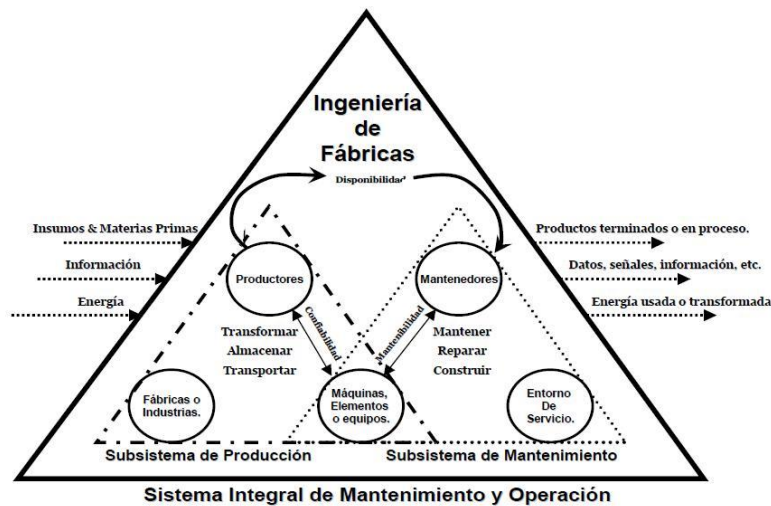
Lo anterior da lugar a establecer la Gestión del Mantenimiento como parámetro de referencia para evaluar, a través, de la supervisión de: la planificación, ejecución y control, el conjunto de actividades propias de la función, que permiten el uso efectivo y eficaz de los recursos con que cuenta la Organización, para alcanzar los objetivos que satisfacen los requerimientos de los diferentes grupos de interés, cuyo objetivo básico consiste en incrementar la disponibilidad de los SP (activos), partiendo de la ejecución de los mismos, mediante las mejoras incrementales a bajo costo, para ser competitivo, logrando que funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto de operación.

Es por ello, que al combatir el estigma asociado al riesgo que se toma, y el potencial fracaso, las Empresas pueden abrir la mente a la idea de ver en el mantenimiento una oportunidad de mejorar y no un costo más que perjudica la rentabilidad. Por eso se plantea como un recurso importante de la Organización de las Empresas entender y comprender la Gestión del Mantenimiento para lograr un alto desempeño que se enfoque a la Excelencia. En este sentido, la Gestión del Mantenimiento se orienta a la búsqueda de metas comunes que deben ser desarrolladas y entendidas con el fin de reducir las restricciones, cuya consecución será el éxito de la Empresa, y por ende del Negocio. Hoy, esta meta común, se basa en la existencia de la conformidad de la calidad de los procesos y la aceptación de los resultados obtenidos, todo bajo el concepto de la Excelencia en la Organización³.

³ ICONTEC. Seguridad de funcionamiento y calidad deservicio. Colombia.1999.Pag 12.

3.3.1 Sistema Integral De Mantenimiento El sistema integrado permite visualizar los tres elementos principales en una Organización Industrial y son: Mantenedores, los Productores y las Máquinas. Por lo tanto, el sistema kantiano permite establecer que la relación directa entre producción y máquinas está gobernada por la confiabilidad, la relación entre mantenimiento y máquinas es la mantenibilidad. Pero la relación más relevante de todo el sistema donde se marca todo el efecto integrado de la ingeniería en las plantas está dado por la relación mantenimiento-máquina-producción y su parámetro que es la disponibilidad.

Figura 2. Sistema Integral de Mantenimiento y Operación



Fuente. MORA G, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales o servicios. Medellín.

4.3.2 Mantenimiento Correctivo Mantenimiento nace como el área encargada de reparar equipos, corregir averías y desgastes. Para el desarrollo tecnológico no se requiera prevenir los problemas; en pocas palabras es el proceso mediante el cual se realizan las correcciones de las averías o fallas, de un equipo, cuando éstas se presentan. Un mantenimiento correctivo trata de todas las actividades de mantenimiento orientadas hacia la restitución de las características de funcionamiento de un equipo o sistema después de ocurrida la falla.

Figura 3. Mtto. Correctivo. Cambio de tubería de alta de combustible de la unidad



3.3.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO En las operaciones de mantenimiento, el mantenimiento preventivo es el destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. El mantenimiento preventivo se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento, por oposición al mantenimiento correctivo que repara o pone en condiciones de funcionamiento aquellos que dejaron de funcionar o están dañados.

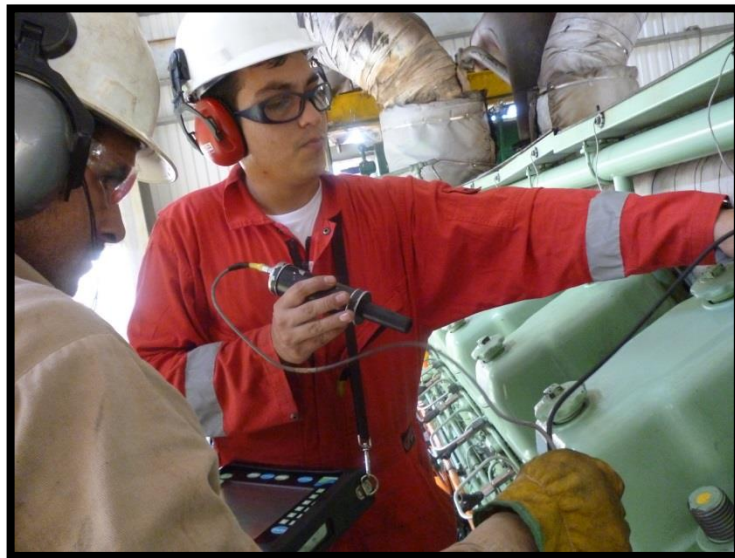
Figura 4. Mtto. Preventivo de 6.000 hrs. Unidad de bombeo.



El primer objetivo del mantenimiento es evitar o mitigar las consecuencias de los fallos del equipo, logrando prevenir las incidencias antes de que estas ocurran. Las tareas de mantenimiento preventivo incluyen acciones como cambio de piezas desgastadas, cambios de aceites y lubricantes, etc. El mantenimiento preventivo debe evitar los fallos en el equipo antes de que estos ocurran.

3.3.4 Mantenimiento Predictivo El mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar.

Figura 5. Medición de Termografía y Vibraciones Unidad de Bombeo.



3.3.5 Mantenimiento Proactivo El mantenimiento proactivo está basado en los métodos predictivos, pero, para identificar y corregir las causas de los fallos en las máquinas, es necesaria una implicación del personal de mantenimiento.

Estos sistemas sólo son viables si existe detrás una organización adecuada de los recursos disponibles, una planificación de las tareas a realizar durante un periodo de tiempo, un control exhaustivo del funcionamiento de los equipos que permita acotar sus paradas programadas y el coste a él inherente, y una motivación de los recursos humanos destinados a esta función, acordes al sostenimiento de la actividad industrial actual.

El mantenimiento proactivo puede dar respuesta a cuestiones como la que sigue: "Es posible que aquel rodamiento, cuya vida útil de trabajo es excesivamente corta, esté insuficientemente dimensionado o simplemente no sea el tipo de rodamiento más adecuado para la aplicación que se le está dando".

3.3.6 ACCIONES “A FALTA DE” Cuando no se ha encontrado ninguna tarea proactiva que reduzca el riesgo de falla aun nivel tolerantemente bajo se pueden emplear acciones “a falta de” entre las cuales está: Búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento no programado.

Búsqueda de falla: para las fallas ocultas que originan fallas múltiples y no se ha encontrado una tarea proactiva que reduzca el riesgo de falla, se debe realizar periódicamente una tarea de búsqueda de falla, en caso de no encontrar una tarea de búsqueda de falla apropiada, se debe rediseñar.

“las tareas diseñadas para chequear si algo todavía funciona se conocen como tareas de búsqueda de fallas o chequeos funcionales. También son llamadas tareas detectivas.

4.3.7 MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL. Mantenimiento de Clase Mundial (MCM) Desarrollado en la década de los 80's para aumentar la productividad de las empresas, es un conjunto de ideas y fuerzas dirigidas a reorientar la estrategia de manutención hacia un enfoque de mantenimiento pro-activo, disciplinado en prácticas estandarizadas, gestión autonómica, competitivo y con índices de desempeño clase mundial. La categoría Clase Mundial, exige la focalización de los siguientes aspectos: Excelencia en los procesos medulares. Calidad y rentabilidad de los productos. Motivación y satisfacción personal y de los clientes. Máxima confiabilidad Logro de la producción requerida. Máxima seguridad personal. Máxima protección ambiental. La manufactura de clase mundial "WCM" se enfoca en una gerencia mixta y se utiliza principalmente para brindar todos los recursos para una mejora continua.

Definido como el mantenimiento sin desperdicio, donde esta es la diferencia entre cómo se realizan las diferentes acciones en la actualidad y el deber ser óptimo de las mismas. Se basa en anticiparse a lo que suceda en el futuro, su función es convertir cualquier clase de reparación o modificación en actividades planeadas que eviten fallas a toda costa.

Figura 6. Diagrama de Pilares de Mantenimiento de Clase Mundial

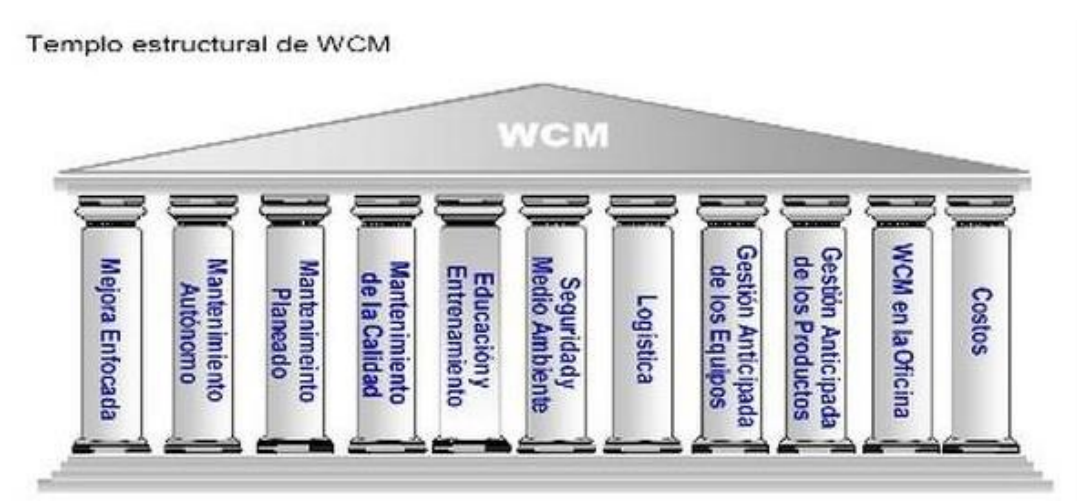
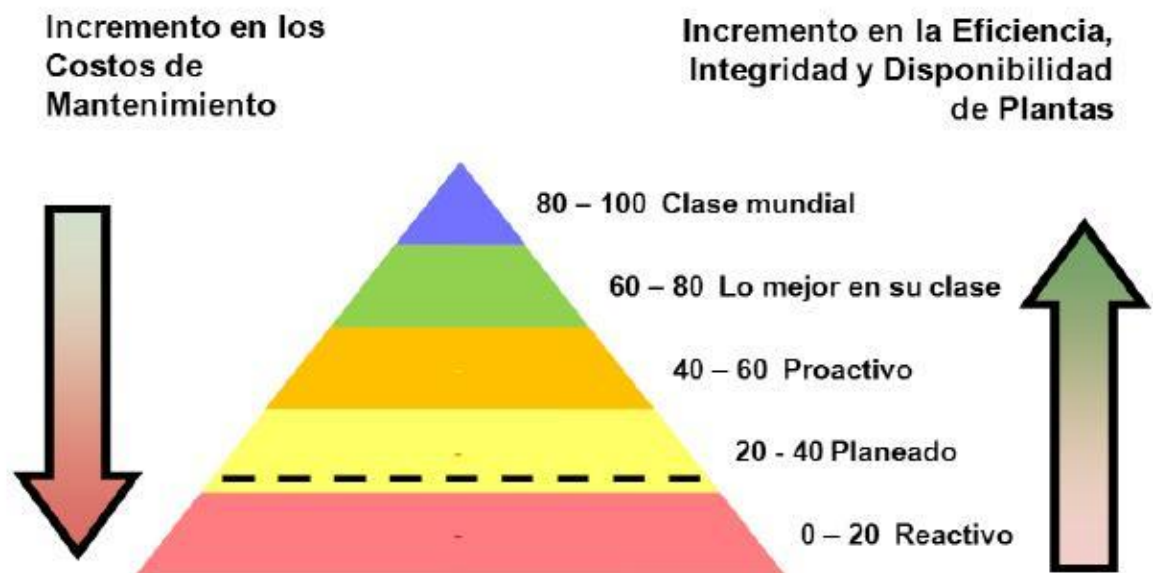


Figura 7. Pirámide de Excelencia de Mantenimiento



Fuente. Freddy Ballesteros Correa

Medidas de Desempeño

- Tecnología de la Información
- Involucramiento de los Empleados
- Análisis de Confiabilidad
- Análisis de Procesos

- Información de los Equipos

3.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

3.4.1 Origen del RCM El RCM encuentra sus raíces a principio de los años 60's, inicialmente es desarrollado por la industria de la aviación civil norteamericana; el primer esfuerzo serio lo promulga la ATA (Air Transport Association) en Washintong (USA) en 1968, conocido como informe MSG1; posteriormente actúa el departamento de defensa de USA, y por comisión, F Stanley Nowlan y Howard Heap escriben por primera vez su trabajo el nombre de Reliability Centered Maintenance de USA), que procura optimizar los factores humanos y productivos alrededor del mantenimiento. Estudio MSG2 primero y el MSG3 promulgado en 1980 han permitido la divulgación de la metodología.

Quizás el desarrolla reciente más importante en el campo de RCM sea la publicación en Agosto de 1999 la norma SAEJA 1011:"Evaluation Criteria for Reliability-Centered-Maintenance Processes.

El RCM fue elaborado con el fin de ayudar a líneas aéreas a establecer un sistema de mantenimiento para nuevos tipos de aviones, antes de que estos entraran en funcionamiento. Como resultado, el RCM es una forma ideal para desarrollar planes de mantenimiento en equipos complejos y para los que no exista mucha documentación al respecto, lo anterior ahorra errores y pruebas, costosas y dispendiosas tan comunes al desarrollar planes de mantenimiento.

Otra de las fortalezas del RCM es que su lenguaje técnico es sencillo y fácil de entender a todos los que tengas que ver con él, esto le permite al personal involucrado saber que pueden esperar de esta aplicación y que se debe hacer para conseguirla. Además, le da confianza al trabajo y mejora se efectividad y su moral.

3.4.2 Definición de RCM La norma SAE JA1011 define el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de la siguiente manera.

“RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional⁴

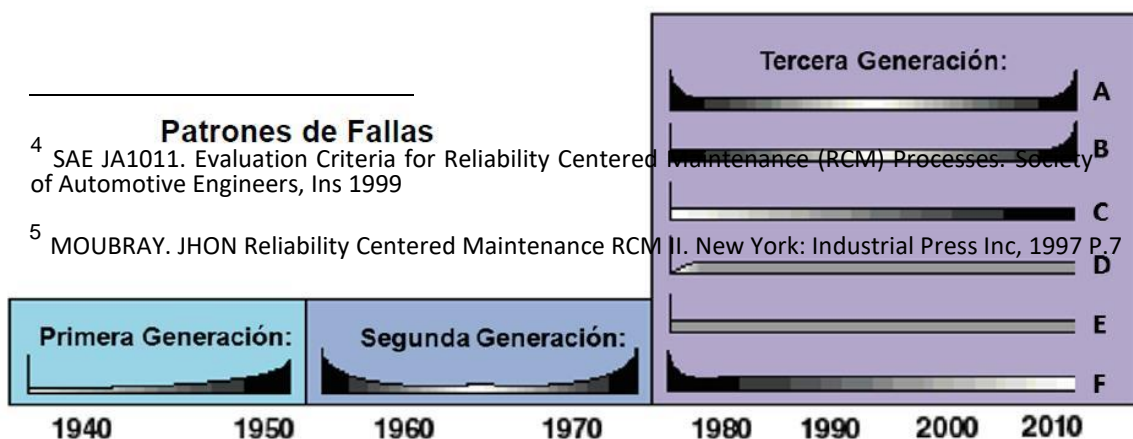
En el libro de RCM II de Jhon Moubray el autor plantea la siguiente definición:

“RCM es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual⁵.

“El RCM es el proceso usado para determinar el enfoque más efectivo del mantenimiento esto implica identificar acciones que cuando se toman reducen la probabilidad de falla de la forma más costo-efectiva buscando una mezcla optima de acciones basadas por condición acciones basadas en ciclo o en tiempo o el enfoque de operar hasta la falla.

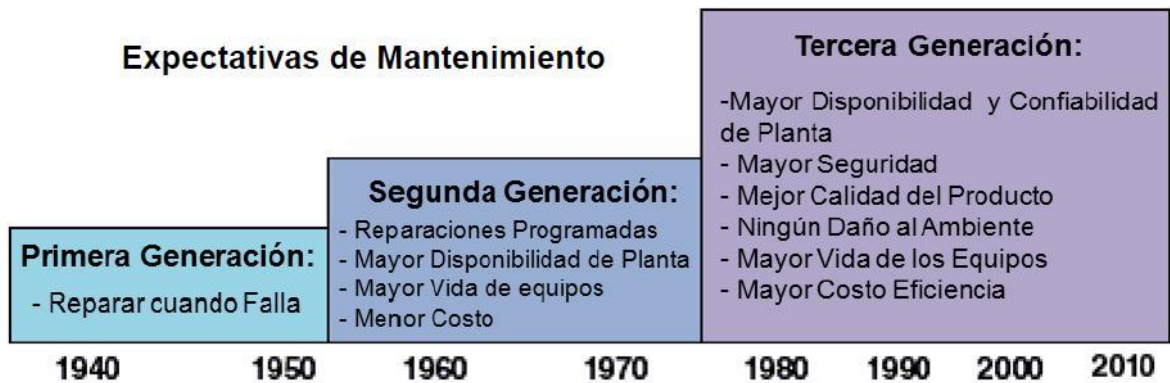
En conclusión el RCM es un proceso que permite determinar las tareas mínimas de mantenimiento (Correctivo, Preventivo y Predictivo) necesarias para que los activos cumplan con su función en su contexto operacional. Los principales componentes del RCM están relacionados entre sí.

Figura 8. Patrones de Fallas y evolución del mantenimiento.



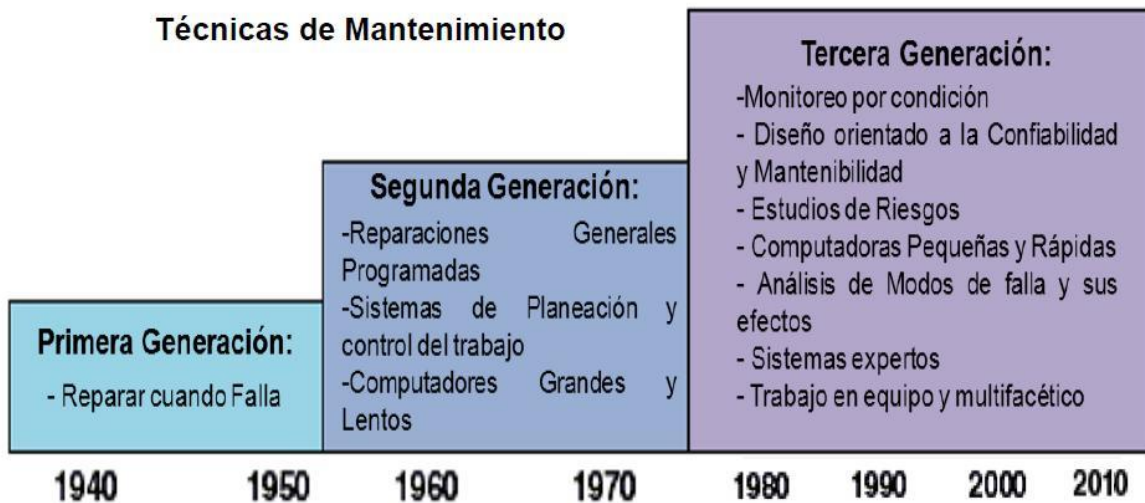
Fuente. Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray Figura. 30. Expectativas de Mantenimiento

Figura 9. Expectativa de Mantenimiento.



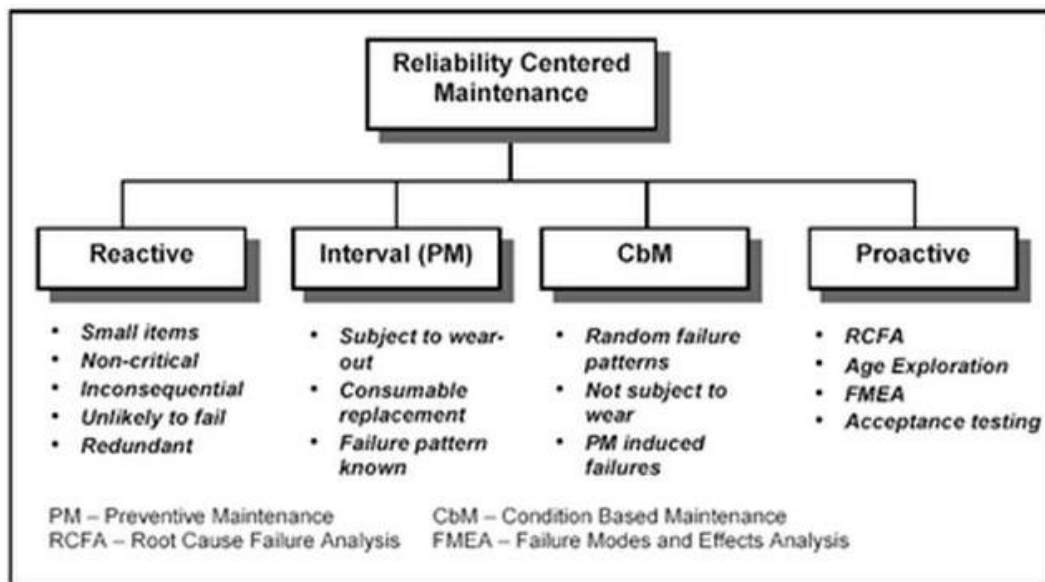
Fuente. Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

Figura 10. Técnicas de Mantenimiento.



Fuente. Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

Figura 11. Mapa del RCM.



Fuente. <http://www.wbdg.org/resources/rcm.php>

4.4.3 Historia del RCM. El RCM fue desarrollado a fines de los 60's por la industria aeronáutica, la cual vio la necesidad de identificar la mejor técnica de mantenimiento adecuada al sector de la aviación. Esta forma de mantenimiento posibilitaría una eficaz operación del Boeing 747(*), evitando estar mucho tiempo en tierra para mantenimiento preventivo. Los resultados fueron sorprendentes y en muy poco tiempo era herramienta estándar de las fuerzas militares norteamericanas y de la industria nuclear. Los otros sectores industriales fueron tentados a su práctica en los 80's (petróleo, energía y minera)

El proceso ha permitido definir cuales tareas de mantenimiento son adecuadas para cualquier activo físico. EL RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal mecánica, etc.

La norma SAE JA1011 (RCM), especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado como RCM. La misma puede descargarse través del portal de la SAE (www.sea.org).

4.4.3.1 Evolución del Mantenimiento

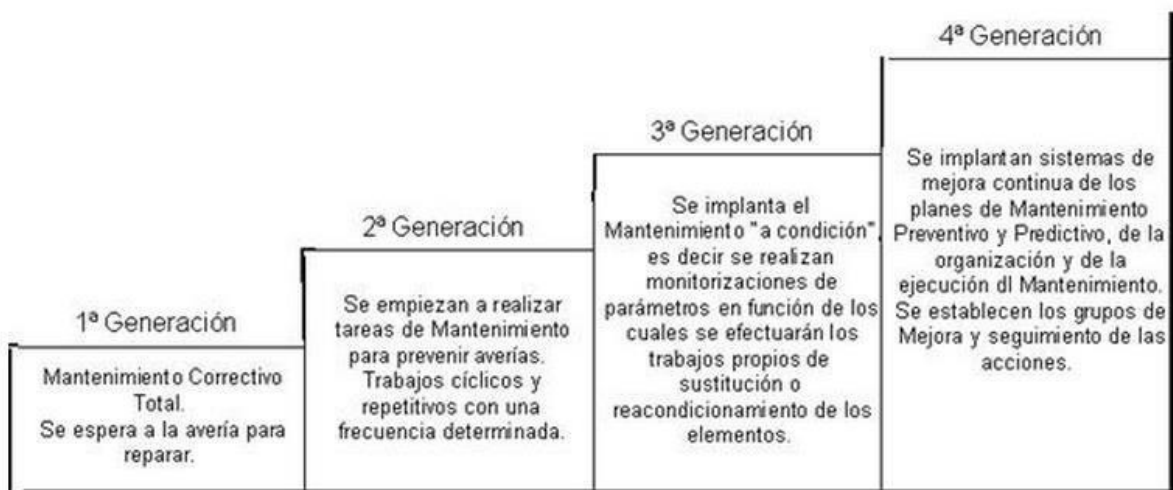
Se considera que el mantenimiento ha pasado por varias etapas y han marcado específicamente una metodología como lo son:

- **Primera Generación:** Se extiende hasta la segunda Guerra Mundial. Los equipos eran muy sencillos y fabricados con un fin específico; debido a esto los tiempos de parada no eran de gran importancia ya que la automatización o producción en serie no se había implementado.
- **Segunda Generación:** Comprende la Segunda Guerra mundial hasta 1970; este cambio se debió básicamente a la necesidad de toda clase de productos y una disponibilidad de mano de obra muy baja; llevando a la producción de máquinas más complejas para la fabricación de los productos. Las empresas inician una dependencia por las maquinas, haciendo notable el tiempo de no producción de las mismas. Bajo este

principio de no funcionalidad surge el planteamiento de que las fallas se pueden prevenir y se conocen como mantenimiento preventivo.

- **Tercera Generación:** A mediados de los 60's; las velocidades de producción con mucho más rápidas dando paso a la automatización y a la calidad de los productos, teniendo como finalidad el costo final y satisfacción al consumidor, por tal motivo el mantenimiento se centraliza en la disminución de tiempos de parada de los equipos y perdidas directamente en la producción.
- **Cuarta Generación:** La evolución posterior ha sido la creación de círculos de calidad y grupos de mejora continua con objetivos de alcanzar la calidad total e integración del personal (equivalente a los modelos de organización, o sea la cuarta generación del Mantenimiento).

Figura 12. Diagrama Cuarta Generación Mantenimiento

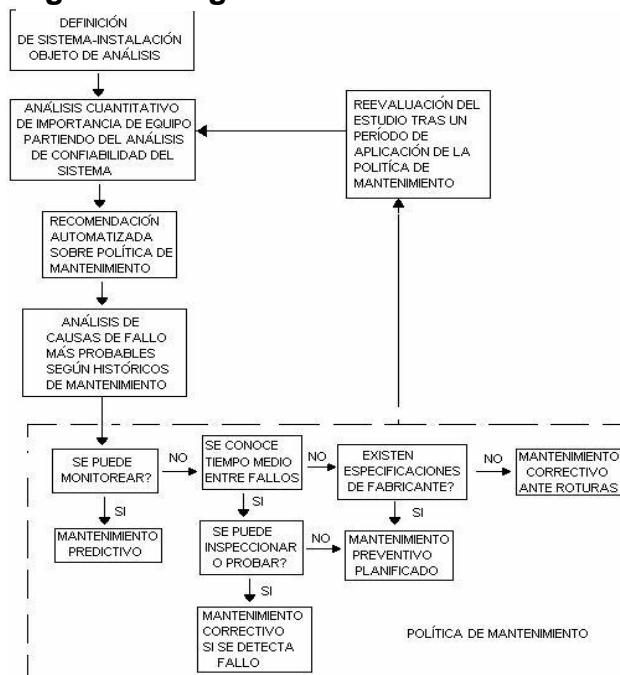


Fuente. <http://johndwin19.blogspot.com/2012/05/mantenimiento-industrial.html>

4.4.4 Descripción del RCM Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM se basa en el análisis de las funciones asociadas a cada equipo; como el de ejecutar la labor para la cual fue creada e instalada en la planta, adicional a esto cualquier otra función que pueda realizar como contener o almacenar, sistemas de suministros de alimentación, sistemas de escape, refrigeración, entre otros, adicional a esto se debe tener en cuenta limitaciones de un equipo para poder saber de dónde hasta donde se va a realizar el RCM de la maquina a trabajar y que deben ser numeradas o identificadas a las fallas de operación el cual nos ayuda al análisis del RCM. Por tal motivo el RCM es un proceso utilizado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su actual contexto operacional.

4.4.4 Aplicación del RCM Existen varios procedimientos de orden universal que plantean las normas y las reglas que rigen la implementación del RCM, en si son procedimientos parecidos algunos con mayor validez o no, pero en el fondo apuntan a propósitos generales comunes.

Figura 13. Algoritmo del Método basado en RCM



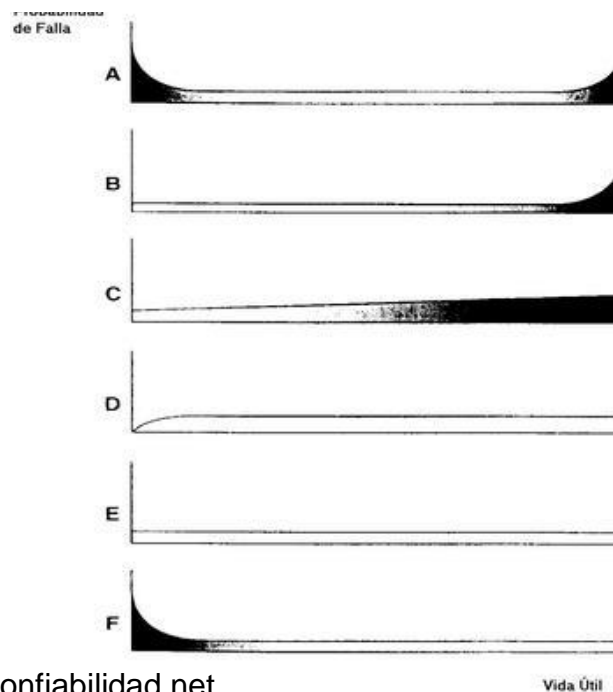
Fuente. www.scielo.sld.cu

4.4.6 Vida Útil y Desgaste Cualquier equipo al entrar en funcionamiento está ligado a una serie de esfuerzos ya sean físicos, mecánicos, eléctricos, químicos, entre otros; los cuales hacen que las maquinas sufran desgastes y estén sometidos a un deterioro constante, ocasionado que deje de cumplir parte de sus funciones, entre otras palabras se presenta una falla.

Generalmente se intuye que el deterioro se presenta dependiendo de la edad de los componentes y que las fallas se presentarían al transcurrir la edad de operación, sin embargo se debe tener en cuenta que le deterioro es directamente proporcional al esfuerzo aplicado consistentemente.

La gran parte de activos no cumplen con un patrón de falla en función del tiempo, como se muestra en la figura; aunque no podemos predecir el fracaso de estos activos sobre la base de tiempo, lo que sin duda podemos predecir es el fracaso de estos activos basados en la condición utilizado una variedad de tecnologías sensibles y herramientas diseñadas para detectar alertas tempranas de los fallos inminentes.

Figura 14. Esquema Probabilidad de Falla Vs Vida útil



Fuente. <http://confiabilidad.net>

Vida Útil

En donde:

- Modelo A: Llamada curva de la bañera, donde la incidencia de la falla al comienzo es muy alta (mortalidad infantil o desgaste de funcionamiento) seguido por una frecuencia de falla constante y termina con una zona de desgaste.
- Modelo B: la probabilidad de falla es constante con la zona de desgaste.
- Modelo C: Presenta una probabilidad de falla ligeramente ascendente, pero no hay una edad de desgaste definida.
- Modelo D: Cuando el componente es nuevo la probabilidad de falla es baja y luego presenta un incremento rápido a un nivel constante.
- Modelo E: La probabilidad de falla es constante en todas las edades (fallas aleatorias)
- Modelo F: La mortalidad infantil es muy alta, que decrece finalmente con una probabilidad de falla aumenta despacio o que es constante.

4.5 MANTENIMIENTO Y EL RCM

Los grandes diccionarios definen mantener conservar cada cosa en su ser (Real Academia Española), causar que continúe (Oxford), o conservar en el estado existente (Webster).

Esto sugiere que “mantenimiento” significa preservar algo. Por otro lado están de acuerdo con que modificar algo significa cambiarlo de alguna manera. Estas diferencias entre mantener y modificar tienen profundas implicaciones que serán detalladas en otro capítulo. En este momento nos centraremos en el mantenimiento.

Cuando nos disponemos a mantener algo. ¿Qué es eso que deseamos causar que continúe?, ¿Qué estado existente deseamos preservar?

La respuesta a estas preguntas es dada por el hecho de que todo activo físico es puesto en funcionamiento porque alguien quiere que haga algo, en otras palabras, se espera que cumpla un función o funciones específicas. Por ende, al mantener un activo, el estado que debemos preservar es aquel en el que continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga.

Mantenimiento según RCM: asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan.

Los requerimientos de los usuarios van a depender de cómo y cuándo se utilice el activo (contexto operacional). Esto lleva a la siguiente definición formal de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Un proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional.

A la luz de la anterior definición de mantenimiento una definición más completa de RCM sería “un proceso utilizado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan en su actual contexto operacional”

4.5.1 Beneficios del RCM

- Mayor grado de seguridad del personal y del ambiente.
- Mayor grado de confiabilidad operacional de los equipos. Menos tiempos muertos y sus consecuencias.
- Mejor desempeño operacional de los equipos.
- Reducción del costo total del mantenimiento.
- Incremento en la vida útil de los activos.
- Optimización de frecuencias de mantenimiento preventivo y predictivo basados en el análisis de costo/riesgo utilizando modelos probabilísticos.

- Evitar que las fallas ocurran realizando los cambios necesarios desde la planeación para evitar problemas durante la ejecución, puesta en marcha y operación.
- Descartar cualquier falla para evitar que se presente.
- Localizar fallas con el fin de solucionarlas lo más pronto posible evitando perturbaciones o alteraciones en la correcta operatividad de la máquina.
- Analizar aquellos posibles errores que puedan llevar a ocasionar paradas o producir anomalías para la seguridad de la máquina del personal.

4.5.2 Componente a realizar RCM

El mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM es el proceso usado para determinar el enfoque más efectivos del mantenimiento esto implica identificar acciones que al tomarse reducen la probabilidad de falla de la forma costo-efectiva buscando una mezcla optima de acciones basadas por condición, acciones basadas en ciclo en el tiempo o en el enfoque de operar hasta que falle. Para poder realizar un RCM se debe evaluar la criticidad de cada componente de la plántalos cuales tienen efectos tales como:

- Seguridad industrial relacionado en la parte humana
- Seguridad ambientes
- Efectos en la imagen corporativa
- Afectación en el proceso de producción
- Costos relacionados al mantenimiento, repuestos, mano de obra, reparaciones entre otros.

Donde la criticidad hace referencia a una serie d pautas preestablecidas dentro de la compañía, los cuales tienen sus causas y efectos para la empresa.

4.5.3 RCM: Las Siete Preguntas Básicas

Según lo expuesto por John Moubray. El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta analizar:

1. ¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociado al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer sus funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿De qué manera importa cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Estas preguntas son desarrolladas brevemente en los párrafos siguientes.

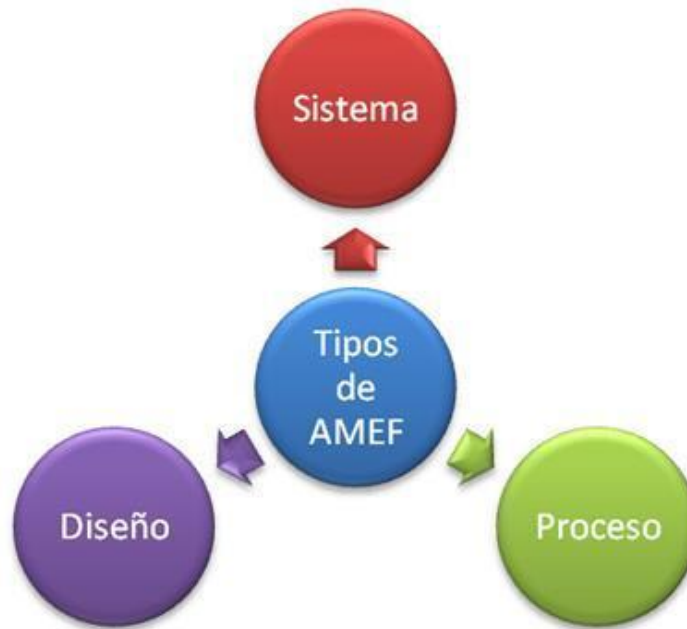
4.5.4 Análisis de Efectos y Modos de Falla (AMEF). Análisis de efectos y modo de falla (FMEA) es un modelo usado para priorizar los posibles defectos en base a su gravedad, frecuencia esperada y posibilidad de detección.

Un FMEA se puede ejecutar en un diseño o en un proceso, y se utiliza para producir acciones para mejorar la solidez del diseño o proceso. El FMEA destaca las debilidades del diseño o proceso actual en términos del cliente y es un excelente medio para priorizar y organizar las iniciativas de mejoramiento continuo en áreas que ofrecen el mayor retorno.

El proceso es muy sencillo y comienza con la identificación de todos los modos de falla posibles. Este análisis se basa en la experiencia, la revisión y la lluvia de ideas, y se deben utilizar los datos reales si es posible. Es posible que diseños o

procesos nuevos no tengan datos históricos reales desde los cuales extraer, pero puede haber disponibles datos de “poder” desde diseños o procesos similares.

Figura 15. Diagrama de Tipos de AMEF.



Fuente. www.cursos.tecmilenio.edu.mx

El siguiente paso es asignar un valor en una escala de 1 a 10 a las columnas de

“gravedad, probabilidad de ocurrencia” y *“probabilidad de detección”* para cada uno de los posibles modos de falla. Después de asignar un valor, los tres números de cada modo de falla se multiplican juntos lo que dará como resultado un *número de Ponderación de riesgo (RPN⁶)*.

El RPN pasa a ser un valor prioritario para clasificar los modos de falla, donde el número mayor exige la actividad de mejoramiento más urgente. Las acciones a prueba de errores o poka-yoke son en general una respuesta eficaz a RPN altos.

⁶ https://www.moresteam.com/es/toolbox/esp_t418.cfm

4.5.4.1 Funciones.

Antes de poder definir qué proceso aplicar para determinar que debe hacerse para que cualquier activo físico continuo haciendo aquello que sus usuarios quieren que hagan en su contexto operacional, se necesita hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que hagan, y
- Asegurar que sea capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Por eso el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto a los parámetros de funcionamiento deseado. Lo que los usuarios esperan que sean realizados por los activos puede ser dividido en dos categorías.

- **Funciones Primarias:** Que resumen el porqué de la adquisición del activo en primera instancia. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de carga o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente.
- **Funciones Secundarias:** Que indican que se espera de cada activo que haga más de allá de simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regularidades ambientales, y hasta la apariencia del activo.

Los usuarios de los activos generales están por lo lejos en la mejor posición para saber exactamente que contribuciones físicas y financieras el activo hace para el bienestar de la organización como un todo. Por ello es esencial que estén involucrados en el proceso de RCM desde el comienzo.

Se es correctamente, este paso solo toma alrededor de un tercio del tiempo que implica un análisis del RCM completo. Además hace que el grupo que realiza el análisis logre un aprendizaje considerable (muchas veces acerca de cómo realmente funciona el equipo).

4.5.4.2 Fallas Funcionales. Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociados al activo en cuestión. ¿Cómo puede el mantenimiento alcanzar estos objetivos?

El único hecho que puede hacer es alguna que un activo no pueda desempeñar conforme a los parámetros requeridos por su usuario es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al aplicar un abordaje apropiado en el manejo de una falla. Sin embargo, antes de poder aplicar herramientas apropiadas para el manejo de una falla necesarios identificar que fallas pueden ocurrir.

El proceso RCM lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, se identifica las circunstancias que llevan a la falla.
- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

En el mundo de RCM los estados de fallas son conocidos como *fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.*

Sumado a la capacidad total de funcionar, está definido abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Pero estas solo pueden claramente identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

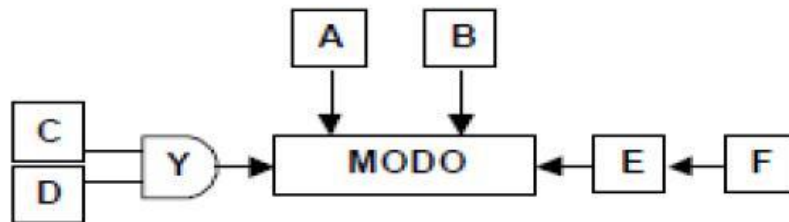
4.5.4.3 Modos de Falla. Como se menciona en el párrafo anterior, una vez que se ha identificado la falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que pueden haber causado cada estado de falla. Estos hechos de denominan modos de falla.

Los modos de fallas posibles incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto. También incluyen fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes,

así como fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

Un modo de falla puede estar originado por uno o más causas; estas pueden ser independientes entre sí, tales como la A o la B de la figura a continuación:

Figura 16. Modos de Falla



La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de falla en los equipos puedan ser identificadas, esta lista debe incluir fallas causada por errores humanos (por parte de los operadores y el personal de mantenimiento), y errores de diseño. También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentando tratar síntomas en lugar de causas reales. Por otro lado, es igualmente importante asegurarse de no malgastar el tiempo en el análisis mismo al concentrarse demasiados en los detalles.

4.5.4.4 Efectos de Falla.

El cuarto paso en el proceso de RCM consiste en hacer un listado de los efectos de fallas, que describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de falla. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria y sirve para apoyar la evaluación de las consecuencias de las fallas tal como:

- Que evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si es que la representa).

- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta).
- Que daños físicos (si los hay) han sido causado por la falla.
- Que debe hacerse para reparar la falla.

El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modo de falla y efectos de falla trae asombrosos y muchas veces apasionantes oportunidades de mejorar el desempeño y la seguridad, así como también de eliminar el desperdicio.

4.5.4.5 Consecuencias de Falla. Un análisis detallado de la empresa industrial promedio probablemente muestre entre tres y diez mil posibles modos de falla. Cada una de estas fallas afecta a la organización de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes. Puede afectar operaciones. También puede afectar a la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Y todas tomaran tiempo y costaran dinero para ser reparadas.

- **Consecuencias de Fallas Ocultas:** las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (la mayoría está asociada a sistemas de protección sin regularidad inherente).
- **Consecuencias ambientales** y para la seguridad: una falla tiene consecuencias para la seguridad si pueden herir a matar alguna persona. Tienen consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.
- **Consecuencias operacionales:** si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente o costos operacionales), además del costo directo de la reparación.

4.5.4.6 Numero de Ponderación del Riesgo Este valor se obtiene con la multiplicación de la probabilidad por el impacto por la detección generando el número de Ponderación del riesgo o como se conoce en sus siglas en ingles RPN (Risk Priority Number) 83.

$NPR = \text{probabilidad} * \text{impacto} * \text{detección}$

Fórmula: El número de Ponderación de riesgo, o RPN, es una evaluación numérica de riesgo asignado a un proceso, o pasos de un proceso, como parte de Modos de Falla y Análisis de Efectos (AMFE), en el que un equipo asigna valores numéricos a cada modo de fallo que cuantificar la probabilidad de ocurrencia, la probabilidad de detección, y la gravedad del impacto.

4.5.5 Tareas De Mantenimiento. Rcm maneja la falla de 2 formas: mediante tareas proactivo, es decir tareas que se ejecutan antes de que ocurra la falla como el mantenimiento preventivo y predictivo, para lo cual se utilizan:

- Tareas a Condición: Se utilizan para identificar las fallas potenciales, mediante las condiciones identificables las cuales muestras que va a ocurrir una falla funcional o que está en proceso de ocurrir, con la finalidad de hacer algo antes de que se convierta en falla funcional.

La figura 17 muestra la curva P-F, que muestra el punto P, el cual es dónde podemos detectar la falla es llamada “Falla Potencial” y el punto en el que falla el equipo es F llamado “Falla Funcional”, las tareas a condicion deben realizar en este intervalo P-F.

Figura 17. Curva P-F



Fuente. www.machinerylubrication.com

Las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional⁷.

Las tareas a condición: Cuando se requiere un equipo especializado para detectar las fallas potenciales.

Variación de la calidad del producto: Se pueden emplear procesos estadísticos para determinar cuándo se empieza a afectar la calidad del producto.

Monitoreo de efectos primarios: Puede realizarlo un operador o una computadora, la idea es tomar datos como presión, temperatura, caudal, etc., y compararlos con una referencia para determinar la falla potencial.

Sentidos humanos: Se refiere a lo que se puede percibir con los sentidos, olores, ruidos extraños, alta temperatura. Por lo general cuando se detecta la falla potencial de esta manera la gravedad de la falla es avanzada.

Para el caso de las fallas al azar en las cuales no se sabe cuándo va a ocurrir la falla no se puede determinar cuándo empieza la curva P-F, se puede recurrir a las siguientes tareas:

- Observación continua hasta identificar la falla potencial lo que puede resultar muy costoso al requerir la disponibilidad de equipos y personal continuamente, además resulta poco práctico ya que toca esperar hasta que la falla funcional ocurra.
- Comenzar con un intervalo corto y extenderlo gradualmente. Este intervalo corto por supuesto es arbitrario y al igual que la observación continua resulta poco práctico ya que también se debe esperar a que ocurra la falla funcional.
- Intervalos arbitrarios, volviendo a caer costos de mantenimiento ya que si la curva P-F es muy larga generarían muchas tomas.

⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Gran Bretaña: Aladon Ltd., 2004. P.149

- La investigación es la forma más adecuada de establecer un intervalo P-F preciso, realizando observaciones y tomando muestras que identifiquen a tiempo la falla potencial.

Un enfoque relacional puede determinar un intervalo P-F preciso se es basado en los criterios y la experiencia del personal de mantenimiento y operación.

- Tareas re reacondicionamientos cíclico y de sustitución cíclica: los componentes de un equipo son revisado y repasados a un frecuencia fija sin importar su estado. Cuando el modo de falla es relacionado con la edad algunas veces no es posible devolverlo a su condición normal de funcionamiento, en tales casos se debe cambiar el activo.

“la frecuencia de una tarea de reacondicionamiento o sustitución cíclico está determinada por la edad en la que el elemento o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla”⁸.

Los modelos de falla vistos en la figura 39, que están relacionadas con el deterioro y la edad son los A, B y C, se presenta por la exposición al esfuerzo en el tiempo, horas de operación o cantidad de material procesado, cabe aclarar que aunque dos (2) equipos sean iguales su curva de desgaste siempre es diferente. Este tipo de esfuerzo es poco predecible y poco probable ya que los esfuerzos no siempre se aplican en forma constante.

Existen otras fallas que no son relacionadas con la edad y sus modelos de falla son D, E y F, vistos en la figura 39. Estos modelos reflejan la situación cuando el esfuerzo es variable, pueden existir sobre picos de esfuerzo que traen como consecuencia una reducción de la resistencia a la falla incrementando en el equipo la vulnerabilidad a otro tipo de picos ocasiona una aceleración de la pérdida de la resistencia a la falla.

Otra forma de manejar la falla en acciones a falta de, la cual se utiliza cuando no se puede ajustar ninguna tarea proactiva, en esta caso se recurre al rediseño o llevar el equipo a falla, para manejarlo como correctivo. O a tareas de búsqueda de fallas.

⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Gran Bretaña: Aladon Ltd., 2004. P.140

Generalmente se piensa que para mejorar la disponibilidad de los equipos debe existir algún tipo de ruta preventiva, pero después de analizar los modos de falla se puede concluir que existen diferentes tareas las cuales se asignan según su modo de falla. Las principales características de una tarea son:

- .el costo/beneficio de realizar la tarea debe ser óptimo.
- La tarea debe tener disponibilidad de recursos humanos y equipos para realizarla.
- La tarea debe ser fácil y ejecutable.
- La tarea debe reducir el riesgo de la falla funcional, en caso contrario el equipo debe rediseñarse.

4.5.5.1 Tipos de tareas

- Tareas Operativas: Condiciones operativas, Ph, temperatura, presión
- Tareas Predictivas: Muestras de aceite, vibraciones, termografías, ultrasonido, etc.
- Tareas funcionales operativas: Pruebas semanales, test de instrumentos.
- Tareas por oportunidad: Proyectos, actualizaciones, rediseños.
- No intrusivas: Reemplazo de aceite, torques, inspecciones, boroscopio.
- Tareas funcionales de mantenimiento: Test de instrumentos, protecciones, pruebas de válvulas.
- Intrusivas: Equipos fuera de servicio para inspección y reparación, chequeo de partes internas.

Una tarea proactiva se ejecuta solo si logra reducir las consecuencias de la falla, teniendo en cuenta el costo de hacer la misma.

Dentro del mantenimiento se da Ponderación a las tareas a condición ya que generalmente no intervienen con la producción, identifican condiciones específicas de modo que definen concretamente que acción correctiva debe ejecutarse y adicionalmente alargan la vida del activo al identificar exactamente el punto de falla potencial.

En caso de no encontrar una tarea a condición apropiada para el modo de falla se debe pensar en reacondicionamiento o sustitución cíclica, lo cual trae como desventajas: por lo general se debe ejecutar con el equipo fuera de servicio puede darse el caso de cambiar componentes o equipos que aun tenga vida útil y adicionalmente este tipo de tareas requiere más mano de obra al estar involucradas otras especiales.

Por otro lado en algunos casos es necesario combinar los diferentes tipos de tareas proactivas ya que una por sí sola no reduce el riesgo de la falla.

4.5.6 Diagrama De Árbol Lógico De Decisión este diagrama define que mantenimiento de rutina que será realizado y las frecuencias, que fallas son lo suficientemente serias como para justificar un rediseño y que se dejará como mantenimiento no programado.

El formato de hoja decisiones se muestran en la tabla 4 y el diagrama de decisión RCM II se muestra en la figura 40. La hoja de decisión está dividida en 16 columnas. Las primeras 3 (F,FF y FM) identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utiliza para correlacionar la hoja de información con la hoja de decisión.

Las siguientes 4 columnas son para evaluar las consecuencias de cada modo de falla en cuanto a:

- H= ¿Será evidente a los operadores la pérdida de la funciones causada por éste modo de falla actuando por si solo en circunstancias normales? Si la respuesta es afirmativa se escribe S en la columna H y se sigue con la pregunta S, pero si la respuesta es negativa se escribe N en la columna H y se baja en el diagrama de decisión a la pregunta H1.

- S= ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar a matar a alguien? Si la respuesta es afirmativa se escribe S en la columna S y se sigue con la pregunta S1, pero si la respuesta es negativa se escribe N en la columna S y se sigue en el diagrama de decisión a la pregunta E.
- E= ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier normativa o reglamento del medio ambiente? Si la respuesta es afirmativa se escribe S en la columna E y se sigue con la pregunta S1, pero si la respuesta es negativa se escribe N en la columna E y se sigue en el diagrama de decisión a la pregunta O.
- O= ¿Ejerce el modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional? Si la respuesta es afirmativa se escribe S en la columna O y se sigue con la pregunta O1, pero si la respuesta es negativa se escribe N en la columna O y se sigue en el diagrama de decisión a la pregunta N1.

Las siguientes 3 Columnas registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva y qué tipo de tarea.

- H1,S1,O1,N1= Se registra S se establece que es estrictamente factible realizar una tarea por condición, en caso negativo se registra N.
- H2,S2,O2,N2= Se registra S si se establece que es técnicamente factible realizar una tarea de reacondicionamiento programado, en caso negativo se registra N.
- H3,S3,O3,N3= Se registra S si se establece que es estrictamente factible realizar una tarea de sustitución cíclica, en caso negativa se registra N.

Si se deben registrar tareas a falla de se completan en las columnas H4, H5 S4, estas columnas sólo se responden si las 3 anteriores siempre fueron “no”.

- H4= Se registra S si se establece que es técnicamente factible realizar una tarea de búsqueda de fallas, seguidamente se completan las 3 últimas columnas. En caso negativo se registra N.

- H5= Sólo se registra si H4 es negativo. Se pregunta si la falla múltiple afecta la seguridad o el medio ambiente. Si se registra S es obligatorio realizar rediseño, en caso negativo se registra N.
- S4= Sólo se registra se H4 y H5 son negativo. Se registra S si es técnicamente factible realizar una combinación de tareas proactivas, la falla múltiple afecta la seguridad o el medio ambiente, en caso negativo se registra N y el rediseño es obligatorio.

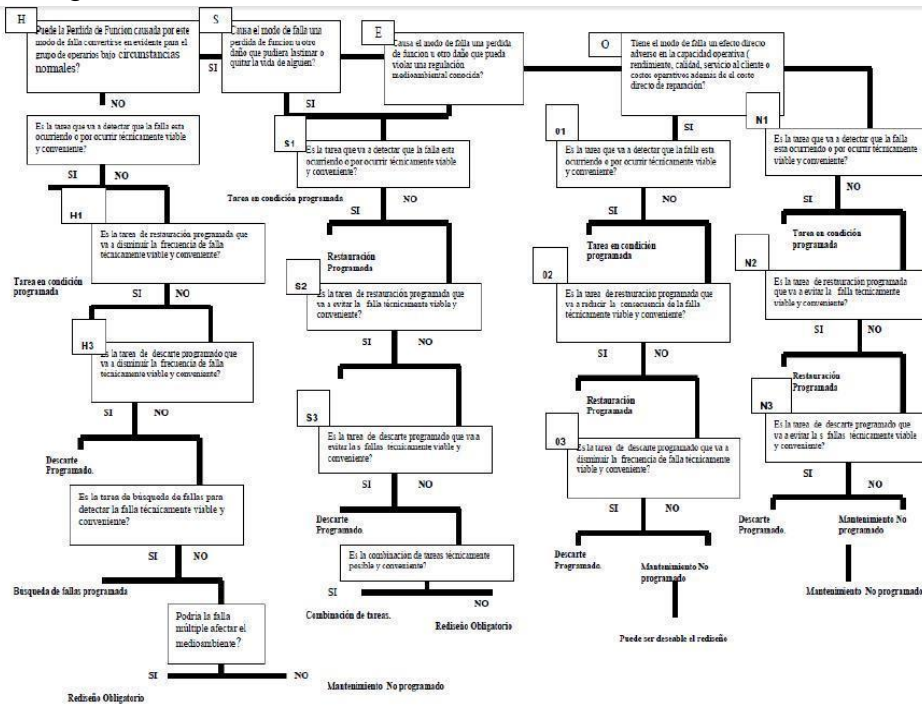
Las últimas 3 columnas se utilizan para colocar la tarea propuesta, su frecuencia y quien ha sido designado para ejecutarla. En la columna Tarea Propuesta, también se utiliza para especificar si el modo de falla requiere rediseño o si no se programara mantenimiento.

Tabla 1. Hoja de Decisión RCM II

HOJA DE TRABAJO RCM																
Equipo														Equipo de trabajo:	Fecha de realización	
Componente														Abrobado por	Fecha de aprobación	
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas		Frec. Inicial	Recursos
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	H4	H5	S4				
							O1 N1	O2 N2	O3 N3							
1	A	1														
1	A	2														
1	B	1														
1	B	2														
2	A	1														
2	A	2														
3	A	1														
3	A	2														
4	A	1														
4	A	2														

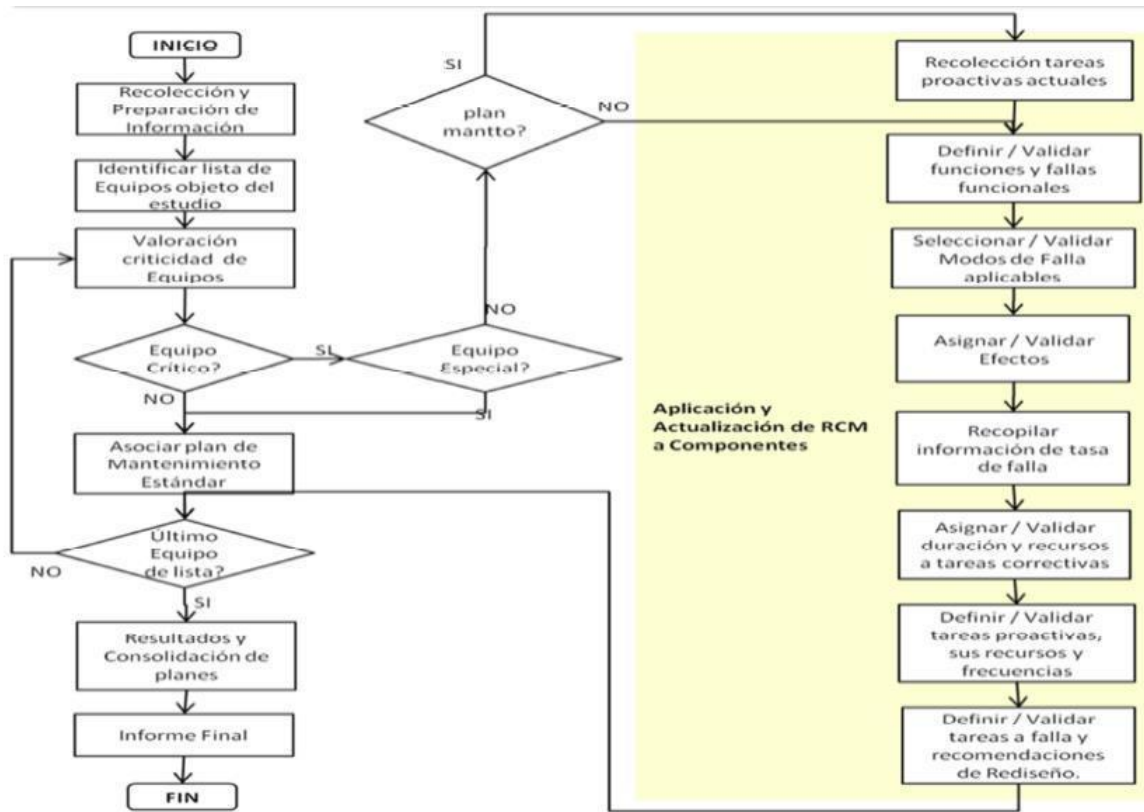
Fuente. Moubray John, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Biddles ltd, Gran Bretaña 2004

Figura 18. Diagrama de Decisión RCM



Fuente. Moubray John, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Biddles Ltd, Gran Bretaña 2004

Figura 19. Diagrama de flujo del RCM



Fuente. Moubray John, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Biddles Ltd, Gran Bretaña 2004

4.5.7 Resultados De Un Análisis Rcm. A través de la secuencia lógica y de su respectivo análisis se obtiene una serie de tareas a realizar por parte de mantenimiento.

Entre las tareas de mantenimiento según RCM se pueden ejecutar:

- Proactivo: Basado en los principios de solidaridad, iniciativa del operador, concientización, trabajo en equipo, en el que involucran directamente e indirectamente la problemática del mantenimiento.

- Predictivas: Consiste en establecer, en primer lugar, un histórico de la relación entre la variable seleccionada y la vida del componente.
- Cualquier técnica de mantenimiento que ayude a buscar fallas ocultas, rediseños y que brinden la posibilidad de establecer un Plan de Mantenimiento que nos ayude en la aplicación de estos métodos de la forma más simple y posible en el que se plasma un listado de actividades del mantenimiento, una frecuencia de ejecución y una frecuencia estimada en la programación.

4.6 INDICADORES DE GESTIÓN EN MANTENIMIENTO

Productividad y competencia son características de los ambientes donde se desempeñan corporaciones e industrias, las cuales se ven obligadas a maximizar sus capacidades productivas y minimizar costos operativos. La condición y disponibilidad de sus sistemas productivos juegan un papel decisivo en el éxito de sus negocios.

Para la función Mantenimiento, esto significa una constante búsqueda de nuevas y novedosas formas de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de plantas y equipos industriales, siempre a través de un control efectivo de costos.

El hecho de planificar y programar los trabajos de Mantenimiento a grandes volúmenes de equipos e instalaciones ha visto en la automatización una oportunidad de constantes mejoras, y la posibilidad de plasmar procedimientos cada día más complejos e interdependientes.

Esto aunado a la mejor práctica de un mantenimiento en Clase Mundial, que establece Sistemas Integrados, ha conllevado a las grandes corporaciones a tomar la decisión de adoptar sistemas de Mantenimiento de Planificación.

El modelo de Mantenimiento permite la clasificación y caracterización de la información, para que ésta sea agrupada y consultada de acuerdo a los requerimientos específicos de cada usuario, lo cual facilita los procesos de análisis y toma de decisiones, tan importantes en las áreas de costos y confiabilidad.

La Gerencia de Mantenimiento está sustituyendo los viejos valores por paradigmas de excelencia de mayor nivel. La practica de Ingenieria de Confiabilidad, la gestion de activos, la medicion de los indicadores y la gestion de la disponibilidad; asi como las reduccion de los costos de mantenimiento constituyen los objetivos primordiales de la empresa enfocada a asegurar la calidad de gestión de la organización de Mantenimiento.

Los indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificacion empresarial asociados al area de afectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes, de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

Estos indicadores son:

- Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF).
- Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR).
- Disponibilidad
- Utilización
- Confiabilidad
- Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF).

3.6.1 Tiempo Medio Entre Fallas (Mtbf) el mtbf (mean time between failures) no es la media aritmética (promedio) del tiempo entre fallos de un sistema. El mtbf es típicamente parte de un modelo que asume que el sistema fallido se repara inmediatamente (el tiempo transcurrido es cero), como parte de un proceso de renovación. En cambio, el mttf (mean time to failure) mide el tiempo medio entre fallo con la suposición de un modelo en que el sistema fallido no se repara.

Ecuación 1. El MTBF es simplemente el recíproco de la cadencia de fallos.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}.$$

Ecuación 2. El MTBF se denota a menudo por el símbolo θ , o

$$MTBF = \theta.$$

Ecuación 3. Dado que la cadencia de fallos y el MTBF son recíprocos, se encuentran ambas notaciones en la literatura, dependiendo de cuál sea la más apropiada para la aplicación.

Ecuación 4. El MTBF puede definirse en términos del (valor esperado) de la función de densidad de fallos $f(t)$

$$MTBF = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

Ecuación 3. Con Ecuación 4.

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1.$$

4.6.2 Tiempo Medio Para Reparar (Mtrr) es el tiempo promedio para restaurar la función de un equipo, maquinaria, línea o proceso después de una falla funcional. Incluye tiempo para analizar y diagnosticar la falla, tiempo para conseguir el repuesto, tiempo de planeación, etc.

Además de ser una medición de la mantenibilidad de un equipo con el intervalo de tiempo obtenido dividiendo el tiempo total de las reparaciones entre el número total de fallas en un sistema.

Ecuación 5.

Dónde:

TTR= Tiempo total empleado en restaurar la operación de cada falla.

Fallas= Número de fallas totales en un tiempo determinado

Este índice debe tender a bajar para indicar mejorar la mantenibilidad.

4.6.3 Tiempo Medio Para La Falla (Mttf) la estimación del tiempo medio de falla es importante para conocer el valor esperado de falla que tiene la ocurrencia más probable y así evaluar se este valor reúne los equipos del cliente. Si no reúne esos requerimientos se deben implementar soluciones que hagan más prolongado este tiempo medio de falla. Para la utilización de las subsecuentes expresiones en el cálculo del tiempo medio de falla, es requisito fundamental que la distribución de probabilidad sea la exponencial, pues se requiere de una razón da falla constante. Este requisito se puede probar usando una prueba de bondad de ajuste (walpole y myers, 1992), la forma gráfica vista anteriormente o la prueba bartlett⁹.

Si el conjunto de datos de tiempos de falla es completo, la estimación se hace usando la formula clásica de promedio, sea:

Ecuación 6.

$$MTTF = \mu = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N}$$

4.6.4 Disponibilidad (A: Availability) es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

Ecuación 7.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

⁹ Ingeniería de confiabilidad Jorge Acuña Acuña, primera edición Editorial Tecnológica de costa Rica, 2003. Pág. 165

Es decir, cuando hablamos de confiabilidad el componente trabaja continuamente durante un periodo de tiempo dado, en otras palabras la función del componente no se interrumpe, el componente se pone en operación (arriba) y se mantiene arriba. Por otra parte cuando hablamos de disponibilidad el componente es puesto arriba en un instante dado y no importa lo que pase después, la función del componente puede ser interrumpida sin ningún problema.

La confiabilidad operacional Co

Ecuación 8.

$$Co = \frac{MTBF}{(MTBF+MTTR)}$$

La disponibilidad Operacional Do

Ecuación 9.

$$Do = \frac{MUT}{(MUT+MTTR)}$$

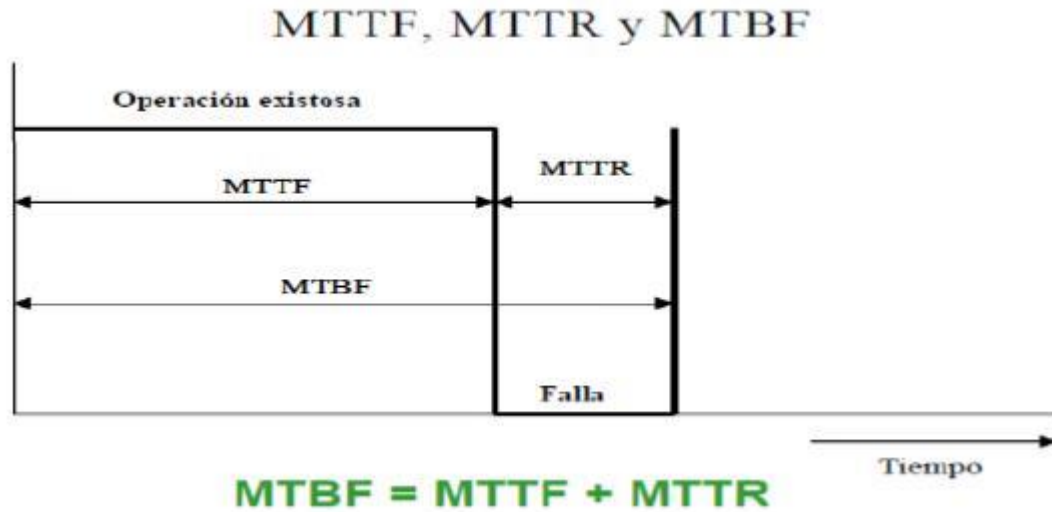
Dónde:

MTBF (Mean Time Between Failures): Es el Tiempo promedio entre Fallas

MTTR (Mean Time To Repair): Es el Tiempo Promedio para Reparar

MUT (Mean Up Time): es Tiempo Promedio en Operación (arriba) o Tiempo promedio para fallar (MTTF)

Figura 20. Indicadores de Confiabilidad



Fuente. Monografía Implementación de PMO para concretos Argos Freddy Ballesteros Correa

La ecuación base universal CDM se expresa así:

Ecuación 10.

$$A = \frac{\text{THIP} - (\text{SMH} + \text{UMH})}{\text{THIP}} \times 100$$

THIP = Total horas en el periodo
 SMH = Total horas de parada planeadas
 UMH = Total horas de parada no planeadas

Donde interaccionan los tiempos útiles UT (SoFu= Estado de Funcionamiento) y los tiempos de fallas debidas a reparaciones (imprevistas) DT (SoFa= Estado de Falla)

La Disponibilidad tiene en cuenta el tiempo de parada planeado y no planeado, se asocia a la posibilidad de generar servicios o productos.

La Disponibilidad Mecánica (A Mec) tiene en cuenta el tiempo de mantenimiento planeado y no planeado y como es afectado por las actividades propias de mantenimiento.

3.6.5 Confiabilidad (R: Realiability) capacidad de un equipo para cumplir con sus funciones requerida bajo unas condiciones dadas en un periodo de tiempo específico, se asocia a fallas.

Ecuación 11.

$$R = \frac{\text{THIP} - \text{UMH}}{\text{THIP}} \times 100$$

THIP = Total horas en el periodo
 UMH = Total horas de parada no planeadas

La Confiabilidad es una medida directa de tiempo de parada no planeado. Esta se mide para eliminar la recurrencia de eventos de paradas no planeadas.

Para el caso de la Mantenibilidad (M: Maintainability) esta se asocia a las reparaciones.

En el mundo moderno, el concepto de Confiabilidad adquiere gran trascendencia. Confiabilidad es la "capacidad de un ítem de desempeñar una función requerida, en condiciones establecidas". Habremos logrado la confiabilidad requerida cuando el "ítem" hace lo que queremos que haga. Al decir "ítem" podemos referirnos a una máquina, a una planta industrial, a un proceso, a un rodado, a un sistema y también a una persona. La Confiabilidad impacta directamente sobre los Resultados de la Empresa, debiendo aplicarse no sólo a máquinas o equipos aislados sino a la totalidad de los procesos que integran la cadena de valor de la Organización.

Ecuación 12.

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

Dónde:

R(t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e: constante Neperiana (e=2.303..)

t: tiempo

La confiabilidad es la probabilidad de que no ocurra una falla de determinado tipo, para una misión definida y con un nivel de confianza dado.

4.6.6 Mantenibilidad (M). Es definida por la iso/dis 14224, como la capacidad (o probabilidad si hablamos en términos estadísticos), bajo condiciones dadas, que tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo dado a un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, cuando el mantenimiento ha sido realizado bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados. Esto quiere decir, que si un componente tiene un 95% de mantenibilidad en una hora, entonces habrá 95% de probabilidad de que ese componente sea reparado exitosamente en una hora.

La ecuación clásica de la Mantenibilidad es:

Ecuación 13.

$$M(t) = 1 - e^{-(\mu t)}$$

Cuando μ o rata de reparación es constante.

El MTTR (Mean Time To Repair) es el tiempo promedio para reparar de un componente cuando este falla, es parte del tiempo promedio arriba o en servicio (MDT) y es un indicador directo de la Mantenibilidad.

Podemos definir la rata de reparación (μ) en función del MTTR como:

Ecuación 14.

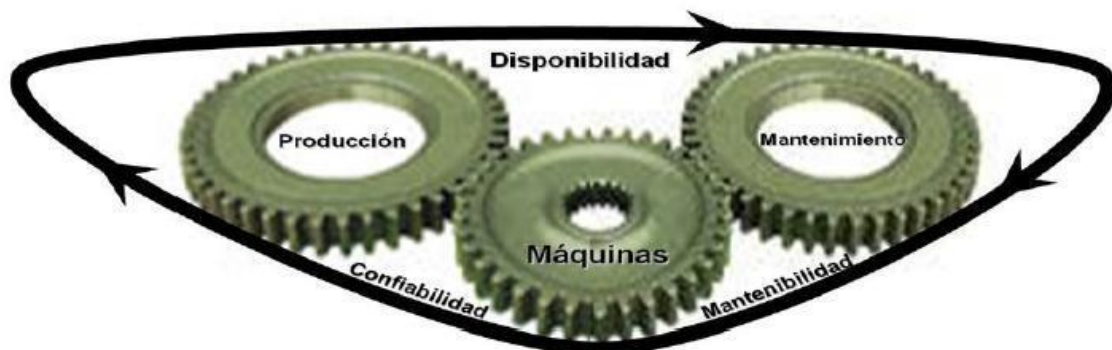
$$\mu = 1/\text{MTTR}$$

La rata de reparación es un parámetro el cual permite evaluar la probabilidad que tiene un componente a ser reparado y juega un papel exactamente similar a la rata de falla ($\lambda = 1/\text{MTBF}$) para el cálculo de la confiabilidad.

Ecuación 15.

$$M(t) = \int_0^t g(t) dt$$

Figura 21. Sistema Integrado del Mantenimiento y Producción



$$Disponibilidad = \frac{Confiabilidad}{Confiabilidad + Mantenibilidad}$$

Fuente. MORA G, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales o servicios. Medellín: Am

3.7 PRESENTACIÓN DE LA UNIDAD DE BOMBEO

3.7.1 Descripción Del Sistema

Longitud del Sistema	700 km + 558 m.
Presión de Trabajo Orú	770 psi – 2400 psi
Capacidad de la Línea	220 kbopd
Rata de Bombeo actual	90 - 200 kbopd
Capacidad de almacenamiento	800 kbbls
Capacidad instalada Orú	1 / 3500 HP / 5 Pumps
Operador	Ecopetrol S.A.
Fecha de Construcción	1985 – 1986
Fecha oficial de inicio de operación	Mayo 6 de 1987

Figura 22. Descripción del Sistema de Bombeo Oleoducto Caño Limón.



Fuente. Plan de Contingencia Planta Orú. 2006.

3.7.2 Ubicación Geográfica. La planta orú es una planta intermedia del oleoducto caño limón – coveñas, situada en el kilómetro 376 + 000 del oleoducto, desde el sitio de despacho en la estación caño limón ps1. Se encuentra ubicada al norte del departamento de norte de santander. La planta se encuentra en cercanías al corregimiento de orú, municipio de el tarra en la región del catatumbo, del cual toma su nombre.

Su clima promedio es de 31°C. Está localizada a una altura de 171 msnm.

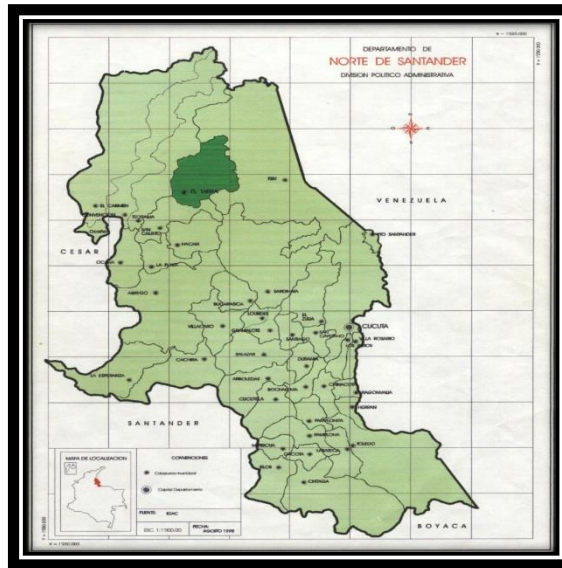
El acceso a la Planta puede hacerse en helicóptero desde Cúcuta, tiempo aprox. de vuelo 30 minutos, también se puede llegar por vía terrestre desde Cúcuta por la vía Tibú – Orú con una duración de 6 horas.

Con las siguientes coordenadas:

Coordenadas

Latitud Norte 8°, 35´
Longitud 73°,59´
Altitud Sector urbano 225 SNM

Figura 23. Mapa del Norte de Santander. Municipio del Tarrá.



Fuente. Plan de Contingencia Planta Orú. 2006.

Figura 24. Planta Orú.



Fuente. Plan de Contingencia Planta Orú. 2006.

3.7.3 Presentacion Unidad en Oru se cuentan con 5 unidades marca sulzer atv-25, distribuidas en su momento por waukesha, hoy en día wartsila. Wärtsilä colombia s.a. fue establecida en 1993 como el mayor proveedor de energía para la industria de cemento y petróleo. Operan desde bogotá-colombia, desarrollando servicios para motores diésel, hfo, crudo y gas de plantas de energía, instalaciones marinas y grupos de bombeo.

Los Sulzer poseen las siguientes características:

Marca: SULZER ATV-25

16 Cilindros en V

Calibre 250 mm

Carrera 300 mm

Desplazamiento del pistón por Cilindro: 114726 Cm³

Escape: 0.8 mm

Peso Aproximado: 25400 Kilos

Figura 25. Unidad de Bombeo 106. Costado Derecho



Para los motores SULZER ATV-25 de manera mensual se toman muestras de lubricante y estas son enviadas los laboratorios de Shell para su posterior análisis.

El análisis de aceite lubricante es considerado como un método de mantenimiento predictivo en los motores de combustión interna. Es una técnica que permite saber qué está ocurriendo en el interior del motor, ayudando a detectar rápidamente problemas de desgaste de los componentes del motor, así como la contaminación y degradación del aceite lubricante.

En los motores de combustión interna, el sistema de lubricación se encarga de lubricar las piezas en movimiento relativo. Al producirse desgastes interiores, debido a la fricción entre ellas, las pequeñas partículas de material desprendidas pasan al aceite; las más grandes se depositan en el fondo del cárter o quedan atrapadas en el filtro, el resto permanecerá en suspensión en el aceite. La cantidad o la masa de las partículas metálicas en suspensión (concentración) en el aceite lubricante determinará si el desgaste en el motor es normal, progresivo o acelerado. Sin embargo, la técnica del análisis de aceite se debe respaldar en una serie de análisis periódicos y continuos, con lo cual se puede establecer la tendencia del desgaste y controlar estadísticamente los desgastes normales, progresivos o acelerados.

Tabla 2. Especificaciones de consumo del aceite lubricantes motor sulzer ATV-25

Pérdidas	Motores de encendido por chispa	Motores Diesel
Por fricción entre :		
Pistón, anillos y el cilindro.	44%	50%
Muñones de biela y de bancada y sus cojinetes.	22%	24%
Por el intercambio de gases	20%	14%
Para accionar :		
Mecanismo de válvulas y los grupos auxiliares.	8%	6%
Bombas de aceite, de agua y de combustible.	6%	6%

Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Sulzer ATV25 1997 Wartsilä Switzerland Ltda-Suiza.

3.7.5 Parametros Para El Analisis De Aceite

1. Pruebas físico-químicas.

- Medición de la viscosidad (ASTM-D445).
 - Medición del número básico total (TBN) (ASTM D 2896).
 - Prueba del color (ASTM D1500).
 - Punto de inflamación (ASTM D092).
 - Contaminación con agua (ASTM D095).
 - Dilución con combustible (ASTM D93- ASTM D322).
 - Contenido de insolubles (ASTM D 893).
- Insolubles en pentano (IP) o Prueba de contaminación total.
Insolubles en benceno.

2. Análisis de concentración de metales

Se podrán emplear los métodos:

- a.- Espectrometría de absorción atómica.
- b.- Espectroscopia infrarroja.

Se miden los siguientes elementos: Fe, Cr, Al, Si, Sn, Pb y Cu

3.7.6 Lubricante Usado En Los Motores Sulzer Atv-25.

Shell Argina 40 es un lubricante multifuncional para motores a diesel de velocidad media que funcionan con combustible residual. Shell Argina 40 es diseñado para condiciones de muy alto estrés en el aceite y ha sido optimizado para mejorar el control de depósitos.

Los motores de velocidad media que funcionan con combustible residual requieren de lubricantes especializados. El combustible pesado contamina al aceite con asfálticos, requiriendo detergentes especiales para evitar depósitos. La combustión de combustibles altos en azufre produce ácidos sulfúricos, ocasionando desgaste de los anillos del pistón y de los cilindros a menos que sea neutralizado por un alto número básico de reserva en el aceite. El aceite está en servicio por largos periodos de tiempo, de tal modo que separadores centrífugos son usados para retirar agua y productos de la combustión del aceite. Los aceites para motores de velocidad media deben ser especialmente diseñados para liberar estos contaminantes en el separador. Los motores modernos son mas demandantes ahora. El consumo de aceite ha sido reducido drásticamente por el

uso de anillos “flama” o “anti-polish”. Menor consumo de aceite reduce la tasa de renovación del aceite. Esto significa que la edad promedio de la carga de aceite es más grande que la acostumbrada. Consecuentemente el aceite es expuesto por más tiempo que antes al estrés de altas temperaturas, contaminación y combustión ácida. Shell Argina 40 ha sido especialmente diseñado para condiciones de muy alto estrés, encontrados principalmente en motores Wartsila en planta de energía o en aplicaciones de propulsión.

3.7.7 Características Y Beneficios Argina 40

- Excelente limpieza del motor Más alta detergencia que Shell Argina 40, favoreciendo a excepcional limpieza del cárter, válvulas y pistones. La formulación ha sido optimizada para reducir depósitos en áreas críticas, p.e. pistón.
- Muy alta resistencia a la oxidación Mayor vida del aceite y mayor resistencia al adelgazamiento.
- Muy buena retención del BN Resiste pérdida de BN debido a la oxidación.
- Apropiado para separadores centrífugos Formulación de alta detergencia/baja dispersión libera contaminantes y agua rápidamente en separadores centrífugos.
- Completa compatibilidad con la familia Shell Argina Shell Argina 40 puede ser usada en motores que utilicen cualquier otro miembro de la familia Shell Argina, otorgando inmediatamente control del BN sin la necesidad de cambio de aceite. Especificaciones y aprobaciones. Shell Argina 40 excede los criterios de prueba de API CF y es aprobado por Wärtsilä Diesel para todo tipo de motores.

Tabla 3. Características de la Argina 40. Shell Argina XL.

	Shell Argina® XL
Grado SAE	40
Viscosidad cinemática @ 40°C cSt 100°C cSt (ASTM D 445, IP 71)	135 14
Indice de Viscosidad (ASTM D 2270, IP 226)	100
Densidad @ 15°C kg/l (ASTM D 4052, IP 365)	0.921
Flash Point °C (Pensky-Martens Closed Cup) (ASTM D 93, IP 34)	229
Punto de Fluides °C (ASTM D 97, IP 15)	-18
TBN, mg/KOH/g (ASTM D 2896, IP 276)	50
Cenizas sulfatadas, % peso (ASTM D 874, IP 163)	6.1

Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Sulzer ATV25 1997 Wartisilä Switzerland Ltda-Suiza.

3.8 MARCO LEGAL

Para realizar cualquier cambio en algún sistema o equipo se debe gestionar ante la gerencia Técnica de Activos de Cenit la aprobación antes de implementarse, con el propósito de asegurar que tanto el diseño como la evaluación de los riesgos son adecuados y que las personas competentes cuentan con todo el argumento para dar continuidad al cambio y desembolsar los recursos. A continuación se relaciona la documentación emitida por Ecopetrol para desarrollar el proceso de control de cambios en la instalación.

GHS-P-001 GESTIÓN Y CONTROL DE CAMBIOS DE TECNOLOGIA EN PLANTA EN ECOPETROL S.A. Establecer los lineamientos para filtrar, controlar y gestionar los cambios de tecnología en planta, con el fin de minimizar riesgos en las personas, el ambiente, los equipos o los sistemas, que surjan a partir de modificaciones que tengan potencial impacto en la integridad de las operaciones o desempeño en HSE.

ECP-DHS-F-177 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA CONTROL DE CAMBIOS DE PLANTA Formato en el que se describe el sistema propuesto, los beneficios esperados, estimación de costos para el cambio entre otros factores de análisis para la aprobación.

4. DISEÑO METODOLOGICO

Nivel de Investigación. El nivel de investigación es descriptivo y concluyente. Para la realización del siguiente trabajo se va a emplear un diseño de investigación descriptivo y concluyente sobre el último mantenimiento de 6000 horas realizado a tres de las cinco unidades de bombeo que hay en la planta Orú, a través del análisis cuantitativo de la metrología realizada a cada una de las partes del equipo.

Diseño de Investigación. El diseño de investigación es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado. Este corresponde a la estructura de la investigación, a la forma como esta va a ser desarrollada, a la manera como la indagación es concebida a fin de obtener respuestas a las interrogantes.

En virtud que la investigación se realizó en su ambiente natural y su fuente fue de primera mano, se considera de Campo. Tal y como lo define Fideas Arias (1999), “La investigación de campo, consiste en la recolección de datos de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables”.

Por otra parte, para el desarrollo de este trabajo, se obtuvieron y analizaron datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos, por ello, esta investigación también se consideró de tipo Documental.

Población. La Planta Orú cuenta con cinco unidades de Bombeo para realizar el análisis.

Muestra. El Tipo de muestreo a implementar es el probabilístico con un muestreo aleatorio simple, para calcular el tamaño simple de la muestra se aplica la siguiente expresión matemática:

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{e^2 (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

De donde:

N = población = 5 unidades de bombeo

Z = nivel de confianza del 95% = 1,96

e = Error estimado = 0,05 (1- 0,95 = 0,05)

p = Probabilidad de éxito = 0,5

q = Probabilidad de no éxito o de fracaso = 0,5 (1-0,5)

n = Muestra (equipos)

Reemplazando la ecuación se tiene:

$$n = \frac{(1,96)^2 * 5 * 0,5 * 0,5}{(0,05)^2 * (5 - 1) + (1,96)^2 * 0,5 * 0,5}$$

$$n = \frac{4,802}{0,9704}$$

$n = 4,95$ (Tamaño de la muestra)

Técnica de investigación. Para desarrollar el presente trabajo, se programaran visitas con el propósito de recopilar información primaria y datos históricos de los mantenimientos realizados en la planta, con el fin de determinar la viabilidad de la ampliación de horas del Overhol de 6.000 a 9.000 hrs. de las unidades de bombeo.

Instrumento de recolección de la información. Para recopilar la información se va a utilizar el estándar job de 6000 horas. de la unidad de bombeo Sulzer, el análisis de metrología obtenidos en los últimos 3 mantenimientos, el análisis de termografía y vibraciones de las unidades antes y después de realizado el mantenimiento, el informe de las partes reemplazadas en cada uno de los Overhol como también los costos totales cada uno de los mantenimientos.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 ANALISIS DOFA PARA EL MANTENIMIENTO MAYOR DE LA UNIDAD DE BOMBEO MOTOR SULZER

Esta herramienta va a permitir realizar el diagnostico eficaz y rápido de la situación actual de los mantenimientos de 6000 hrs. de las unidades de bombeo sulzer de la planta Orú, considerando factores externos e internos que afectan la planeación

de los mantenimientos, para así poder definir la estrategia clara de la especialidad y de la coordinación en aumentar las horas del overhaul de 6000 a 9000.

El nombre DOFA se forma con las iniciales de los cuatro conceptos que intervienen en la aplicación del instrumento; es decir:

1. F de Fortalezas.
2. de Oportunidades.
3. D de Debilidades.
4. A de Amenazas

Tabla 4. Componentes del Análisis DOFA

VARIABLES INTERNAS		VARIABLES EXTERNAS
FORTALEZAS (Aumentar)	↔	OPORTUNIDADES (Aprovechar)
DEBILIDADES (Disminuir)	↔	AMENAZAS (Neutralizar)

Fuente: <http://www2.esmas.com/emprendedor/herramientas>

6.1.1 Debilidades

D1. La unidad de bombeo es inglesa de la casa matriz wakecha lo que implica la importación de repuestos y partes.

D2. El proceso de compra en Ecopetrol dura entre 4 a 6 meses lo que aumenta el tiempo desde la solicitud por la detección de la falla a la fecha de requisición de los materiales.

D3. La casa matriz Waukesha fábrica los repuestos sobre pedido.

D4. El costo de los repuestos varia de acuerdo al precio del dólar que se encuentre a la fecha de solicitud de pedido en el mercado.

D5. El tiempo de transporte de importación esta entre los 3 meses.

D6. El presupuesto anual se proyecta con 1 año de anticipación.

6.1.2 Oportunidades

O1. Minimizar los costos del mantenimiento por mano de obra y repuestos lo que genera ahorros en el presupuesto.

O2 Aumentar la disponibilidad de bombeo del equipo, lo que garantiza a la coordinación cumplir con la demanda del bombeo exigida por los clientes.

O3. Asegurar el cumplimiento de la vida útil de las partes del equipo.

O4. Intervenir equipos que presentan fallas en sistemas principales y auxiliares de la planta, a través del uso eficiente de los recursos garantizando integralmente la prestación del servicio.

6.1.3 Fortalezas

F1. Se cuenta con el histórico de los mantenimientos mayores de las unidades, lo que permite analizar la metrología de los componentes principales del equipo identificando su vida útil.

F2. Se cuenta con la programación de los análisis de confiabilidad basados en condición que permiten identificar fallas tempranas del equipo e intervenciones oportunas y necesarias que eviten daños mayores en los componentes y en el funcionamiento a futuro de la unidad.

F3. Con los análisis de confiabilidad se concluye el estado de funcionamiento del equipo, lo que evita intervenciones intrusivas y errores de tipo humano.

F4. Se cuenta con mantenimientos preventivos del equipo en las 1500, 3000 y 24500 hrs., lo que permite monitorear el funcionamiento del equipo y realizar seguimiento a componentes críticos.

6.1.4 Amenazas

A1. Politización del Sector: El sector petrolero, al igual que otros sectores productivos del país, se ha visto sometido a una fuerte politización gubernamental lo cual ha distorsionado el sentido real de Ecopetrol S.A. El liderazgo actual de la compañía esta soportado por principios gubernamentales.

A2. Obsolescencia de Infraestructura y Equipos: En el sector petrolero específicamente el oleoducto caño limón cuenta con 30 años de existencia, por lo que los equipos cuentan con mayor antigüedad, lo que identifica que muchos de ellos han cumplido o sobrepasado su vida útil. Esto, unido a una limitada gestión en mantenimiento y reemplazo de equipos hace vulnerable las actividades operacionales realizadas por la planta.

A3. Riesgo Publico del Oleoducto. La Planta Orú está ubicada en zona roja, lo que la hace vulnerable a todos los problemas sociales, económicos, y del conflicto armado, por lo que son frecuentes los atentados a la infraestructura, la extracción de crudo por válvulas ilícitas, la retención y amenazas hacia los trabajadores, el limitado acceso para la realización de trabajos entre otros.

A4.El transporte de diferentes tipos de crudo. Desde Octubre del 2014 se inicia el transporte de crudo bicentenario, el cual con diferentes especificaciones al crudo siempre transportado por el oleoducto, genera presiones que afectan partes principales de la unidad.

A5. La zona industrial de la planta Orú está ubicada sobre un terreno arenoso y con alto nivel freático lo que genera presión en la tubería enterrada y daños en componentes principales de la unidad.

6.1.4.1 Estrategias FO

- Mantener los pilares del Mantenimiento de Clase Mundial durante la fase de sostenimiento del ciclo de vida de los equipos. (Mantenimiento preventivos, Mantenimiento predictivos, Mantenimientos basados en condición,

entrenamiento del personal, y monitoreo de los datos históricos de cada unidad).

- Cumplir con los monitoreos programados por CBM para revisar y actualizar el programa de mantenimiento.
- Desarrollar estrategias es los mantenimientos de 1500,3000 y 4500 hrs que permitan monitorear el funcionamiento de las partes críticas del motor que son intervenidas en los mantenimientos, asegurando el cumplimiento de la vida útil real de las partes del equipo.
- Realizar intervenciones por condición de la maquina con el fin de optimizar recursos en el mantenimiento.
- Presupuestar financieramente la compra de equipos y partes de acuerdo los análisis de fallas, eventos reportados, mantenimientos no programados y metrología de los componentes, con el fin de disminuir tiempos de respuesta en la intervención del equipo y disponibilidad de la unidad.
- Realizar seguimiento a los planes de acción generados por RCFA y RCA

6.1.4.2 Estrategias DO

- Realizar una gestión de repuestos determinando la cantidad adecuada, esto se puede realizar aplicando RCM y utilizando el sistema de información de los equipos y repuestos críticos.
- Realizar programación de pedidos de acuerdo a horómetros de operación de las unidades teniendo en cuenta los tiempos de solicitud de compra, salida de materiales, fabricación y tiempo de transporte.
- Implementar el uso de la táctica RCM para revisar y actualizar el programa de mantenimiento.
- Realizar plan de actualización y control de los planos e información técnica de los equipos.
- Implementar todos los pasos de la táctica intervención rápida de mantenimiento para disminuir el tiempo de mantenimiento programado.

6.1.4.3 Estrategias FA

- El personal técnico debe realizar los planes de acción de las mayores fallas que incidieron sobre los resultados del año.
- Realizar seguimiento a los planes de acción de los **RCFA y RCA** generados por los malos actores en planta.
- Presupuestar proyecto en la infraestructura que eviten daños por movimiento de tierra en equipos, partes y componentes principales.

2.6.4.4 Estrategias DA

- Revisar eventos operacionales y realizar seguimiento semanal a planes de acción generados en los análisis de falla.
- Intervenir condiciones locativas y operativas que afectan el correcto funcionamiento de la unidad de bombeo y la vida útil de los componentes.
- Llevar al día el sistema financiero para el mantenimiento SAP con la información técnica de los equipos, control de cambios de tecnología y seguimiento de fallas, con el fin de tomar decisiones oportunas de intervención.

6.1.4.5 Conclusiones DOFA

Las estrategias que se establecieron con la DOFA, se puede dividir las en dos grupos, un primer grupo que se puede desarrollar con las herramientas de gestión que se tiene en mantenimiento y un segundo grupo que forma parte del objetivo del presente trabajo de monografía y son las siguientes:

- Implementar el uso de la táctica RCM para revisar y actualizar el programa de mantenimiento.

- Realizar un control del costo de mantenimiento identificando oportunidades de ahorro en base al seguimiento de indicadores.
- Desarrollar estrategias es los mantenimientos de 1500,3000 y 4500 hrs que permitan monitorear el funcionamiento de las partes críticas del motor que son intervenidas en los mantenimientos, asegurando el cumplimiento de la vida útil real de las partes del equipo.
- Presupuestar financieramente la compra de equipos y partes de acuerdo los análisis de fallas, eventos reportados, mantenimientos no programados y metrología de los componentes, con el fin de disminuir tiempos de respuesta en la intervención del equipo y disponibilidad de la unidad
- Realizar una gestión de repuestos determinando la cantidad adecuada, esto se puede realizar aplicando RCM y utilizando el sistema de información de los equipos y repuestos críticos.
- Realizar programación de pedidos de acuerdo a horómetros de operación de las unidades teniendo en cuenta los tiempos de solicitud de compra, salida de materiales, fabricación y tiempo de transporte.
- Realizar seguimiento a los planes de acción de los **RCFA y RCA** generados por los malos actores en planta.
- Presupuestar proyecto en la infraestructura que eviten daños por movimiento de tierra en equipos, partes y componentes principales.
- Llevar al día el sistema financiero para el mantenimiento SAP con la información técnica de los equipos, control de cambios de tecnología y seguimiento de fallas, con el fin de tomar decisiones oportunas de intervención

6.1.5 Matriz DOFA

Tabla 5. Matriz DOA OVERHAUL DE 6000 A 9000 HRS.

MATRIZ DOFA TERMICAS	Fortalezas (F)	Debilidades (D)
Oportunidades (O)	Desarrollar estrategias es los mantenimientos de 1500,3000 y 4500 hrs que	Realizar una gestión de repuestos determinando la

	<p>permitan monitorear el funcionamiento de las partes críticas del motor que son intervenidas en los mantenimientos, asegurando el cumplimiento de la vida útil real de las partes del equipo.</p> <p>Presupuestar financieramente la compra de equipos y partes de acuerdo los análisis de fallas, eventos reportados, mantenimientos no programados y metrología de los componentes, con el fin de disminuir tiempos de respuesta en la intervención del equipo y disponibilidad de la unidad</p>	<p>cantidad adecuada, esto se puede realizar aplicando RCM y utilizando el sistema de información de los equipos y repuestos críticos.</p> <p>Realizar programación de pedidos de acuerdo a horómetros de operación de las unidades teniendo en cuenta los tiempos de solicitud de compra, salida de materiales, fabricación y tiempo de transporte.</p>
--	--	--

Fuente. Autor del Proyecto.

Continuidad Tabla 6. Matriz DOFA OVERHAUL DE 6000 A 9000 HRS.

MATRIZ DOFA TERMICAS	Fortalezas (F)	Debilidades (D)
Amenazas (A)	<p>Realizar seguimiento a los planes de acción de los RCFA y RCA generados por los malos actores en planta.</p> <p>Presupuestar proyecto en la</p>	<p>Intervenir condiciones locativas y operativas que afectan el correcto funcionamiento de la unidad de bombeo y la vida útil de los componentes.</p>

	infraestructura que eviten daños por movimiento de tierra en equipos, partes y componentes principales	Llevar al día el sistema financiero para el mantenimiento SAP con la información técnica de los equipos, control de cambios de tecnología y seguimiento de fallas, con el fin de tomar decisiones oportunas de intervención
--	--	---

Fuente. Autor del Proyecto.

6.2 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO SULZER ATV-25

El programa de mantenimiento del motor diésel Sulzer ATV 25 se realiza bajo los parámetros e indicaciones generados por el fabricante bajo el diseño de operación de acuerdo a las rendimiento y fiabilidad de las piezas originales.

Es necesario garantizar el registro y trazabilidad de horas de operación de cada uno de los componentes del motor para establecer en la rutina que posibles partes deben ser reemplazadas, todo es de acuerdo a las especificaciones generadas por el fabricante.

DATOS MOTOR SULZER ATV-25

Calibre	250 mm
Carrera	300 mm
Desplazamiento del pistón por cilindro	114726 cm ³
Juego de válvulas con alimentación de motor en frío	0.8 mm
Escape	0.8 mm

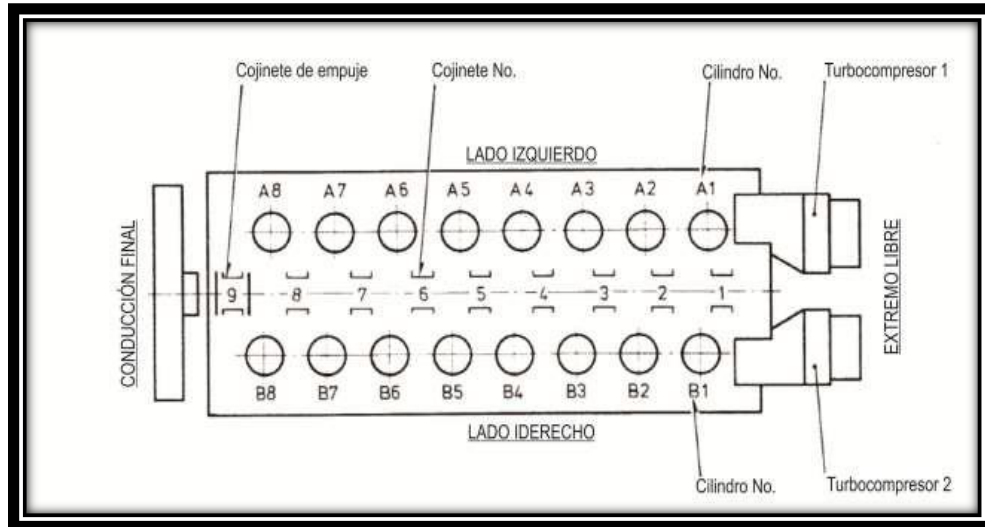
Orden de encendido con giro a la derecha

16 cilindros

1L – 1R – 3L – 3R – 2L – 2R – 5L – 5R

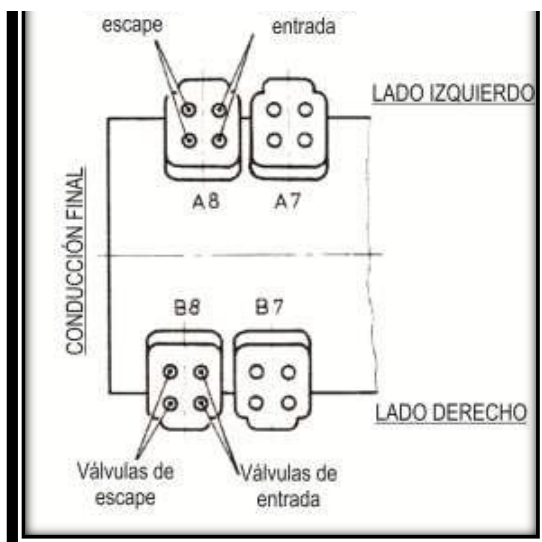
8L – 8R – 6L – 6R – 7L – 7R - 4L – 4R

Figura 27. Diagrama de Cilindros Motor Sulzer ATV25



Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Motor Sulzer ATV25

Figura 28. Diagrama de Culatas Motor Sulzer ATV25



Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Motor Sulzer ATV25

6.3 GUÍA GENERAL PARA MANTENIMIENTO

Los trabajos de mantenimiento que se llevarán a cabo en el motor a intervalos específicos han sido descritos en el "Programa de Mantenimiento" y se entienden como guía general.

La experiencia mostrará, cuando esos intervalos pueden ser alargados o acortados, como la forma de operación, condiciones de funcionamiento, calidad de combustibles y aceites usados, así como otros factores influirán en la condición del motor en gran medida.

PRECAUCIONES DURANTE EL TRABAJO DE MANTENIMIENTO

Antes de emprender el trabajo de mantenimiento sobre el motor (especialmente en el tren de rodaje) ten en cuenta las siguientes Precauciones sin falta:

- Cerrar las válvulas de cierre de arranque de las botellas de aire.
- Abrir la válvula de drenaje en el tupo antes del cierre automático de la válvula de arranque de aire y déjala abierta hasta que el trabajo de mantenimiento esté completo.
- Abrir todas las válvulas indicadoras en las cabezas de los cilindros y dejar abierto hasta que el trabajo de mantenimiento esté finalizado.
- Si el motor se ha detenido debido al calentamiento de las piezas del engranaje de funcionamiento o cojinetes, esperar por lo menos 20 minutos antes de remover las tapas de la caja del cigüeñal.

RECOMENDACIONES PARA LA EJECUCIÓN DEL TRABAJO

Antes de encender el cigüeñal asegurarse que no hay partes perdidas, herramientas o dispositivos pueden estar atascados.

Para ejecutar el trabajo de mantenimiento, utiliza herramientas y dispositivos destinados para el respectivo trabajo y que son generalmente suministradas con el motor.

Ubicar herramientas y dispositivos a la mano y asegúrate que estén en buenas condiciones.

Comprobar herramientas hidráulicas periódicamente para verificar posibles fugas y que funcione adecuadamente.

Llevar a cabo todo el trabajo con el mayor cuidado y mantener lo más limpio posible.

Cuando la remoción de ciertos componentes dejan aperturas, estos deben ser cerrados o cubiertos para prevenir la entrada de partículas extrañas (polvo u otras) dentro del interior del motor.

Todos los componentes o partes reacondicionadas durante una revisión, deben ser comprobadas en su función antes de que el motor sea arrancado. Tubos que hayan sido removidos deben ser probados de fugas después de reubicarlos.

El funcionamiento de las partes móviles debe ser revisado periódicamente. Si los valores límite establecidos en la tabla de acreditación son alcanzados o excedidos, entonces las respectivas piezas deben ser puestas en orden o reemplazadas. Los repuestos tomados del almacén de repuestos deben ser reemplazados prontamente. Ubica órdenes para nuevos repuestos por nombres y números del libro de códigos. Además si es necesario indicar el tipo de motor y número y nombre de la planta.

Cuando se realice la comprobación de los pernos, tuercas y tornillos verificar que no presentan daños y que pueden ser desajustados o ajustados fácilmente con la mano. Utilizar el lubricante especificado para este control.

Presta atención a los valores de ajuste y síguelos estrictamente (Por favor revisar la tabla "Información sobre el apriete de las fijaciones atornilladas")

Aplicar dispositivos de bloqueo a tornillos, nueces, etc., correctamente y con el mayor cuidado.

Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs. Motor Sulzer ATV-25

MOTOR SULZER TAREAS 6000 HORAS	
PRELIMINARES	HORAS
Verifique que están los repuestos requeridos para la rutina.	16
Evalúe la planilla de operaciones de la máquina para evaluar los eventos reportados.	2
Efectúe un barrido a la máquina para evaluar si hay Alguna culata con pase de agua.	1

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Bloqueo SAES Y SAS. Cierre la válvula de aire de arranque, válvulas de succión y descarga de la bomba principal cerrada, cierre el suministro de combustible.	0
Solicite el permiso de trabajo.	10

Efectúe charla técnica y asignación de trabajos al personal que le va a colaborar. De advertencias sobre seguridad industrial.	10
Evalúe si hay evidencias de fugas de agua refrigerante, combustible, lubricante, aire de carga, gases de escape, aire de arranque. Incluya la corrección de las fugas en esta rutina. Revisar posibles fugas de aceite en el sello trasero.	0
Evalúe el estado del aislamiento térmico del múltiple de escape.	1
Desacople la unidad. (motor-incrementador-bomba)	4
Drenaje agua motor	0
Drenaje aceite de la unidad.	8
Desmontar guardas de protección del volante y mampara	3
Desmontar aislamiento térmico del sistema de escape	4
Desmontar tapa de balancines y tubos de combustible y líneas de lubricación	16

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Desmontar inyectores	6
Desmontar balancines admisión y escape	16

Destorqueo de tornillería de anclaje de múltiple de escape ,admisión y flauta agua salida culatas	32
Destorqueo de pernos de anclaje de las culatas.	24
Desmante de tubería de agua: salida de culatas, entrada y salida de pos enfriador, entrada y salida de los turbos, entrada a las bombas de agua, salida del intercambiador de calor de aceite	32
Desmontar culatas: utilizando la herramienta de apriete hidráulico, aplicar 9800 psi soltando las tuercas dos hilos, se libera la presión de la herramienta y se completa el desmontaje de la culata	24
Mantenimiento tapas de balancines, realizar limpieza y metrología del buje del balancín y el pasador, cambio de bujes y cambio del brazo si está en mal estado, verificar la rosca y tuerca del tornillo de calibración de válvulas o cambio si se encuentra en mal estado.	112
Desmontaje de manifold y tubería de entrada y retorno combustible y lubricación	4
Desmontar manzana y volante que acopla motor - incrementador	16
Desmontar turbos izquierdo y derecho	8

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Desmontaje de tapas de inspección Carter	2
Desmontaje refrigerador de aire de sobrealimentación (intercooler)	

Desmontar bombas de inyección	16
Desmontar varillas impulsoras	8
Desmontar tapas de inspección eje de levas	2
Desmontar tubería de bombas de agua, aceite y combustible	8
Desmontar bombas de agua principal y secundaria	8
Desmontar bomba de aceite	4
Desmontar bomba de combustible	4
Desmontaje de tapa de inspección del dámper	16
Desmontar dámper, según el estado de la silicona	12
Limpieza de parte superior de las camisas para facilitar la extracción del conjunto pistón biela	16
Desmante las camisas de cilindro.	24

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Destorqueo de pernos de par de bielas y desmante del respectivo par conjunto pistón - biela según el orden de encendido hasta completar los 16	64

conjuntos.	
Desmontar dispositivo de sobre velocidad	2
Desmontar tapa de piñonería de repartición, incluyendo el deflector de aceite	8
Desmante piñonería de repartición para evaluar desgastes, corrosión, erosión, dientes partidos y cambio de bujes en caso de que se requiera. Toma de metrología a bujes y eje y juego entre dientes. Verifique el torque de la abrazadera del piñón del cigüeñal	16
Desmontar bomba de pre lubricación	1
Desmontar bomba bypass	1
Desmontar bomba eléctrica de transferencia de combustible	1
Limpieza del bloque. Limpieza parte superior del bloque y conductos de las camisas	32
Realizar prueba de tintas penetrantes a parte superior del bloque	10
Desmante enfriador de aceite del motor (intercambiador de calor). Tener en cuenta al desmontar este haz de tubos no golpearlos y evitar movimientos bruscos dada la delicadeza de esta tubería	32

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Metrología parte inferior del bloque del alojamiento de la camisa	2

Desmontar tubería de lubricación del gobernador y el gobernador (controles)	4
Desmontar un par de tramos de ejes de levas a la vez, inspeccione y monte según el orden de encendido, hasta inspeccionar los 20 tramos: evalúe el desgaste realizando metrología sobre los cojinetes la superficie de rodadura de los tramos de ejes de levas y la superficie de las levas de admisión, escape e inyección, buscando rayones, escalones y desgastes entre el buje y el eje.	144
Realizar prueba de tintas penetrantes eje de levas, piñones locos y del cigüeñal	16
Desmontar seguidores de levas	8
En caso que el piñón del cigüeñal se encuentre en mal estado. Se desmonta y se toma metrología al piñón nuevo al diámetro interno, se monta y se asegura con la abrazadera y se torquea a 240 lb	32
Mantenimiento a dispositivo de sobre velocidad	4
Desarme del conjunto biela pistón	16
Evalúe y reporte la condición de trabajo del pistón basado en los resultados de la inspección visual y posterior metrología (exceso de carbón, exceso de lubricante, erosión de la corona del pistón, patrón de atomización, etc) limpieza de los pistones.	64

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
-----------	-------

Haga prueba de tintas penetrantes en los apoyos de la falda del pistón, sobre el alojamiento del bulón, para localizar posibles fisuras..	96
Verifique el torque de los pernos que sujetan la corona contra la falda conforme al procedimiento en cual se indica verificar el torque del perno a la corona y posteriormente el torque de la tuerca al perno. Formato mrat25-3401-01_02	32
Realice metrología a 16 pistones, verificando: ancho de las ranuras, tolerancia lateral de anillos en cada ranura de pistón. Máxima holgura en los tres primeros anillos superiores 0,011", máxima holgura en los siguientes dos anillos 0,009". Diámetro falda: valor mínimo permisible 249,5 mm, diámetro corona: valor mínimo permisible 249,2 mm, dimensiones del sistema apl, diámetro alojamiento bulón. Formatos metrología mrat25-3401-03, mrat25-3401-01_02	48
Limpieza de bielas, tome diámetros al buje del pie de biela. Inspeccione y tome diámetros al bulón, holgura radial entre pasador y pistón. Máxima holgura 0,0035". Inspeccione los pernos de biela, mida su longitud (sin torqurear) compare la medida con la inicial de instalación. Deseche el perno si su longitud es igual o mayor a 278,5 mm. Inspeccione los casquetes de biela y evalúe su estado, deséchelos si cuentan con 18.000 horas de operación. Identificar cada tapa con su biela. No intercambiar los casquetes. Metrología a la cabeza de biela, máxima ovalidad 0,002"	64
Limpieza y metrología de camisas nuevas	48
Cambiar la totalidad de camisas (anillos nuevos). Use vaselina en el montaje de los o ring de la camisa	32

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
-----------	-------

Mida la apertura entre puntas de los anillos (gap), en las camisas nuevas. Registre esa información. Los datos del manual, para partes nuevas son: primer anillo: xxxx segundo y tercer anillo: xxx anillo rascador: xxx". Medidas relacionadas en el formato de metrología de anillos	16
Instalar anillos en los pistones y registrar metrología entre cada ranura del pistón y su respectivo anillo: cambiar en caso de que las medidas estén por fuera del rango permisible. En los tres anillos superiores la tolerancia máxima entre la ranura y el anillo es 0.011". Y para los dos anillos inferiores es 0,009"	16
Para la inspección de las bancadas en los motores sulzer, desmontar e inspeccionar una bancada a la vez, hasta completar las nueve bancadas: desmonte los tornillos laterales que sujetan la tapa de la primera bancada con ayuda del gato hidráulico elevando la presión a 9.932 psi en tanto se desenrosca la tuerca redonda, desmonte la bancada uno, realice limpieza del cigüeñal y evalúe su estado, realice limpieza de tapa de la bancada, pernos de anclaje de la tapa, y evalúe el estado de los cojinetes de bancada, cámbielos según su condición o si han cumplido con 18.000 horas de trabajo. Inspeccionar superficie del muñón y pulirlo con lija Norton en caso de requerirse.	96
Verificar tolerancia con plastigauge. Aplicar procedimiento de ajuste de los pernos que sujetan la tapa. Realizar esta misma actividad para las demás bancadas.	
Limpiar los muñones de biela, inspeccionar y pulir con lija Norton en caso de requerirse. Verifique y registre metrología de los muñones de biela del cigüeñal.	32

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
<p>Instale los conjuntos pistón biela con anillos nuevos. Ajustar los pernos de tapa de biela con la herramienta de apriete hidráulico según el procedimiento del fabricante aplicando una presión inicial de 2682 psi (la tuerca se aprieta manualmente) y finalmente aplique 7975 psi (verificar que la tuerca gire libremente 45°): verificar el ajuste de la tapa de la biela a fin de revelar cualquier error en el apriete hidráulico. Verificar que la biela quede con un ligero juego axial según fabricante.</p>	72
<p>Reparación de culatas: Se debe realizar limpieza a las 16 culatas, verificar estado de roscas. Realizar prueba hidrostática para verificar fugas (camisa del inyector y fisuras de la culata), verificar tolerancia de válvulas en las guías y de estar por fuera del rango se cambia la guía. Retirar asientos de admisión y escape con herramienta de extracción, realizar limpieza al alojamiento del asiento, realizar metrología del asiento y del alojamiento y si esta fuera del rango se debe enviar a reparación la culata. Si está dentro del rango se instalan asientos con herramienta de montaje original sulzer con o-rings nuevos. Rectificación de asientos y válvulas de admisión y escape. Cambiar válvulas rectificadas o nuevas. Metrología a resortes, rotadores. Revise el estado de las válvulas kiene de medición de compresión y barrido (se realiza cuando se arma la culata. Se instalan nuevas las válvulas y extensiones). Desarme, limpieza y calibración de válvulas de seguridad y arranque</p>	256
<p>Reparar bomba de aceite: desarmar, realizar limpieza, metrología al alojamiento de los piñones, los alojamientos de cojinetes, piñonería, cojinetes, retenedores y armar la bomba con repuestos nuevos, evaluar la válvula reguladora</p>	32
<p>Reparar bomba de agua principal: desarmar, limpieza, valoración de componentes, armar bomba con repuestos nuevos</p>	10

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Reparar bomba de agua secundaria: desarmar, limpieza, valoración de componentes, armar bomba con repuestos nuevos	10
Instalar bomba de agua principal. Verificar juego entre dientes: rango permisible con piñones nuevos 0,0055"-0,0106". Valor máximo permisible 0,0196"	4
Instalar bomba de agua secundaria. Verificar juego entre dientes: rango permisible con piñones nuevos 0,0055"-0,0106". Valor máximo permisible 0,0196"	4
Instalar bomba de aceite. Verificar juego entre dientes: rango permisible con piñones nuevos 0,0055"-0,0106". Valor máximo permisible 0,0196"	4
Instalar bomba mecánica de transferencia de combustible verificar juego entre dientes: rango permisible con piñones nuevos 0,0047"-0,0086". Valor máximo permisible 0,0196"	4
Inspeccionar piñones del dámper y de accionamiento de bombas de agua y aceite y combustible. Medir juego entre dientes. Inspeccione que no haya fugas de aceite por las tapas y tornillos del dámper. En caso de querer revisar tornillería partida o fisurada o daños en el piñón se debe desmontar la tapa del dámper, junto con la tubería de lubricación y las plataformas para poder sacar la tapa con el polipasto y realizar el cambio del dámper.	16
Mantenimiento bomba de pre lubricación	8
Mantenimiento bomba bypass	8

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Mantenimiento a bomba mecánica de transferencia de combustible	8
Mantenimiento a bomba eléctrica de transferencia de combustible	8
Limpieza tubería de agua salida de culatas, entrada y salida de pos enfriador, entrada y salida de los turbos, entrada a las bombas de agua, salida del intercambiador de calor de aceite	8
Limpieza y sondeo de tuberías de combustible de entrada y salida a las bombas de inyección	8
Revisión de varillaje de accionamientos de bombas de inyección	60
Reparar bombas de inyección: vida útil del plunger: 24.000 horas, cambie las bombas de inyección que cumplan su ciclo de trabajo o según condición de los demás elementos.	128
Instalar dispositivo de sobre velocidad	4
Instalación bombas de inyección	32
Instalación de múltiple entrada y salida de combustible	8
Instalación de tubería de combustible de las bombas de inyección	32
Verifique y registre el inicio de inyección, por rebose, de cada uno de los cilindros.	48

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Reparar turbos	192
Instalar turbos (reparado o nuevo). Verifique el torque de los pernos de la base del turbo.	24
Efectúe limpieza externa del radiador, utilizando desincrustante para aluminio. Lave con abundante agua para retirar los vestigios del desincrustante. Tenga la precaución de cubrir los motores eléctricos con plástico para que no les entre agua a los bobinados eléctricos. Retire los tapones de los conductos y sondee las tuberías internamente y limpieza con agua a presión (instalar andamios). Corregir imperfecciones en las láminas que hacen las veces de aletas para transferencia de calor al ambiente	224
Efectuar limpieza al tanque de agua de compensación.	4
Revisión de seguidores de levas: limpieza y metrología de componentes y cambio por condición (buje, pasador y balancín)	64
Limpieza y revisión de las varillas impulsoras para detectar anomalías en los extremos por excesivos desgastes. En caso de ser necesario realizar el respectivo cambio. Cambiar los o-rings inferior y superior del tubo de protección	16
Instalar seguidores de levas	16
Efectúe limpieza interna al tanque de diario de crudo combustible.	16
Desarme y limpieza del refrigerador de aire de sobrealimentación (intercooler). Armar y realizarle la respectiva prueba hidrostática	64

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Instalación de varillas impulsoras. Cambie las que estén en mal estado.	8
Instalar intercooler. Tener en cuenta que el área este despejada y que la tubería testigo no este obstruida	24
Cambiar o-rings y empaques de bridas de admisión	4
Instale el juego de culatas reparadas aplicando el procedimiento de ajuste del fabricante: utilizando la herramienta de priete hidráulico aplique una presión inicial 2682 psi y se ajustan las tuercas manualmente. Presión final 9787 psi, verificando que las tuercas se ajuste haciéndolas girar entre 75 y 80°. Aplicar nuevamente la presión final de 9787 psi para revelar cualquier error en el apriete hidráulico.	64
Reparación de inyectores: calibre los inyectores a una presión de apertura de 3625 psi. El graznado y pulverización deben ser óptimos. Mantenimiento de los 16 inyectores incluye desensamble, limpieza, cambio de tobera y calibración. Después de calibrar el inyector aplicar 3500 psi y mantenerlo por unos segundos de manera que la tobera no gotee.	48
Limpieza, desarme y metrología de componentes de balancines. Registrar valores en formato de metrología mrat25-2760-01	64
Instalación de balancines principal y auxiliar e instalación de tapas	16
Calibración de las válvulas de admisión y escape de las culatas de los cilindros. Admisión 0,032", escape 0,032", con el motor frio. (verifique que en la volanta indique el pms del cilindro a intervenir)	16

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Instale el juego de inyectores nuevos o reparados.	8
Coordine limpieza del respiradero del Carter.	16
Efectuar limpieza interna al filtro húmedo y cambio de aceite a la bandeja. Verifique el estado de la malla y si cubre toda el área anular interna, si hay mallas en mal estado se deben fabricar.. Revise el estado de la tornillería y estado de corrosión, empaques. Verifique estado de las válvulas de caucho del filtro húmedo. Instalar andamios para la instalación de la diferencial	16
Efectuar limpieza del filtro centrífugo. Revise el estado y las holguras entre bujes y ejes del filtro centrífugo.	4
Desmonte los porta elementos de los filtros de aceite. Cambie los elementos de las torres principales y filtro bypass. Realice limpieza a las torres principales y a la torre bypass	32
Cambie los elementos de filtros de combustible.	4
Cambie los filtros de lubricante del incrementador de velocidad.	2
Efectúe una limpieza al filtro en " y " de aceite.	4
Verifique estado e integridad tubos lubricación bancada.	8
Verifique el torque de los pernos del patín (600 lbs/pie).	4

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Nota importante: a los pernos del patín hay que aplicarle molykote en las roscas para que el torque no se pierda en fricción entre los filetes del perno y los filetes de la tuerca. Si se aplica el lubricador de roscas, el torque si va a e longar el perno y a apretar el patín contra la base.	
Instalación de tubería de lubricación y filtro en "y"	16
Limpieza y sondeo de tubería del intercambiador de calor del aceite	16
Instalar intercambiador de calor del aceite del motor. Tener sumo cuidado con la tubería	16
Limpieza y sondeo de tubería del intercambiador de calor del aceite del incrementador	16
Instalar intercambiador de calor del aceite del incrementador	16
Montaje de tubería de agua salida de culatas, entrada y salida de pos enfriador, entrada y salida de los turbos, entrada a las bombas de agua, salida del intercambiador de calor de aceite	32
Llenar sistema de refrigeración principal y secundario y realizar purga de los sistemas	8
Limpieza al Carter, adición de alrededor de dos canecas de aceite, recirculación mediante la bomba de pre lubricación durante 24 horas utilizando filtros nuevos de 10 micrones, posteriormente se deshecha este aceite al igual que los elementos filtrantes usados, se cambian elementos filtrantes de 10 micrones por unos nuevos de 25 micrones	96

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Adición de aceite al sistema (Carter)	2
Compruebe la lubricación hacia las culatas, pistones, bielas, bancadas, muñones con la bomba de pre lubricación. Detecte fugas de aceite	8
Efectuar la calibración del recorrido de las cremalleras de las bombas de inyección. Efectuar calibración del recorrido del varillaje del sistema de inyección y asegurar según el manual los ángulos y aperturas de los dos brazos en los dos bancos en su recorrido. Tome las lecturas iniciales como se encuentran las cremalleras, suelte los tornillos que ajustan la horquilla y calibre con calibrador de laynas a 0.020".	72
Instalar tapas de inspección de eje de levas y piñonería de repartición	32
Instalar múltiple de escape y cambiar juntas flexibles	64
Reparar revestimiento térmico múltiple de escape y de entrada al turbo. En caso de ser necesario cambio de bridas en mal estado, modificación de longitud de tuberías para los flexibles	480
Instalar tubería de alta de retorno y circuito de inyectores, verificando que al presurizar no se evidencien fugas	32
Llenar sistema de combustible y purgar sistema	8
Efectúe medición de la deflexión del cigüeñal.	24
Inspección cheque paralelo bomba transferencia de combustible	8

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Instalación de tapas de inspección árbol de levas, la tapa del piñón del árbol de levas con empaquetadura nueva y la tapa de sujeción del filtro centrifugo (después de verificar lubricación de los piñones de las bombas de agua, bomba de aceite, dámper)	8
Instalación del filtro centrifugo	1
Instalación de tapas de inspección del Carter.	4
Instalación de tapas de inspección árbol de levas, la tapa del piñón del árbol de levas con empaquetadura nueva y la tapa de sujeción del filtro centrifugo (después de verificar lubricación de los piñones de las bombas de agua, bomba de aceite, dámper)	6
Lubrique las válvulas de bola, succión y descarga de la bomba de línea, aplicando solvente valve flush se deja actuar por 24 horas y después grasa nordstrom sealant 1033. Revise las grasas de las cajas de engranajes de los actuadores, grasa multipropósito ep-2, vidok ep-2. Los inyectores de grasa deben estar en buen funcionamiento con su manómetro de presión operando bien. Revise que se tienen los materiales para lubricación de válvulas. La válvula debe tener los conectores para inyectar la grasa, la engrasadora hidráulica valtex # 1400; el valve flush, solvente para conductos de lubricación, para disolver la grasa solidificada en los conductos de la valvula; grasa lubrisellante sealant 1033, presentación cartucho tipo "j".	32
Instalar acople motor - incrementador	4
Instalar acople incrementador - bomba	4
Instalar guardas de acoples	2

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Instalar mampara	1
Efectúe las pruebas en vacío de la máquina, de 1 minuto, registre los valores de temperaturas señalados en el formato: bielas, bancadas, gases de escape. Prueba de 1 minuto: a 700 r.p.m. Durante 1 minuto. Destape el Carter y registre las temperaturas de las cabezas de biela, casquetes de bancada, piñones de repartición, piñones de accionamiento de bombas auxiliares. Registre la información en el formato del protocolo de pruebas.	16
Prueba de 5 minutos: a 750 r.p.m. Durante 5 minutos: destape el Carter y registre las temperaturas de las cabezas de biela, casquetes de bancada, piñones de repartición, piñones de accionamiento de bombas auxiliares. Registre la información en el formato del protocolo de pruebas.	16
Prueba de 20 minutos: a 810 r.p.m. Durante 20 minutos: destape el Carter y registre las temperaturas de las cabezas de biela, casquetes de bancada, piñones de repartición, piñones de accionamiento de bombas auxiliares. Registre la información en el formato del protocolo de pruebas.	16
Efectúe las pruebas con carga de la maquina registrando los parámetros operacionales: prueba de 24 horas y 48 horas de inspección y revisión: a 880 r.p.m. Durante 24 horas: monitoreo variables operacionales. Posteriormente con la maquina sin operar destape el Carter y registre las temperaturas de las cabezas de biela, casquetes de bancada, piñones de repartición, piñones de accionamiento de bombas auxiliares.	224
Registre la información en el formato de protocolo de pruebas.	
Presión aceite a la entrada del motor: temperatura de aceite: temperatura agua entrada: temperatura agua salida:	24

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

Continuidad Cuadro 1. Estándar Jobs Rutina 6000 hrs Motor Sulzer ATV-25.

EJECUCION	HORAS
Máxima diferencia de temperaturas de gases de escape: máxima temperatura de gases de escape: máxima temperatura de aire de carga: presión de aire de carga: presión del Carter a plena carga, en pulgadas de agua. Temperatura de gases escape cil 1 temperatura de gases escape cil 2 temperatura de gases escape cil 3 temperatura de gases escape cil 4 temperatura de gases escape cil 5 temperatura de gases escape cil 6 temperatura de gases escape cil 7 temperatura de gases escape cil 8 temperatura aceite camisa cilindro 1 temperatura aceite camisa cilindro 2 temperatura aceite camisa cilindro 3 temperatura aceite camisa cilindro 4 temperatura aceite camisa cilindro 5 temperatura aceite camisa cilindro 6 temperatura aceite camisa cilindro 7 temperatura aceite camisa cilindro 8 presión de combustible presión pico de combustión cilindro 1 presión pico de combustión cilindro 2 presión pico de combustión cilindro 3 presión pico de combustión cilindro 4 presión pico de combustión cilindro 5 presión pico de combustión cilindro 6 presión pico de combustión cilindro 7 presión pico de combustión cilindro 8 velocidad del motor. Velocidad del turbo. Presión diferencial filtro aceite principal presión diferencial filtro aceite bypass	
Documentar la OT	25
	4445

Fuente. Datos suministrados por la Especialidad de Mecánica, Oleoducto Caño Limón.

COMENTARIOS, VIDA ÚTIL DE LOS COMPONENTES DEL MOTOR (SEGÚN FABRICANTE)

Los particulares en el programa de mantenimiento son simplemente normas guía y dependen de los siguientes parámetros:

- Condiciones ambientales y de operación.
- Calidad del combustible y aceite lubricante.
- Cargas del motor.
- Tratamiento del combustible y aceite lubricante.
- Revisiones anteriores.
- Partes de repuesto originales.
- Mantenimiento.

SUB-ENSAMBLAJES MOTOR SULZER ATV-25

- 1 - Cubierta del motor y bomba de aceite
- 2 - Cojinete principal
- 3- Cubiertas y revestimientos
- 4 - Camisa del cilindro y chaqueta de agua
- 5 - Camisa del cilindro completa
- 6 - Válvula de engranaje
- 7 - Cigüeñal, volante, amortiguador
- 8 - Biela
- 9 - Pistón
- 10 - Árbol de levas
- 11 - Cojinete y soporte árbol de levas
- 12 - Encendido control de aire
- 13 - Regulador y unidad del regulador

- 14 - Seguridad del regulador y ubicación axial cojinete de empuje árbol de levas
- 15 - Bomba de inyección de combustible
- 16 - Enlace regulador
- 17 - Turbocompresor de escape
- 18 - Enfriador de aire
- 19 - Bomba de aceite
- 20 - Bomba del refrigerante
- 21 - Bomba del combustible
- 22 - Tubo de escape
- 23 - Sistema de refrigeración
- 24 - Sistema de aceite
- 25 - Sistema de encendido
- 26 - Sistema de combustible

VIDA UTIL DE LOS COMPONENTES DEL MOTOR SULZER ATV-25

La durabilidad de los componentes está ligada a varios factores, entre ellos los ambientales y los operacionales.

Sin embargo según el fabricante y ya por depreciación de estos equipos que tienen cerca de 30 años operando, se aconseja revisar de forma general la unidad cada 6000 Horas no antes sin realizar 3 revisiones a nivel global con una frecuencia de 1500 horas.

Como se indica en el párrafo anterior cada Overhaul se realiza a las 6000 horas de operación, es decir cerca de 9 meses, en teoría se tiene 1 mantenimiento anual a cada unidad, pero es de recordar que el sistema en ORU maneja 5 Unidades Sulzer ATV-25, por lo que sería necesario mínimo 4 mantenimientos anuales.

El fabricante sugiere realizar seguimiento a ciertos componentes basados en sus históricos y representados en la siguiente tabla.

Tabla 6. Vida útil esperada de los componentes del Motor Sulzer ATV-25.

Componente del motor	Aceite diesel marino ¹ horas	Aceite combustible pesado ² horas
Boquilla del inyector	4000 – 6000	3000 - 5000
Válvula de entrada y asiento	16000 – 24000	12000 – 18000
Válvula de salida y asiento	16000 – 24000	9000 – 12000
Pistones o anillos rascadores de aceite	8000 – 12000	6000 – 90000
Ranura del anillo de pistón	24000 – 36000	18000 – 27000
Pistón	48000 – 72000	36000 – 54000
Camisa del cilindro	32000 – 48000	24000 – 36000
Cojinete del extremo inferior	16000 – 24000	12000 – 18000
Cojinete principal	16000 – 24000	12000 – 18000

Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Sulzer ATV25 1997 Wartisilä Switzerland Ltda-Suiza.

A pesar que hay componentes que se deben cambiar cada 24000 horas no obstante se debe llevar una rigurosa revisión en cada uno de los mantenimientos. (1500 horas – 3000 horas – 4500 horas y el Overhaul (6000 Horas)).

A continuación se muestra la periodicidad de revisión en cada uno de los componentes.

Tabla 7. Programa de Mantenimiento Motor Sulzer ATV-25.

Parte componente	Mantenimiento requerido	Grupo	Diario	Mensual	Cuando sea necesario	1500 – 2500	2000 – 3000	6000 – 9000	8000 – 12000	24000 – 36000	Cada 4 años	De acuerdo con las indicaciones del fabricante	Siguiendo las clasificaciones de la sociedad
Nivel de aceite del motor, y regulador	- Revisar y cuando sea necesario llenar		•										
Cilindro del refrigerante	- Revisar nivel de líquido - Condiciones del líquido (revisar tratamiento, determinar concentración del inhibidor y pH - Limpiar el sistema		•									•	
Aceite lubricante del motor	- Análisis de laboratorio			•									
Pernos de cimentación	- Revisar apretado, si es necesario volver a apretar			•					•				
Cubierta del motor	- Reemplazar los pernos de la culata - Comprobar todos los cierres de rosca y cierres			•					•				
Cojinetes principales del cigüeñal	- Revisar condiciones de los cojinetes, mediante un control aleatorio sistemático	12									•		•
Cojinete de empuje del cigüeñal	- Comprobar condición del cojinete de empuje reduciendo a la mitad los anillos y el juego axial	12									•		•
Camisas del cilindro	- Medir el desgaste - Retirar para comprobar espacio de líquido en una camisa	21							•				
Culata	- Reemplazar o reacondicionar el cojinete de inserción o la válvula de inyección - Medir el desgaste si es necesario reemplazar cojinetes guía	27		•					•				
Válvula de inyección de combustible	- Probar el patrón de rociado y la presión - Revisar	27		•		•			•				
Válvula de arranque	- Revisar	27		•					•				
Válvulas de entrada/escape	- Reemplazar muelles de válvula - Revisar si es necesario válvulas de maquinaria y asientos de válvula - Reemplazar juntas tóricas de los asientos de válvulas	27		•					•		•		
Válvula de accionamiento (válvulas de entrada y escape)	- Comprobar juego de válvulas (después de aprox. 100 horas de operación, comprobar nuevamente) - Remover una válvula de accionamiento al azar	28							•				•

Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Sulzer ATV25 1997 Wartisilä Switzerland Ltda-Suiza.

Continuidad Tabla 5. Programa de Mantenimiento Motor Sulzer ATV-25.

Parte componente	Mantenimiento requerido	Grupo	Diario	Mensual	Cuando sea necesario	1500 – 2500	2000 – 3000	6000 – 9000	8000 – 12000	24000 – 36000	Cada 4 años	De acuerdo con las indicaciones del fabricante	Siguiendo las clasificaciones de la sociedad
Cigüeñal	- Comprobar la manivela de desviación - Comprobar juego axial - Comprobar visualmente fijación de contrapeso	31			• •				• • •				•
Amortiguador (Holset, Geislinger)	- Tomar muestra de aceite de silicona - Revisar	31										• •	
Biela	- Inspección aleatoria de los depósitos inferiores porta cojinete - Inspección aleatoria de los depósitos superiores porta cojinete	33									• •		• •
Émbolo de trabajo	- Medir las ranuras de los anillos del pistón - Comprobar el apretado - Desmantelar el pistón e inspeccionar el espacio de enfriamiento	34						•			• •		•
Anillos del pistón Anillos rascadores de aceite	- Remover, reemplazar por unos nuevos	34						•			•		•
Guía del árbol de levas	- Comprobar condiciones del engranaje de la rueda y muela de reacción	41							•				
Árbol de levas	- Comprobar condiciones de las cámaras - Remover un cojinete del árbol de levas al azar	42							• •				
Control de arranque distribuidor de aire	- Revisar	43							•				
Arranque válvula de aire	- Revisar	43								•			
Regulador	- Cambio de aceite	51										•	
Guía del regulador	- Comprobar ruedas de engranaje - Revisar	51								• •			
Sistema de seguridad	- Comprobar función	53				•							
Dispositivo del mecanismo de corte por exceso de velocidad	- Comprobar función (corte velocidad) - Revisar	53		•									
Bomba de inyección de combustible	- Revisar - Comprobar (sincronizar) ajustes	55			•							•	
Enlace de regulación	- Comprobar movimiento fácil - Comprobar ajustes - Comprobar regulación de transmisión	58		• •					•				
Turbocompresor y filtro de succión de aire	- Revisión y limpieza	65										•	
Enfriador de aire	- Remover y limpiar	66			•							•	
By-pass de paso de aire	- Comprobar función - Revisar	68				•							

Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Sulzer ATV25 1997 Wartisilä Switzerland Ltda-Suiza.

Continuidad Tabla 5. Programa de Mantenimiento Motor Sulzer ATV-25.

Parte componente	Mantenimiento requerido	Grupo	Diario	Mensual	Cuando sea necesario	1500 – 2500	2000 – 3000	6000 – 9000	8000 – 12000	24000 – 36000	Cada 4 años	De acuerdo con las indicaciones del fabricante	Siguiendo las clasificaciones de la sociedad
Válvula de descarga	- Comprobar función - Revisar	69											
Bomba de aceite lubricante	- Inspeccionar condición de los dientes de la rueda de engranaje guía - Revisar bomba	71			•	•							
Filtro de aceite	- Limpiar o reemplazar cartuchos de filtro				•								
Bomba de líquido refrigerante	- Inspeccionar condición de los dientes de la rueda de engranaje guía - Revisar bomba	73						•					
Bomba de repuesto de combustible (entrega)	- Inspeccionar condición de los dientes de la rueda de engranaje guía - Revisar bomba	74						•					
Filtro de combustible	- Limpiar o reemplazar cartuchos de filtro	74			•					•			
Herramientas	- Proteger gatos hidráulicos y bombas contra el muge y la corrosión (óxido)	94											
			Después de cada uso										

Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Sulzer ATV25 1997 Wartisilä Switzerland Ltda-Suiza.

TABLAS DE DIMENSIONES Y TOLERANCIAS MAXIMAS PERMISIBLES

La tolerancia es una definición propia de la metrología industrial, que se aplica a la fabricación de piezas en serie. Dada una magnitud significativa y cuantificable propia de un producto industrial (sea alguna de sus dimensiones, resistencia, peso o cualquier otra), el margen de tolerancia es el intervalo de valores en el que debe encontrarse dicha magnitud para que se acepte como válida, lo que determina la aceptación o el rechazo de los componentes fabricados, según sus valores queden dentro o fuera de ese intervalo.

El propósito de los intervalos de tolerancia es el de admitir un margen para las imperfecciones en la manufactura de componente, ya que se considera imposible la precisión absoluta desde el punto de vista técnico, o bien no se recomienda por

motivos de eficiencia: es una buena práctica de ingeniería el especificar el mayor valor posible de tolerancia mientras el componente en cuestión mantenga su funcionalidad, dado que cuanto menor sea el margen de tolerancia, la pieza será más difícil de producir y por lo tanto más costosa.

La tolerancia es similar de una manera opuesta al ajuste en ingeniería mecánica, el cual es la holgura o la interferencia entre dos partes. Por ejemplo, para un eje con un diámetro nominal de 10 milímetros se ensamblara en un agujero se tendrá que especificar el eje con un rango de tolerancia entre los 10,04 y 10,076 milímetros. Esto daría una holgura que se encontraría entre los 0,04 milímetros (eje mayor con agujero menor) y los 0,112 milímetros (eje menor con agujero mayor). En este caso el rango de tolerancia tanto para el eje y el hoyo se escoge que sea el mismo (0,036 milímetros), pero esto no es necesariamente el caso general.

En mecánica, la tolerancia de fabricación se puede definir como los valores máximo y mínimo que debe medir un eje u orificio para que en el momento de su encaje el eje y el orificio puedan ajustarse sin problemas. Si se supera el valor máximo o el mínimo, entonces resultará imposible encajar el eje dentro del orificio, por lo que se dirá que el mecánico se ha pasado del valor de tolerancia.

Tabla 8. Tablas de tolerancias para motores Sulzer ATV-25.

Subensamble	Fig. Pos.	Parte	Dimensión	Tamaño y tolerancia de elaboración	Claridad cuando es nuevo	Máxima claridad admisible	
31 12	<u>01</u> <u>01</u>	Tren de rodaje Cigüeñal Cojinete principal	Diámetro Diámetro vertical Diámetro horizontal	225 ⁰ _{-0.29} 225 ^{+0.206} _{+0.152} 225 ^{+0.266} _{+0.212}	Vertical: 0.152 – 0.235 Horizontal: 0.212 – 0.295	0.25 0.38	
31 12	<u>01</u> <u>02</u>	Cigüeñal Cojinete de empuje axial	Anchura axial en el cojinete de empuje Anchura axial de empuje sobre las dos mitades del anillo de cojinete	116 ^{+0.035} ₀ 116 ^{-0.15} _{-0.28}	Axial: 0.15 – 0.32	0.40	
31 33	<u>01</u> <u>01</u>	Botón de manivela Cojinete de cabeza de biela	Diámetro Diámetro Diámetro horizontal	195 ⁰ _{-0.029} 195 ^{+0.18} _{+0.12} Adm. por encima de 195.260	0.12 – 0.21		
34 33	<u>02</u> <u>01</u>	Bulón Cojinete del extremo pequeño	Diámetro Diámetro Diámetro horizontal	115 ^{-0.025} _{-0.040} 115 ^{+0.130} _{+0.090} Adm. por encima de 115.15	0.115 – 0.170	0.20	
34	<u>02</u> <u>02</u>	Falda del pistón	Gobio bulón	115 ^{+0.022} ₀	0.025 – 0.062	0.09	
34	<u>02</u> <u>03</u>	Pistón de 2 partes Corona de acero Falda de aluminio o de acero fundido para corona de acero (sólo por encima de 750 rpm)	Los pistones tienen forma de barril, ovales y cónicos. Las medidas también pueden variar dependiendo del proveedor. Por lo tanto las medidas no están indicadas.				
21	<u>02</u> <u>04</u>	Camisa del cilindro	Diámetro interno Máxima ovalización	250 ^{+0.046} ₀		2) 251.0 3) 250.25 0.3	
<p>Observaciones:</p> <p>1) Ver 051-Fig 01-13</p> <p>2) Medido 70 mm debajo del borde superior</p> <p>3) Medido sobre puntos de medida debajo del punto de medida 2) (Ver 21-fig 03)</p>							

Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Sulzer ATV25 1997 Wartisilä Switzerland Ltda-Suiza.

Continuidad Tabla 6. Tablas de tolerancias para motores Sulzer ATV-25.

Subensamblaje	Fig. Pos.	Parte	Dimensión	Tamaño y tolerancia de elaboración	Claridad cuando es nuevo	Máxima claridad admisible
34	02	Pistón (construido) Ver 34 – Fig. 01	Altura de las ranuras de los anillos del pistón (en la parte más alta y más baja)	5 $\begin{matrix} +0.17 \\ +0.15 \end{matrix}$	Axial: 0.160 – 0.0192 Axial: 0.033 – 0.075	
	02 07	Anillo del pistón	Altura	5 $\begin{matrix} -0.010 \\ -0.022 \\ +0.04 \\ +0.02 \end{matrix}$		
		Anillos del rascador de aceite	Altura	8 $\begin{matrix} -0.013 \\ -0.035 \end{matrix}$		
33 34	02 08	Varilla de conexión del cojinete (superior) Pistón	Anchura axial	103.5 $\begin{matrix} 0 \\ -0.2 \end{matrix}$ 104 $\begin{matrix} +0.2 \\ 0 \end{matrix}$	Axial: 0,5 – 0.9	1.20
31	01 04	Cigüeñal	Diámetro	230 $\begin{matrix} -0.050 \\ -0.096 \end{matrix}$	0.310 – 0.386	
		Receptor de aceite	Pozo	230 $\begin{matrix} +0.300 \\ +0.260 \end{matrix}$		
27	03 01	Cubierta del cilindro	Diámetro del eje	20 $\begin{matrix} 0 \\ -0.021 \end{matrix}$	0.06 – 0.101	0.30 ¹⁾
		Válvula de entrada y salida Guía de la válvula (fija)	Pozo	20 $\begin{matrix} +0.08 \\ +0.06 \end{matrix}$		
27 27	03 02	Eje del balancín principal Balancín principal y soporte	Diámetro Pozo	55 $\begin{matrix} 0 \\ -0.019 \end{matrix}$ 32 $\begin{matrix} +0.076 \\ +0.030 \end{matrix}$	0.030 – 0.095	0.20
27 27	03 02	Eje del balancín auxiliar Balancín auxiliar y soporte	Diámetro Pozo	32 $\begin{matrix} 0 \\ -0.016 \end{matrix}$ 32 $\begin{matrix} +0.064 \\ +0.025 \end{matrix}$	0.025 – 0.080	0.20
27	03 04	Soportes del balancín			Axial: 0.20 – 0.60	
28	—	Juego de válvulas con el motor frío, válvulas de entrada y salida = 0.8 mm				

Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Sulzer ATV25 1997 Wartsilä Switzerland Ltda-Suiza.

Continuidad Tabla 6. Tablas de tolerancias para motores Sulzer ATV-25.

Subensamblaje	Fig. Pos.	Parte	Dimensión	Tamaño y tolerancia de elaboración	Claridad cuando es nuevo	Máxima claridad admisible
28	05 03	Válvula de engranaje	Diámetro	48 ^{+0.008} _{-0.008}	0.042 – 0.083	0.2
		Fulcro del balancín				
		Balancín	Diámetro 48 mm ϕ	48 ^{+0.075} _{+0.050}		
		Soporte del cojinete	Diámetro 48 mm ϕ	48 ^{+0.06} _{+0.025}	0.017 – 0.072	0.2
28	05	Muñon del rodillo	Diámetro	34 ⁰ _{-0.016}	0.080 – 0.135	0.3
28	04	Rodillo 70 ϕ 30	Diámetro de prensado en casquillo de cojinete	34 ^{+0.119} _{+0.080}		
28	05	Balancín	Diámetro 34 mm ϕ	34 ^{+0.034} _{+0.009}		
31	04 01	Árbol de levas y dirección Rueda dentada de 2 piezas del árbol de levas, primera rueda intermedia	Reacción		0.14 – 0.27	0.35
41	04 02	2da rueda intermedia derecha e izquierda				
	02a	Rueda intermedia derecha e izquierda	Reacción		0.12 – 0.24	0.35
41	04 03	Rueda intermedia derecha e izquierda				
	03a	Rueda dentada del árbol de levas derecha e izquierda	Reacción		0.12 – 0.24	0.35
44	04 04	Muñones del engranaje reductor	Diámetro	80 ⁰ _{-0.019}	0.030 – 0.095	0.12
			Diámetro de prensado de casquillo de cojinete	80 ^{+0.076} _{+0.030}		
	04 07	Engranajes reductores	Juego axial	-	0.3 – 0.8	
41	04 06	Muñones del engranaje reductor	Diámetro	80 ⁰ _{-0.019}	0.030 – 0.095	0.12
			Diámetro de prensado de casquillo de cojinete	80 ^{+0.076} _{+0.030}		
	04 07	Engranajes intermedios izquierdo y derecho	Juego axial	-	0.3 – 0.8	
42	05 01	Árbol de levas	Diámetro del cojinete	142 ^{-0.085} _{-0.148}	0.085 – 0.188	0.25
		Soporte del cojinete	Diámetro de prensado de casquillo de cojinete	142 ^{+0.040} ₀		

Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Sulzer ATV25 1997 Wartisilä Switzerland Ltda-Suiza.

Continuidad Tabla 6. Tablas de tolerancias para motores Sulzer ATV-25.

Subensamblaje	Fig. Pos.	Parte	Dimensión	Tamaño y tolerancia de elaboración	Claridad cuando es nuevo	Máxima claridad admisible
51	04 08	Regulador de accionamiento del árbol de levas	Reacción	-	0.12 – 0.24	0.35
51	01 05	Regulador de accionamiento ruedas de engranaje	Reacción	-	0.10 – 0.20	0.30
42	05	Árbol de levas	Diámetro del cojinete	70 -0.080 -0.106	0.060 – 0.136	0.2
53	02		Reacción	70 +0.030 0		
			Juego axial		0.05 – 0.19	0.5
55	10 01	Bomba de inyección de combustible Rodillo φ 70 x 35	Diámetro del rodillo	46 +0.025 0	0.025 – 0.075	0.2
		Soporte del cojinete	Diámetro exterior	46 -0.025 -0.050		
55	10 01	Soporte del cojinete 35 mm	Diámetro del soporte	35 +0.064 +0.025	0.025 – 0.080	0.2
55		Punta del rodillo	Diámetro	35 0 -0.016	0.009 – 0.050	0.1
55	10 03	Pistón guía	Diámetro de 35 mm	35 +0.034 +0.009		
55	10 04	Pistón guía	Diámetro exterior	92 -0.036 -0.071	0.036 – 0.106	0.15
55		Cubierta de la bomba	Diámetro del pistón guía	92 +0.035 0		
55	10 05	Cilindro de la bomba	Diámetro exterior	45 0 -0.016	0.025 – 0.080	0.12
55		Manga regulante	Diámetro	45 +0.064 +0.025		
55	10 01	Cilindro de la bomba Pistón de la bomba		-	0.006 – 0.008	
71	11 01	Bomba de aceite Piñón	Diámetro	60 -0.060 -0.106	0.060 – 0.136	0.15
71		Carcasa y cubiertas del cojinete	Diámetro de prensado de casquillo de cojinete	60 +0.030 0		
71	11 02	Piñón	Diámetro exterior	128 -0.190 -0.250	0.190 – 0.290	
71		Carcasa	Diámetro	128 +0.030 0		
71	11 03	Espacio entre el piñón y la carcasa respectiva de la cubierta del cojinete	Espacio axial	-	0.085 – 0.188	

Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Sulzer ATV25 1997 Wartisilä Switzerland Ltda-Suiza.

Continuidad Tabla 6. Tablas de tolerancias para motores Sulzer ATV-25.

Subensamblaje	Fig. Pos.	Parte	Dimensión	Tamaño y tolerancia de elaboración	Claridad cuando es nuevo	Máxima claridad admisible
71	<u>11</u> 04	Carcasa	Diámetro	55 $\begin{matrix} +0.030 \\ 0 \end{matrix}$	0.060 – 0.136	
		Cuerpo de la válvula	Diámetro	55 $\begin{matrix} -0.060 \\ -0.106 \end{matrix}$		
71	<u>11</u> 05	Piñon	Reacción	-	0.30 – 0.42	0.7
71	<u>11</u> 06	Rueda de estímulo del manejo bomba de aceite	Reacción	-	0.14 – 0.027	0.5
31		Rueda de estímulo del cigüeñal				
73	<u>12</u> 01	Bomba del líquido refrigerante, Bomba de agua cruda	Diámetro de funcionamiento	44 $\begin{matrix} -0.050 \\ -0.089 \end{matrix}$	0.050 – 0.114	0.3
73		Soporte de funcionamiento	Diámetro interno de prensado de casquillo de cojinete	44 $\begin{matrix} +0.025 \\ 0 \end{matrix}$		
73		Cubierta del cojinete	Juego axial	-		
73	<u>12</u> 03	Rueda estimulante	Reacción	-	0.14 – 0.27	
31		Rueda estimulante del cigüeñal				
74	<u>13</u> 01	Bomba de entrega de combustible	Diámetro	28 $\begin{matrix} 0 \\ -0.013 \end{matrix}$	0.020 – 0.066	0.12
74		Carcasa respectiva a la cubierta del cojinete	Diámetro de prensado de casquillo de cojinete	28 $\begin{matrix} +0.053 \\ +0.020 \end{matrix}$		
74	<u>131</u> 02	Engranajes de la bomba	Diámetro exterior	52 $\begin{matrix} -0.17 \\ -0.20 \end{matrix}$	0.17 – 0.23	
74		Carcasa	Diámetro 52 mm	52 $\begin{matrix} +0.03 \\ 0 \end{matrix}$		
74	<u>13</u> 03	Engranajes de la bomba	Espacio axial	-	0.005 – 0.101	0.2
74		Carcasa				
74	<u>13</u> 04	Engranaje superior de la bomba	Reacción	-	0.10 – 0.18	0.35
74		Engranaje inferior de la bomba				
74	<u>13</u> 06	Rueda dentada recta	Reacción	-	0.12 – 0.22	
31		Rueda estimulante del cigüeñal				

Fuente. Manual de Operación y Mantenimiento Sulzer ATV25 1997 Wartisilä Switzerland Ltda-Suiza.

6.4 MANTENIMIENTOS 2015 ESTACION ORU

A pesar de que se presentaron diversas fallas en el sistema ocasionados por terceros que no permitieron el normal desempeño de las unidades y al vernos obligados a dejar de bombear en el año 2015, se realizaron 3 Mantenimientos Mayores a las unidades 109, 106 y 108 respectivamente.

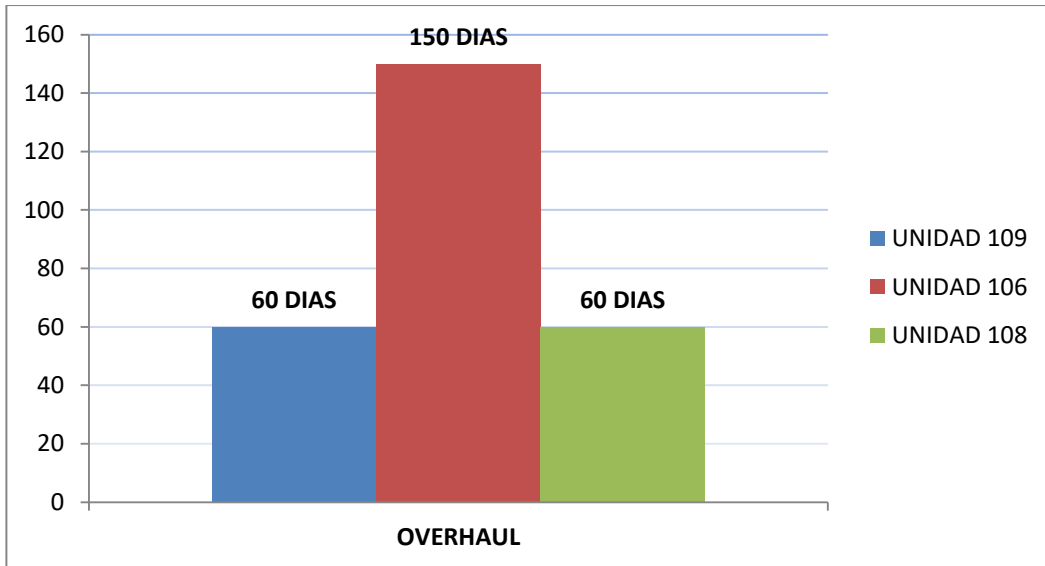
Adicional a esto se realizaron trabajos menores o rutinas con frecuencia de 1500 horas.

En revisión de los componentes desmontados a cada una de las unidades se evidenciaron que su vida útil todavía era permisible para cada uno de los elementos ya que se encontraban dentro de los parámetros normales y dentro de las tolerancias mínimas.

Adicional a esto en cada uno de los mantenimientos anteriormente mencionados se realizó un cambio al conjunto Camisa – Pistón – Biela, denominado sistema APR, con el objetivo de optimizar el consumo de aceite en la unidad y así optimizar la vida útil del mismo.

Los mantenimientos en la planta Oru, tienen una particularidad y es que son los únicos motores Sulzer ATV25 en todo el sistema, contrario a las demás estaciones donde se tienen motores ALLEN y el mantenimiento es a 14000 horas de operación. Estos factores hacen que los Overhaul sean mejor programados no quitando importancia a las demás estaciones, sino por el contrario se requieren repuestos al 100% en la estación Oru, se requiere personal calificado, adicional a esto la estación se encuentra en el corazón del Catatumbo donde el orden público no permite el ingreso vía terrestre y los costos del transporte aéreo, junto con las condiciones climáticas y demás factores afectan de manera directa cada uno de los mantenimientos.

Figura 29. DURACION DE LOS ULTIMOS MANTENIMIENTOS AÑO 2015 ESTACION ORU



Fuente. Autor del Proyecto.

6.4.1 ANALISIS DE METROLOGIA EN CADA UNO DE LOS MANTENIMIENTOS

A continuación se realiza el análisis de metrología de los componentes intervenidos en el mantenimiento mayor de las 6000 horas correspondiente a la unidad 4I-106 de la Planta Orú en el año 2015. Se relacionan en los Anexos de la A-H los datos de metrología de cada uno de los componentes desmontados de la unidad.

MANTENIMIENTO 6000 HORAS UNIDAD 4I-106.

AVISO #: 10036275.

ORDEN #: 4034419

Se inició mantenimiento de 6000 horas de la unidad 4I-106, el día 11 de mayo del año 2015, con el HOROMETRO: 68921. Ejecutándose 256 HORAS después de cumplir el Horometro de mantenimiento de 6000 horas establecido (68665).

COMPONENTES: En los siguientes cuadros se presenta el análisis global de las partes cambiadas de cada uno de los componentes.

Cuadro 2. Culatas Reparadas Mtto 6000 Hrs. Unidad 4I-106.

BANCO DERECHO

# CILINDRO	1	2	3	4	5	6	7	8
REFERENCIA	152	183	169	216	141	191	210	132

BANCO IZQUIERDO

# CILINDRO	1	2	3	4	5	6	7	8
REFERENCIA	29	128	163	187	NN	192	179	160

Fuente. FAUC-PORU-001 Formato Listado de Culatas.

Cuadro 3. Pistones Nuevos Sistema APR MTTO. 6000 Hrs. Unidad 4I-106.

BANCO DERECHO

CILINDRO	1	2	3	4	5	6	7	8
# CORONA	11/15 6/14/ 76.	11/15 6/14/ 68	11/15 6/14/ 57	11/15 6/14/ 77	11/15 6/14/ 97	11/15 6/14/ 69	11/15 6/14/ 65	11/15 6/14/ 94
# FALDA	M- 240- 14-51	M- 240- 14-56	M- 240- 14-39	M- 240- 14-46	M- 240- 14-55	M- 240- 14-58	M- 240- 14-37	M- 263- 11-35

BANCO IZQUIERDO

CILINDRO	1	2	3	4	5	6	7	8
# CORONA	11/15 6/14/ 70.	11/15 6/14/ 72	11/15 6/14/ 93	11/15 6/14/ 60	11/15 6/14/ 88	11/15 6/14/ 58	11/15 6/14/ 75	11/15 6/14/ 96
# FALDA	M- 240- 14-33	M- 263- 11-33	M- 240- 14-52	M- 263- 11-39	M- 240- 14-32	M- 263- 11-38	M- 240- 14-40	M- 240- 14-54

Fuente. FM-PORU-RPAATAR 001. Formato. Metrología de las ranuras del pistón, altura de los anillos, tolerancia entre el anillo y la ranura. FM-PORU-BAP001 Formato. Metrología del bulón y alojamiento en el pistón.

Cuadro 4. Bielas Nuevas Mtto 6000 Hrs. Unidad 4I-106.

BANCO DERECHO.

CILINDRO	1	2	3	4	5	6	7	8
REFERENCIA	LHK004	LHK003	LLB002	LLC033	LLC036	LLC035	JUZ004	JUZ005
OVALIDAD	0,0002"	0,0002"	0,0004"	0,0003"	0	0	0,0003"	0,0001"

BANCO IZQUIERDO.

CILINDRO	1	2	3	4	5	6	7	8
REFERENCIA	LLB004	LLB001	LHK001	LLB014	LLC027	LHK007	LLC025	LLC024
OVALIDAD	0,0003"	0,0005"	0,0005"	0,0001"	0,0004"	0,0003"	0	0,0002"

Fuente. FM-PORU-B0001 Formato Metrología Biela.

Cuadro 5. Casquete de Bancada Nuevos y Usados Mtto 6000 Hrs. Unidad 4I-106.

BANCADA		1	2	3	4	5	6	7	8	9
SUPERIOR	HOR.	6279 6	6279 6	6279 6	6279 6	6279 6	6279 6	6279 6	6279 6	6279 6
	EST.	USAD -	USAD -	USAD -	USAD -	USAD -	USAD -	USAD -	USAD -	USAD -
INFERIOR	HOR.	6892 1	6892 1	6892 1	6892 1	6892 1	6892 1	6892 1	6892 1	6892 1
	EST.	NUEV -	NUEV -	NUEV -	NUEV -	NUEV -	NUEV -	NUEV -	NUEV -	NUEV -

Fuente. Folder Metrología Mtto de 6000 Hrs. Unidad 4I-106.

NOTA: Se realizó cambio de algunos casquetes en regular estado, con el fin de dar garantía al posible a largue del tiempo de rutina de 6000 a 9000 horas, los cuales fueron:

- Casquete inferior bancada #1-2-3-4-5-6-7-8-9.

OBSERVACION:

- Casquete superior bancada #2, se instala el que venía trabajando en la parte inferior.

CONCLUSIONES DE LA METROLOGIA

Algunos componentes o sistemas no se intervinieron por estado actual, condición o por existencia, entre los cuales están:

EJE DE LEVAS:(USADO): Los tramos o secciones se encontraron unos dentro de parámetros de desgaste permisible y otros por fuera, en los cojinetes de cada soporte del tramo o sección de levas se evidencia unos con 100% y otros 70% de desgaste en la mayoría de estos, los cuales es recomendable realizar su cambio antes de la próxima rutina.

Nota: No se realiza cambio en esta rutina debido a no tener existencias del repuesto con parte #H40002 (Cojinete del árbol levas).

TREN DE BOMBAS DE AGUA PRIMARIA-SEGUNDARIA-ACEITE PRINCIPAL-COMBUSTIBLE PRINCIPAL: En monitoreo de operación de la unidad antes de sacarla a mantenimiento, se evidencio buena eficiencia de las bombas que no es necesario realizar desmonte y revisión de las mismas, cabe aclarar que se intervendrán por condición que se analizara por mantenimiento predictivo que se viene desarrollado en las unidades.

BOMBAS DE AGUA PRIMARIA-SEGUNDARIA: Al momento de ejecutar el mantenimiento tenían 41 horas de trabajo después de un mantenimiento correctivo (cambio de elementos internos de las bombas).

BOMBA DE ACEITE PRINCIPAL: No se desmonta ni se le realiza mantenimiento alguno ya que está establecido el mantenimiento a las 12.000 horas y al momento desde la última intervención tiene 3597 horas de trabajo.

BOMBA DE COMBUSTIBLE PRINCIPAL: No se desmonta ni se le realiza mantenimiento alguno ya que está establecido el mantenimiento a las 12.000 horas y al momento desde la última intervención tiene 7466 horas de trabajo.

BOMBAS DE INYECCIÓN: Se desmonta pero no se le realiza mantenimiento alguno ya que está establecido el mantenimiento de comprobación y ajuste cuando sea necesario o a 8.000 horas de trabajo y al momento desde la última

intervención para calibración y cambio de elementos internos por problemas de temperatura en los cilindros, ha trabajado 4.807 horas sin presentar alteración de temperaturas en los cilindros.

BOMBAS AUXILIARES DE COMBUSTIBLE-LUBRICANTE: Estas bombas se le realizan mantenimiento por condición de operación de las mismas.

TURBOS. (ORIGINALES ABB). Estos turbos se instalaron nuevos antes del Horometro de mantenimiento, debido a la condición de altas temperatura del motor, los cuales se instalaron con el siguiente Horometro:

- Turbo izquierdo: 65324 referencia: HT839624 (Con 3.597 horas de trabajo al ejecutarse el mantenimiento)
- Turbo derecho: 67780 referencia: HT840039 (Con 1.141 horas de trabajo al ejecutarse el mantenimiento).

6.4.2 Reporte De Fallas.

Durante el transcurso del 2015 las unidades principales reportaron fallas que se relacionan en los cuadros 6, 7 y 8 correspondientes a las unidades 4I-106, 4I-108 y 4I-109.

Del total del fallas reportadas se concluye que menos del 10% son fallas que sacan la unidad de línea por lo que son netamente correctivas y su intervención es inmediata, también se evidencia que los componentes críticos no fallaron a lo largo de los 365 días y que estos eventos no afectan el ciclo de vida de las partes principales del motor. Así mismo dentro de estas fallas se reportan los eventos producto de los análisis predictivos realizados por la empresa Massy Energy, dando siempre algunas recomendaciones los cuales son atendidos a la mayor brevedad por las especialidades de mantenimiento.

Las fallas en las unidades son fallas que no toman más de 4 o 5 horas en su intervención, dejando la unidad 100% Operativa. Adicional a las fallas la estación Orú cuenta con un total de 5 Unidades de bombeo y casi siempre están en línea un máximo de 3, por lo que las restantes son Unidades en Stand By, es decir la utilización máxima es del 60% a full carga.

Cuadro 6. Fallas Reportadas SAP 2015 Unidad 4I-106.

FALLAS REPORTADAS SAP 1 DE ENERO 2015 AL 31 DE DICIEMBRE DE 2015 UNIDAD 106						
4009941	Z2PM	CORRECCION FISURA TUBERIA DE ALTA UNI 106	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 9,080,720
4014753	Z2PM	CAMBIO ELEMENTOS FILTROS A-B COMBUS U106	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 680,464
4020255	Z2PM	BOMBA DE AGUA PRIMARIA FUGA POR TEST	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 2,512,000
4020146	Z2PM	FUGA POR SELLO EXTERIOR 4P-106	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 26,838,377
4001808	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (ENERO-MARZO)	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4001813	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (ABRIL-JUNIO)	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4001814	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (JULIO-SEPTIEMBRE)	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4001877	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (OCTUBRE-DICIEMBRE)	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4025144	Z2PM	CORREGIR FUGA DE AGUA POR RACOR 4I-106	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 659,330
4019819	Z2PM	FUGA DE AGUA POR BOMBA PRIMARIA U-106	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 3,085,113
4019820	Z2PM	CBM VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE INYECTOR	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 3,827,478
4039784	Z2PM	CBM-EJECUTAR RECOMENDACIONES U-106	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 1,450,526
4014755	Z2PM	VÁL VENTEO-DRENAJE CAMBIO 4P-106	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 3,057,128
4074424	Z2PM	FALLA MOV-200 V. SUCCION 4P-106	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 9,000,000
4079424	Z2PM	FALLA SELLO DE BOMBA PRELUBRICACION	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 14,000,000
4091220	Z2PM	Fuga Bomba Ropper Patin Lubri. Und 106	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 23,000,000
4090642	Z2PM	PRUEBA FUNCIONAL UNIDADES 106-108	Und Bombeo Ppal 4P-106	ORU	MECANICA	\$ 23,000,000
			TOTAL FALLAS UNIDAD 106			\$ 260,191,136

Fuente. Software SAP Cenit.

Cuadro 7. Fallas Reportadas SAP 2015 Unidad 4I-108.

FALLAS REPORTADAS SAP 1 DE ENERO 2015 AL 31 DE DICIEMBRE DE 2015 UNIDAD 108						
4005910	Z2PM	CAMBIO FILTRO DE COMB 4I-108	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 1,725,263
4014731	Z2PM	FUGA DE LUBRICANTE GOBERNADOR U-108	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 2,868,997
4015724	Z2PM	CAMBIO ELEMENTOS FILTROS COMBUSTIBLE	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 1,725,263
4015727	Z2PM	CAMBIO DE ELEMENTOS FILTROS COMB U-108	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 1,725,263
4001810	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (ENERO-MARZO)	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4001817	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (ABRIL-JUNIO)	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4001818	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (JULIO-SEPTIEMBRE)	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4001881	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (OCTUBRE-DICIEMBRE)	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4034128	Z2PM	REVISAR ALTA PRES. DIFERENCIAL COMBUST.	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 1,791,196
4015726	Z2PM	CAMBIO ACOPLE MOT/BBA FILTRO CENT U08	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 3,085,113
4019818	Z2PM	CBM REVISAR PRESION DE CARTER MOTOR	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 5,010,908
4020846	Z2PM	CBM REVISAR COMPONENTES INT BOMBA 4M-108	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 10,549,280
4026180	Z2PM	FUGA POR SELLO INTERIOR 4P-108	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 13,022,679
4040759	Z2PM	REVISAR BOMBA ELECTRICA DE INCREM. U-108	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 1,791,196
4041340	Z2PM	CORREGIR FUGA SELLO INTERIOR BBA U-108	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 5,176,652
4014745	Z2PM	VÁL VENTEO-DRENAJE CAMBIO 4P-108	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 3,057,128
4091078	Z2PM	CORRECCION DEFICIENCIAS UNIDAD 108	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 3,800,000
			TOTAL FALLAS UNIDAD 108			\$ 195,328,938

Fuente. Herramienta SAP Cenit.

Cuadro 8. Fallas Reportadas SAP 2015 Unidad 4I-109.

FALLAS REPORTADAS SAP 1 DE ENERO 2015 AL 31 DE DICIEMBRE DE 2015 UNIDAD 109						
4019833	Z2PM	Alta diferencial de filtros combustible	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 988,995
4014280	Z2PM	REPARAR COMPONENTES MECANICOS 4I-109	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 35,603,820
4001811	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (ENERO-MARZO)	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4001819	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (ABRIL-JUNIO)	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4001820	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (JULIO-SEPTIEMBRE)	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4001883	Z2PM	PREDICTIVO 90 DIAS (OCTUBRE-DICIEMBRE)	Und Bombeo Ppal 4P-108	ORU	MECANICA	\$ 35,000,000
4023653	Z2PM	REPARAR MANTA TERMICA UNIDAD 4I-109	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 3,223,098
4024981	Z2PM	REVISION REPARACION COMPONENTES TALL BOD	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 13,714,064
4014765	Z2PM	CORRECCI FUGA LUBRICANTE GOBERNADOR U109	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 11,131,866
4019834	Z2PM	CBM VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE INYECTOR	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 5,010,908
4019835	Z2PM	CBM INSPECCIONAR CASQUETE DE BANCADA	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 1,186,794
4040079	Z2PM	CORREGIR PASE DE AGUA POR CIL 2& 4R U109	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 9,264,498
4039785	Z2PM	CBM-EJECUTAR RECOMENDACIONES U-109	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 2,637,320
4040533	Z2PM	CORREGIR FUGA SELLO INTERIOR BOMBA U-109	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 4,121,724
4041619	Z2PM	REVISAR RUIDO ANORMAL BOMBA INCREM U-109	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 2,720,192
4043297	Z2PM	CORREGIR FUGA CRUDO SELLO INT. BOMBA 109	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 4,978,853
4014766	Z2PM	VÁL VENTEO-DRENAJE CAMBIO 4P-109	Und Bombeo Ppal 4P-109	ORU	MECANICA	\$ 3,057,128
TOTAL FALLAS UNIDAD 109						\$ 237,639,260

Fuente. Herramienta SAP Cenit.

6.4.3 Analisis Cbm

Los análisis de Termografía y vibraciones están programados para realizarse cada tres meses calendario sujetos a factores de operación del oleoducto

6.5 COSTOS DEL MANTENIMIENTO

La finalidad básica de la gestión de costos es Estimular la optimización del uso de mano de obra, cantidad de materiales, contratos y minimizar tiempos de paro.

El concepto "Costeo" se refiere a un proceso que ocurre en un sistema de información y que lo refleja en una cifra que pretende mostrar el desempeño puntual de una gestión y que en el tiempo permite inferir una tendencia de utilización de recursos.

Los costos de mantenimiento son útiles en dos sentidos: Para evaluar resultados internos de una organización de mantenimiento y para comparar la inversión con los resultados operativos de la empresa.

Según su naturaleza, podemos clasificar los costos de mantenimiento en costos acarreados por: Realización de intervenciones; Defectos en la calidad del mantenimiento; Costos de almacenamiento; Inversiones de mantenimiento.

Así mismo el Desgaste de las piezas; Piezas con errores de construcción; Esfuerzos superiores en piezas debido a cambios de condiciones de operación, Esfuerzos repetitivos de fatiga son causas que debilitan el musculo financiero y elevan los costos de mantenibilidad debido a las demoras generadas, reprocesos, demoras en tiempos de entrega, etc.

Para los motores Sulzer ATV-25 se debe tener en cuenta que la mayoría de repuestos son importados y requieren tiempos mínimos de fabricación y de entrega.

Es por ello que para algunas piezas se debe tomar la decisión de mantenerlas en stock; se deben medir la necesidad operativa, la capacidad de respuesta, y otros factores para mantener un mínimo y así proceder a realizar los respectivos mantenimientos.

Hoy en día el concepto de mantenimiento va dirigido al preventivo, pero esto no quiere decir que seamos ajenos a tener un correctivo en estos motores Sulzer ATV-25, que por su tiempo de operación están latentes a presentar fallas continuas, bien sea en la unidad principal o en alguno de los componentes como Bomba, Incrementador, fin fan, etc. Por ahora nos centraremos en la unidad como tal, es decir el motor de combustión Interna SULZER ATV-25.

Cuadro 9. Costo de Overhaul por Unidad.

COSTO DE OVERHAUL POR UNIDAD	
MATERIALES	\$ 1.500.000.000
MANO DE OBRA	\$ 250.000.000
COSTOS INDIRECTOS	\$ 25.000.000
PRODUCCION	\$ 9.450.000.000
TOTAL	\$ 11.225.000.000

Fuente. Herramienta SAP Cenit

MATERIALES: Es el valor sacado de todos los elementos usados en la rutina, incluye los fungibles, los componentes mayores, etc.

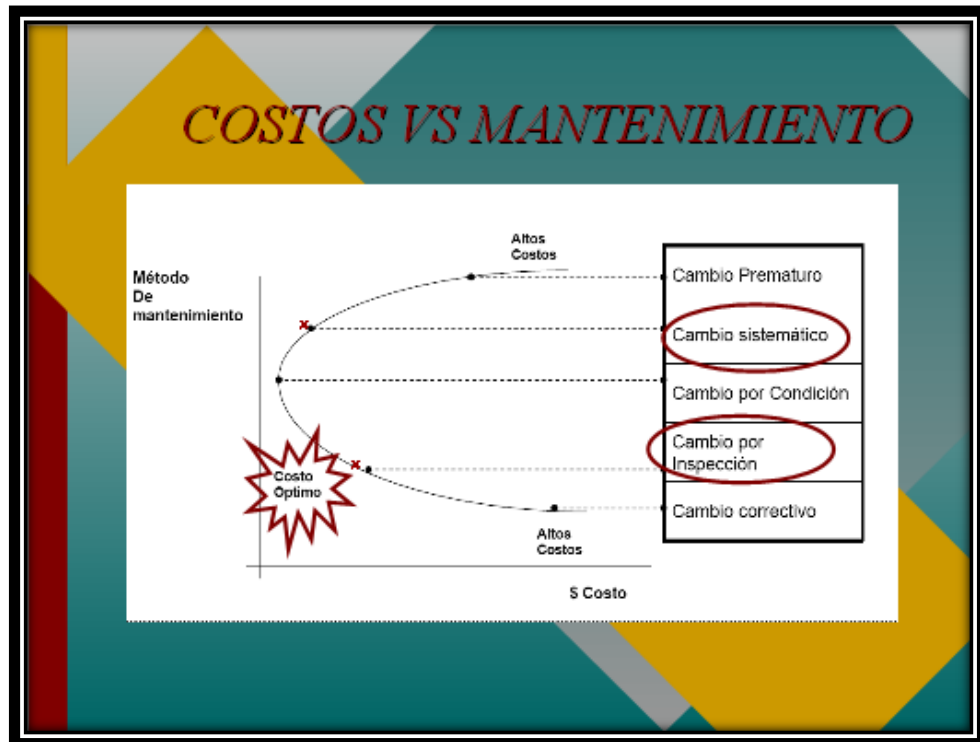
MANO DE OBRA: Es el valor del recurso Humano, se tiene un promedio de 4500 horas para realizar esta labor, es decir 562.5 jornales. Se tiene un promedio de duración de 60 días para dicho mantenimiento por lo que se involucran en esta actividad cerca de 10 personas con diferente cargo, por lo que se promediaron el valor de sus respectivos días.

COSTOS INDIRECTOS: Es el valor usado en aquel mantenimiento que no se ve reflejado de manera directa en dicha labor. Ejemplo, la luz, el agua, elementos de protección personal, etc.

PRODUCCIÓN: Es el valor de la maquina por estar No Disponible para la operación y es lo que repercute en el bombeo, para este cálculo se tiene un promedio de bombeo de 5 horas para la estación, es decir 1 hora por Unidad diaria, para un total de 60 horas en los 2 meses que dura el Overhaul. Debemos tener en cuenta que el valor por barril transportado es de 7 Dólares. Adicional se

tiene como estadístico un bombeo diario de 180.000 barriles día. Es decir que en 1 hora de bombeo se transportan 7500 barriles. Y se toma como base el valor del

Figura 30. Resumen de Costos.



Fuente. <http://www.monografias.com/trabajos98/costos-mantenimiento/costos-mantenimiento.shtml>

6.5.1 Antecedentes De Tiempo Y Costo Unidades 2015

En Orú, en el año 2015 se realizaron 3 mantenimientos mayores a las unidades principales, ellas fueron Unidad 106, Unidad 108 y Unidad 109.

Cada una de ellas tuvo variaciones en tiempo de terminación. Unidad 106 demoro 75 días y se adicionaron 3 ayudantes B4 de más. Unidad 108 tuvo una duración de 45 días y la Unidad 109 demoro 31 días.

A continuación se relacionan los costos de los últimos tres mantenimientos mayores realizados de 6000 hrs.

Cuadro 10. Costo de Mantenimiento 6000 hrs Unidad de Bombeo 4I-109

Unidad 109		Costos del Personal	
Orden SAP	4046080	Supervisor 1	\$ 11.415.564
Cantidad Horas Hombre	4464	Supervisor 2	\$ 9.549.302
Valor Horas Hombre	\$ 109.853.460	Ayudante B4	\$ 75.705.224
Repuestos	\$ 850.000.000	Mecanico D9	\$ 13.183.370
Fungibles	\$ 55.000.000	Total HH	\$ 109.853.460
Costos Indirectos	\$ 26.532.365		
Valor Total Unidad 109	\$ 1.041.385.825		

Fuente. Herramienta SAP Cenit

Cuadro 11. Costo de Mantenimiento 6000 hrs Unidad de Bombeo 4I-106

Unidad 106		Costos del Personal	
Orden SAP	4034419 - 4089699	Supervisor 1	\$ 27.618.300
Cantidad Horas Hombre	6264	Profesional Entrenamiento	\$ 23.103.150
Valor Horas Hombre	\$ 305.022.600	Ayudante B4	\$ 222.405.900
Repuestos	\$ 850.000.000	Mecanico D9	\$ 31.895.250
Fungibles	\$ 55.000.000	Total HH	\$ 305.022.600
Costos Indirectos	\$ 59.697.821		
Valor Total Unidad 106	\$ 1.269.720.421		

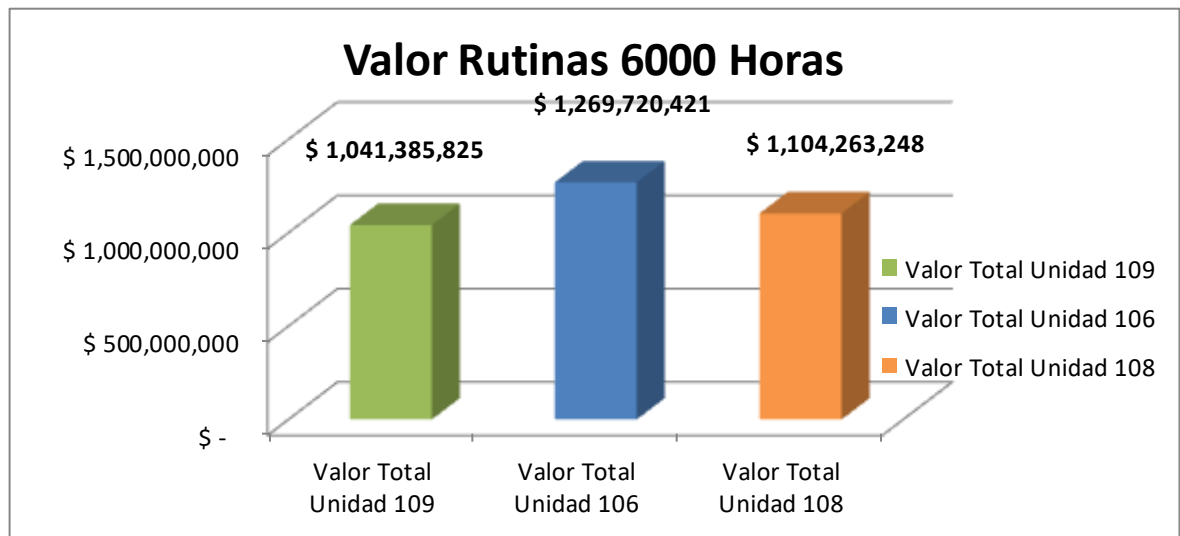
Fuente. Herramienta SAP Cenit

Cuadro 12. Costo de Mantenimiento 6000 hrs Unidad de Bombeo 4I-108.

Unidad 108		Costos del Personal	
Orden SAP	4034419 - 4089699	Supervisor 1	\$ 16.570.980
Cantidad Horas Hombre	4464	Profesional Entrenamiento	\$ 13.861.890
Valor Horas Hombre	\$ 159.464.700	Ayudante B4	\$ 109.894.680
Repuestos	\$ 850.000.000	Mecanico D9	\$ 19.137.150
Fungibles	\$ 55.000.000	Total HH	\$ 159.464.700
Costos Indirectos	\$ 39.798.548		
Valor Total Unidad 108	\$ 1.104.263.248		

Fuente. Herramienta SAP Cenit

Gráfica 1. Comparación de Costos Mantenimiento 6000 hrs.



Fuente. Autor del Proyecto.

6.5.1 Proyección Costos De Mantenimiento.

Teniendo la información del año 2015 con valores totales reportados en la herramienta SAP, se proyecta a 9000 horas cada mantenimiento, es decir 125 días más, equivalente a 4 meses de operación más por overhaul. Se proyecta a 5 años, con la proyección de uso de las unidades para un bombeo de 220.000 barriles día.

Cuadro 13. Proyección de Mantenimientos Rutinarios de 6000 Hrs.

				AÑO					
6000 HORAS	UNIDAD	Promedio Uso Unidades Mes	Frecuencia de Mantenimiento	1	2	3	4	5	Total Rutinas Quinquenio
		106	20 horas	300 Dias	X	X	X	X	X
	107	15 horas	400 Dias		X		X		2
	108	20 horas	300 Dias	X	X	X	X	X	5
	109	20 horas	300 Dias	X	X	X	X	X	5
	110	12 horas	500 Dias		X		X		2

Fuente. Autor del Proyecto.

Cuadro 14. Proyección de Mantenimientos Rutinarios de 9000 Hrs.

				AÑO					
9000 HORAS	UNIDAD	Promedio Uso Unidades Mes	Frecuencia de Mantenimiento	1	2	3	4	5	Total Rutinas Quinquenio
		106	20 horas	450 Dias		X		X	
	107	15 horas	600 Dias		X		X		2
	108	20 horas	450 Dias		X		X		2
	109	20 horas	450 Dias		X		X		2
	110	12 horas	750 Dias		X			X	2

Fuente. Autor del Proyecto.

Para 6000 horas de trabajo con las unidades, para los próximos 5 años tendríamos un total de 19 mantenimientos mayores, mientras para 9000 horas de funcionamiento de las unidades se tendrían 10 overhaul en total.

El promedio de uso de unidades se hace respecto al flujo que pasa por la línea, para este caso 220.000 barriles día. Se evidencia que para las 6000 horas el rango mínimo son 300 días de operación mientras que para 9000 el rango mínimo son 450 días más.

Cabe anotar que este promedio de uso es variable dependiendo de las necesidades de acortar o alargar cada mantenimiento, así mismo depende del flujo bombeado desde caño limón o el oleoducto bicentenario, también se deben contemplar las fallas de las unidades que estén en línea en ese momento, por lo que las horas de uso pueden aumentar o disminuir.

COSTOS PROXIMOS 5 AÑOS UNIDADES PRINCIPALES

En los cuadros 15 y 16 se presenta el costo total de las rutinas proyectadas a realizarse en los 5 años por unidad, el primero si se tienen en cuenta el overhaul a las 6.000 horas de trabajo y el segundo si es a las 9.000 horas.

Cuadro 15. Proyección Costo Total de Mantenimiento Rutinario de 6000 Hrs.

		AÑO	COSTO POR RUTINA
6000 HORAS	UNIDAD	Total Rutinas Quinquenio	Total Costo Rutinas
	106	5	\$ 6.546.966.199
	107	2	\$ 2.612.806.618
	108	5	\$ 6.546.966.199
	109	5	\$ 6.546.966.199
	110	2	\$ 2.612.806.618

Fuente. Autor del Proyecto.

Cuadro 16. Proyección Costo Total de Mantenimiento Rutinario de 9000 Hrs.

		AÑO	COSTO POR RUTINA
9000 HORAS	UNIDAD	Total Rutinas Quinquenio	Total Costo Rutinas
	106	2	\$ 2.612.806.616
	107	2	\$ 2.612.806.616
	108	2	\$ 2.612.806.616
	109	2	\$ 2.612.806.616
	110	2	\$ 2.710.432.688

Fuente. Autor del Proyecto.

Teniendo en cuenta el tiempo de uso de las máquinas y la cantidad de mantenimientos mayores, se relacionan los costos que conlleva este cambio; a los respectivos años se les realizó un incremento del 7% de acuerdo al IPC. Para las 19 rutinas de los próximos 5 años con una frecuencia de 6000 horas se tiene un gasto total de **\$ 24.866.511.833** mientras que para los próximos 5 años con una frecuencia de 9000 horas se tiene un gasto total de **\$ 13.161.659.153**; lo que representa un ahorro total en los próximos 5 años de **\$ 11.704.852.680**. Representado el 52% de ahorro.

Cuadro 17. Proyección Anual de Costos de Mantenimiento de 6000 Hrs.

DATOS				AÑO					Total Rutinas Quinquenio	COSTO POR RUTINA					
Horas de Mtto.	Ud.	Promedio Uso Unidades Mes	Frecuencia de Mantenimiento	1	2	3	4	5		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	Total Costo Rutinas
6000 HORAS	106	20 horas	300 Dias	X	X	X	X	X	5	\$ 1,138,456,497.92	\$ 1,218,148,452.77	\$ 1,303,418,844.46	\$ 1,394,658,163.58	\$ 1,492,284,235.03	\$ 6,546,966,199
	107	15 horas	400 Dias	X	X	X	X		2		\$ 1,218,148,452.77		\$ 1,394,658,163.58		\$ 2,612,806,618
	108	20 horas	300 Dias	X	X	X	X	X	5	\$ 1,138,456,497.92	\$ 1,218,148,452.77	\$ 1,303,418,844.46	\$ 1,394,658,163.58	\$ 1,492,284,235.03	\$ 6,546,966,199
	109	20 horas	300 Dias	X	X	X	X	X	5	\$ 1,138,456,497.92	\$ 1,218,148,452.77	\$ 1,303,418,844.46	\$ 1,394,658,163.58	\$ 1,492,284,235.03	\$ 6,546,966,199
	110	12 horas	500 Dias	X	X	X	X		2		\$ 1,218,148,452.77		\$ 1,394,658,163.58		\$ 2,612,806,618
Número Total de Rutinas									19	Costo Total de Rutinas					\$ 24,866,511,833

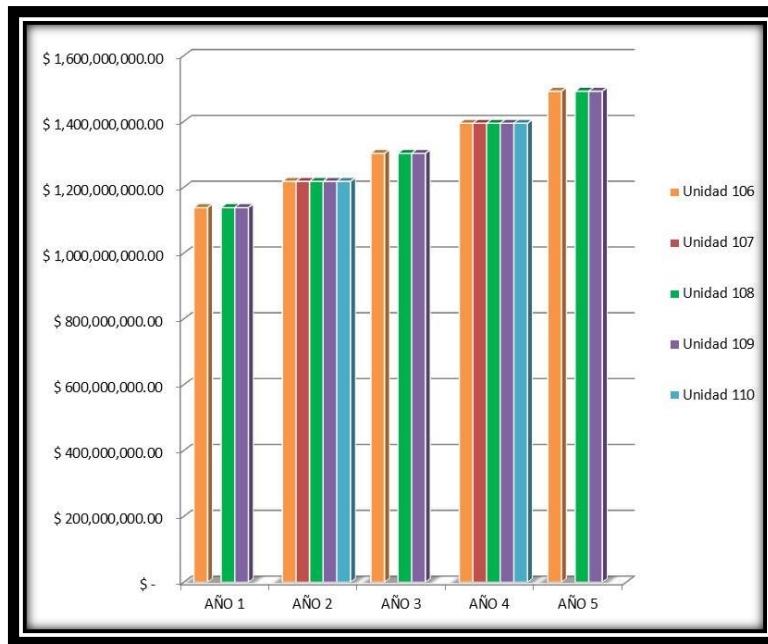
Fuente. Autor del Proyecto.

Cuadro 18. Proyección Anual de Costos de Mantenimiento de 9000 Hrs.

DATOS				AÑO					Total Rutinas Quinquenio	COSTO POR RUTINA					
Horas de Mtto.	Ud.	Promedio Uso Unidades Mes	Frecuencia de Mantenimiento	1	2	3	4	5		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	Total Costo Rutinas
9000 HORAS	106	20 horas	450 Dias		X		X		2		\$ 1,218,148,452.77		\$ 1,394,658,163.58		\$ 2,612,806,616
	107	15 horas	600 Dias		X		X		2		\$ 1,218,148,452.77		\$ 1,394,658,163.58		\$ 2,612,806,616
	108	20 horas	450 Dias		X		X		2		\$ 1,218,148,452.77		\$ 1,394,658,163.58		\$ 2,612,806,616
	109	20 horas	450 Dias		X		X		2		\$ 1,218,148,452.77		\$ 1,394,658,163.58		\$ 2,612,806,616
	110	12 horas	750 Dias		X		X	X	2		\$ 1,218,148,452.77			\$ 1,492,284,235.03	\$ 2,710,432,688
Número Total de Rutinas									10	Costo Total de Rutinas					\$ 13,161,659,153

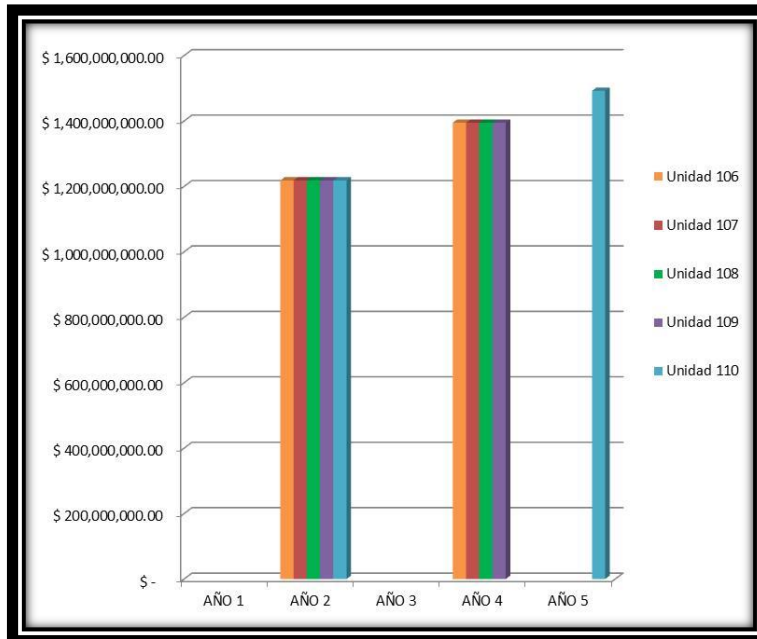
Fuente. Autor del Proyecto.

Gráfica 2. Proyección de Costos de Mantenimiento para Mantenimiento Rutinario de 6000 Hrs.



Fuente. Autor del proyecto.

Gráfica 3. Proyección de Costos de Mantenimiento para Mantenimiento Rutinario de 9000 Hrs.



Fuente. Autor del proyecto.

6.5.2 Presupuesto Para El Proyecto

En la siguiente tabla se resume el presupuesto de acuerdo a las actividades realizadas para el desarrollo del proyecto. Se informa que los recursos destinados durante la ejecución de la investigación, se establecen de acuerdo a las visitas de campo realizadas, y a la mano de obra requerida.

Tabla 9. Descripción del Presupuesto del Proyecto.

ITEM	DESCRIPCIÓN	FASE	COSTO
1.	Visitas a campo por parte del profesional.	Análisis del Entorno (16 hrs)	\$260.000
1.1		Planteamiento del Problema (8 hrs)	\$130.000
1.2		Establecer Objetivos (8 hrs)	\$130.000
1.3		Recolección de información en campo (80 hrs)	\$1.300.000
2.	Análisis de la información	Análisis de la información metrología 120 hrs.	\$1.950.000
2.1		Análisis del Entorno 40 hrs	\$650.000
2.2		Análisis de los mantenimientos. 40 hrs.	\$650.000
2.3		Análisis de Costos de mantenimiento real. 20 hrs.	\$325.000
3.	Programación de estrategias para la gestión de cambios en el mtto de 6000 a 9000 hrs.	Elaboración de propuesta. 120 hrs.	\$1.950.000
4.	Evaluación financiera de la propuesta	Evaluación financiera de la propuesta. 120 hrs	\$1.950.000
Total horas hombre de trabajo destinadas al desarrollo de la investigación			\$9.295.000
5. Papelería			\$250.000
6. Imprevistos			\$380.000
Total presupuesto para el desarrollo del proyecto.			\$9.925.000

Fuente. Autor del Proyecto

6.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES (RED PERT, O DIAGRAMA DE GANTT, O SISTEMA DE BARRAS)

Cuadro 19. Cronograma de Actividades del Proyecto de Investigación

ACTIVIDADES/SEMANA ASIGNADA		CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN																																			
		OCT			NOV			DIC			ENE			FEB			MAR			ABR			MAY			JUN			JUL			AG					
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Visitas a campo por parte del profesional.	■	■	■																																	
2	Análisis del Entorno			■	■	■	■																														
3	Planteamiento del Problema				■	■	■	■																													
4	Establecer Objetivos							■	■	■	■	■																									
5	Recolección de información en campo							■	■	■	■	■																									
6	Análisis de la información							■	■	■	■	■																									
7	Análisis de la información metrología							■	■	■	■	■																									
8	Análisis del Entorno									■	■	■	■																								
9	Análisis de los mantenimientos.									■	■	■	■																								
10	Análisis de Costos de mantenimiento real.													■	■	■	■																				
11	Programación de estrategias para la gestión de cambios en el mtd de 5000 a 9000 hrs.																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
12	Elaboración de propuesta.																					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
13	Evaluación financiera de la propuesta																									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
14	Revisión de Normas de Incontec																																	■	■	■	■
15	Revision Final Monografía																																				■
16	Entrega Monografía																																				■

Fuente. Autor del Proyecto.

7. CONCLUSIONES

1. La metrología arrojada en cada uno de los componentes evaluados en la unidad 106 arrojan parámetros óptimos que superan un 30% de prolongación de la vida útil de la parte que garantizan llevar a 3000 horas adicionales de operación.
2. Los monitoreos de cada uno de los equipos permite evidenciar fallas frecuentes se pueden detectar en rondas o por las señales emitidas en el panel de control y que son de intervenidas correctivas y no afectan los componentes operativos de la unidad, garantizando la confianza en la operación.
3. Se Evaluó financieramente las necesidades de la organización para cambiar las rutinas de mantenimiento mayor de 6000 a 9000 horas de los motores Sulzer siendo acertada esta evaluación.
4. Se logró Estudiar los factores, partes y sistemas que intervienen al realizarse el mantenimiento mayor de los motores Sulzer dando como viable el cambio de rutina.
5. Se Establecieron parámetros confiables de horas de operación de acuerdo al análisis de los componentes y partes que influyen en el mantenimiento mayor de los motores Sulzer y se evaluaron la vida útil de los componentes y partes que influyen en el Overhaul de los motores Sulzer, llevándolos a los límites máximos permisibles de desgaste y uso.

8. RECOMENDACIONES

Para realizar el cambio del mantenimiento mayor de 6.000 a 9.000 hrs. En los motores Sulzer ATV25 Basado en parámetros de confiabilidad y para mantener los presentes estándar evitando que el equipo presente falla alguna, se establecen las siguientes recomendaciones:


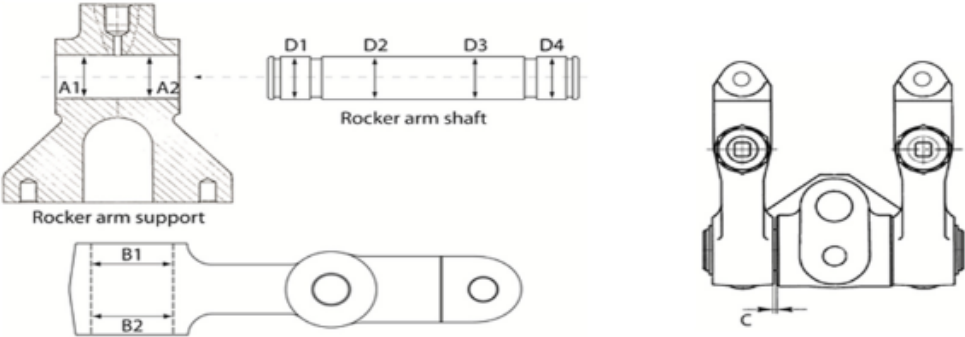
1. Ser puntual en los mantenimientos menores, no sobrepasando las horas máximas de utilización de cada una de las unidades.
2. Realizar una metrología de los componentes críticos en las rutinas menores y revisar los parámetros enviados por el fabricante.
3. Realizar monitoreo periódicos, incluyendo análisis de vibraciones, análisis de aceite, termografías, etc.
4. Tener registros de todas las actividades que se le realicen a las unidades.
5. Documentar de manera objetiva en SAP cada una de las fallas por más mínima que sea.
6. Coordinar con operaciones la utilización y prioridad de unidades sin alterar la proyección de las rutinas mayores y menores.
7. Contar con los repuestos y mano de obra disponible para el momento de su utilización, esto con el fin de no generar contratiempos sobrecostos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]González Fernández, Francisco Javier. Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. Primera edición. Fundación Confemetal. 2004.
- [2]HUERTA, Rosendo. “EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD,UNA METODOLOGÍA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDA OPERACIONAL” Artículo publicado en la revista Mantenimiento Mundial no6. (2001)
- [3]MALAVE J., “Análisis de las causas que ocasionan las fallas en un moto compresor reciprocante”, Informe de Pasantía, Universidad de Oriente (2005).
- [4]Orrego, Juan C. RevistaMantenimiento en latinoamerica, Volumen 1 Nª 6. Willian Orozco Murrillo.
- [5]TORRES, Ronald. “Estrategias Basadas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Mcc) para el Mejoramiento del Plan de Mantenimiento de Las Bombas de Doble Tornillo del Terminal Orimulsión® Jose” Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2007).
- [6]TROCEL, David. “Mantenimiento y Confiabilidad Industrial” Taller dictado para trabajadores de mantenimiento de la empresa Supermetanol, C.A. y abalado por TECNOTEST. (2007)
- [6]TROCEL, David. “Implementando un efectivo Programa de Mantenimiento Basado en Condición”. Artículo publicado en la revista MECANÁLISIS en su edición aniversaria. Abril – mayo del 2007.

ANEXOS

Anexo A. Unidad 4I-106. Metrología del Balancín Auxiliar.

		FORMATO METROLOGIA DEL BALANCIN AUXILIAR . FM-PORU-B0007			
HOROMETRO	68.921	OT	4034419	TIPO DE MTT	PV. 6000
FECHA	23 de mayo del 2015	EQUIPO:		MOTOR PRINCIPAL 4I-106.	
					
FORMATO DE MEDIDA DEL BALANCIN AUXILIAR					
DESCRIPCION DE LA MEDIDA	NOMINAL NUEVO		MEDIDA MIN, Y MAX TOLEREBLE		
	mm	pulgadas	mm	pulgada	
TOLERANCIA AXIAL DEL BALANCIN AUXILIAR C	0.20 - 0.60	0.0078"-0.0236"	>0.9	>0.356"	
DIAMETRO DEL BALANCIN AUXILIAR B1, B2.	32.032- 32.064	1.2611"- 1.2623"	>32.232	1.269"	
SOPORTE DEL BALANCIN AUXILIAR A1, A2.	32.032- 32.064	1.2611"- 1.2623"	>32.232	1.269"	
DIAMETRO EJE DEL BALANCIN AUXILIAR D1,D2,D3,D4	31.984- 32.000	1.2592"- 1.2598"	<31.880	1,2551	

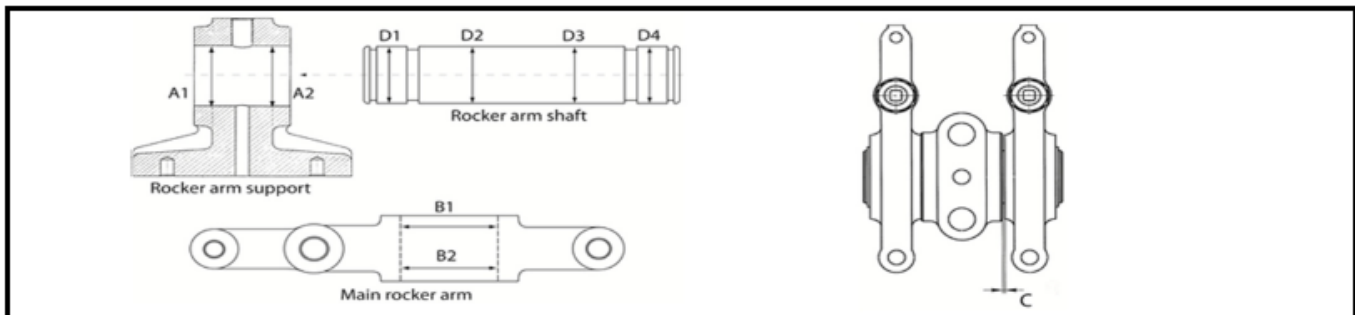
Continuidad Anexo A. Unidad 4I-106. Metrología del Balancín Auxiliar.

DESCRIPCION MEDIDA		CILINDROS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ADMISION	C	0,027"	0,022"	0,025"	0,031"		Se realiza inspeccion visual y cambio de tornillos de calibracion de valvulas de admision y escape. Orden dada por el tecnico mecanico encargado (VICTOR MARIO ESCOBAR)	BANCO DERECHO	
ESCAPE	C	0,027"	0,022"	0,025"	0,031"				
ADMISION	B1	1.261"	1.261"	1.261"	1.261"	1.261"			
	B2	1.261"	1.261"	1.261"	1.261"	1.261"			
ESCAPE	B1	1.261"	1.261"	1.261"	1.261"	1.261"			
	B2	1.261"	1.261"	1.261"	1.261"	1.261"			
SOPORTE	A1	1.261"	2.162,8"	2.162"	2.161,8"	2.162"			
	A2	1.261"	2.162,8"	2.162"	2.161,8"	2.162"			
EJE	D1	1.259"	1.259"	1.259"	1.258,9"	1.259"			
	D2	1.259"	1.259"	1.259"	1.259"	1.259"			
	D3	1.259"	1.259"	1.259"	1.259"	1.259"			
	D4	1.259"	1.259"	1.259"	1.258,9"	1.259"			
HORAS DE TRABAJO		68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921

DESCRIPCION MEDIDA		CILINDROS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ADMISION	C	Se realiza inspeccion visual y cambio de tornillos de calibracion de valvulas de admision y escape. Orden dada por el tecnico mecanico encargado (VICTOR MARIO ESCOBAR)	BANCO IZQUIERDO						
ESCAPE	C								
ADMISION	B1								
	B2								
ESCAPE	B1								
	B2								
SOPORTE	A1								
	A2								
EJE	D1								
	D2								
	D3								
	D4								
HORAS DE TRABAJO		68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921

Anexo B. Unidad 4I-106. Metrología del Balancín Principal.

HOROMETRO	68.921	OT	4034419	TIPO DE MTT	PV. 6000
FECHA	23 de mayo del 2015	EQUIPO:		MOTOR PRINCIPAL 4I-106.	



FORMATO DE MEDIDA DEL BALANCIN PRINCIPAL

DESCRIPCION DE LA MEDIDA	NOMINAL NUEVO		MEDIDA MIN, Y MAX TOLEREBLE	
	mm	pulgadas	mm	pulgada
TOLERANCIA AXIAL DEL BALANCIN PRINCIPAL C	0.20 - 0.60	0.0078"-0.0236"	>0.9	>0.356"
DIAMETRO DEL BALANCIN PRINCIPAL B1, B2.	55.030- 55.076	2.166"- 2.168"	>55.230	>2.174"
SOPORTE DEL BALANCIN PRINCIPAL A1, A2.	55.030-55.076	2.166"- 2.168"	>55.230	>2.174"
DIAMETRO EJE DEL BALANCIN PRINCIPAL D1,D2,D3,D4	54.981-55.000	2.164"- 2.165"	<54.800	<2.157"

Continuidad Anexo B. Unidad 4I-106. Metrología del Balancín Principal.


DESCRIPCION MEDIDA		CILINDROS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ADMISION	C	0,028"	0,024"	0,026"	0,030"	0,032"	0,033"	0,032"	0,020"
ESCAPE	C	0,028"	0,024"	0,026"	0,030"	0,032"	0,033"	0,032"	0,020"
ADMISION	B1	2.166"	2.166"	2.166"	2.168"	2.166"	2.166,2"	2.166,5"	2.166"
	B2	2.166"	2.166"	2.166"	2.168"	2.166"	2.166,2"	2.166,5"	2.166"
ESCAPE	B1	2.166"	2.166"	2.165,3"	2.166"	2.166,2"	2.166,8"	2.166,5"	2.166"
	B2	2.166"	2.166"	2.165,3"	2.166"	2.166,2"	2.166,8"	2.166,5"	2.166"
SOPORTE	A1	2.167,8"	2.167,8"	2.167,5"	2.166,2"	2.170"	2.168"	2.169"	2.168"
	A2	2.167,8"	2.167,8"	2.167,5"	2.166,2"	2.170"	2.168"	2.169"	2.168"
EJE	D1	2.165"	2.164,8"	2.164,9"	2.165"	2.165"	2.165"	2.165"	2.164,8"
	D2	2.165"	2.165"	2.164,9"	2.165"	2.165"	2.165"	2.165"	2.165"
	D3	2.165"	2.165"	2.164,9"	2.165"	2.165"	2.165"	2.165"	2.165"
	D4	2.165"	2.164,8"	2.164,9"	2.165"	2.165"	2.165"	2.165"	2.164,8"
HORAS DE TRABAJO		68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921

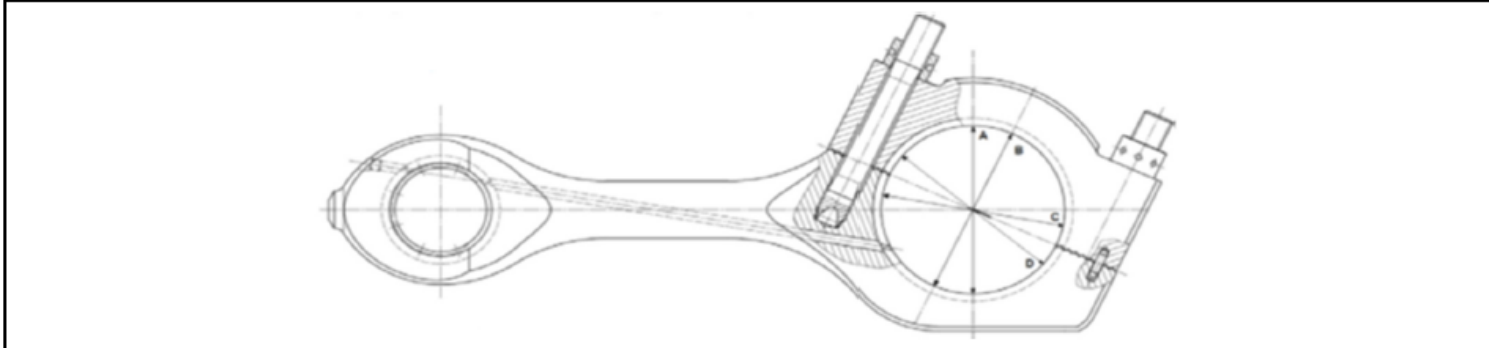
BANCO
DERECHO

DESCRIPCION MEDIDA		CILINDROS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ADMISION	C	0,034"	0,024"	0,023"	0,023"	0,030"	0,031"	0,027"	0,033"
ESCAPE	C	0,034"	0,024"	0,023"	0,023"	0,030"	0,031"	0,027"	0,033"
ADMISION	B1	2.167"	2.166,2"	2.166,5"	2.167"	2.166"	2.167"	2.166"	2.166,5"
	B2	2.167"	2.166,2"	2.166,5"	2.167"	2.166"	2.167"	2.166"	2.166,5"
ESCAPE	B1	2.167"	2.166,2"	2.167"	2.167"	2.167"	2.166,5"	2.166,2"	2.166"
	B2	2.167"	2.166,2"	2.167"	2.167"	2.167"	2.166,5"	2.166,2"	2.166"
SOPORTE	A1	2.166,1"	2.168"	2.167,8"	2.167"	2.167,3"	2.166,5"	2.167,8"	2.167,8"
	A2	2.166,1"	2.168"	2.167,8"	2.167"	2.167,3"	2.166,5"	2.167,8"	2.167,8"
EJE	D1	2.164,8"	2.164,8"	2.164,9"	2.164,9"	2.164,2"	2.164,5"	2.164,8"	2.165"
	D2	2.165"	2.165"	2.165"	2.165"	2.165"	2.164,8"	2.165"	2.165"
	D3	2.165"	2.165"	2.165"	2.165"	2.165"	2.164,8"	2.165"	2.165"
	D4	2.164,8"	2.164,8"	2.164,9"	2.164,9"	2.164,2"	2.164,5"	2.164,8"	2.165"
HORAS DE TRABAJO		68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921	68.921

BANCO
IZQUIERDO

Anexo C. Unidad 4I-106. Metrología Biela.

		FORMATO METROLOGIA BIELA . FM-PORU-B0001					
HOROMETRO		68.921		OT	4034419	TIPO DE MTT	PV. 6000
FECHA	29 de mayo del 2015		EQUIPO:		MOTOR PRINCIPAL 4I-106		



FORMATO DE MEDIDA DE LA CABEZA DE LA BIELA

DESCRIPCION DE LA MEDIDA	NOMINAL NUEVO		TOLERANCIA MINIMA Y MAXIMA	
	mm	pulgadas	mm	pulgada
A-B-C-D: DIAMETRO DE LA CIRCUNFERENCIA DE LA CABEZA DE	205.000-205.029	8.0708" - 8.072"	<204.98 or>205.05	<8.070" - > 8.0728"
MAXIMA OVALIDAD			>0.05	>0.00196"

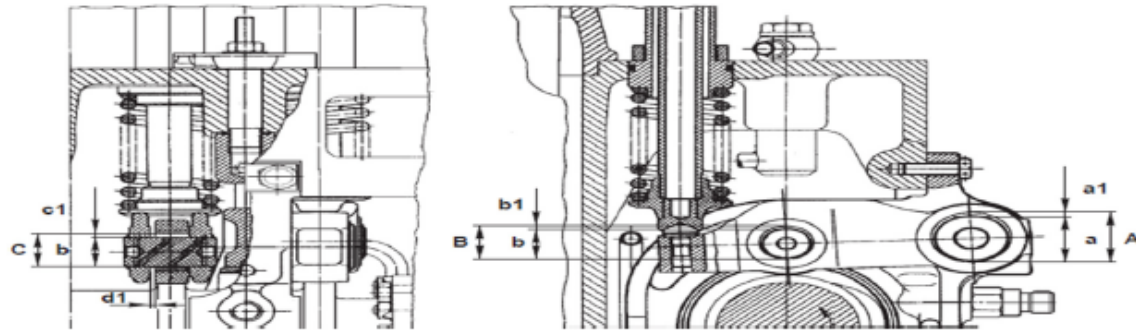
Continuidad Anexo C. Unidad 4I-106 Metrología Biela.

DESCRIPCION MEDIDA		CILINDROS								BANCO DERECHO
		1	2	3	4	5	6	7	8	
A	IZQUIERDA	8.071"	8.070,9"	8.071,2"	8.070,8"	8.071"	8.070,8"	8.072"	8.071,2"	
	DERECHA	8.071"	8.070,9"	8.070,8"	8.070,8"	8.071"	8.070,8"	8.071,7"	8.071,2"	
B	IZQUIERDA	8.071"	8.071"	8.070,8"	8.071,1"	8.071"	8.070,8"	8.072"	8.071,3"	
	DERECHA	8.071"	8.070,9"	8.070,8"	8.070,8"	8.071"	8.070,8"	8.072"	8.071,2"	
C	IZQUIERDA	8.070,8"	8.070,9"	8.070,8"	8.071"	8.071"	8.070,8"	8.072"	8.071,3"	
	DERECHA	8.071"	8.070,9"	8.070,8"	8.071"	8.071"	8.070,8"	8.072,1"	8.071,2"	
D	IZQUIERDA	8.071"	8.070,8"	8.070,8"	8.071"	8.071"	8.070,8"	8.072"	8.071,3"	
	DERECHA	8.071"	8.070,9"	8.070,8"	8.071"	8.071"	8.070,8"	8.072"	8.071,2"	
OVALIDAD		0,0002"	0,0002"	0,0004"	0,0003"	0	0	0,0003"	0,0001"	
REFERENCIA		LHK004	LHK003	LLB002	LLC033	LLC036	LLC035	JUZ004	JUZ005	
HORAS DE TRABAJO		0	0	0	0	0	0	0	0	

DESCRIPCION MEDIDA		CILINDROS								BANCO IZQUIERDO
		1	2	3	4	5	6	7	8	
A	IZQUIERDA	8.070,4"	8.070"	8.070,5"	8.071"	8.070,8"	8.070,6"	8.070,8"	8.070,6"	
	DERECHA	8.070,2"	8.070"	8.070,3"	8.071,1"	8.070,6"	8.070,5"	8.070,8"	8.070,6"	
B	IZQUIERDA	8.070,4"	8.070,2"	8.070,8"	8.071,1"	8.071"	8.070,8"	8.070,8"	8.070,8"	
	DERECHA	8.070,5"	8.070,2"	8.070,7"	8.071,1"	8.070,8"	8.070,8"	8.070,8"	8.070,8"	
C	IZQUIERDA	8.070,4"	8.070,2"	8.070,8"	8.071,1"	8.071"	8.070,8"	8.070,8"	8.070,8"	
	DERECHA	8.070,5"	8.070,5"	8.070,6"	8.071,1"	8.070,8"	8.070,8"	8.070,8"	8.070,8"	
D	IZQUIERDA	8.070,4"	8.070,4"	8.070,8"	8.071"	8.071"	8.070,8"	8.070,8"	8.070,8"	
	DERECHA	8.070,4"	8.070,5"	8.070,4"	8.071,1"	8.070,8"	8.070,8"	8.070,8"	8.070,8"	
OVALIDAD		0,0003"	0,0005"	0,0005"	0,0001"	0,0004"	0,0003"	0	0,0002"	
REFERENCIA		LLB004	LLB001	LHK001	LLB014	LLC027	LHK007	LLC025	LLC024	
HORAS DE TRABAJO		0	0	0	0	0	0	0	0	

Anexo D. Unidad 4I-106 Metrología Seguidor de Levas.

HOROMETRO	68921	OT	4034419	TIPO DE MTT	PVO 6000
FECHA	25/05/2015	EQUIPO: 4I-106			



FORMATO DE MEDIDA DE SEGUIDORES DE LEVAS

DESCRIPCION DE LA MEDIDA	NOMINAL NUEVO		TOLERANCIA MAXIMA	
	mm	pulgadas	mm	pulgada
(A) MEDIDA DEL ORIFICIO MAYOR DEL SEGUIDOR	48.075- 48.050	1.8927"-1.8917"		
(a) MEDIDA DEL EJE DONDE SE SOPORTA EL SEGUIDOR	48.008- 47.992	1.890"- 1.8894"		
(a1) TOLERANCIA ENTRE EL ORIFICIO Y EL EJE	0.042- 0.083	0.0016"- 0.0032	0.20	0.0078"

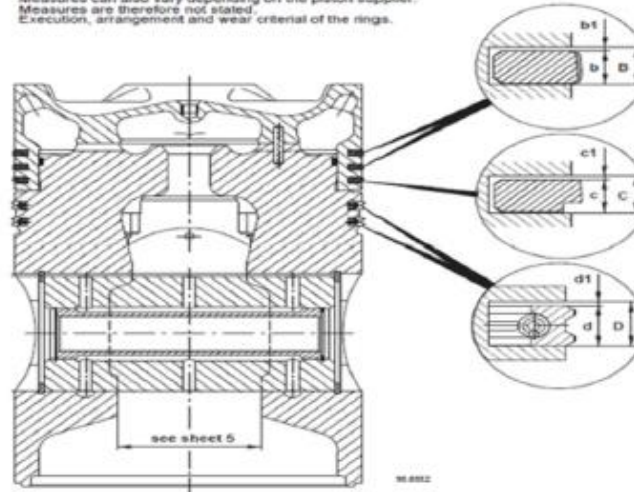
Continuidad Anexo D. Unidad 4I-106 Metrología Seguidor de Levas.

DESCRIPCION MEDIDA		CILINDROS								BANCO IZQUIERDO
		1	2	3	4	5	6	7	8	
A	ADMISION	1.893"	1.893"	1.893,2"	1.893"	1.892"	1.892"	1.892"	1.892"	
	ESCAPE	1.892"	1.893"	1.892"	1.893"	1.892"	1.892"	1.892"	1.892"	
a	ADMISION	1.889"	1.889,3"	1.889"	1.889"	1.889"	1.889,3"	1.889"	1.889"	
	ESCAPE	1.889"	1.889,3"	1.889"	1.889"	1.889"	1.889,3"	1.889"	1.889"	
a1	ADMISION	0,004"	0,0037"	0,0042"	0,004"	0,003"	0,0027"	0,003"	0,003"	
	ESCAPE	0,003"	0,0037"	0,003"	0,004"	0,003"	0,0027"	0,003"	0,003"	
B	ADMISION	1.342"	1.343"	1.343"	1.343"	1.344"	1.344"	1.344"	1.344"	
	ESCAPE	1.343"	1.343"	1.343"	1.342"	1.344"	1.343,5"	1.344"	1.344"	
b	ADMISION	1.338"	1.337,5"	1.338"	1.338"	1.338"	1.338"	1.338"	1.338"	
	ESCAPE	1.338"	1.338"	1.337,8"	1.338"	1.338"	1.338"	1.338"	1.338"	
b1	ADMISION	0,004"	0,0055"	0,005"	0,005"	0,006"	0,006"	0,006"	0,006"	
	ESCAPE	0,005"	0,005"	0,0052"	0,004"	0,006"	0,0055"	0,006"	0,006"	
c	ADMISION	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	
	ESCAPE	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	
c1	ADMISION	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	
	ESCAPE	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	
d1	ADMISION	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	
	ESCAPE	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	
HORAS DE TRABAJO		68921	68921	68921	68921	68921	68921	68921	68921	
OBSERVACIONES										

Anexo E. Unidad 4I-106. Metrología Pistón y Anillos.

HOROMETRO	68921	OT	4034419	TIPO DE MTT	PVO 6000 H
FECHA	15/05/2015	EQUIPO: 4I-106			

Measures can also vary depending on the piston support.
Measures are therefore not stated.
Execution, arrangement and wear' criterial of the rings.



FORMATO DE METROLOGÍA DE LAS RANURAS DEL PISTON, ALTURA DE LOS ANILLOS,
TOLERANCIA ENTRE LAS RANURAS Y LOS ANILLOS.

DESCRIPCION DE LA	NOMINAL NUEVO	GAP
-------------------	---------------	-----

Continuidad Anexo D. Unidad 4I-106 Metrología Pistón y Anillos.

MEDIDA	mm	pulgadas	mm	pulgada
B: ALTURA RANURA	5.15-5.17	0.202"-0.203"	0.3	0.011"
b: MEDIDA DE ALTURA DEL ANILLO	5-4.49	0.1968"-0.1964"		
b1: TOLERANCIA ENTRE EL ANILLO Y RANURA	0.160-0.192	0.006"-0.0075"		
MAXIMO DE DESGASTE DE ALTURA DE LA RANURA	5.35	0.210"		
C: ALTURA RANURA	5.15-5.17	0.202"-0.203"	0.3	0.011"
c: MEDIDA DE ALTURA DEL ANILLO	5-44.49	0.1968"-0.1964"		
c1: TOLERANCIA ENTRE EL ANILLO Y RANURA	0.160-0.192	0.006"-0.0075"		
MAXIMO DE DESGASTE DE ALTURA DE LA RANURA	5.35	0.210"		
D: ALTURA RANURA	8.02-8.04	0.315"-0.316"	0.25	0.0098"
d: MEDIDA DE ALTURA DEL ANILLO	7.96-7.98	0.313"-0.314"		
d1: TOLERANCIA ENTRE EL ANILLO Y RANURA	0.033-0.075	0.001"-0.003"		
MAXIMO DE DESGASTE DE ALTURA DE LA RANURA	8,3	0.326"		

DESCRIPCION MEDIDA	CILINDROS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
B	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"
b	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"
b1	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"

Continuidad Anexo D. Unidad 4I-106 Metrología Pistón y Anillos.

2	B	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	BANCO DERECHO
	b	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	
	b1	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	
3	C	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	
	c	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	
	c1	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	
4	D	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	
	d	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	
	d1	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	
5	D	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	
	d	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	
	d1	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	
HORAS TRABAJO ANILLOS		0	0	0	0	0	0	0	0	
HORAS TRABAJO PISTÓN		0	0	0	0	0	0	0	0	

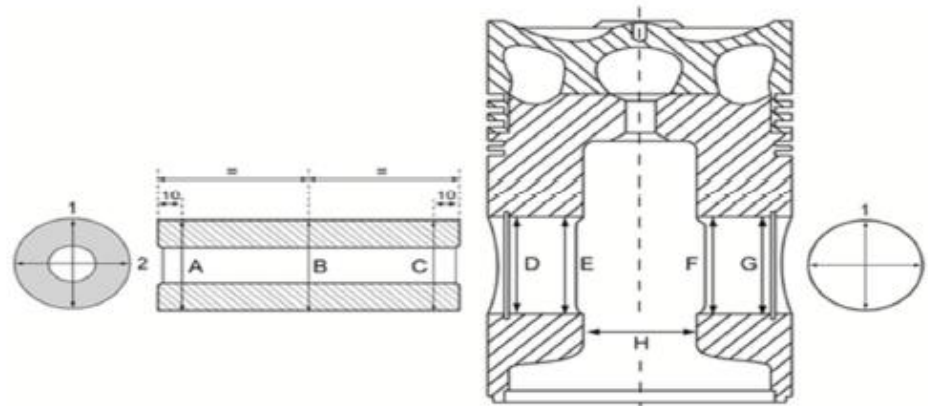
DESCRIPCION MEDIDA		CILINDROS								BANCO IZQUIERDO	
		1	2	3	4	5	6	7	8		
1	B	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"		
	b	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"		
	b1	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"		
2	B	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"		
	b	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"		
	b1	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"		
3	C	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"	0.203"		
	c	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"	0.196"		
	c1	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"	0.007"		
4	D	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"		
	d	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"		
	d1	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"		
5	D	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"	0.316"		
	d	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"	0.314"		
	d1	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"	0.002"		
HORAS TRABAJO ANILLOS		0	0	0	0	0	0	0	0		
HORAS TRABAJO PISTÓN		0	0	0	0	0	0	0	0		

Anexo F. Unidad 4I-106 Listado de Culatas Instaladas.

LISTADO DE CULATAS INSTALADAS UNIDAD 106																			
MCUL	ASIENTO				VALVULAS				GUIAS				ROSCAS	GRIFO	VALVULA ARANQUE	VALVULA SEGURID	PRESION PRUEBA	CILIND	UBICACIÓN
152	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 NUEVO	ESC.2 NUEVO	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	NUEVA	REPARAD	90 PSI	1 DER	UNIDAD 4I-106
183	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 NUEVO	ESC.2 NUEVO	AD.1 REPAR	AD.2 REPAR	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	NUEVA	REPARAD	90 PSI	2 DER	
169	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 NUEVO	ESC.2 NUEVO	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	NUEVA	REPARAD	90 PSI	3 DER	
216	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 REPAR	ESC.2 REPAR	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	NUEVA	REPARAD	90 PSI	4 DER	
141	AD.1 REPAR	AD.2 REPAR	ESC.1 NUEVO	ESC.2 NUEVO	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	NUEVA	REPARAD	90 PSI	5 DER	
191	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 REPAR	ESC.2 REPAR	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	NUEVA	REPARAD	90 PSI	6 DER	
210	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 NUEVO	ESC.2 NUEVO	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	NUEVA	REPARAD	90 PSI	7 DER	
132	AD.1 REPAR	AD.2 REPAR	ESC.1 NUEVO	ESC.2 NUEVO	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	NUEVA	REPARAD	90 PSI	8 DER	
NN (29)	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 NUEVO	ESC.2 NUEVO	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	TAPON	REPARAD	90 PSI	1 IZQ	
128	AD.1 REPAR	AD.2 REPAR	ESC.1 REPAR	ESC.2 REPAR	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	TAPON	REPARAD	90 PSI	2 IZQ	
163	AD.1 REPAR	AD.2 REPAR	ESC.1 REPAR	ESC.2 REPAR	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	TAPON	REPARAD	90 PSI	3 IZQ	
187	AD.1 REPAR	AD.2 REPAR	ESC.1 REPAR	ESC.2 REPAR	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	TAPON	REPARAD	90 PSI	4 IZQ	
NN	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 REPAR	ESC.2 REPAR	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	TAPON	REPARAD	90 PSI	5 IZQ	
192	AD.1 REPAR	AD.2 REPAR	ESC.1 NUEVO	ESC.2 NUEVO	AD.1 NUEVA	AD.2 NUEVA	ESC.1 NUEVA	ESC.2 NUEVA	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	TAPON	REPARAD	90 PSI	6 IZQ	
179	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 NUEVO	ESC.2 NUEVO	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 REPAR	ESC.2 REPAR	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	TAPON	REPARAD	90 PSI	7 IZQ	
160	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 NUEVO	ESC.2 NUEVO	AD.1 NUEVO	AD.2 NUEVO	ESC.1 REPAR	ESC.2 REPAR	AD.1 USADA	AD.2 USADA	ESC.1 USADA	ESC.2 USADA	RECTIFICADA	USADOS	TAPON	REPARAD	90 PSI	8 IZQ	

Continuidad Anexo F. Unidad 4I-106 Listado de Culatas Instaladas

HOROMETRO	68921	OT	4034419	TIPO DE MTT	PVO 6000H
FECHA	20/05/2015	EQUIPO: 4I-106			



FORMATO DE METROLOGÍA DEL BULÓN Y ALOJAMIENTO EN EL PISTÓN

DESCRIPCION DE LA	NOMINAL NUEVO	TOLERANCIA MINIMA Y MAXIMA
-------------------	---------------	----------------------------

Continuidad Anexo G. Unidad 4I-106 Metrología Pistón y Bulón.

MEDIDA	mm	pulgadas	mm	pulgada
A-B-C: DIAMETRO DEL BULÓN.	114.960-114.975	4.526"-4.527"	<114.93	4.525"
D-E-F-G: DIAMETRO DEL ALOJAMIENTO DEL BULON EN EL PISTON	115.00-115.022	4.5275"-4.528"	>115.15	4.533"
TOLERANCIA ENTRE EL BULON Y ALOJAMIENTO DEL PISTÓN	0.025-0.062	0.001"-0.002"	>0.09	0.004"
H: Distancia	104.000-104.200	4.094"-4.102"	>105.4	4.149"

DESCRIPCION MEDIDA		CILINDROS								BANCO DERECHO
		1	2	3	4	5	6	7	8	
A	1	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.5265"	
	2	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.5265"	
B	1	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.5265"	
	2	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.5265"	
C	1	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.5265"	
	2	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.527"	4.5265"	4.5265"	4.5265"	
D	1	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	
	2	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	
E	1	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	
	2	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	
F	1	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	
	2	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	
G	1	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	
	2	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	4.5285"	
TOLERANCIA		0.002"	0.0015"	0.002"	0.002"	0.0015"	0.002"	0.002"	0.002"	
DISTANCIA H		4.0995"	4.099"	4.099"	4.099"	4.099"	4.099"	4.099"	4.099"	
PARTE# CORONA		11/15/6/14/7 6	11/15/6/14/6 8	11/15/6/14/5 7	11/15/6/14/7 7	11/15/6/14/9 7	11/15/6/14/6 9	11/15/6/14/6 5	11/15/6/14/9 4	
PARTE# FALDA		M-240-14-51	M-240-14-56	M-240-14-39	M-240-14-46	M-240-14-55	M-240-14-58	M-240-14-37	M-263-11-35	
HORAS DE TRABAJO		68921	68921	68921	68921	68921	68921	68921	68921	

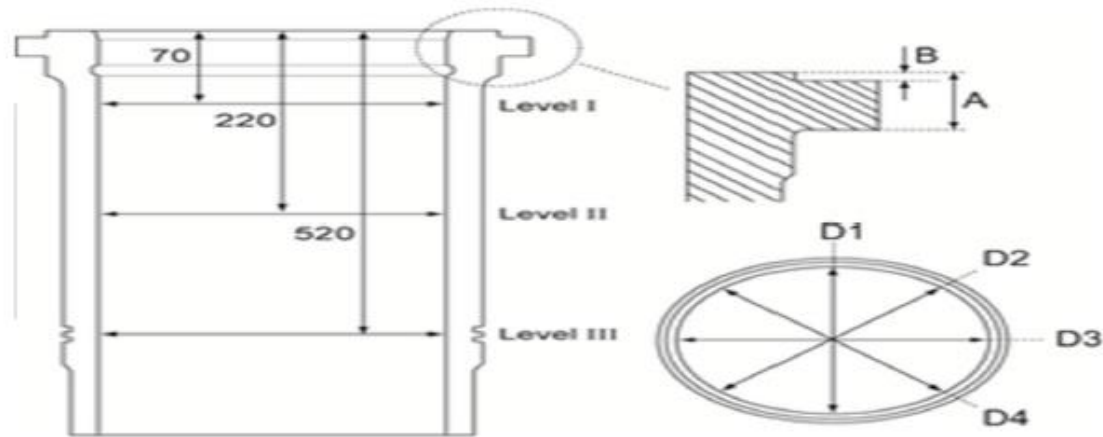
Continuidad Anexo G. Unidad 4I-106 Metrología Pistón y Bulón.

DESCRIPCION MEDIDA		CILINDROS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	4.5265"	4526"	4526"	4.5265"	4.5265"	4.5262"	4.527"	4.5265"
	2	4.5265"	4526"	4526"	4.5265"	4.5265"	4.5262"	4.527"	4.5265"
B	1	4.5265"	4526"	4526"	4.5265"	4.5265"	4.5262"	4.527"	4.5265"
	2	4.5265"	4526"	4526"	4.5265"	4.5265"	4.5262"	4.527"	4.5265"
C	1	4.5265"	4526"	4526"	4.5265"	4.5265"	4.5262"	4.527"	4.5265"
	2	4.5265"	4526"	4526"	4.5265"	4.5265"	4.5262"	4.527"	4.5265"
D	1	4.5283"	4.5284"	4.5284"	4.5283"	4.5284"	4.5292"	4.5295"	4.5291"
	2	4.5283"	4.5284"	4.5284"	4.5283"	4.5284"	4.5285"	4.5285"	4.5284"
E	1	4.5283"	4.5284"	4.5284"	4.5283"	4.5284"	4.5285"	4.5285"	4.5284"
	2	4.5283"	4.5284"	4.5284"	4.5283"	4.5284"	4.5285"	4.5285"	4.5284"
F	1	4.5283"	4.5284"	4.5284"	4.5283"	4.5284"	4.5285"	4.5285"	4.5284"
	2	4.5283"	4.5284"	4.5284"	4.5283"	4.5284"	4.5285"	4.5285"	4.5284"
G	1	4.5283"	4.5284"	4.5284"	4.5283"	4.5284"	4.5285"	4.5285"	4.5284"
	2	4.5283"	4.5284"	4.5284"	4.5283"	4.5284"	4.5285"	4.5285"	4.5284"
TOLERANCIA		0,0018"	0,0024"	0,0024"	0,0018"	0,0019"	0,0023"	0,0015"	0,0019"
DISTANCIA H		4.099"	4.099"	4.099"	4.099"	4.099"	4.099"	4.099"	4.0994"
PARTE# CORONA		11/15/6/14/7 0	11/15/6/14/7 2	11/15/6/14/9 3	11/15/6/14/6 0	11/15/6/14/8 8	11/15/6/14/5 8	11/15/6/14/7 5	11/15/6/14/9 6
PARTE# FALDA		M-240-14-33	M-263-11-33	M-240-14-52	M-240-14-39	M-240-14-32	M-263-11-38	M-240-14-40	M-240-14-54
HORAS DE TRABAJO		68921	68921	68921	68921	68921	68921	68921	68921

**BANCO
IZQUIERDO**

Anexo H. Unidad 4I-106 Metrología de la Camisa.

HOROMETRO	68921	OT	4034419	TIPO DE MTT	PVO
FECHA	14/05/2015	EQUIPO: 4I-106			



FORMATO DE METROLOGÍA DE LA CAMISA

DESCRIPCION DE LA	NOMINAL NUEVO	TOLERANCIA MINIMA Y MAXIMA
-------------------	---------------	----------------------------

Continuidad Anexo H. Unidad 4I-106 Metrología de la Camisa.

MEDIDA	mm	pulgadas	mm	pulgada
ALTURA A			<34.00	<1.3385"
ALTURA B			<2.00	<0,0787"
DIAMETRO DE LA CAMISA	250	9.8425"	>251	>9.8818"
MAXIMA DIFERENCIA EN CIRCULARIDAD EN CUALQUIER NIVEL DE LA CAMISA I,II,III			>0.3	>0.0118"

DESCRIPCION MEDIDA	CILINDROS								BANCO DERECHO
	1	2	3	4	5	6	7	8	
MEDIDA A	32	32	32	32	32	32	32	32	32
MEDIDA B	2	2	2	2	2	2	2	2	2
NIVEL I	D1	250.05	250.06	250.05	250.06	250.05	250.05	250.06	250.05
	D2	250.05	250.06	250.05	250.06	250.05	250.06	250.06	250.05
	D3	250.04	250.06	250.06	250.06	250.05	250.06	250.07	250.06
	D4	250.05	250.06	250.06	250.06	250.05	250.06	250.07	250.05
NIVEL II	D1	250.05	250.06	250.05	250.06	250.05	250.05	250.07	250.05
	D2	250.05	250.06	250.05	250.05	250.05	250.05	250.07	250.05
	D3	250.05	250.06	250.05	250.05	250.05	250.05	250.07	250.06
	D4	250.05	250.06	250.06	250.06	250.06	250.05	250.07	250.06
NIVEL III	D1	250.05	250.05	250.05	250.05	250.06	250.05	250.07	250.05
	D2	250.05	250.05	250.05	250.05	250.06	250.05	250.06	250.06
	D3	250.06	250.05	250.05	250.05	250.06	250.06	250.05	250.05
	D4	250.05	250.05	250.05	250.05	250.06	250.05	250.06	250.05
CIRCULARIDAD (mm)	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
HORAS DE TRABAJO	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Continuidad Anexo H. Unidad 4I-106 Metrología de la Camisa.

DESCRIPCION MEDIDA		CILINDROS								BANCO IZQUIERDO	
		1	2	3	4	5	6	7	8		
MEDIDA A (mm)		32	31.9	32	32	32	32	32	32		
MEDIDA B (mm)		2	2	2	2	2	2	2	2		
NIVEL I	D1	250.06	250.05	250.05	250.06	250.05	250.06	250.05	250.05		
	D2	250.06	250.05	250.05	250.06	250.05	250.06	250.05	250.06		
	D3	250.06	250.05	250.04	250.06	250.06	250.07	250.06	250.06		
	D4	250.06	250.05	250.05	250.06	250.06	250.07	250.05	250.06		
NIVEL II	D1	250.06	250.05	250.05	250.06	250.05	250.07	250.05	250.05		
	D2	250.05	250.05	250.05	250.06	250.05	250.07	250.05	250.05		
	D3	250.05	250.05	250.05	250.06	250.05	250.07	250.06	250.05		
	D4	250.06	250.06	250.05	250.06	250.06	250.07	250.06	250.05		
NIVEL III	D1	250.05	250.06	250.05	250.05	250.05	250.07	250.05	250.05		
	D2	250.05	250.06	250.05	250.05	250.05	250.06	250.06	250.05		
	D3	250.05	250.06	250.06	250.05	250.05	250.05	250.05	250.06		
	D4	250.05	250.06	250.05	250.05	250.05	250.06	250.05	250.05		
CIRCULARIDAD (mm)		0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.02	0.01	0.01		
HORAS DE TRABAJO		0	0	0	0	0	0	0	0		

Anexo I. Análisis de Condición de Activos-Unidad 4I-106.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT

DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.



ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

TIPO DE REPORTE:	Monitoreo de condición recíprocante	INSTRUMENTO:	Windrock
ESTACIÓN:	Oru	FECHA DE MONITOREO	30 Mayo de 2016.
AREA:	Bombeo	FECHA REPORTE:	14 Junio de 2016.
MAQUINA::	MOTOR.DIESEL ALLEN-4AI 106.	ELABORADO POR:	Fabio Andrey Afanador
TAG SAP:	10002873	REVISADO POR:	Edgar Ramos.
CONSECUTIVO:	WGC-ECP-ORU-WIN-4AI-106-009.	RECIBIDO POR:	Jorge Gómez.

RECOMENDACIONES

- Balancear por temperaturas el motor, el delta de temperaturas entre cilindros no debe ser superior a los 50°F.
- Ajustar pernos de anclaje del turbocargador lado R.
- Verificar condición y parámetros de funcionamiento inyector 2L, 5L, 8L, 1R, 5R y 6L. Nota: En caso de encontrarse bien el inyector 6L proceder a inspeccionar condición leva y bomba de inyección.
- (Ejecutado por mantenimiento mecánico durante la rutina CBM).
- Seguimiento CBM por parte de Massy Energy al desbalance de presiones entre cilindros y a las bancadas #9, 5 y 1.
- Continuar con el muestreo de aceite periódico para establecer la condición del aceite del motor, parámetros que indican tempranamente desgastes o contaminantes en el motor. Es importante correlacionar esta data con el reporte de análisis recíprocante para precisar recomendaciones asociadas al estado de bancadas, bielas, cilindros y culatas.

CONDICION

Componente	Condición
CULATAS.	Normal.
BANCADAS.	Normal.
INYECCION.	LOW.
ACEITE.	N/A.

Normal N: Condición buena, equipos en buena condición.

Low L: Condición de seguimiento, equipos que requieren seguimiento especial por CBM.

Médium M: Condición de alarma, equipos que requieren una acción de mantenimiento no inmediata o con prioridad mayor a quince (15) días.

High H: Condición inaceptable, equipos que requieren una acción de Mantenimiento identificada con prioridad menor a quince (15) días.

ANTECEDENTES

Esta unidad se encontró operando con combustible crudo tipo Mezcla.

ANÁLISIS

EQUIPO RECÍPROCANTE.

CULATAS BANCO R Y L: Se observa vibración a los mismos grados de la misma intensidad para los cierres de válvulas de admisión en todas las culatas. Los cierres de las válvulas de escape no se observan lo cual es característico de los motores Waukesha familia AT24, AT25, AT27. En la carrera de compresión del

Continuidad Anexo I. Análisis de Condición de Activos-Unidad 4I-106.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS



cilindro 2L (a 667°), 6L (a 643°), 3R (a 644°) se presenta evento relacionado con CrossTalk. No se observan eventos característicos falla como pase de gases al cárter, anillos enfrentados, etc. (Ver figura # 1, 2, 3, 4).

SISTEMA DE INYECCION: Los eventos de inyección presentan intensidad equivalente con cierre y apertura a tiempo. Temperatura Cilindro 8L = 744 °F. Temperatura Cilindro 1L = 663 °F. Temperatura Cilindro 6R = 635 °F. Temperatura Cilindro 8R = 753 °F. Los datos anteriores indican que el delta de temperatura de gases de escape es mayor al recomendado por el fabricante, razón por la cual se deberá proceder a balancear el motor por temperaturas. (Ver figura # 1, 2, 3, 4).

CURVAS DE PRESION: En campo se toma dos veces el registro de presiones pico. En la primera data la presión pico promedio es igual a 1179 psi, los cilindros #1R (1254 psi) y #5R (1264 psi) presentan desbalance de presión del 8%. Se informa del hallazgo a la especialidad Mecánica y se solicita cambiar las bombas de inyección e inspeccionar levas inmediatamente con el fin de remonitorear la unidad para evaluar su condición final. Al tomar los registros CBM con las bombas de inyección nuevas, se encuentra mejor condición del motor ya que el desbalance de presiones pico bajo y quedo en un 6%. (Ver figura # 12, 13).

BANCADAS: Niveles de Vibración dentro del rango estadístico permisible. No se observan impactos en LfV vibration que sugieran desgaste excesivo de los casquetes de bancada u otras fallas en las mismas. Los espectros característicos en velocidad y en aceleración se encuentran dentro de comportamiento Aceptable. En FFT de velocidad la frecuencia predominante de 1X y 2X@ 878 cpm bancadas #9, 5 y 1 pero mantiene niveles constantes respecto los dos últimos monitoreos. (Ver figura # 5, 6, 8, 9, 9).

TREN DE BOMBAS: En el espectro de aceleración se observa vibración estable con amplitud moderada (3.82 G's RMS en la bomba de agua auxiliar). La vibración en el tren de bombas agua principal, auxiliar y de aceite dentro de parámetros normales y con tendencia estable. (Ver figura # 10).

TURBOCARGADOR DERECHO E IZQUIERDO: Se observa pico de vibración a 18.04 Kcpm y armónicas en el turbo lado derecho e izquierdo, levantamiento de espectro tanto en el lado compresor como en el lado turbina por el paso de aire y de gases característico, (Overall 1.903 G's RMS). Para el turbo lado R se presentan frecuencias predominantes 1X y 2X @ 878 cpm con amplitud alta (aprox 0.65 in/seg Pk); se recomienda ajustar pernos de anclaje del turbocargador. Nota: Se debe tener en cuenta que los modos de falla del turbo cargador están principalmente asociados a fallas de lubricación, entrada de elementos extraños en lado compresor o lado turbina, falla de alabes de turbina por vejes y regularmente estos se presentan de modo súbito. Existe también experiencia en acumulación de cenizas y pérdida de eficiencia del turbo, la cual puede ser evidenciada a través del monitoreo de la presión de descarga y su velocidad. (Ver figura # 11).

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO.
PROPIEDAD DE ECOPEPETROL S.A. NO PODRA SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION
POR ESCRITO.

2

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS



Figuras:

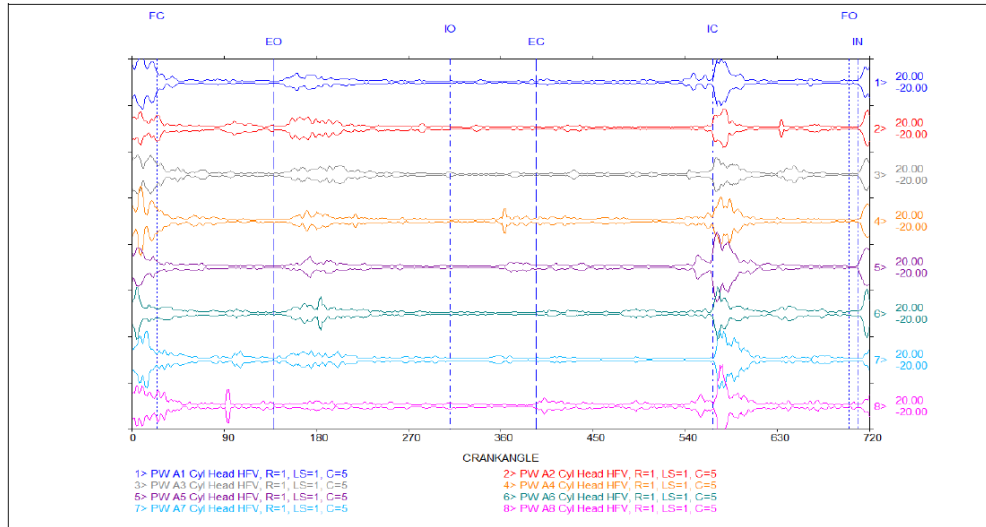


Figura 1. Vibración Cilindros Motriz Banco Izquierdo.

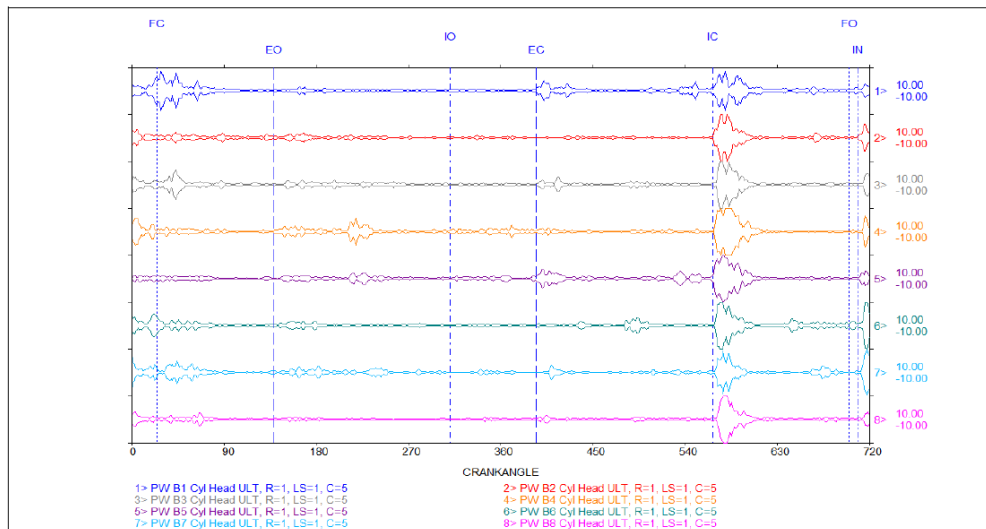


Figura 2. Ultrasonido Cilindros Motriz Banco Izquierdo.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

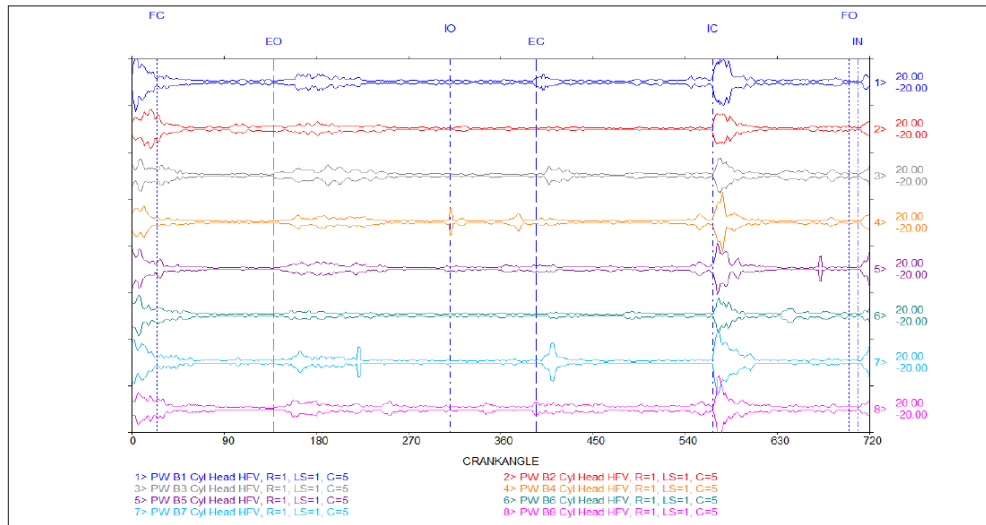


Figura 3. Vibración Cilindros Motriz Banco Derecho.

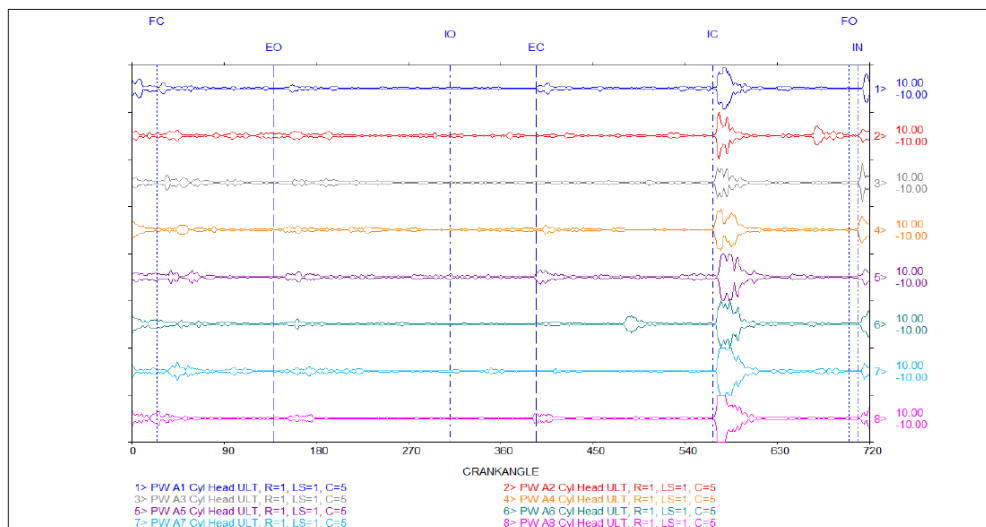


Figura 4. Ultrasonido Cilindros Motriz Banco Derecho.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

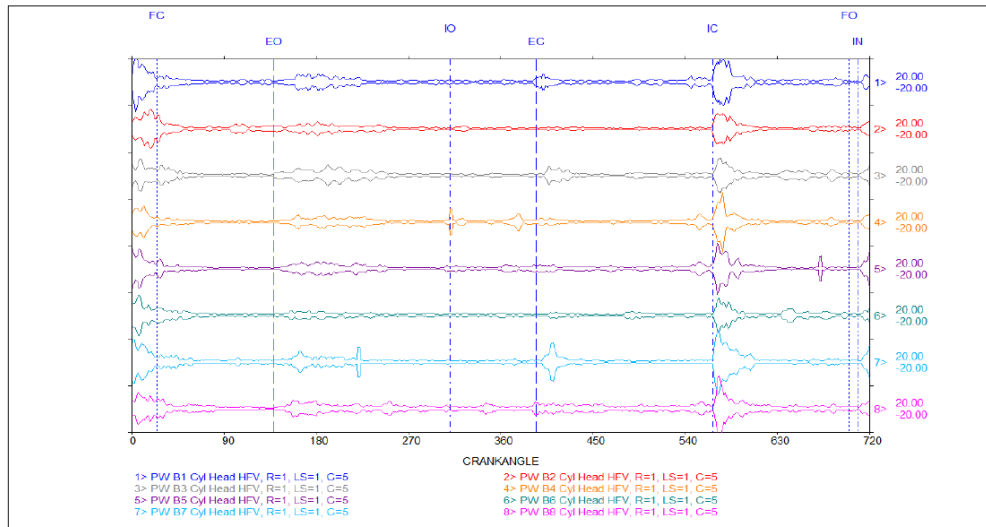


Figura 3. Vibración Cilindros Motriz Banco Derecho.

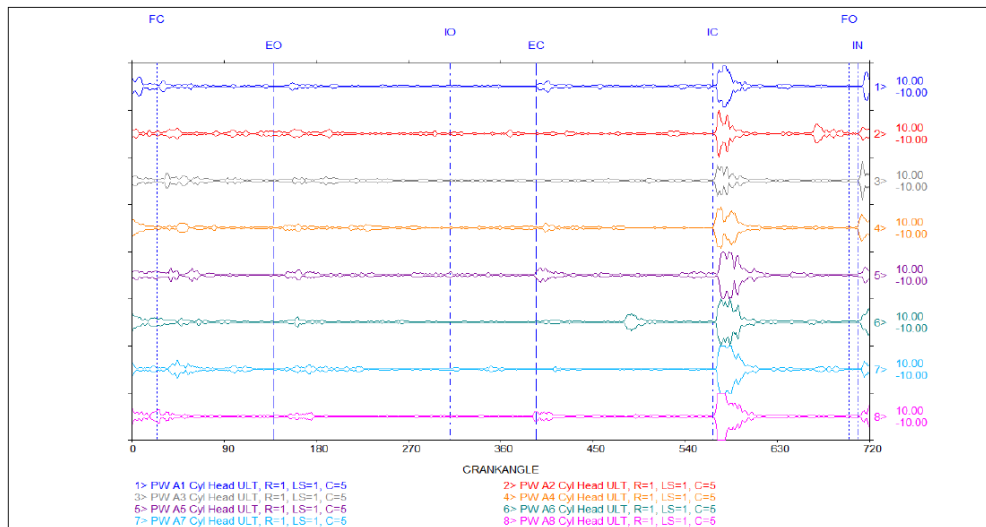


Figura 4. Ultrasonido Cilindros Motriz Banco Derecho.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

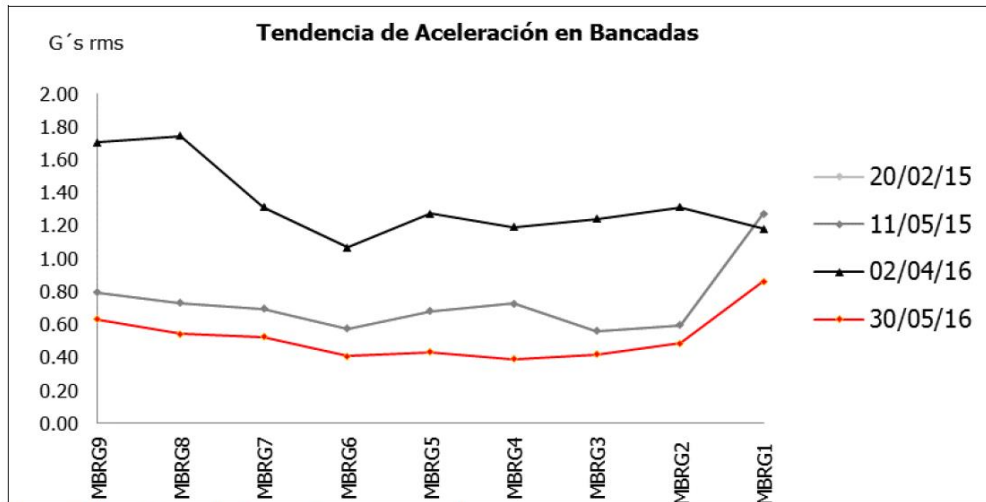


Figura 7. Vibración en tendencia Bancadas en aceleración.

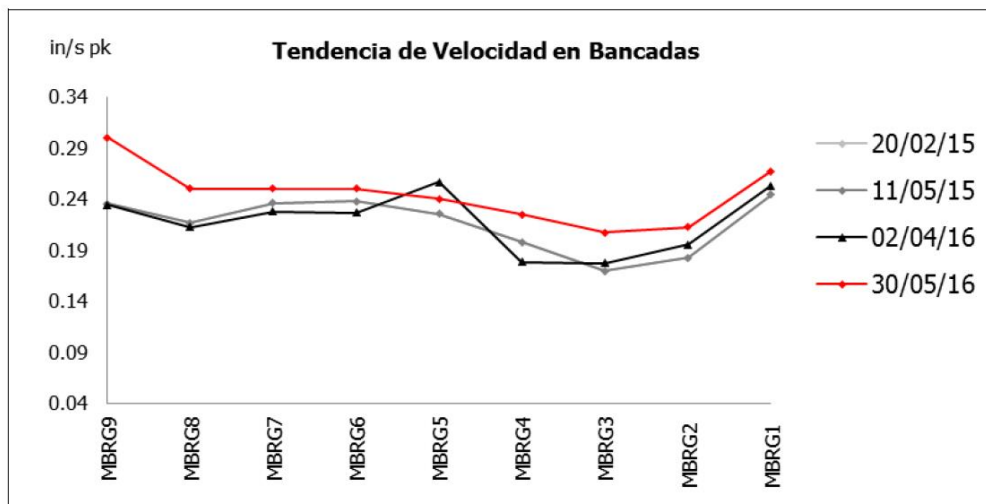


Figura 8. Vibración en tendencia Bancadas en velocidad.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

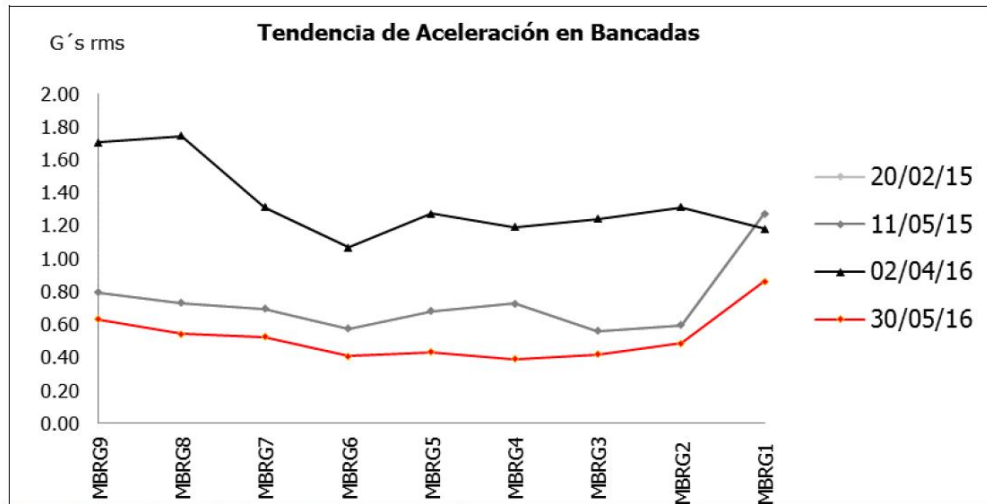



Figura 7. Vibración en tendencia Bancadas en aceleración.

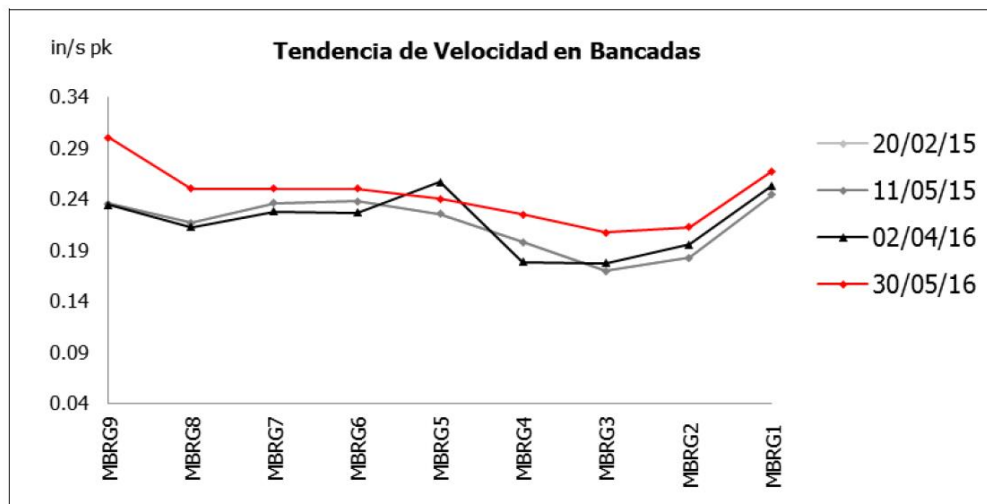


Figura 8. Vibración en tendencia Bancadas en velocidad.

Continuidad Anexo I. Análisis de Condición de Activos-Unidad 4I-106

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

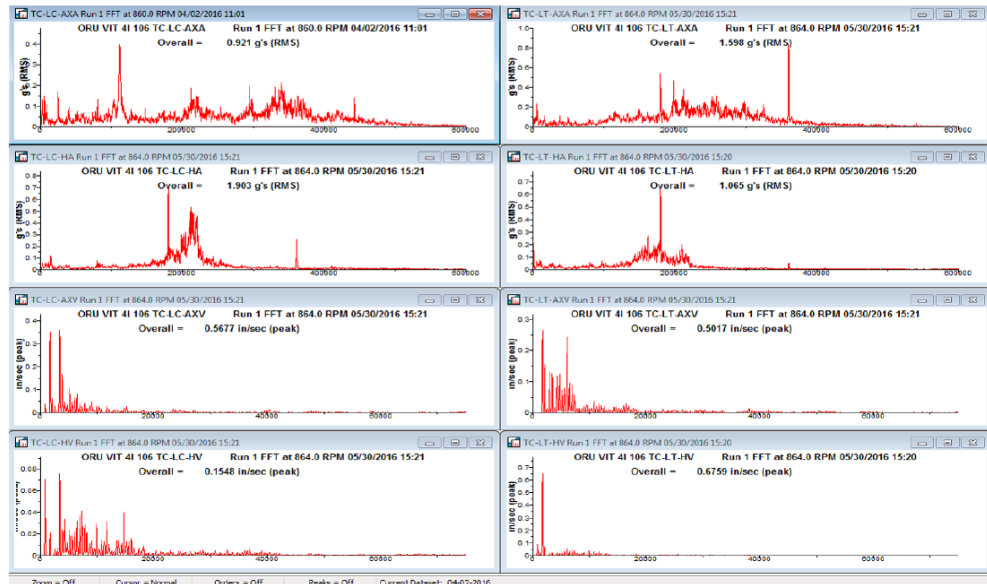


Figura 11. Graficas de vibración de los Turbo Cargador derecho e izquierdo.

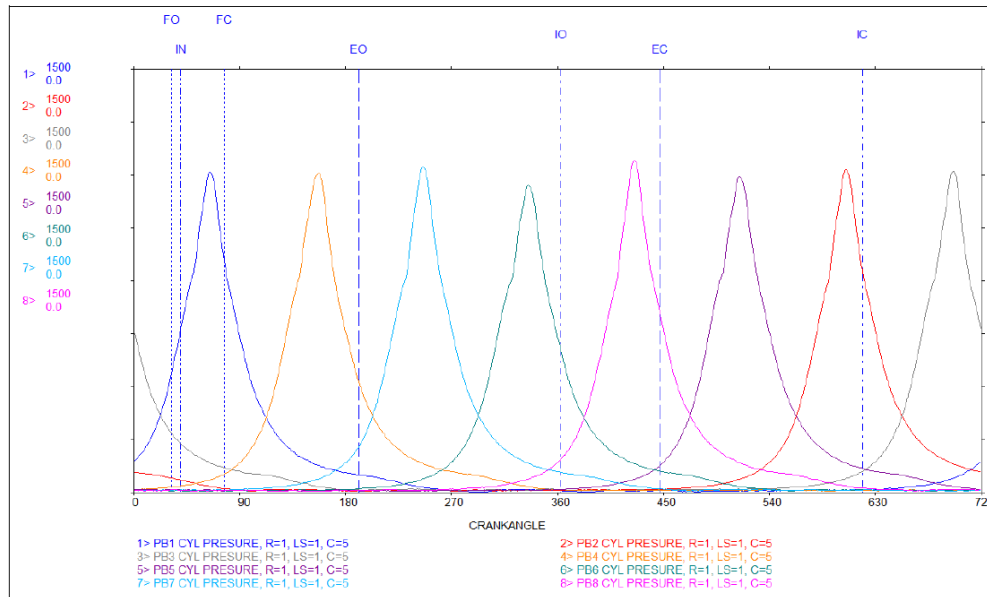


Figura 12. Graficas de presión del motor banco Izquierdo.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

Continuidad Anexo I. Análisis de Condición de Activos-Unidad 4I-106

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

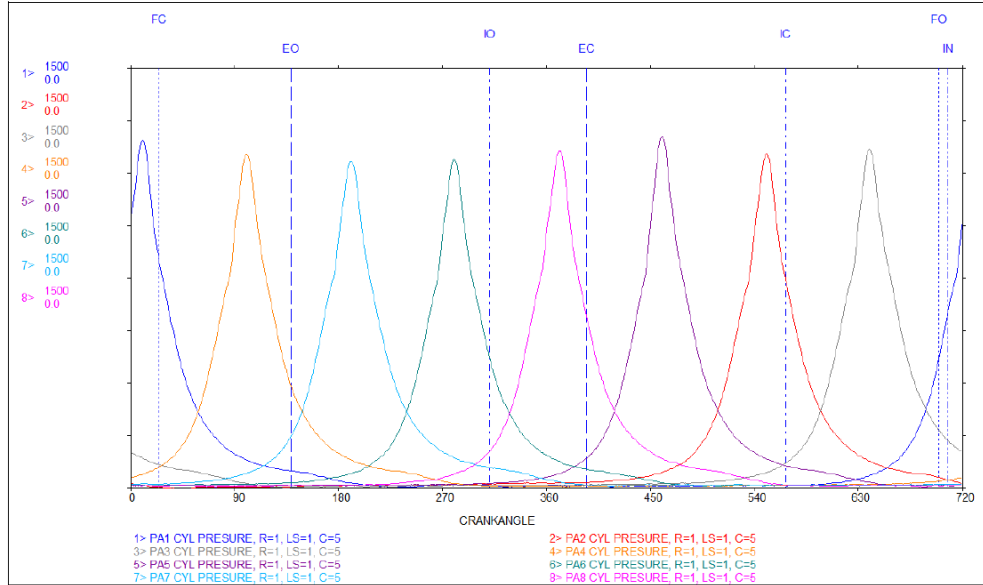


Figura 13. Graficas de presión del motor banco Derecho.

GRADO DE SEVERIDAD	GRADO DE SEVERIDAD DE VIBRACION ISO 10816-6 MAQUINARIA MAYOR A 1000 KW									
	120 CPM-600 CPM	600 CPM-15000 CPM	15000 CPM-50000 CPM	50000 CPM-695 BHP	1250 BHP	<1805	2360 BHP	2915 BHP	3470 BHP	4025 BHP
1.1	0.99	0.06	0.18							
1.8	1.58	0.10	0.28	A/B	A/B					
2.8	2.49	0.16	0.45							
4.5	3.99	0.23	0.72							
7.1	6.29	0.35	1.32	C						
11	9.91	0.69	1.70							
18	15.76	0.99	2.84							
28	24.94	1.57	4.51							
45	39.53	2.48	7.15	D						
71	62.64	3.94	11.32							
112	99.33	6.24	17.95							
180										

A. La vibración de las máquinas recién comisionadas están dentro de esta zona.
 B. Las vibraciones en máquinas dentro de esta zona se consideran aceptables para la operación a largo plazo.
 C. Máquinas con vibraciones dentro de esta zona son normales y satisfactorias a largo plazo para una operación continua. En general, la máquina puede ser operada por un periodo limitado en esa condición hasta que surge una oportunidad idónea para la adopción de medidas correctivas.
 D. Vibraciones dentro de esta zona normalmente son consideradas de gravedad suficiente como para causar daños a la máquina.

TABLA 1. Grado de severidad de vibración ISO 10816-6.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS



Parámetros Operacionales.

30 Mayo de 2016.	Equipo.
	4AI 106
RPM	881
PRESION ACEITE MOTOR (PSI)	52
TEMP. CIL 1L – 1R (°F)	663 – 709
TEMP. CIL 2L – 2R (°F)	722 – 733
TEMP. CIL 3L – 3R (°F)	687 – 724
TEMP. CIL 4L – 4R (°F)	703 – 695
TEMP. CIL 5L – 5R (°F)	724 – 712
TEMP. CIL 6L – 6R (°F)	707 – 635
TEMP. CIL 7L – 7R (°F)	699 – 731
TEMP. CIL 8L – 8R (°F)	744 – 753
AIRE TURBO CARGADOR (PSI)	--
HOROMETRO	



UNIDAD MONITOREADA.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRA SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS



Para el desarrollo del monitoreo se tomaron los siguientes registros.

MOTOR:

- Un (1) registro de vibración y ultrasonido sobre cada culata de cilindro motriz.
- Un (1) registro de presión sobre cada culata de cilindro motriz.
- Un (1) registro de vibración sobre cada bancada del cigüeñal del motor.
- Un (1) registro de vibración en las Bombas de Aceite, Agua Principal, Auxiliar, Turbo Cargador.
- Un (1) registro de datos operacionales.

Anexo J. Análisis de Condición de Activos-Unidad 4I-108.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS 

TIPO DE REPORTE:	Monitoreo de condición recíprocante	INSTRUMENTO:	Windrock
ESTACIÓN:	Oru	FECHA DE MONITOREO	31 Mayo de 2016.
AREA:	Bombeo	FECHA REPORTE:	15 Junio de 2016.
MAQUINA::	MOTOR.DIESEL WAUKESHA-4AI 108.	ELABORADO POR:	Fabio Andrey Afanador
TAG SAP:	10002858	REVISADO POR:	Edgar Ramos.
CONSECUTIVO:	WGC-ECP-ORU-WIN-4AI-108-009.	RECIBIDO POR:	Jorge Gómez.

RECOMENDACIONES

- Calibrar válvulas de admisión y escape culatas 4L, 3R, 4R, 8R.
- Verificar correcta estanqueidad válvulas de entrega de combustible, calibración de cremalleras y entrega de combustible en cada una de las bombas de inyección del motor.
- Seguimiento CBM por parte de Massy Energy en alta frecuencia a la bomba de agua auxiliar y en media frecuencia a los turbocargadores.
- Continuar con el muestreo de aceite periódico para establecer la condición del aceite del motor, parámetros que indican tempranamente desgastes o contaminantes en el motor. Es importante correlacionar esta data con el reporte de análisis recíprocante para precisar recomendaciones asociadas al estado de bancadas, bielas, cilindros y culatas.

CONDICION

Componente	Condición
CULATAS.	NORMAL
BANCADAS.	NORMAL
INYECCION.	Médium
ACEITE.	N/A.

- Normal N:** Condición buena, equipos en buena condición.
Low L: Condición de seguimiento, equipos que requieren seguimiento especial por CBM.
Médium M: Condición de alarma, equipos que requieren una acción de mantenimiento no inmediata o con prioridad mayor a quince (15) días.
High H: Condición inaceptable, equipos que requieren una acción de Mantenimiento identificada con prioridad menor a quince (15) días.

ANTECEDENTES

Esta unidad está operando con combustible crudo tipo Mezcla.

ANÁLISIS

EQUIPO RECÍPROCANTE.

CULATAS: Se observa vibración a los mismos grados de la misma intensidad para los cierres de válvulas de admisión en todas las culatas, excepto en las 4L, 3R, 4R, 8R que presentan cierre tarde 3° (Calibración valvular ajustado). Los cierres de las válvulas de escape no se observan lo cual es característico de los motores Waukesha familia AT24, AT25, AT27. En carrera de compresión los cilindros 2R y 2L a 661° presentan evento relacionado con CrossTalk. En ULT no se observa comportamiento de pase de gases al cárter. (Ver figuras # 1, 2, 3, 4).

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS



SISTEMA DE INYECCION: En el cilindro 1R, 3R, 5R y 1L se presenta el evento de inyección tarde 2° en las gráficas de Ultrasonido tomadas sobre las bombas de inyección. Posibles causas: Inyector en mal estado, leva desgastadas, bomba de inyección descalibrada, válvula de entrega de combustible con pase, etc. (Ver figura # 1, 2, 3, 4).

CURVAS DE PRESION: Se presentan curvas de presión con picos 1364 PSI en promedio; existe desbalance de potencia del 7% en el cilindro #3R, 8R, 3L y 4L. Los datos operativos de consola HMI indican que también existe desbalance del motor por temperaturas; Temperatura Cilindro 3R= 744°F Temperatura Cilindro 8L= 844°F. Nota: Existe alta variación entre las presiones pico entre cada uno de los cilindros; por lo cual se requiere verificar correcta estanqueidad válvulas de entrega de combustible, calibración de cremalleras y entrega de combustible en cada una de las bombas de inyección del motor (Ver figura #13 y 14).

BANCADAS: Vibración dentro del rango estadístico permisible. No se observan impactos en LFV vibración, espectros característicos en velocidad y vibración total en aceleración dentro de comportamiento típicos normales, la bancada #5 y 9 presentan el mayor nivel de vibración de la frecuencia discreta 1X con amplitud igual a 0.16 in/seg Pk; Aceptable según datos Históricos y norma ISO (Ver figura # 5, 6, 8, 9, 10).

TREN DE BOMBAS: La vibración de la bomba agua y aceite se encuentra dentro de parámetros Aceptables y con tendencia operacional estable. Por su parte la bomba de agua auxiliar presenta alto nivel global (4.63 G's RMS) en el parámetro aceleración con frecuencias predominantes 1X y 2X@81298 cpm, adicionalmente hay levantamiento de piso espectral, Ver reporte CBM rotativo. (Ver figura # 11).

TURBOCARGADOR: Se observa Overall 0.85 in/seg pk en el turbocompresor L y R con frecuencia predominante de 3515 cpm (4X de la velocidad de giro del motor principal) tendencia relativamente estable. También se evidencia levantamiento de espectro tanto en el lado compresor como en el lado turbina por el paso de aire y de gases característico de los turbos. Se debe tener en cuenta que los modos de falla del turbo cargador están principalmente asociados a fallas de lubricación, entrada de elementos extraños en lado compresor o lado turbina, falla de alabes de turbina por vejes y regularmente estos se presentan de modo súbito. (Ver figura # 12).

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS 

Figuras:

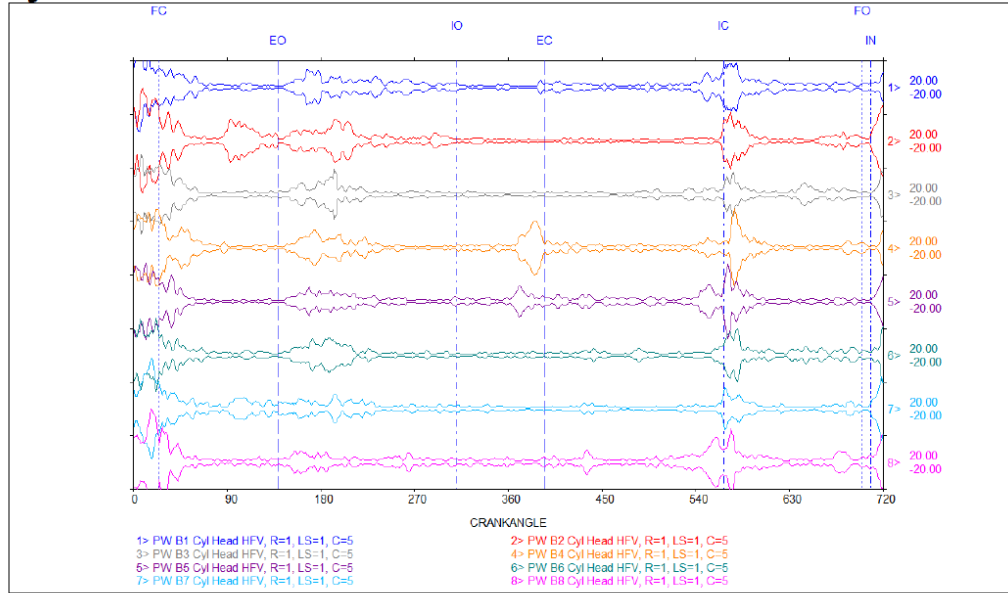


Figura 1. Vibración Cilindros Motriz Banco Izquierdo.

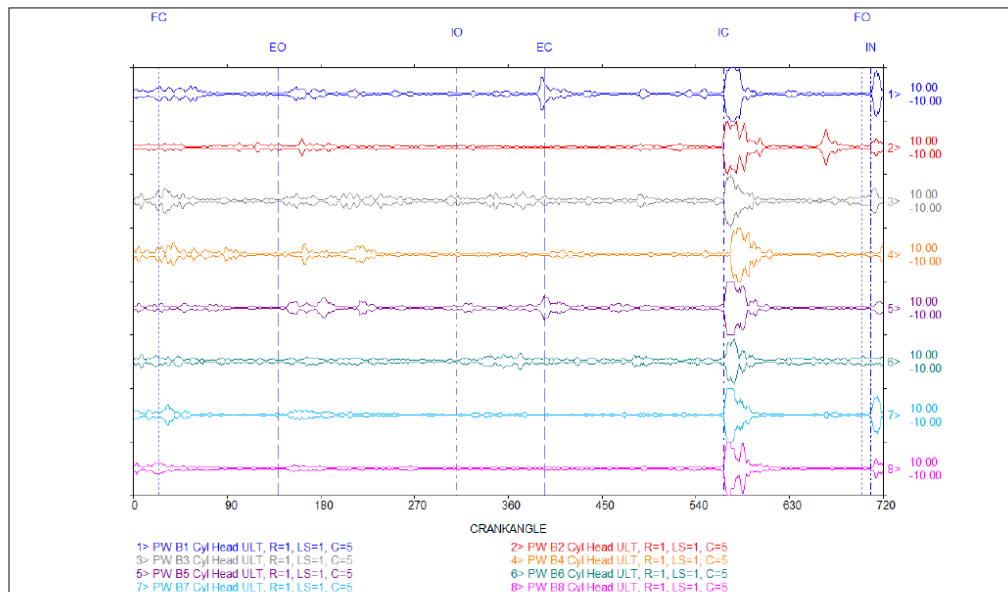


Figura 2. Ultrasonido Cilindros Motriz Banco Izquierdo.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

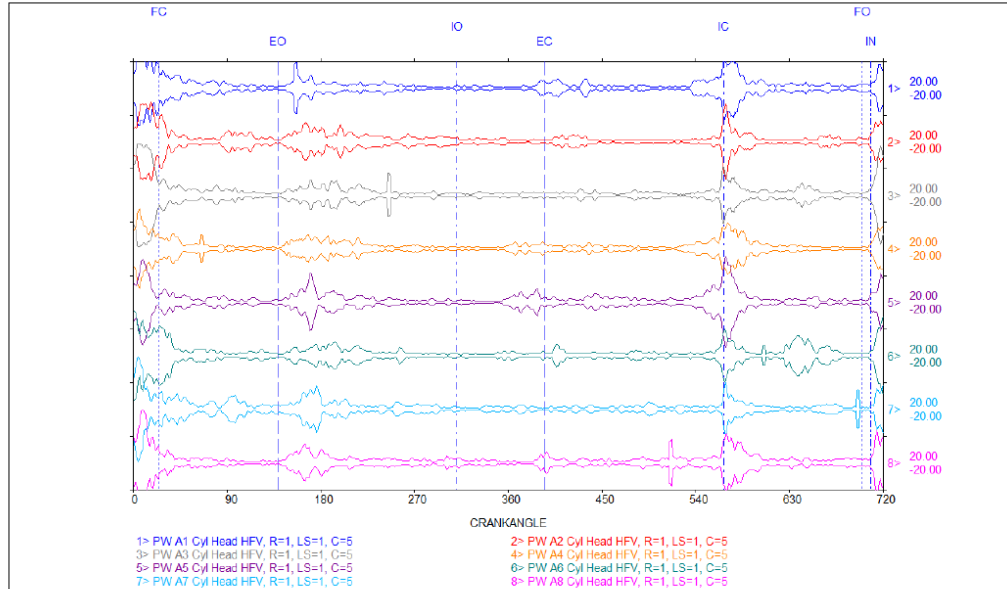



Figura 3. Vibración Cilindros Motriz Banco Derecho.

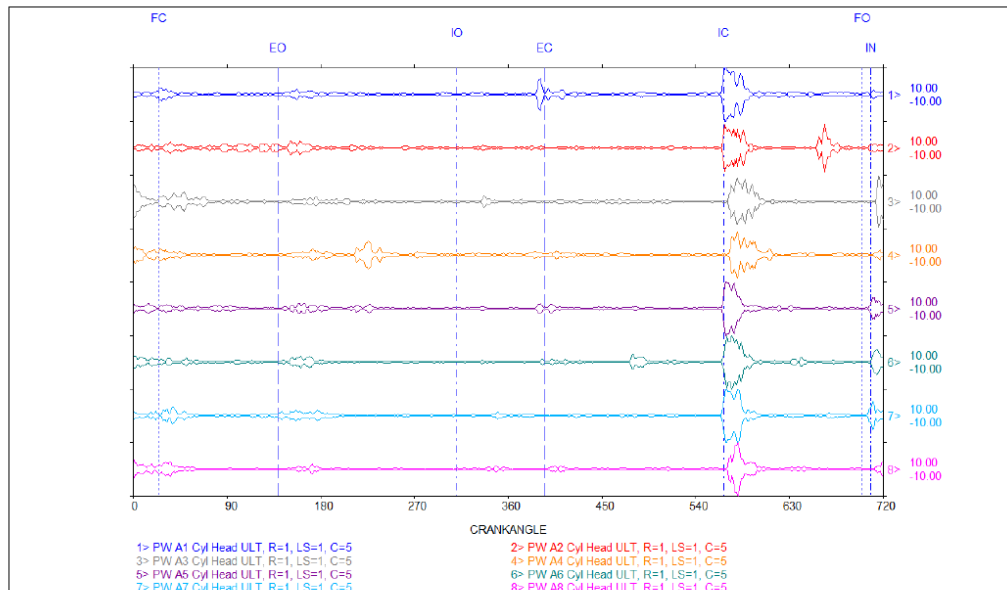


Figura 4. Ultrasonido Cilindros Motriz Banco Derecho.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

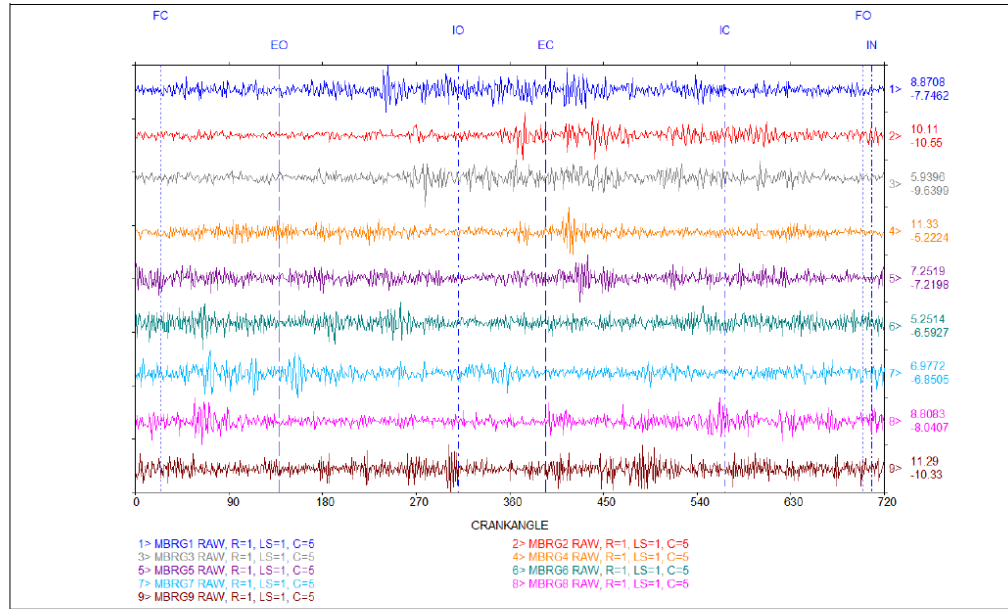



Figura 5. Vibración Bancadas del Motor RAW.

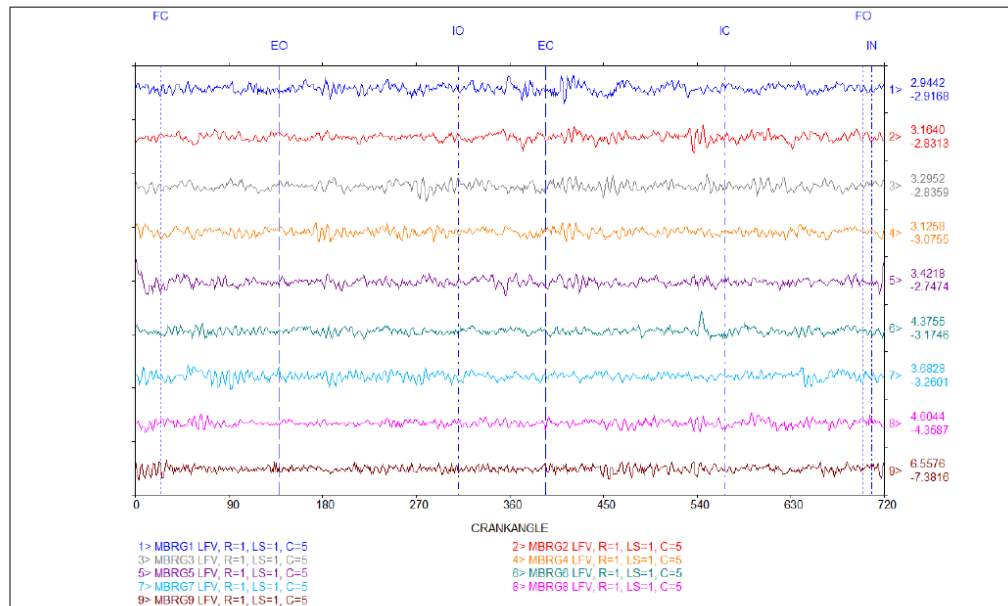


Figura 6. Vibración Bancadas del Motor LFV.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.



ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

Point Description	Channel Number	Current Overall	Previous Overall	Previous Date
ENGINE-MBRG 1V	1	0.2893	0.2718	04-02-2016
ENGINE-MBRG1A	1	0.5389	1.113	04-02-2016
ENGINE-MBRG 2V	1	0.2468	0.2092	04-02-2016
ENGINE-MBRG2A	1	0.8985	1.686	04-02-2016
ENGINE-MBRG 3V	1	0.2353	0.2215	04-02-2016
ENGINE-MBRG3A	1	0.5385	1.347	04-02-2016
ENGINE-MBRG 4V	1	0.2416	0.2165	04-02-2016
ENGINE-MBRG4A	1	0.8517	1.366	04-02-2016
ENGINE-MBRG 5V	1	0.2861	0.3278	04-02-2016
ENGINE-MBRG5A	1	0.8339	1.501	04-02-2016
ENGINE-MBRG 6V	1	0.2696	0.2787	04-02-2016
ENGINE-MBRG6A	1	0.7203	1.287	04-02-2016
ENGINE-MBRG 7V	1	0.2506	0.2335	04-02-2016
ENGINE-MBRG7A	1	0.9511	1.177	04-02-2016
ENGINE-MBRG 8V	1	0.2634	0.2357	04-02-2016
ENGINE-MBRG8A	1	1.038	1.79	04-02-2016
ENGINE-MBRG 9V	1	0.3226	0.2769	04-02-2016
ENGINE-MBRG9A	1	1.289	2.365	04-02-2016
ENGINE-NDE-H	1	0.31	0.3081	04-02-2016
ENGINE-NDE-V	1	0.1707	0.1584	04-02-2016
ENGINE-NDE-AX	1	0.1129	0.0851	04-02-2016
SENSOR RV	1	0.3138	0.2626	09-06-2014
SENSOR RA	1	4.631	2.122	09-06-2014
PUMP W V	1	0.2529	0.2678	04-02-2016
PUMP W A	1	1.107	1.467	04-02-2016
PUMP O V	1	0.3036	0.3013	04-02-2016
PUMP O A	1	1.869	1.948	04-02-2016
ENGINE-DE-H	1	0.3227	0.2959	05-10-2015
ENGINE-DE-V	1	0.1691	0.1568	05-10-2015
ENGINE-DE-AX	1	0.08301	0.06786	05-10-2015
TC-LI-HV	1	0.3339	0.291	04-02-2016
TC-LI-HA	1	1.62	1.456	04-02-2016
TC-LI-AXV	1	0.8576	0.8507	04-02-2016
TC-LI-AXA	1	1.646	2.604	04-02-2016
TC-LC-HV	1	0.3432	0.274	04-02-2016
TC-LC-HA	1	2.868	2.418	04-02-2016
TC-LC-AXV	1	0.7377	0.7334	04-02-2016
TC-LC-AXA	1	3.299	5.475	04-02-2016

Figura 7. Gráfico de Reporte Numérico FFT.

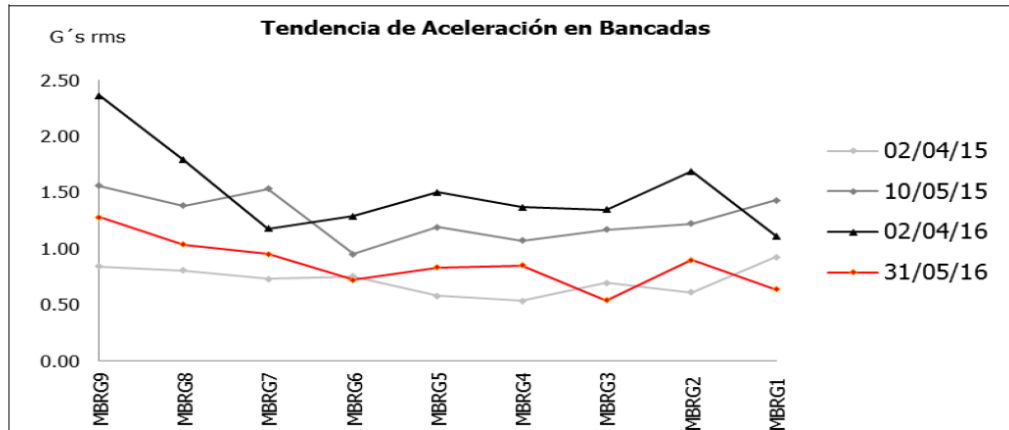


Figura 8. Vibración en tendencia Bancadas en aceleración.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

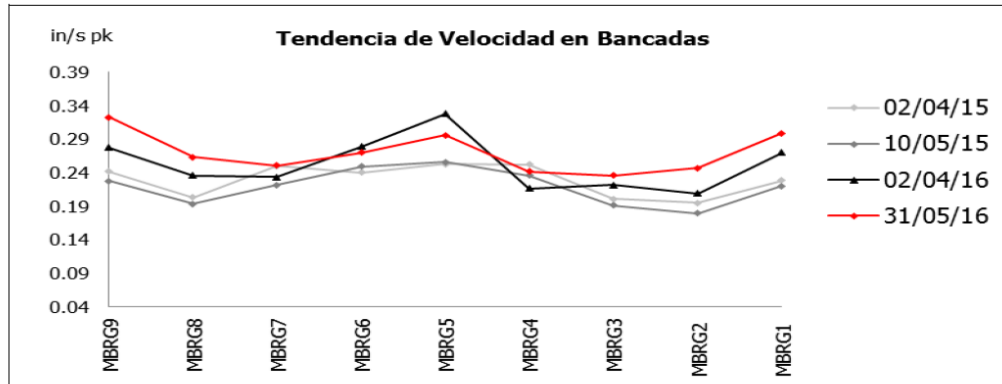



Figura 9. Vibración en tendencia Bancadas en velocidad.

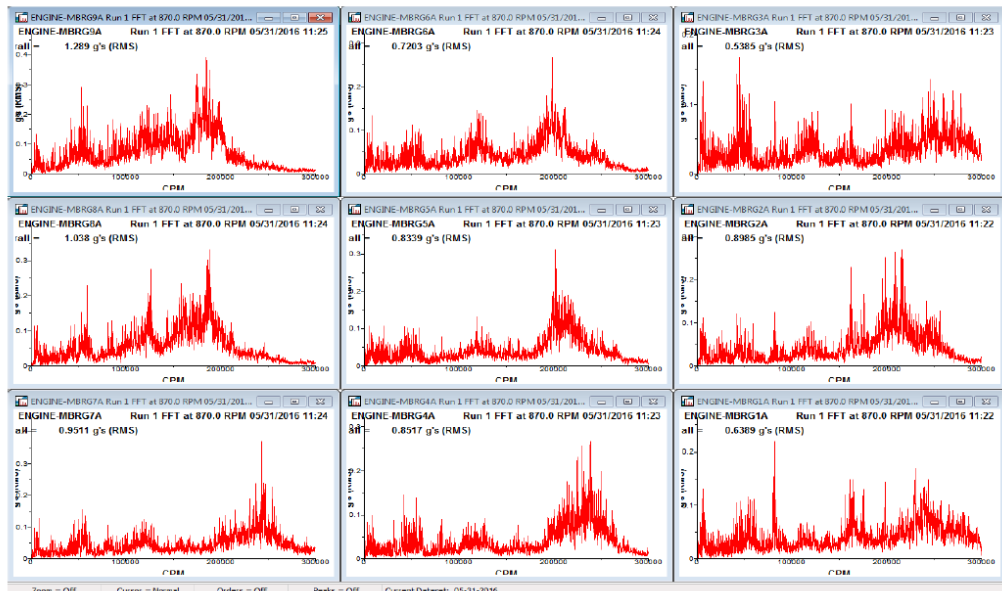


Figura 10. Vibración en Bancadas FFT 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Continuidad Anexo J. Análisis de Condición de Activos-Unidad 4I-108.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

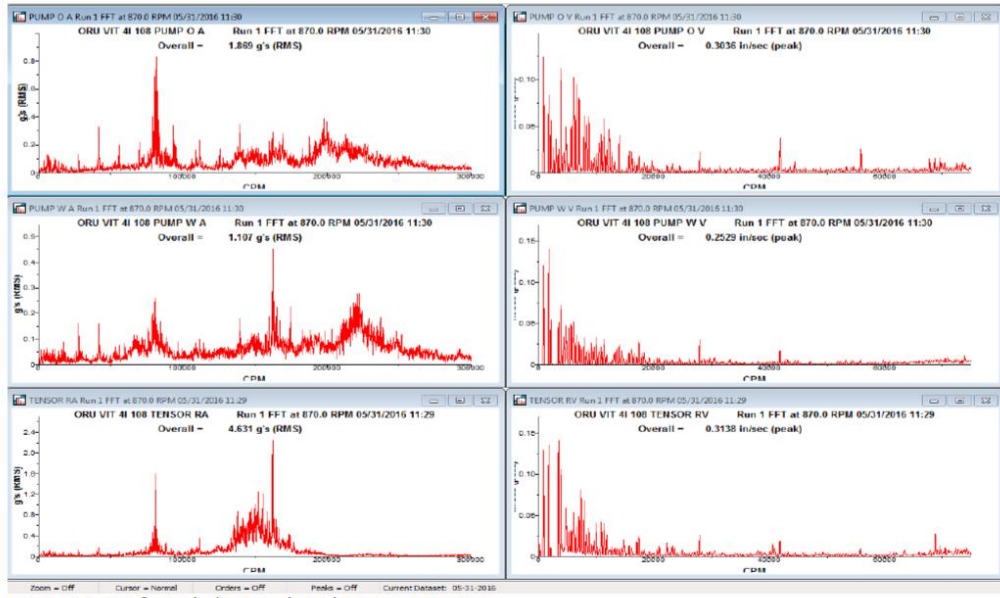



Figura 11. Graficas de las Bombas de Agua y Aceite.

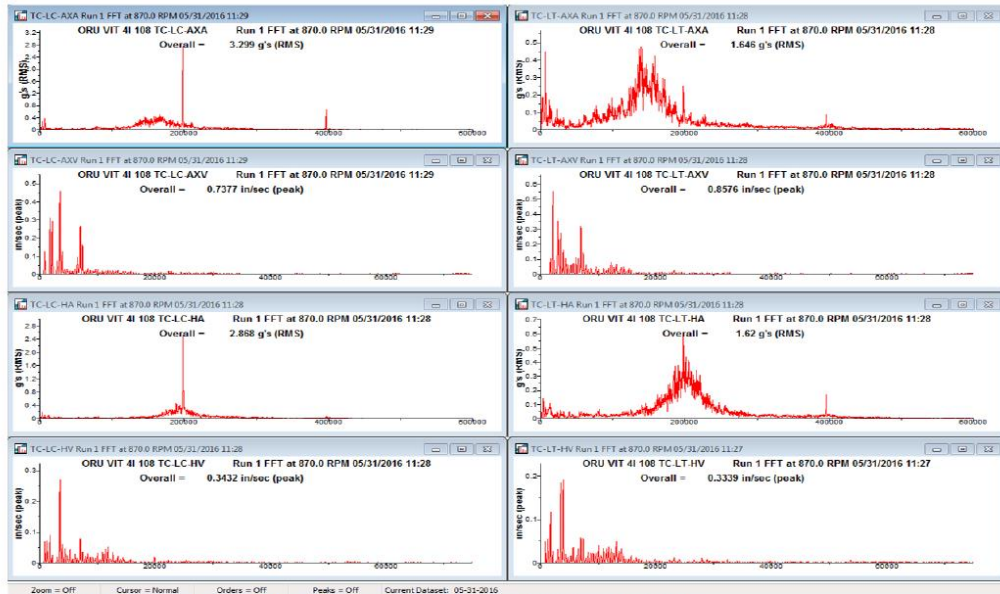



Figura 12. Graficas de vibración de los Turbo Cargador Derecho e Izquierdo.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRA SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS 

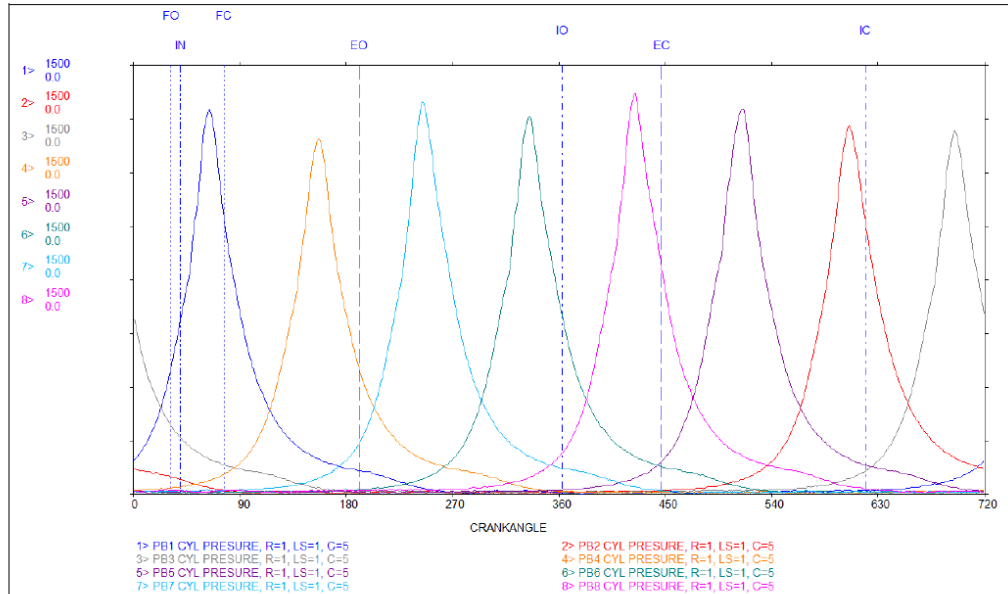


Figura 13. Graficas de presión del motor Banco Izquierdo.

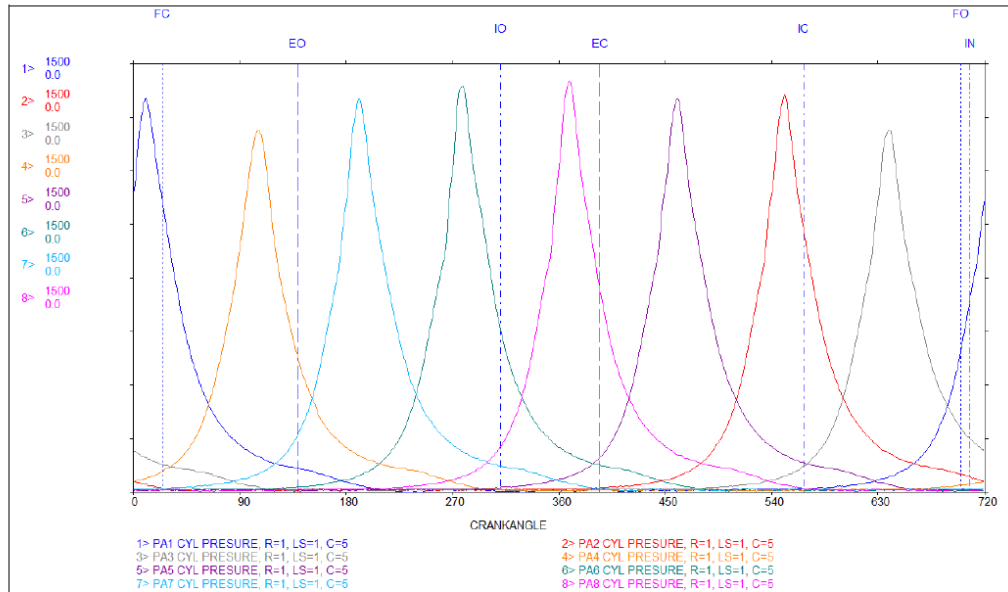


Figura 14. Graficas de presión del motor Banco Derecho.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS



GRADO DE SEVERIDAD	GRADO DE SEVERIDAD DE VIBRACION ISO 10816-6 MAQUINARIA MAYOR A 1000 KW										
	120 CPM-500 CPM	600 CPM-15000 CPM	15000 CPM-50000 CPM	695 BHP	1250 BHP	<1805 BHP	2360 BHP	2915 BHP	3470 BHP	4025 BHP	
	mil μ k	In/Seg μ k	G's (rms)	1	2	3	4	5	6	7	
1.1	0.99	0.06	0.18	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	
1.8	1.58	0.10	0.28	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	
2.8	2.49	0.16	0.45	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	
4.5	3.95	0.24	0.80	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	
7.1	6.29	0.32	1.30	C	C	C	C	C	C	C	
11	9.81	0.59	1.55	D	D	D	D	D	D	D	
18	15.76	0.99	2.84	D	D	D	D	D	D	D	
28	24.94	1.57	4.51	D	D	D	D	D	D	D	
45	39.53	2.48	7.15	D	D	D	D	D	D	D	
71	62.64	3.94	11.32	D	D	D	D	D	D	D	
112	99.33	6.24	17.95	D	D	D	D	D	D	D	
180				D	D	D	D	D	D	D	

A. La vibración de las máquinas recién comisionadas están dentro de esta zona.
 B. Las vibraciones en máquinas dentro de esta zona se consideran aceptables para la operación a largo plazo.
 C. Máquinas con vibraciones dentro de esta zona son normales y satisfactorias a largo plazo para una operación continua. En general, la máquina puede ser operada por un periodo limitado en esa condición hasta que surge una oportunidad idónea para la adopción de medidas correctivas.
 D. Vibraciones dentro de esta zona normalmente son consideradas de gravedad suficiente como para causar daños a la máquina.

TABLA 1. Grado de severidad de vibración ISO 10816-6.

Parámetros Operacionales.

31 Mayo de 2016.	Equipo.
	4AI 108
RPM	868
PRESION ACEITE MOTOR (PSI)	52
TEMP. CIL 1L – 1R (°F)	791 – 774
TEMP. CIL 2L – 2R (°F)	805 – 782
TEMP. CIL 3L – 3R (°F)	795 – 744
TEMP. CIL 4L – 4R (°F)	808 – 797
TEMP. CIL 5L – 5R (°F)	811 – 786
TEMP. CIL 6L – 6R (°F)	807 – 809
TEMP. CIL 7L – 7R (°F)	841 – 784
TEMP. CIL 8L – 8R (°F)	844 – 803
AIRE TURBO CARGADOR (PSI)	--
HOROMETRO	

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS



UNIDAD MONITOREADA.

Para el desarrollo del monitoreo se tomaron los siguientes registros.

MOTOR:

- Un (1) registro de vibración y ultrasonido sobre cada culata de cilindro motriz.
- Un (1) registro de presión sobre cada culata de cilindro motriz.
- Un (1) registro de vibración sobre cada bancada del cigüeñal del motor.
- Un (1) registro de vibración en las Bombas de Aceite, Agua Principal, Auxiliar, Turbo Cargador.
- Un (1) registro de datos operacionales.

Anexo K. Análisis de Condición de Activos-Unidad 4I-109.

<h3 style="margin: 0;">GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT</h3> <p style="margin: 0;">DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.</p> <p style="margin: 0;">ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS</p>			
TIPO DE REPORTE:	Monitoreo de condición recíprocante	INSTRUMENTO:	Windrock
ESTACIÓN:	Oru	FECHA DE MONITOREO	30 Mayo de 2016.
AREA:	Bombeo	FECHA REPORTE:	15 Junio de 2016.
MAQUINA::	MOTOR.DIESEL WAUKESHA-4AI 109.	ELABORADO POR:	Fabio Andrey Afanador
TAG SAP:	10002913	REVISADO POR:	Edgar Ramos.
CONSECUTIVO:	WGC-ECP-ORU-WIN-4AI-109-012.	RECIBIDO POR:	Jorge Gómez.

RECOMENDACIONES

- Balancear por temperaturas el motor, el delta de temperaturas entre cilindros no debe ser superior a los 50°F.
- Calibrar válvulas de admisión y escape culatas 1R, 1L, 2L, 3L.
- Verificar condición y parámetros de funcionamiento inyector 1R, 3R, 4R, 6R, 7R, 7L, 8L.
- Seguimiento CBM por parte de Massy Energy a los turbocargadores en media y alta frecuencia.
- Continuar con el muestreo de aceite periódico para establecer la condición del aceite del motor, parámetros que indican tempranamente desgastes o contaminantes en el motor. Es importante correlacionar esta data con el reporte de análisis recíprocante para precisar recomendaciones asociadas al estado de bancadas, bielas, cilindros y culatas.

CONDICION

Componente	Condición
CULATAS.	NORMAL.
BANCADAS.	NORMAL.
INYECCION.	Low
ACEITE.	N/A.

Normal N: Condición buena, equipos en buena condición.
Low L: Condición de seguimiento, equipos que requieren seguimiento especial por CBM.
Médium M: Condición de alarma, equipos que requieren una acción de mantenimiento no inmediata o con prioridad mayor a quince (15) días.
High H: Condición inaceptable, equipos que requieren una acción de Mantenimiento identificada con prioridad menor a quince (15) días.

ANTECEDENTES

Esta unidad está operando con combustible crudo tipo Mezcla.

ANÁLISIS

MOTOR WAUKESHA AT 25:

CULATAS: Se observa vibración/ultrasonido a los mismos grados y de la misma intensidad para los cierres de válvulas de admisión en todas las culatas, salvo en las culatas 1R, 1L, 2L, 3L donde se presenta cierre de válvulas de admisión tarde en 7°. En las culatas 2L/2R a 679° (Carrera de compresión) se presenta evento relacionado con efecto de CrossTalk, el cual no representa la existencia de una falla potencial sobre el motor. (Ver figuras # 1, 2, 3, 4).

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRA SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT

DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS



SISTEMA DE INYECCION: Eventos de inyección normal de la misma intensidad y el corte se sucede a los mismos grados para todos los cilindros. La coloración de los gases de escape es normal y la unidad presenta fácil arranque y operación estable. En HMI se indica Delta de temperaturas superiores a 50°F, lo cual indica que se requiere realizar trabajo de balanceo del motor por temperaturas. Nota: Se debe tener en cuenta que el desbalance por temperaturas puede ser generado por operación inadecuada de los inyectores –Ver comentarios CURVAS DE PRESION- (Ver figura # 1, 2, 3, 4).

CURVAS DE PRESION: Se presentan curvas de presión con picos 1326 PSI en promedio. Indicando buen balance de potencia del motor. Sin embargo, en la primera derivada de las curvas de presión y en los análisis de desviación estándar de los picos máximos de presión se observan eventos anormales de combustión en los cilindros 1R, 3R, 4R, 6R, 7R, 8L –Posible operación inadecuada de los inyectores-. (Ver figura # 13).

BANCADAS: Vibración dentro del rango estadístico permisible. No se observan impactos en LFV vibración, espectros característicos en velocidad y vibración total en aceleración dentro de comportamiento típicos Aceptables. En FFT la bancada #1 y 9 presentan mayor nivel de vibración de la frecuencia discreta 1X con amplitud igual a 0.17 in/seg Pk. (Ver figura # 5, 6, 8, 9, 10).

TREN DE BOMBAS: En el espectro de aceleración se observa múltiples armónicos de la frecuencia de 13916 CPM con un nivel de amplitud moderado (1.604 G's RMS) en la bomba de Aceite. La vibración en el tren de bombas agua principal y auxiliar vibración dentro de parámetros Aceptables, el mayor nivel de vibración en aceleración se presenta de 2.56 G's en la bomba de agua auxiliar. (Ver figura # 11).

TURBOCARGADOR: Buenas condición vibratoria en media y alta frecuencia. Para el turbo lado R se presenta frecuencias predominantes 4X @ 870 cpm con amplitud alta (aprox 0.88 in/seg Pk). Mientras que en el turbo lado L la frecuencia predominantes 1X y 3X @20800cpm (Velocidad del turbocargador) con amplitud alta (aprox 1.6 G's RMS). Se presenta en los espectros levantamiento de piso tanto en el lado compresor como en el lado turbina por el paso de aire y de gases característico de los turbos. Se debe tener en cuenta que los modos de falla del turbo cargador están principalmente asociados a fallas de lubricación, entrada de elementos extraños en lado compresor o lado turbina, falla de alabes de turbina por vejes y regularmente estos se presentan de modo súbito. (Ver figura # 12).

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS 

Figuras:

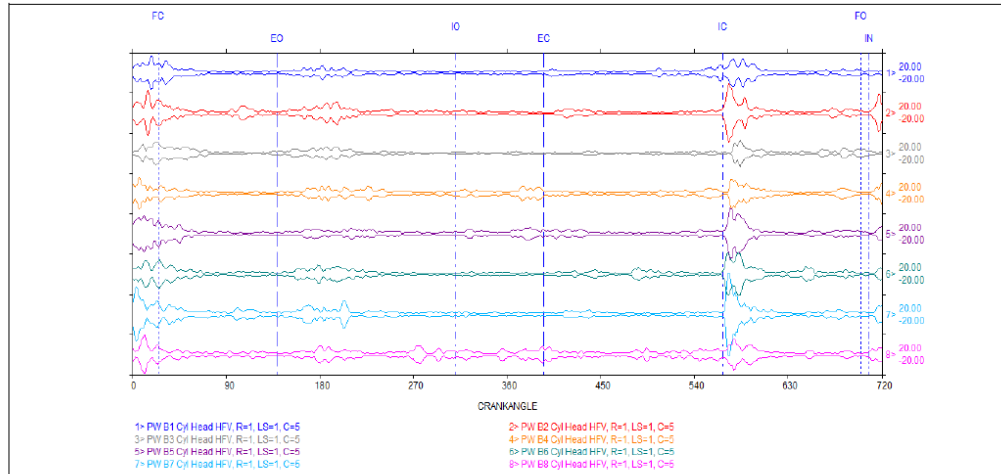


Figura 1. Vibración Cilindros Motriz Banco Izquierdo.

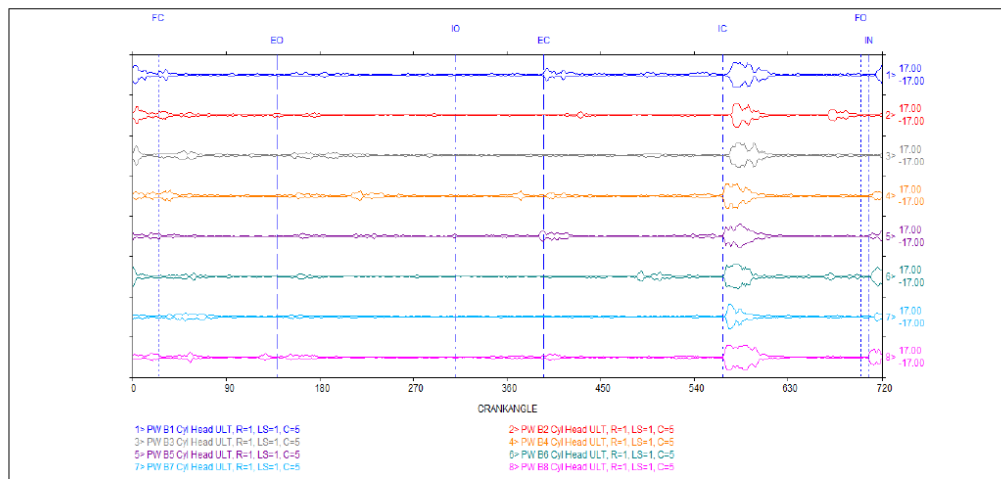



Figura 2. Ultrasonido Cilindros Motriz Banco Izquierdo.

EL INFORME PRESENTA LOS ANÁLISIS PARA LAS CONDICIONES PRESENTES DURANTE EL MONITOREO. PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A. NO PODRÁ SER COPIADO PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACION POR ESCRITO.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS 

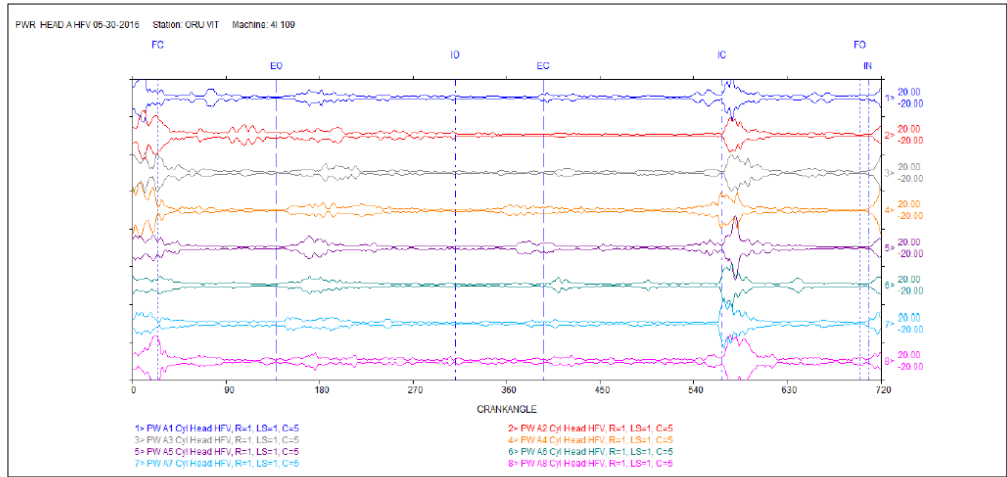


Figura 3. Vibración Cilindros Motriz Banco derecho.

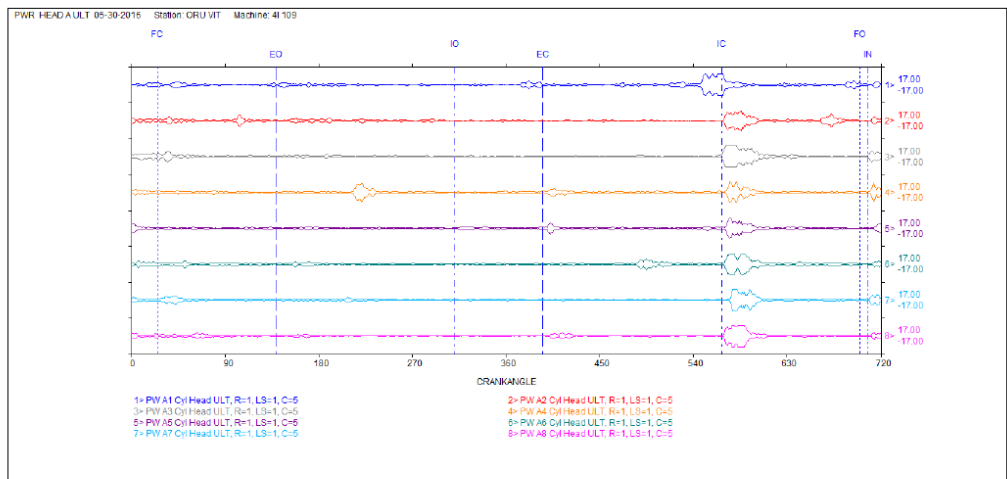


Figura 4. Ultrasonido Cilindros Motriz Banco derecho.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

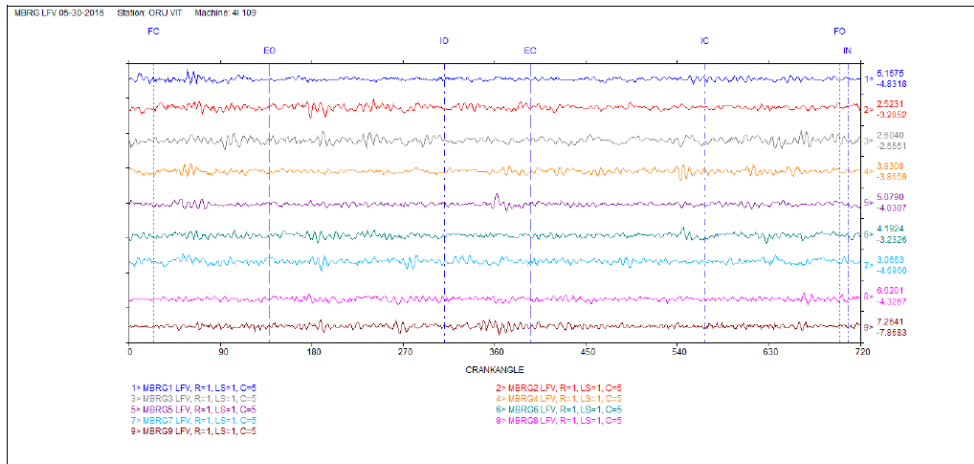



Figura 5. Vibración Bancadas del Motor en LFBV.

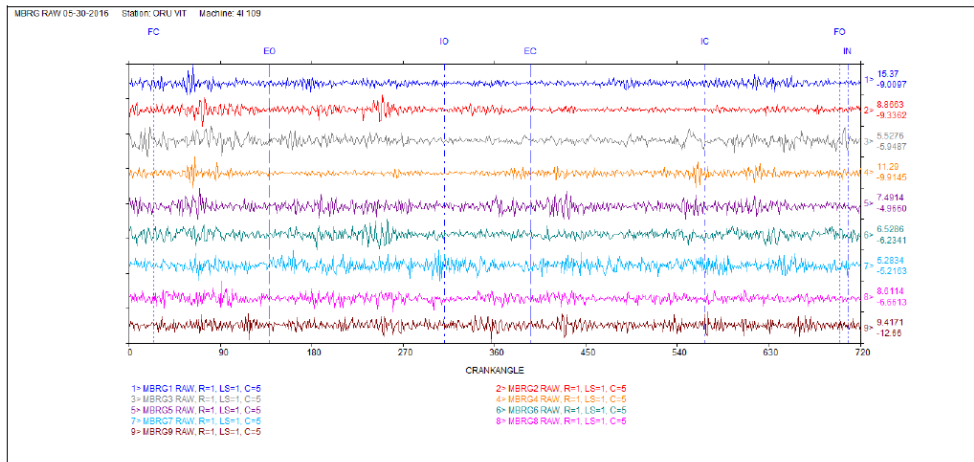


Figura 6. Vibración Bancadas del Motor RAW

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

Point Description	Channel Number	Current Overall		Previous Overall	Previous Date
Station: ORU VIT Machine: 4I 109					
ENGINE-MBRG 1V	1	0.2888	in/sec	0.2953	04-04-2016
ENGINE-MBRG1A	1	1.115	g's	0.5697	04-04-2016
ENGINE-MBRG 2V	1	0.2267	in/sec	0.2424	04-04-2016
ENGINE-MBRG2A	1	0.4532	g's	0.4257	04-04-2016
ENGINE-MBRG 3V	1	0.2317	in/sec	0.2407	04-04-2016
ENGINE-MBRG3A	1	0.4469	g's	0.4978	04-04-2016
ENGINE-MBRG 4V	1	0.2399	in/sec	0.2503	04-04-2016
ENGINE-MBRG4A	1	0.5198	g's	0.5491	04-04-2016
ENGINE-MBRG 5V	1	0.2442	in/sec	0.2568	04-04-2016
ENGINE-MBRG5A	1	0.5066	g's	0.5036	04-04-2016
ENGINE-MBRG 6V	1	0.2729	in/sec	0.2855	04-04-2016
ENGINE-MBRG6A	1	0.4475	g's	0.5316	04-04-2016
ENGINE-MBRG 7V	1	0.2844	in/sec	0.3031	04-04-2016
ENGINE-MBRG7A	1	0.4762	g's	0.5352	04-04-2016
ENGINE-MBRG 8V	1	0.2772	in/sec	0.3145	04-04-2016
ENGINE-MBRG8A	1	0.531	g's	0.5869	04-04-2016
ENGINE-MBRG 9V	1	0.3021	in/sec	0.3208	04-04-2016
ENGINE-MBRG9A	1	0.9948	g's	0.9235	04-04-2016
ENGINE-NDE-H	1	0.2823	in/sec	0.2802	04-04-2016
ENGINE-NDE-V	1	0.1236	in/sec	0.1446	04-04-2016
ENGINE-NDE-AX	1	0.07833	in/sec	0.0724	04-04-2016
SENSOR RV	1	0.2747	in/sec	0.2543	09-08-2014
SENSOR RA	1	2.564	g's	0.7088	09-08-2014
PUMP W V	1	0.2545	in/sec	0.2477	04-04-2016
PUMP W A	1	0.9986	g's	1.199	04-04-2016
PUMP O V	1	0.3388	in/sec	0.3561	04-04-2016
PUMP O A	1	1.604	g's	2.962	04-04-2016
ENGINE-DE-H	1	0.3136	in/sec	0.3315	04-04-2016
ENGINE-DE-V	1	0.1547	in/sec	0.1701	04-04-2016
ENGINE-DE-AX	1	0.07156	in/sec	0.07131	04-04-2016
TC-LT-HV	1	0.3184	in/sec	0.2709	04-04-2016
TC-LT-HA	1	2.182	g's	0.8497	04-04-2016
TC-LT-AXV	1	0.8896	in/sec	0.8046	04-04-2016
TC-LT-AXA	1	1.971	g's	1.381	04-04-2016
TC-LC-HV	1	0.2972	in/sec	0.2979	04-04-2016
TC-LC-HA	1	1.232	g's	1.527	04-04-2016
TC-LC-AXV	1	0.4933	in/sec	0.5402	04-04-2016
TC-LC-AXA	1	1.6	g's	1.171	04-04-2016

Figura 7. Grafico de Reporte Numérico FFT.

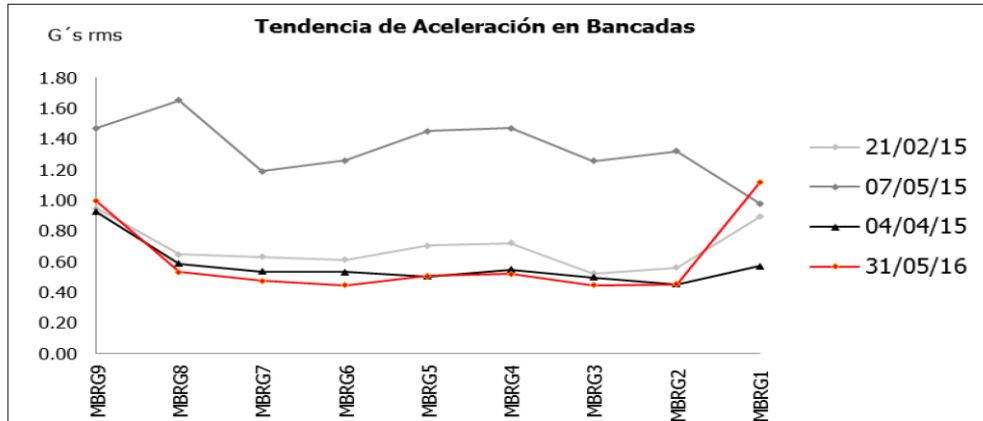


Figura 8. Vibración en tendencia Bancadas en aceleración.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

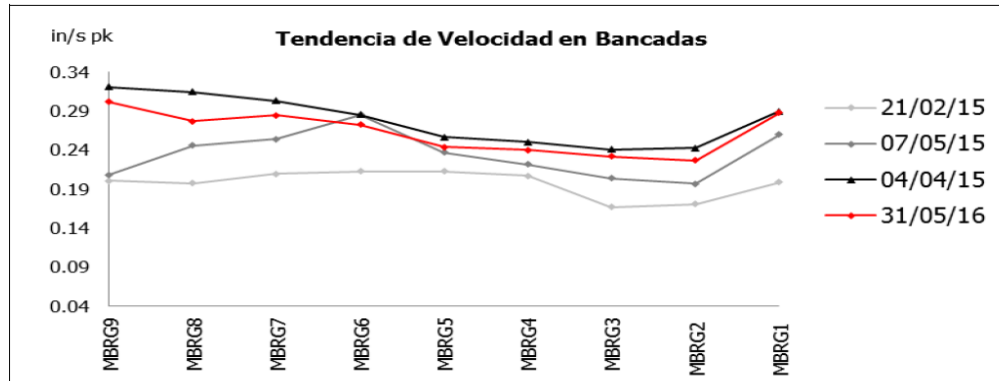


Figura 9. Vibración en tendencia Bancadas en velocidad.

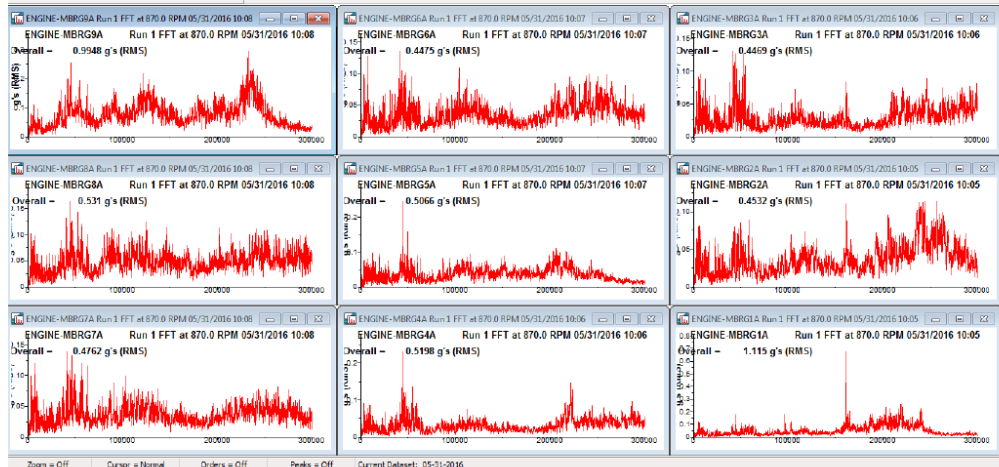


Figura 10. Vibración en Bancadas FFT 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

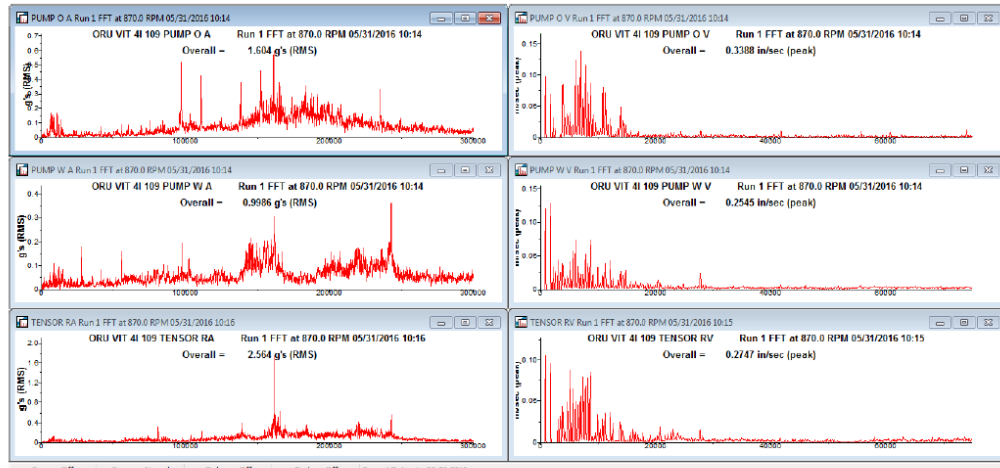


Figura 11. Vibración de las Bombas de Agua y Aceite.

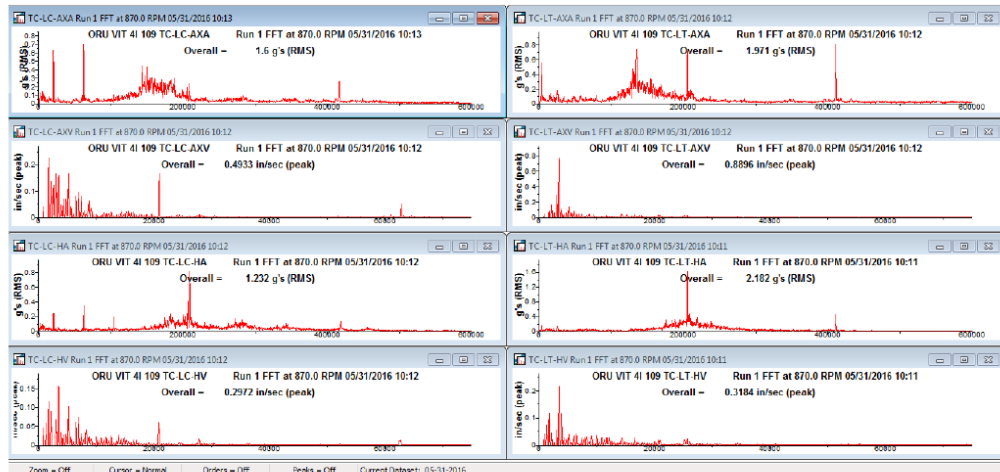


Figura 12. Vibración de Turbo cargador Izquierdo y Derecho.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
 DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.
 ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS

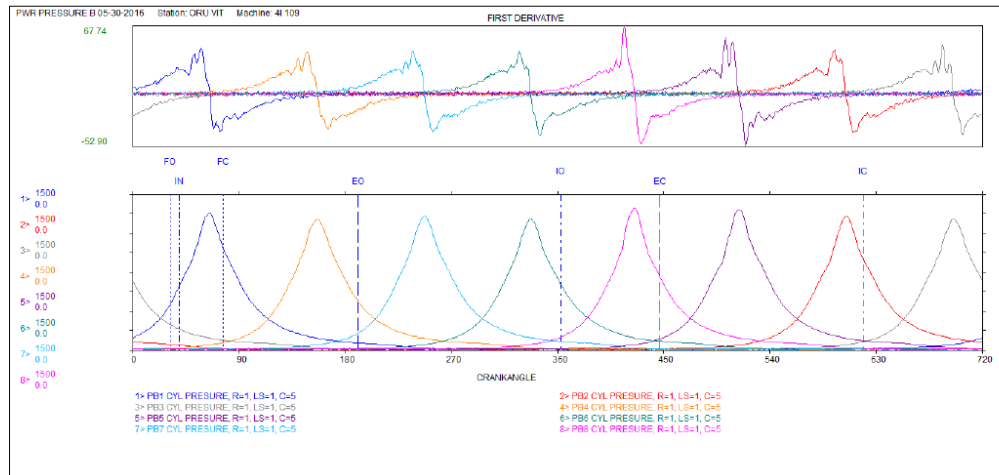



Figura 13. Graficas de presión Banco izquierdo.

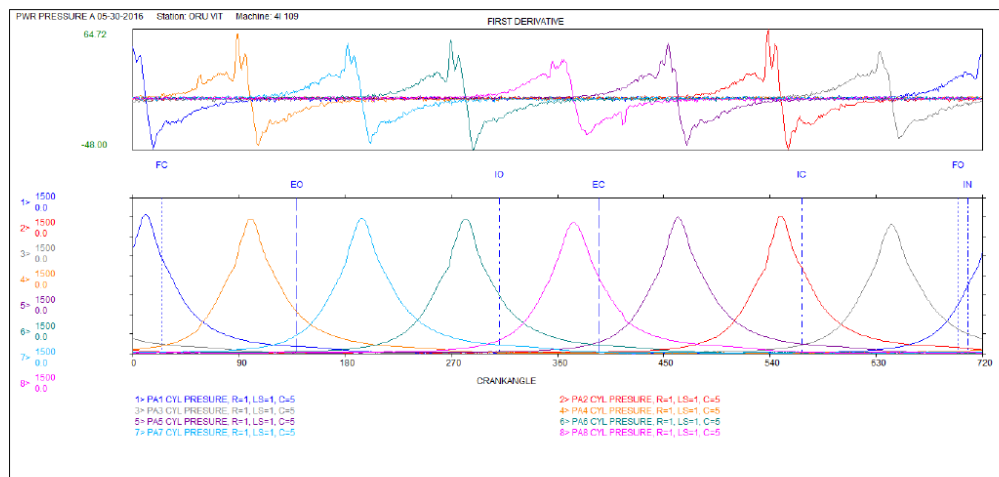


Figura 14. Graficas de presión Banco derecho.

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS



GRADO DE SEVERIDAD	GRADO DE SEVERIDAD DE VIBRACION ISO 10816-6 MAQUINARIA MAYOR A 1000 KW										
	120 CPM-600 CPM	600 CPM-15000 CPM	15000 CPM-60000 CPM	G s (rms)	695 BHP	1250 BHP	<1805	2360 BHP	2915 BHP	3470 BHP	4035 BHP
	mil pK	In/Seg pK			1	2	3	4	5	6	7
1.1	0.99	0.06	0.18		A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B
1.8	1.58	0.10	0.28		A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B
2.8	2.49	0.16	0.45		A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B
4.5	3.95	0.25	0.75		A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B
7.1	6.29	0.53	1.50		C	C	C	C	C	C	C
11	9.91	0.69	1.65		D	D	D	D	D	D	D
18	15.76	0.99	2.84		D	D	D	D	D	D	D
28	24.94	1.57	4.51		D	D	D	D	D	D	D
45	39.53	2.48	7.15		D	D	D	D	D	D	D
71	62.64	3.94	11.32		D	D	D	D	D	D	D
112	99.33	6.24	17.95		D	D	D	D	D	D	D
180					D	D	D	D	D	D	D

A. La vibración de las máquinas recién comisionadas están dentro de esta zona.
 B. Las vibraciones en máquinas dentro de esta zona se consideran aceptables para la operación a largo plazo.
 C. Máquinas con vibraciones dentro de esta zona son normales y satisfactorias a largo plazo para una operación continua. En general, la máquina puede ser operada por un periodo limitado en esa condición hasta que surge una oportunidad idónea para la adopción de medidas correctivas.
 D. Vibraciones dentro de esta zona normalmente son consideradas de gravedad suficiente como para causar daños a la máquina.

TABLA 1. Grado de severidad de vibración ISO 10816-6.

Parámetros Operacionales.

30 Mayo de 2016.	Equipo.
	4AI 108
RPM	869
PRESION ACEITE MOTOR (PSI)	50
TEMP. CIL 1L – 1R (°F)	740 – 698
TEMP. CIL 2L – 2R (°F)	755 – 746
TEMP. CIL 3L – 3R (°F)	706 – 678
TEMP. CIL 4L – 4R (°F)	729 – 670
TEMP. CIL 5L – 5R (°F)	754 – 721
TEMP. CIL 6L – 6R (°F)	755 – 724
TEMP. CIL 7L – 7R (°F)	777 – 741
TEMP. CIL 8L – 8R (°F)	759 – 760
AIRE TURBO CARGADOR (PSI)	--
HOROMETRO	

GERENCIA TÉCNICA DE ACTIVOS - VIT
DEPARTAMENTO PLANTAS Y MUELLES.

ANÁLISIS CONDICIÓN DE ACTIVOS



UNIDAD MONITOREADA.

Para el desarrollo del monitoreo se tomaron los siguientes registros.

MOTOR:

- Un (1) registro de vibración y ultrasonido sobre cada culata de cilindro motriz.
- Un (1) registro de presión sobre cada culata de cilindro motriz.
- Un (1) registro de vibración sobre cada bancada del cigüeñal del motor.
- Un (1) registro de vibración en las Bombas de Aceite, Agua Principal, Auxiliar, Turbo Cargador.
- Un (1) registro de datos operacionales.