

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN  
CONDICIÓN, ENFOCADO A LA MEJORA DE LA EFECTIVIDAD DE LOS  
ACTIVOS ROTATIVOS”  
CASO: PLANTA SUPERMETANOL C. A., JOSE ESTADO ANZOÁTEGUI**

**REALIZADO POR:**

*Christian H. Mundarain Castañeda*

**Trabajo de grado presentado ante la universidad de oriente como  
requisito parcial para optar al título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**PUERTO LA CRUZ, 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN  
CONDICIÓN, ENFOCADO A LA MEJORA DE LA EFECTIVIDAD DE LOS  
ACTIVOS ROTATIVOS”  
CASO: PLANTA SUPERMETANOL C. A., JOSE ESTADO ANZOÁTEGUI**

**ASESORES:**

---

Prof. Darwin Bravo  
**Asesor Académico**

---

Ing. José Ortega  
**Asesor Industrial**

**PUERTO LA CRUZ, 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN  
CONDICIÓN, ENFOCADO A LA MEJORA DE LA EFECTIVIDAD DE LOS  
ACTIVOS ROTATIVOS”**

**CASO: PLANTA SUPERMETANOL C. A., JOSE ESTADO ANZOÁTEGUI**

**JURADO:**

**El jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:**

***EXCELENTE***

---

Prof. Darwin Bravo  
Asesor Académico

---

Prof. Luis Griffith  
Jurado Principal

---

Prof. Diógenes Suárez  
Jurado Principal

**PUERTO LA CRUZ, 2009**

## RESOLUCIÓN.

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajo de grado:

*“Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo quien lo participara al Consejo Universitario”*

## **DEDICATORIA.**

Quiero dedicar este trabajo de grado, a Dios, por siempre estar a mi lado.

A mis padres, Esthela Castañeda y Hernán Mundarain, por traerme al mundo, brindarme todo su cariño, y hacer todo lo posible para darme la oportunidad de cumplir con todas mis metas a nivel personal y profesional.

También quiero dedicar este trabajo, de manera muy especial, a mi abuelo Pedro José Castañeda (Peché), quien en vida fue como un segundo padre para mí y, aunque no esté físicamente en este mundo, estoy seguro que siempre estará a mi lado, en mi mente y en mi corazón...

***A ustedes va dedicado con todo mi corazón.***

## **AGRADECIMIENTOS.**

El siguiente trabajo de grado representa el logro de una de las metas más importantes que me he propuesto para la vida, es por esto que quiero agradecer a todos aquellos que, de una u otra forma, hicieron posible el cumplimiento de esta meta.

**A DIOS**, por permitirme ver la luz del día, cada día y por estar siempre a mi lado, sin importar que en ocasiones dude de su presencia.

**A MIS PADRES**, por hacer todo lo posible para que pudiese cumplir con todas mis metas planteadas.

**A PATRICIA**, mi novia y amiga, por estar siempre a mi lado apoyándome, celebrando mis triunfos, compartiendo mis alegrías y soportándome en los momentos difíciles de mi vida.

**A MIS HERMANAS, ABUELA Y DEMÁS FAMILIARES**, por estar pendiente de mí, deseando siempre, cosas buenas para mi futuro.

**A MIS AMIGOS**, José Carrasco, Sergio Guerra, José González, Mario Brache, Luis Martínez, Ronald Torres y Alberto Rondón, que más que amigos, han sido como hermanos para mí, siempre tendiéndome la mano al momento que lo necesitara, sin esperar nada a cambio.

**A LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI Y SUS PROFESORES,** por contribuir en mi formación, tanto académica como personal.

**AL PROFESOR DARWIN BRAVO,** por su asesoría académica, que hizo posible la realización de este trabajo de grado.

**A SUPERMETANOL, C.A.,** y su personal, por permitir el desarrollar este proyecto en sus instalaciones, en especial a Otilio Sánchez, Alí Rodríguez, Orlando Robaina, Saúl Rodríguez, Luís Ron, Jorge Morillo, Severiano Mujica, personal de sala de control, operaciones y programación, por facilitar toda la información necesaria para el desarrollo de este trabajo de grado.

***A todos, Muchas Gracias!!!***

## **RESUMEN.**

El siguiente trabajo fue realizado con la finalidad de diseñar un programa de mantenimiento basado en condición enfocado en mejorar la efectividad de los activos rotativos críticos de la planta Supermetanol C.A., a fin de disminuir las horas de parada no programadas, elevar la productividad del sistema y minimizar los costos asociados al mantenimiento. Para lograr esto, primero se realizó un diagnóstico de la situación de los activos y una recopilación de información técnica. Luego, se determinaron los equipos críticos, empleando una modificación de la metodología desarrollada por el Ing. J.A. Milá de la Roca., y se les realizaron Análisis de Modos y Efectos de falla a dichos equipos, para determinar los modos de falla recurrentes y sus consecuencias. Este análisis sirvió de base para seleccionar las herramientas predictivas, y a partir de ellas se determinaron los procedimientos de inspección y otros aspectos claves como puntos de medición, rutas de muestreo, frecuencia de inspección, actividades. Una vez diseñado todo el programa, se procedió a su ejecución, dando como resultado la detección de diversos problemas que, de no ser corregidos a tiempo, pueden originar fallas que impactarían significativamente en la producción, seguridad y medio ambiente. Además se observó un incremento del porcentaje de activos, en condiciones anormales, a lo largo del tiempo de estudio, causado, en gran medida, por la no programación y ejecución de las acciones de mantenimiento, recomendadas en los reportes generados, posterior a cada inspección.



## ÍNDICE.

<b>RESUMEN.....</b>	<b>VIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA. ....</b>	<b>15</b>
1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA. ....	15
1.1.1 Reseña Histórica. ....	15
1.1.2. Ubicación Geográfica. ....	16
1.1.3. Misión .....	17
1.1.4. Visión .....	17
1.1.5. Objetivos de la Calidad de la empresa .....	17
1.1.6. Proceso Productivo .....	18
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	20
1.3 OBJETIVOS .....	22
1.3.1. General:.....	22
1.3.2. Específicos: .....	22
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>23</b>
2.1. ANTECEDENTES.....	23
2.2. CONCEPTOS Y PRINCIPIOS BÁSICOS.....	25
2.2.1.- Mantenimiento.....	25
2.2.2.- Mantenimiento Correctivo.....	26
2.2.3.- Mantenimiento Preventivo.....	26
2.2.4.- Falla. ....	27
2.2.5.- Tipos de Falla. ....	27
2.2.6.- Equipo.....	28
2.2.7.- Sistema.....	29
2.2.8. Efectividad Operacional.....	29
2.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	32
2.4. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) .....	33

2.4.1. Aspectos generales del AMEF:.....	34
2.5. MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN (MBC).....	35
2.6. ALGUNOS PASOS PARA IMPLEMENTAR UN EFECTIVO PMBC. ....	36
2.7. TECNOLOGÍAS PREDICTIVAS.....	37
2.7.1. Análisis de Vibraciones: .....	38
2.7.2. Tribología y Análisis de Aceite: .....	46
2.7.3. Técnicas de Ultrasonido.....	50
2.7.4. Termografía Infrarroja: .....	51
2.7.5. Análisis de Corriente en Motores:.....	51
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO. ....</b>	<b>52</b>
3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN. ....	52
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	52
3.3. POBLACIÓN.....	53
3.4. MUESTRA.....	53
3.4.1.- Muestra humana: .....	53
3.4.2.- Muestra de equipos:.....	53
3.5. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS.....	53
3.5.1. Técnicas de Recolección de Datos.....	54
3.5.2. Técnicas de Análisis de Datos.....	54
3.6. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
3.6.1. Etapa I: Revisión Bibliográfica.....	55
3.6.2. Etapa II: Diagnóstico de la situación actual de los activos rotativos.....	56
3.6.3. Etapa III: Recopilación de la información técnica.....	56
3.6.4. Etapa IV: Jerarquización de los activos de la planta.....	56
3.6.5. Etapa V: Análisis de los Modos y Efectos de Falla.....	64
3.6.6. Etapa VI: Selección de las Herramientas Predictivas.....	64
3.6.7. Etapa VII: Diseño del programa.....	66
3.5.8. Etapa VIII: Ejecución del programa y presentación de resultados.....	66

<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>67</b>
4.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE LOS ACTIVOS.....	67
4.1.1. Área 4100: Reformación de Gas Natural.....	67
4.1.2. Área 4600: Agua de Calderas. ....	69
4.1.3. Área 5100: Agua Desmineralizada. ....	71
4.1.4. Área 5400: Aire de servicios e instrumentos. ....	73
4.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS. ....	75
4.2.1. Área 4100: Reformación de Gas Natural.....	75
4.2.2. Área 4600: Agua de Calderas. ....	76
4.2.3. Área 5100: Agua Desmineralizada. ....	77
4.2.4. Área 5400: Aire de servicios e instrumentos. ....	79
4.3. JERARQUIZACIÓN DE LOS ACTIVOS DE LA PLANTA.....	79
4.4. ANÁLISIS DE LOS MODOS Y EFECTOS DE FALLA.....	83
4.5. SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS PREDICTIVAS .....	90
4.5.1. Análisis de Vibraciones. ....	90
4.5.2. Ultrasonido.....	93
4.5.3. Monitoreo de Temperatura.....	94
4.5.4. Inspección visual.....	94
4.6. DISEÑO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO. ....	95
4.6.1. Puntos de Inspección.....	95
4.6.2. Rutas de Muestreo.....	98
4.6.3. Frecuencia de Inspección.....	99
4.6.4. Actividades Diarias.....	99
4.6.5. Programas de Inspección Mensual.....	101
4.6.6. Reporte Final.....	106
4.7. REPORTE FINAL. PRIMERA INSPECCIÓN.....	108
Resumen Final. Primera Inspección:.....	115
4.8. REPORTE FINAL. SEGUNDA INSPECCIÓN .....	120
Resumen Final. Segunda Inspección: .....	127

4.9. REPORTE FINAL. TERCERA INSPECCIÓN .....	133
Resumen Final. Tercera Inspección: .....	140
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>147</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>149</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>150</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>153</b>
APÉNDICE A: Instrumento Form-001.....	153
APÉNDICE B: Programas de inspección Mensual. ....	155
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	171

## **INTRODUCCIÓN.**

El mantenimiento industrial puede definirse como un conjunto de técnicas y procedimientos orientados a preservar las funciones de los activos industriales, de forma segura, eficiente y confiable, garantizando la integridad del activo físico, seguridad personal, ambiental, la continuidad del proceso productivo y la calidad del producto final.

El mantenimiento ha sido objeto de continuos cambios, desde su aparición en el escenario industrial. En los años 40, surge lo que es llamado la primera generación del mantenimiento en la industria, cuya única técnica empleada era la reparación posterior a la falla (mantenimiento correctivo). A partir de la década del 50, nace una segunda generación, enfocada en aumentar la disponibilidad y aprovechar al máximo, la vida útil de los activos físicos, todo esto al más bajo costo posible. Para lograrlo, se desarrollaron actividades de mantenimiento preventivo, sistemas de planificación y control.

Esta evolución continuó avanzando progresivamente, dando origen a una tercera generación, que surge a partir de los años 80, cuyos esfuerzos están dirigidos a mejorar la calidad de los productos, aumentar la confiabilidad y efectividad de los activos físicos, mejorar la seguridad y cuidar el ambiente, es decir, hacer el proceso productivo más eficiente, empleando técnicas y procedimientos como, estudios de riesgos, análisis de confiabilidad, disponibilidad, efectividad y mantenimiento basado en condición, que permitieran alcanzar las metas propuestas. A todo esto, se han ido añadiendo nuevas tendencias y filosofías de mantenimiento, de tal forma que actualmente podemos hablar de una cuarta generación. El nuevo enfoque se centra en técnicas proactivas a fin de encontrar la causa raíz del fallo, para minimizar su ocurrencia.

El mantenimiento basado en condición consiste en realizar mediciones sistemáticas de las variables operacionales de una maquinaria o equipo industrial. Al monitorear y registrar, mediante inspecciones periódicas, parámetros claves en el desempeño de una máquina, como variables operacionales, niveles de vibraciones, ruidos ultrasónicos, estado de lubricantes, tiempo entre fallas, es posible obtener patrones o señales que, al analizarlas, permiten determinar la condición del equipo, y de esta manera poder planificar actividades de mantenimiento específicas y programar el momento oportuno para la intervención del activo, antes de que las fallas representen un riesgo para la seguridad personal, el ambiente, la integridad de los equipos y así garantizar la continuidad del proceso productivo.

La gerencia de mantenimiento de la planta SUPERMETANOL, C.A., se ha propuesto implementar un programa de mantenimiento basado en condición, en sus equipos críticos, con el propósito de lograr una disminución en los costos de mantenimiento, reducción de fallas inesperadas, disminuir el inventario de repuestos así como las actividades de mantenimiento preventivo rutinario, incrementar el tiempo entre falla, y por ende la efectividad de los activos rotativos. El trabajo de grado que se presenta a continuación, consta de cuatro capítulos, los cuales se refieren a continuación.

En el **capítulo I**, se mencionan algunos aspectos generales de la empresa, se describe el problema por el cual atraviesa y en función a este, se establece el objetivo general que se persigue, junto a los objetivos específicos. En el **capítulo II** se presentan los antecedentes de esta investigación así como conceptos y principios básicos que permiten una mejor comprensión del tema. El **capítulo III** constituye la metodología a seguir para alcanzar los objetivos propuestos. En el **capítulo IV** se desarrolla el trabajo y se muestran los resultados obtenidos. Por último, se generan las conclusiones y recomendaciones del trabajo propuesto.

# **CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.**

## **1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.**

### **1.1.1 Reseña Histórica.**

En marzo de 1991, con la participación accionaria de los socios industriales **PEQUIVEN** y **ECOFUEL S.P.A.**, cada uno con 34,5% y dos socios financieros, Methanol holding Limited (Chemical Bank) y Banca Commerciale Italiana, cada uno con 15,5 %, se constituye la empresa **SUPERMETANOL, C.A.**

El arranque de la planta, y la necesidad de satisfacer los requerimientos de calidad de los clientes, motivó la necesidad de iniciar la aplicación de normas y controles que permitirán el trabajar con calidad y eficiencia a la empresa, es por ello que se implemento el sistema de calidad ISO 9002/94. Este sistema se basa en la implantación del manual de procedimiento de calidad e intrusiones de trabajo, estos documentos sustentas el desarrollo de la empresa una vez realizado los ajustes y las auditorias pertinentes. La aplicación de este sistema por parte de Supermetanol C.A., le hace ser acreedor de la **certificación ISO 9002/94**, emitido por **DET NORSKE VERITA**.

La planta se diseño con una capacidad de 2000 TMPD (toneladas métricas por día) de metanol, utilizando la tecnología de la Imperial Chemical industries (ICI). En agosto de 1998, se ejecutó el proyecto de ampliación de la planta (Debottenecking), con el objeto de aumentar la producción de metanol a 2300 TMPD.

### 1.1.2. Ubicación Geográfica.

Supermetanol es una de las empresas constituyentes del complejo PEQUIVEN (ver figura 1.1), localizado dentro del complejo Industrial, Petrolero y Petroquímico “General de División José Antonio Anzoátegui”, el cual se encuentra ubicado en la Autopista Rómulo Betancourt (Carretera de la Costa) a 10 Km., aproximadamente, de la ciudad de Barcelona (ver figura 1.2).



**Figura 1.1:** Imagen satelital del complejo PEQUIVEN  
**Fuente:** Google Earth



**Figura 1.2:** Imagen satelital del complejo Industrial, Petrolero y Petroquímico  
“General de División José Antonio Anzoátegui”  
**Fuente:** Google Earth



### **1.1.3. Misión**

Producir metanol de alta calidad, cumpliendo con estrictas normas de seguridad, mediante el mejoramiento continuo del proceso y la especialización de los trabajadores, para garantizar la competitividad en el mercado internacional.

### **1.1.4. Visión**

Ser una empresa líder a escala mundial en la producción de metanol, reconocida por su amplia trayectoria en el mercado internacional, con el respaldo de una eficiente organización representada en sus recursos humanos.

### **1.1.5. Objetivos de la Calidad de la empresa**

- Actualizar y mantener el Sistema de Aseguramiento de la Calidad basado en la norma ISO 9001 2000, capacitando al personal para que responda a las exigencias del mejoramiento continuo de los procesos, a través de la adquisición de técnicas y herramientas para el análisis de los procesos.
- Satisfacer permanentemente las expectativas de nuestros clientes, cumpliendo con la especificación de calidad requerida, con las fechas acordadas y con los costos establecidos.
- Cumplir con los planes de adiestramiento formulados para el personal de la organización, e incentivar programas para promover su motivación y sentido de pertenencia.
- Cumplir con las normas de seguridad, higiene industrial y prevención de accidentes, manteniendo permanente vigilancia en la preservación del medio ambiente.
- Mejorar los procesos, respondiendo adecuadamente a los cambios del mercado, de tecnologías y de necesidades de los clientes.

### 1.1.6. Proceso Productivo

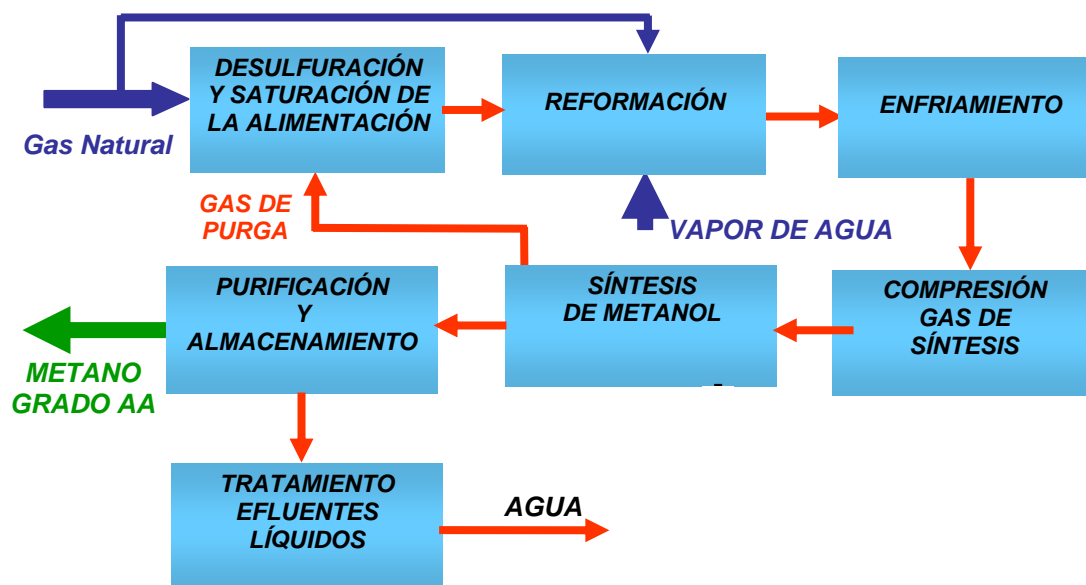
El gas natural, es una mezcla de gases que se encuentran frecuentemente en yacimientos fósiles, sólo, acompañando al petróleo o a los depósitos de carbón. Aunque su composición varía en función al yacimiento del que se extrae, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 o 95%, y suele contener otros gases como nitrógeno, etano, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, butano, propano, y trazas de hidrocarburos.

**Supermetanol C.A.**, posee una capacidad instalada para producir setecientos setenta mil toneladas métricas al año (770 MTMA) de metanol, empleando gas natural y vapor de agua como materias primas. El gas utilizado proviene del campo San Joaquín de PDVSA-GAS, con una cantidad de setenta millones de pies cúbicos normales por día (70 MMPCND), una presión de 18,5 Kg./cm<sup>2</sup> a, temperatura de 22 ° C. La planta cuenta con cuatro secciones principales, las cuales constituyen las etapas para la producción de metanol:

- **Desulfuración y saturación del gas natural:** Se realiza en el reactor de hidrogenación, donde los compuestos orgánicos de azufre se convierten en sulfuro de hidrógeno sobre un catalizador de níquel/molibdeno, luego, en los dos reactores restantes, el sulfuro de hidrógeno es absorbido en un lecho de óxido de zinc.
- **Reformación y enfriamiento del gas de síntesis:** se ejecuta en un horno-reactor donde se lleva a cabo la reacción de reformación. Dicho equipo consiste en una estructura rectangular que contiene 576 tubos llenos de catalizador de óxido de níquel. En el Reactor de síntesis, el gas proveniente del horno reformador es convertido en metanol, utilizando un catalizador de cobre/zinc.

- **Compresión y síntesis de metanol:** El gas proveniente del horno reformador, es enfriado y comprimido a la presión de 83 ATM. Para luego ser enviado al reactor se síntesis.
- **Purificación:** El metanol crudo, pasa por dos fases consecutivas de destilación, para obtener finalmente el metanol con alto grado de pureza.

Una vez obtenido el producto final, este va directamente a empresas como ECOFUEL de Italia, Petroquímica de Venezuela (PEQUIVEN), Superoctanos, C.A. (SOCA), para su comercialización. Los efluentes líquidos originados a lo largo del proceso, son manejados por el sistema de recolección y disposición de efluentes que posee la planta, para luego ser descargados en la planta de Aguas Industriales de Jose, donde son debidamente tratados y posteriormente llevados al mar. En la figura 1.3, se muestra un esquema representativo del proceso, para la producción de metanol, de la planta Supermetanol, C.A.



**Figura 1.3:** Diagrama esquemático del proceso de producción de metanol  
Fuente: Propia

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el año 1998 se desarrolló un programa de expansión en la planta de la empresa **SUPERMETANOL C.A.**, que permitió elevar la producción de metanol de 2000 a 2300 toneladas métricas por día (TMPD), para poder satisfacer las necesidades de sus socios comerciales.

Actualmente, el departamento de rotativos de la empresa **SUPERMETANOL C.A.**, realiza trabajos de mantenimiento preventivo mediante la aplicación de un programa de inspección, a frecuencias fijas, en sus equipos (Bombas centrífugas, turbinas a vapor, ventiladores axiales, bombas reciprocantes, compresores de desplazamiento positivo, compresores centrífugos, entre otros), el cual contempla inspección visual, reposición de lubricante y limpieza general, alineación, revisión de parámetros de proceso, entre otros. Este tipo de mantenimiento basado en horas de operación, a parte de ser costoso a largo plazo para la industria, no ha sido capaz de disminuir las paradas no programadas, trayendo como consecuencia una reducción en las horas efectivas de la planta y por ende, los niveles de producción se han visto severamente comprometidos.

Por esta razón, la superintendencia de mantenimiento, específicamente el departamento de rotativos, estudia la posibilidad de implementar un Programa de Mantenimiento Basado en Condición (PMBC), enfocado a elevar la confiabilidad de los activos industriales, mejorar las labores de mantenimiento y generar mejores prácticas aplicadas a las operaciones y mantenimiento de la maquinaria, con el objeto de incrementar la efectividad de los equipos y permitir, al departamento de mantenimiento, planificar y programar oportunamente las labores de intervención, favoreciendo así la continuidad operacional del sistema de producción.

Para cumplir con el diseño del programa de mantenimiento basado en condición (PMBC), es necesario conocer la situación de los activos rotativos a incluir en la propuesta, recopilar toda la información técnica necesaria para el análisis de los datos y desarrollar un análisis de criticidad a fin de aplicar las herramientas predictivas a los equipos que más lo requieran. Estas herramientas serán seleccionadas, basadas principalmente en la capacidad de detectar, de forma anticipada, los síntomas que indican la posible ocurrencia de los modos de falla identificados en los Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), que serán desarrollados en los equipos de mayor impacto en el proceso productivo.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1. General:**

“Diseñar un Programa de Mantenimiento Basado en Condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos de la planta Supermetanol C.A., en Jose, estado Anzoátegui”

### **1.3.2. Específicos:**

1. Diagnosticar la situación de los activos rotativos de la planta.
2. Recopilar la información técnica de los activos.
3. Identificar los equipos críticos dentro de los activos rotativos de la planta.
4. Determinar los Modos y Efectos de fallas (AMEF) de los equipos críticos.
5. Seleccionar la herramienta de Mantenimiento Basado en condición, que más se adapte al entorno operacional.
6. Diseñar el Programa de Mantenimiento Basado en Condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

### 2.1. ANTECEDENTES.

A continuación se presenta un resumen de los trabajos de investigación relacionados con el tema de este proyecto, que servirán de apoyo, ya sea por su contenido o metodología, para el desarrollo del trabajo de grado:

- TROCEL, David. **“Implementando un efectivo Programa de Mantenimiento Basado en Condición”**. Artículo publicado en la revista MECANÁLISIS en su edición aniversario. Abril – mayo del 2007. Pág. 9.

En este artículo, el Ing. David Trocel, presenta una explicación general de lo que es un Mantenimiento Basado en Condición (PMBC), ventajas de este, pasos a seguir para implementar un efectivo PMBC., entre otras informaciones de gran interés en relación al tema.

- RIVAS, Anahys. **“Implementación del Mantenimiento Predictivo basado en el análisis de Vibración en la Empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.”** Trabajo presentado ante la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico. Puerto la Cruz, abril del 2003.

Este trabajo fue realizado con la finalidad de evaluar y presentar soluciones a la problemática planteada por medio del diagnóstico de fallas incipientes en los equipos, lo cual sirvió de base para mejorar los programas de inspección y mantenimiento, cumpliendo de ese modo con los lineamientos para la reducción de demoras por fallas en los equipos rotativos de las cintas transportadoras de la planta de procesamiento del mineral de hierro de la empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A., de una manera más efectiva.

- SALAZAR, Francisco. **“Mejoras en el Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibración en Equipos Rotativos de la planta Catalítica y Alquileración”** Trabajo presentado ante la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico. Puerto la Cruz, junio del 2004.

El presente trabajo tiene como objeto principal proponer mejoras en el seguimiento vibracional de los equipos que conforman las plantas alquileración y catalítica de la refinería puerto la cruz con el fin de detectar posibles fallas, asignarles nuevos valores vibracionales de prealarma y alarma más confiables a los equipos y mejorar su base de datos en el software **PRISM**<sup>4</sup> añadiéndole herramientas que permitan al usuario realizar un mejor análisis de la condición mecánica de los mismos.

- AGUILERA, Javier Antonio **“Análisis de Espectros de Vibración en los Motocompresores Marca Clark, Modelo TLA10”** Trabajo presentado ante la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico. Puerto la Cruz, marzo del 2003.

Este proyecto fue realizado con la finalidad de aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los compresores Clark TLA10, bajar los costos de mantenimiento al disminuir las fallas que requieren de mantenimiento correctivo, además de incrementar la producción y manejo de gas de la planta Santa Ana III y Zapato del estado Anzoátegui.



## 2.2. CONCEPTOS Y PRINCIPIOS BÁSICOS

### 2.2.1.- Mantenimiento.

Conjunto de acciones que permite mantener o restablecer un dispositivo a un estado específico de operación, para cumplir un servicio determinado. También puede definirse como de técnicas y procedimientos orientados a preservar las funciones de los activos industriales. El ingeniero de mantenimiento de hoy debe definir las acciones proactivas y preventivas para minimizar el desgaste de los componentes de la maquinaria y asegurar que esta opere de manera segura, eficiente y confiable, garantizando, además de la integridad del activo físico, la seguridad personal y ambiental. El mantenimiento Mundial ha evolucionado desde sus inicios; la figura 2.1 muestra algunos de los aspectos que han cambiado a lo largo del tiempo. [5]



**Figura 2.1:** Evolución del Mantenimiento Industrial

**Fuente:** Revista Mecanálisis (2006)

### **2.2.2.- Mantenimiento Correctivo.**

Es una actividad que se realiza después de la ocurrencia de la falla. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones originales, por medio de la restauración o reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgastes, daños o roturas. [5]

### **2.2.3.- Mantenimiento Preventivo.**

Esta forma de mantenimiento surge debido a la necesidad de remediar los inconvenientes del mantenimiento correctivo. A diferencia del anterior, la sustitución de las piezas o partes del sistema que pudieran causar averías se realiza con una cierta periodicidad, determinada mediante criterios estadísticos. Así la sustitución de un determinado elemento puede realizarse después de un cierto tiempo preprogramado. Para la planificación de actividades de mantenimiento preventivo, es necesario una correcta aplicación de criterios estadísticos para determinar los tiempos adecuados de intervención. [6]

Mantenimiento preventivo, involucra todas las acciones que se planean y programan con el objetivo de ajustar, reparar o cambiar partes en equipos, antes de que ocurra una falla o daños mayores, eliminando o reduciendo al mínimo los gastos de mantenimientos y por supuesto, estableciendo controles para aumentar la productividad [7].

Dentro del mantenimiento preventivo, se encuentra una técnica denominada **Mantenimiento Predictivo**, que se basa principalmente en el análisis de la condición. Su punto fuerte está en que es capaz de brindar información que permite conocer el estado de un elemento en un momento determinado y como ha sido su comportamiento a través del tiempo. Es decir, permite asignar los recursos de acuerdo

a las necesidades de cada equipo conocidas antes de que ocurra la falla, mediante el monitoreo de la condición. El monitoreo de la condición no es más que un proceso que consiste en medir periódicamente una o varias variables asociadas a la máquina e interpretarlas con el fin de conocer el estado en que se encuentra. [2]

#### **2.2.4.- Falla.**

Se dice que un componente o equipo ha fallado cuando llega a ser completamente inoperante, puede todavía operar, pero no puede realizar satisfactoriamente la función para la que fue diseñado o por serios daños es inseguro su uso, es decir, no puede o ha perdido la capacidad para cumplir su objetivo a satisfacción, ya sea en cantidad, calidad u oportunidad. [8]

Incapacidad de un sistema o de uno de sus componentes para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado. Una condición de falla es simplemente un estado de operación insatisfactorio.

#### **2.2.5.- Tipos de Falla.**

- **Falla Evidente:** Situación en la que la persona encargada de operar un equipo puede detectar una condición anormal utilizando únicamente sus sentidos, por ejemplo cuando observa un incremento en la presión diferencial de un filtro, puede advertir que este se está taponando, o cuando observa que una bomba no descarga la presión requerida por posible excesivo desgaste del impulsor, o cuando nota una alta temperatura de un rodamiento como consecuencia de deficiencias en la lubricación. [9]

- **Falla Oculta:** No se puede detectar durante la operación normal del equipo, estas fallas ocurren cuando se activa un evento secundario, por ejemplo una válvula de seguridad se mantiene stand by hasta que cierta presión es alcanzada por el recipiente que esta protege, en ese momento es cuando sabemos si trabaja correctamente o no.[9]
  
- **Falla Incipiente:** En la mayoría de los casos las fallas son producto de un proceso de deterioro progresivo y cuantificable permitiéndose la predicción del tiempo para la falla. Incipiente es el momento en el que la falla se hace detectable. Vigilando los parámetros apropiados y definiendo valores permisibles esto resulta una tarea relativamente sencilla, la falla incipiente desde el punto de vista de la Confiabilidad es una falla funcional, es decir una de las funciones del sistema ha caído ha límites inaceptables y deben planificarse las acciones proactivas, preventivas y/o correctivas oportunas para evitar la falla de la función principal del sistema. [9]

#### **2.2.6.- Equipo.**

Esta constituido por un grupo de partes ubicadas dentro de un paquete identificable, el cual cumple al menos una función de relevancia en forma independiente. Además se considera como un bien económico y técnico sujeto a mantenimiento. (Ej. Motores, bombas, intercambiador de calor, compresores de turbinas, cajas reductoras, etc.) [5]

### 2.2.7.- Sistema.

Es un nivel de detalle constituido por un grupo de equipos que cumplen una función en específico. La mayoría están configurados en función a los procesos. (Ej. Sistema de Bombeo, Sistema de Tratamiento de Agua, Sistema de Generación Eléctrica, etc.) [10]

### 2.2.8. Efectividad Operacional.

Puede definirse como la capacidad, que posee un equipo o sistema, de cumplir con sus funciones específicas y producir el efecto esperado. La efectividad relaciona las horas que el equipo esta produciendo y las horas que dispone para hacerlo. Esta relación se evidencias en la ecuación para el calcula de la efectividad, mostrada a continuación:

$$\text{Efectividad} = \frac{\text{Horas Efectivas}}{\text{Horas Disponibles}} \times 100 \quad \text{Ec. 2.1}$$

La efectividad operacional esta estrechamente relacionada con las siguientes variables:

#### ➤ **Confiabilidad.**

Es la probabilidad de que un equipo cumpla una función específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin falla, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. [11]. Si la efectividad de un equipo disminuye, es posible de que este se haga menos confiable debido a la reducción del tiempo entre fallas.

➤ **Disponibilidad.**

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. [11]. Si la disponibilidad disminuye, es probable que también lo hagan las horas en que el equipo produce, y por ende, se hace menos efectivo. Esta relación se puede observar en la figura 2.2

➤ **Mantenibilidad.**

Está definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). [11]. La mantenibilidad aumenta a medida que el tiempo fuera de servicio (TFS) disminuye. Un aumento del TFS trae como consecuencia elevación de las horas de parada y por ende reducción en la efectividad.

➤ **Horas Calendario.**

Corresponden a las horas que un equipo está presto a cumplir la función para la cual fue diseñado, durante un tiempo determinado por la organización de mantenimiento.

➤ **Horas disponibles.**

Son las horas en que el equipo o sistema se encuentra disponible para operar y para ejecutar reparaciones de fallas imprevistas, sean estas de mantenimiento, de operación o externas.

➤ **Horas de parada programada.**

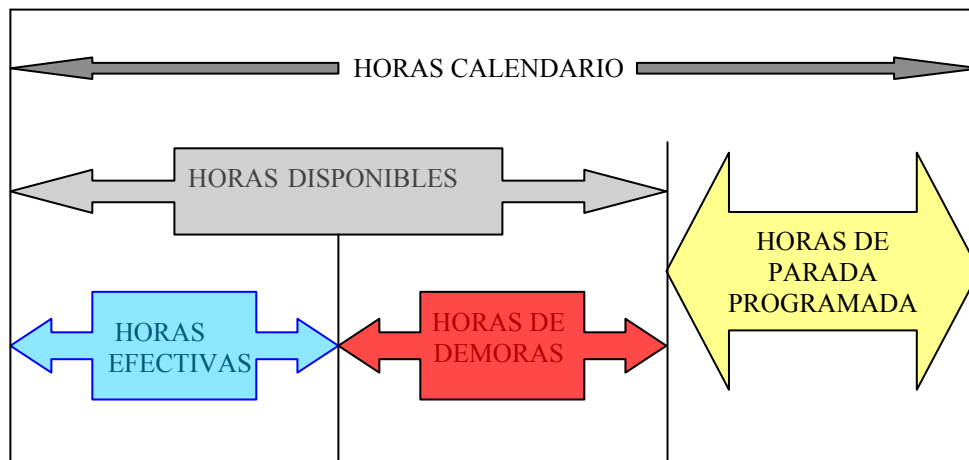
Son las horas en que el equipo o sistema se encuentra paralizado por ejecución de actividades incluidas en los programas de mantenimiento.

➤ **Horas de demora.**

Son las horas en que el equipo o sistema no produce por causas imprevistas, las cuales pueden ser de tipo operacional, de mantenimiento o demoras externas.

➤ **Horas efectivas.**

Comprenden las horas en que el equipo o sistema esta apto para operar.



**Figura 2.2.** Tiempos para Disponibilidad y Efectividad Operacional.

**Fuente:** Diógenes Suárez (2006)

### 2.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. El análisis de criticidad genera una lista desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos ó elementos que formen parte de la zona de alta criticidad. [12]

El ing. Rosendo Huerta Mendoza en su artículo titulado “EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD, UNA METODOLOGÍA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL” (2001) plantea que: “El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.” [12]

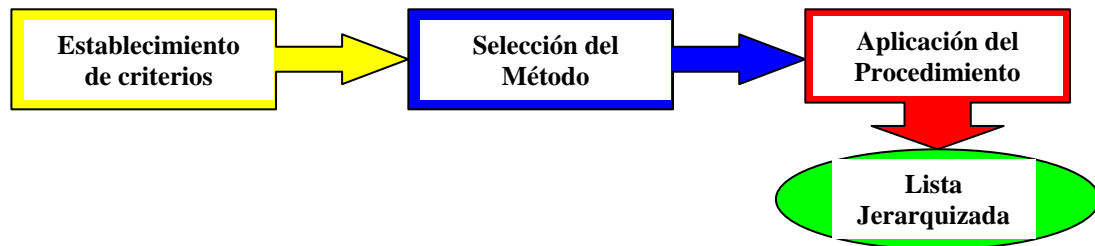
Un esquema general para la elaboración del análisis de criticidad es equivalente al mostrado en la figura 2.3. Se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes aspectos:

- Seguridad
- Ambiente



- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. La aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis. [12]



**Figura 2.3:** Esquema General para la elaboración del Análisis de Criticidad

**Fuente:** Propia

#### 2.4. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

(Alandón, 1991) define el AMEF como una metodología sistemática que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Con la realización del AMEF, se obtiene la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias.

### 2.4.1. Aspectos generales del AMEF:

- **Función del Activo.** Se define como el desempeño esperado de un equipo o herramienta para cumplir con un propósito específico. [12]
  - **Funciones Primarias.** Es el propósito fundamental del activo, para lo que fue concebido, es decir, para lo que se necesita y de lo que es capaz. [12]
  - **Funciones Secundarias.** Son las que soportan el cumplimiento de las funciones primarias, entre ellas, integridad ambiental y estructural, seguridad, control, confort, apariencia y dispositivos de protección. [12]
  
- **Falla Funcional.** Se define como el incumplimiento de una función, esta puede ser parcial o total. La falla funcional total es aquella en la que se evidencia una imposibilidad absoluta de cumplir la función principal del activo mientras que en la falla funcional parcial la función se cumple pero no de forma total. [12]
  
- **Modos de falla.** Son las distintas formas, modos y maneras en las que puede fallar un equipo o componente de un equipo capaz de generar una pérdida parcial o total de su función. Los modos de falla pueden ser definidos para cualquier tipo de activo, desde un nivel muy general, hasta uno muy particular. [12]
  
- **Efecto de la falla.** Es la evidencia o los hechos de que la falla ha ocurrido, e indica la secuencia de eventos desde que se inicia hasta que culmina la falla, y donde es recomendable establecer las consecuencias de la misma, esto incluye impacto en la seguridad, higiene, económico y operacional de la falla. [12]

## 2.5. MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN (MBC)

La detección y diagnóstico de problemas en una máquina sin detener su funcionamiento es el método de mantenimiento más conveniente. Según esto, se pueden detectar los problemas anticipadamente cuando los efectos que causan la falla son incipientes y no afectan por lo tanto el funcionamiento del equipo, además permite diagnosticar la naturaleza del problema con la máquina en funcionamiento. El objetivo del monitoreo de la condición de la maquinaria es recopilar el mayor número de datos representativos de su funcionamiento con la finalidad de detectar las fallas en sus primeras etapas. El esquema mostrado en la figura 2.4 representa el proceso general del mantenimiento basado en condición, el cual inicia con el monitoreo rutinario de los activos.



**Figura 2.4:** Proceso del Mantenimiento Basado en Condición.

**Fuente:** David Trocel (2007).

## **2.6. ALGUNOS PASOS PARA IMPLEMENTAR UN EFECTIVO PMBC.**

### **a) Recopilar las especificaciones técnicas de los activos**

Es un paso crítico en la cadena del PMBC, el proceso de análisis de los datos y diagnóstico de las fallas depende en gran medida de la información técnica de los activos a monitorear, se deben conocer las características mecánicas, eléctricas y operacionales de estos activos. ¿Qué tipo y modelo de rodamientos usa?, ¿se trata de una compresor centrifugo o de uno de tornillo?, ¿cuál es el producto manejado?, ¿velocidad, presión y temperatura de trabajo?. [1]

### **b) Identificar los activos a incluir en el programa**

Se trata de listar la maquinaria que será monitoreada, esta selección principalmente se basa en la criticidad de los equipos. ¿Qué tan sensibles son los activos para el proceso productivo?, ¿Cuál es su impacto a la seguridad y al ambiente en caso de fallas?, ¿Cuál es el costo o complejidad de su mantenimiento?, ¿Cuáles equipos tienen fallas recurrentes o con mayor frecuencia? Las respuestas a estas preguntas nos indican el estatus de criticidad de estos equipos y son la primera referencia para seleccionar los activos que integrarán el PMBC. Comenzar con los más críticos es una buena práctica y luego progresivamente incluir los de menor criticidad. Este paso se apoya en el denominado **Análisis de Criticidad**. [1]

### **c) Determinar el modo y efecto de falla de los equipos seleccionados**

Se debe conocer cuales son los mecanismos que pueden desencadenar en una falla y las consecuencias de esto. Esta información es importante a fin de seleccionar la tecnología y los procedimientos de inspección. Esto requiere del conocimiento de la maquinaria desde el punto de vista mecánico, eléctrico y operacional. Saber como

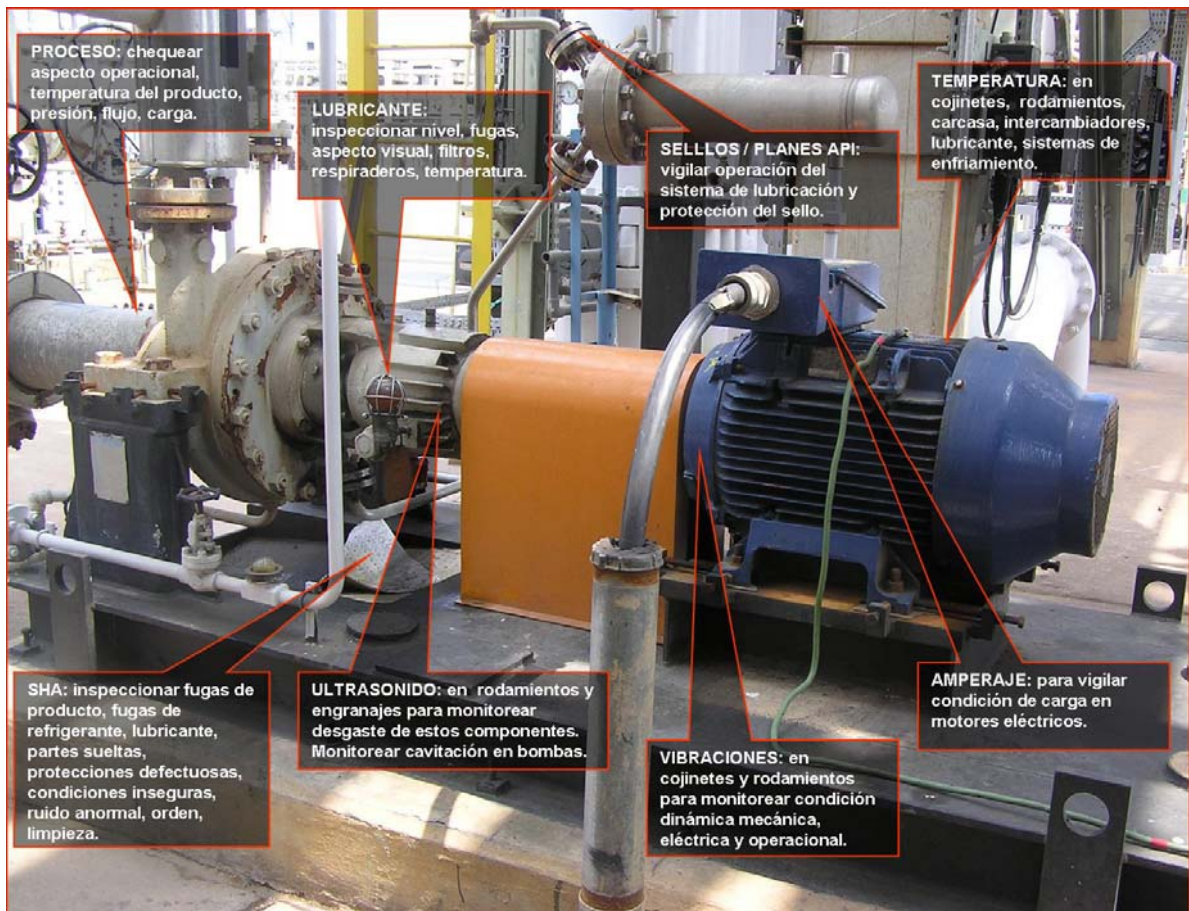
la máquina está conformada y como trabaja nos indica los modos en que puede fallar, así se definirá la mejor forma de captar los síntomas de estas fallas en su estado prematuro. Este proceso se conoce como **Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)**. [1]

#### **d) Seleccionar la tecnología predictiva**

Existe un arsenal de tecnologías que permiten captar el lenguaje de la maquinaria. El como la máquina expresa su salud a través de diversos parámetros, es la clave para seleccionar la tecnología adecuada, aquella capaz de captar condiciones anormales en estado prematuro, antes de que las fallas se hagan incontrolables. Estas tecnologías especializadas miden y registran variables representativas del estado funcional de la maquinaria a un nivel tal que permita hacer seguimiento a la evolución de los diversos problemas detectados y activen el potencial de la planificación y programación oportuna y específica del mantenimiento. [1]

## **2.7. TECNOLOGÍAS PREDICTIVAS**

Las tecnologías predictivas son herramientas que permiten detectar con suficiente anticipación cambios en las condiciones mecánicas, eléctricas y operacionales de la maquinaria a través del monitoreo de variables como temperatura, ultrasonido, vibración, entre otras. En los programas de mantenimiento basados en condición, se utilizan distintas herramientas predictivas que permiten inspeccionar aspectos claves, sobre los activos físicos industriales. Algunos de estos aspectos se reflejan en la figura 2.5.



**Figura 2.5:** Algunos aspectos a inspeccionar en un PMBC

**Fuente:** Revista Mecanálisis (2006).

### 2.7.1. Análisis de Vibraciones:

Esta tecnología se ha convertido en una de las herramientas de inspección más usadas en el monitoreo de maquinaria rotativa, se aplica sobre una gran variedad de tipos de máquinas y genera información muy confiable para el diagnóstico y predicción de diversas fallas. La vibración posee características que hacen posible el diagnóstico de distintas fallas a través de su medición, registro y análisis:

- Toda maquinaria vibra implícitamente como parte de su operación normal.
- Los niveles anormales de amplitud de vibración son consecuencia de la presencia o avance de alguna falla.
- La gran mayoría de las fallas mecánicas generan señales de vibración con patrones característicos.[14]

La primera guía o referencia oficial para caracterizar el desempeño dinámico de componentes de máquinas referente al nivel de vibraciones fue la Carta Rathbone (tabla 2.1), introducida por T.C. Rathbone en 1939, aquí se especificaban niveles límites de amplitud global de vibración en unidades de velocidad (pulg./seg.) pico, estableciendo diferentes grados de aceptación desde “suave” hasta “muy rudo”, esta referencia se mantuvo vigente por 35 años, y fue perdiendo su utilidad con el desarrollo de nuevos instrumentos y aplicaciones que requerían niveles límites de amplitud basados en rangos de frecuencias específicos, tipo y tamaño de máquinas lo cual no era tratado en esta carta.[14]

**Tabla 2.1:** Carta de Severidad de RATHBONE. **Fuente:** Revista Mecanálisis (2006).

AMPLITUD DE VELOCIDAD DE VIBRACIÓN PULGADAS / SEG. (VALOR PICO)	SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN
0,628	MUY RUDO
0,314	RUDO
0,157	LIGERAMENTE RUDO
0,0785	JUSTO
0.0392	BUENO
0,0196	MUY BUENO
0,0098	SUAVE
0,0049	MUY SUAVE

Actualmente la industria cuenta con diferentes referencias para establecer los niveles de amplitud de vibración permisible para sus equipos rotativos:

- Estándares industriales como las normas API, ISO, AGMA, VDI, NEMA.
- Recomendaciones de los fabricantes de máquinas.
- Recomendaciones de los fabricantes de instrumentación y equipos para el Monitoreo y análisis de vibraciones.

Los estándares son criterios establecidos por autoridades, organizaciones o consenso general. Un estándar debe representar un amplio consenso de opiniones de una gran variedad de usuarios, debe ser aceptado y aplicado en toda su plenitud. Los estándares deben ser claros, concisos y fácilmente entendibles. En materia de monitoreo y análisis de la señal de vibración en equipos rotativos se cuenta hoy en día con una variedad de estándares que regulan los límites máximos aceptables de amplitud para diversos tipos de máquinas y aplicaciones, los estándares además regulan los procedimientos de medición y adquisición de los datos.[14]

La Organización Internacional de Estándares (ISO) estableció una serie de normas para regir el monitoreo de vibraciones. La serie ISO 7919 (tabla 2.2), regula los criterios de evaluación en máquinas no reciprocantes para mediciones en el eje de máquinas rotativas. La serie ISO 10816 (tabla 2.3), establece los criterios para mediciones sobre los pedestales o carcasa de las máquinas no reciprocantes. [14]



**Tabla 2.2:** Serie de normas ISO 7919

<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y MEDICIÓN DE VIBRACIÓN            MECÁNICA EN MÁQUINAS NO RECIPROCANTES, MEDICIONES            HECHAS SOBRE EL EJE</b>	
<b>SERIE ISO 7919</b>	
<b>7919 – 1 / 1996</b>	<b>Criterios generales</b>
<b>7919 – 2 / 2001</b>	<b>Turbinas y generadores apoyados en tierra mayores de 50 Mw. con velocidad normal de operación de 1500, 1800, 3000 y 3600 rpm</b>
<b>7919 – 3 / 1996</b>	<b>Máquinas industriales acopladas</b>
<b>7919 – 4 / 1996</b>	<b>Conjunto de turbinas de gas</b>
<b>7919 – 5 / 1997</b>	<b>Máquinas que generan potencia hidráulica</b>

**Tabla 2.3:** Serie de normas ISO 10816

<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y MEDICIÓN DE VIBRACIÓN            MECÁNICA EN MÁQUINAS INDUSTRIALES, MEDICIONES HECHAS            SOBRE LA CARCASA O PARTES ESTÁTICAS</b>	
<b>SERIE ISO 10816</b>	
<b>10816 – 1 / 1995</b>	<b>Turbinas y generadores apoyados en tierra mayores de 50 Mw. con velocidad normal de operación de 1500, 1800, 3000 y 3600 rpm</b>
<b>10816 – 2 / 2001</b>	<b>Criterios generales</b>
<b>10816 – 3 / 1998</b>	<b>Máquinas industriales con potencias superiores a 15 Kw. y velocidad normal entre 120 y 15000 rpm. mediciones en sitio de operación</b>
<b>10816 – 4 / 1998</b>	<b>Conjunto turbinas de gas excluyendo las aeroderivativas</b>

El Instituto Americano de Petróleo (API) establece los valores límites de amplitud de vibración en los estándares que regulan el diseño, mantenimiento, inspección y operación de cada tipo de maquinaria en particular. Así el estándar API 610 que regula estos aspectos para bombas centrífugas, identifica los valores límites aceptables para este tipo de máquinas; lo propio aplica para el API 617 definida para

compresores centrífugos y axiales, el API 613 para cajas de engranajes, API 611 para turbinas de vapor y la norma API 619 para compresores rotativos de desplazamiento positivo.

### **Técnicas para el Diagnóstico de Fallas Mediante Análisis de señales de vibraciones.**

El objetivo del diagnóstico de fallas es determinar cual es el problema específico que se ha producido cuando el sistema de vigilancia indica que ha ocurrido algún cambio en los valores de las magnitudes monitoreadas. Existen diversas técnicas para el análisis de señales vibracionales con el propósito de diagnosticar la condición de los equipos. A continuación se mencionan algunas de ellas:

#### **➤ Análisis de Señales en el Tiempo.**

Una señal de tiempo describe el comportamiento de la vibración en el transcurrir del tiempo. A pesar de que esta señal no es tan útil como los otros formatos, puede proveer una pista en la condición de la máquina, que no es siempre evidente en un espectro de frecuencia. [15].

#### **➤ Nivel de Vibración “Overall”**

El nivel de vibración Overall es la medida total de la energía asociada con todas las frecuencias que componen el espectro de la vibración. El valor de vibración Overall es comparado con el valor tomado cuando la máquina se encuentra en buenas condiciones de operación, así como con los valores de alarmas establecidos. Estos valores son graficados para observar los cambios en la condición de operación en períodos de tiempos determinados. [15].

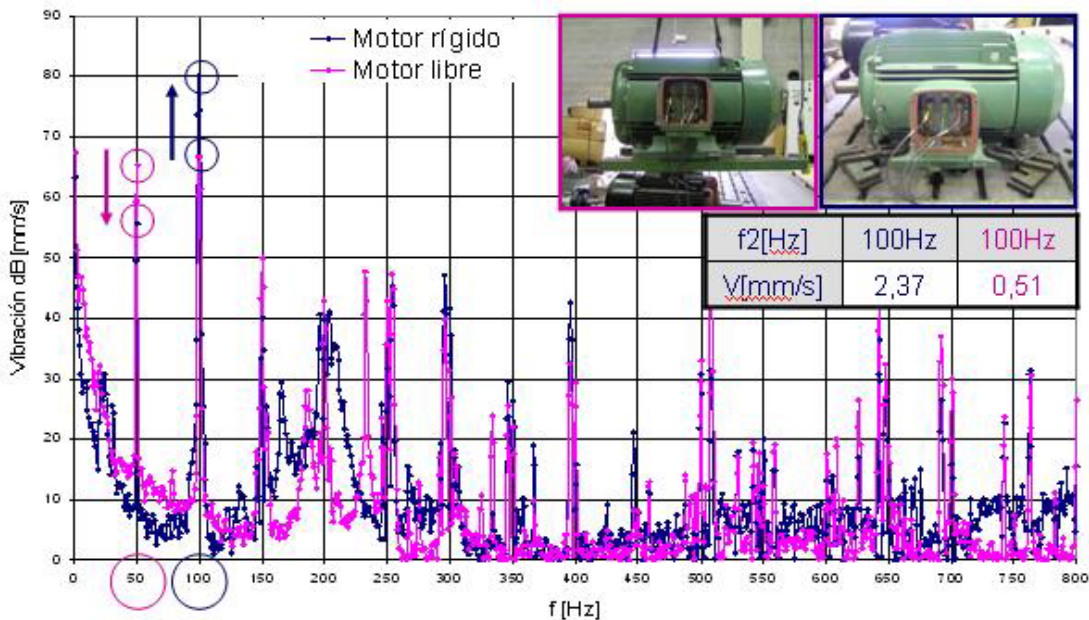
Esta técnica es la más rápida para evaluar la condición de la maquinaria y es un buen inicio cuando los valores son comparados con lecturas anteriores, ya que permite determinar cuando la máquina está vibrando más de lo usual. Sin embargo, suministra poca información para realizar un diagnóstico y no son precisas para medir señales de vibración de bajas frecuencias. [15].

➤ **Análisis Frecuencial o Espectral.**

La técnica básica del diagnóstico de fallas es el análisis frecuencial o espectral. Esta consiste en descomponer la señal vibratoria, medida con un sensor de vibraciones, en sus componentes espectrales en frecuencia. Esto permite, en el caso de las máquinas, correlacionar las vibraciones medidas, generalmente en sus descansos, con las fuerzas dinámicas que actúan dentro de ellas. Esta técnica permite determinar la causa de la vibración y observando la tendencia se conocerá cuando estos problemas se convertirán en críticos. [15].

El análisis espectral, en términos sencillos, es la descomposición del valor Overall, en las diferentes frecuencias que componen la señal, las cuales corresponden en sí, a las armónicas de un movimiento periódico. El resultado de esta representación es conocido como espectro FFT. Un espectro FFT es una herramienta muy poderosa al sospechar de la existencia de un problema en la máquina, ya que suministra información que ayuda a determinar la localización y causa del mismo, siendo esta una de las tareas más difíciles en el análisis de condición de la maquinaria. [15].

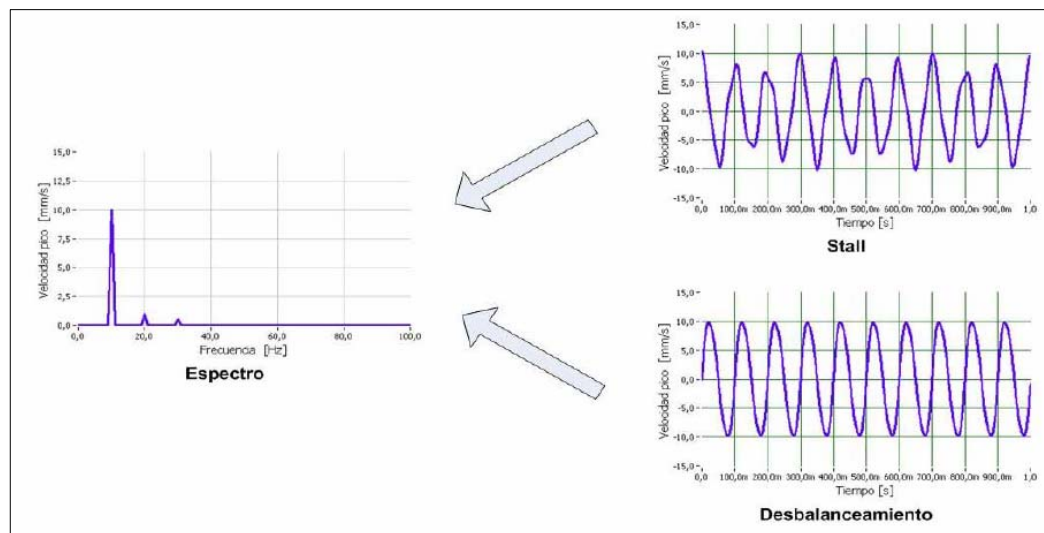
Los espectros de frecuencias, generalmente, se refieren a la frecuencia de giro del equipo que se está analizando, correspondiendo a esta, el valor de 1X. Si existen armónicos o subarmónicos de la frecuencia de giro, estos se denominarán 2X, 3X, nX. En la figura 2.6 se muestra un ejemplo comparativo de un espectro de frecuencia de un motor eléctrico con fundación rígida y libre.



**Figura 2.6:** Espectro comparativo de un motor eléctrico fijado a bancada y suspendido. **Fuente:** Atanasi Jornet (2005)

### ➤ Análisis de la Forma de la Onda Vibracional

El análisis de la forma de la vibración u onda en el tiempo, es un análisis complementario al de espectros y, para detectar algunos problemas específicos como impactos y transientes, es más efectivo que el anterior. Sin embargo, en una gran parte de problemas deberían ser usados integradamente, como se ilustra en la figura 2.7, la cual muestra un espectro con una componente predominante cuya frecuencia es 1X RPM. Solo con este análisis no se puede asegurar, como normalmente se hace, que el problema es desbalance. El desbalance del rotor genera una forma de onda que se aproxima a la sinusoidal. Otro problema que genera el mismo espectro, pero una forma de onda de amplitud variable en el tiempo, es el stall o desprendimiento del fluido en los álabes de un impulsor de una bomba centrífuga cuando trabaja a un caudal muy bajo del nominal. [15].

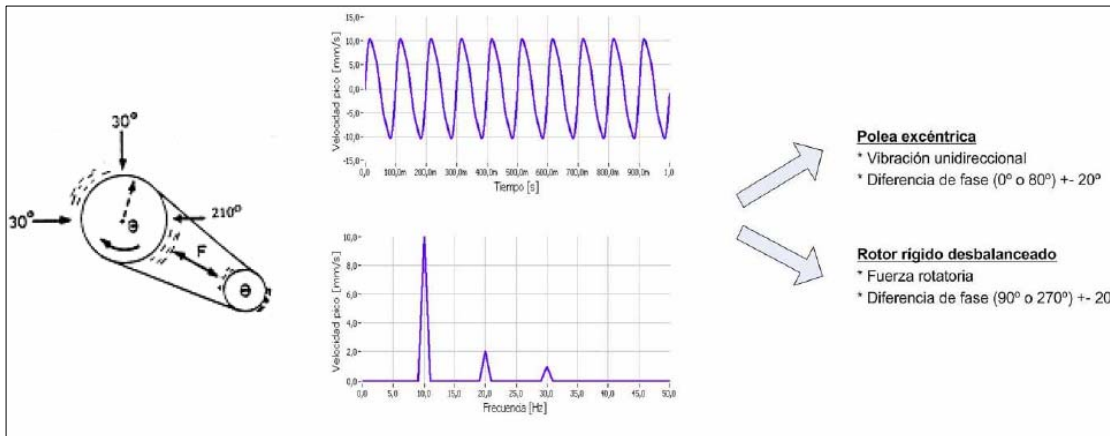


**Figura 2.7:** Formas de onda de un rotor desbalanceado y un impulsor con desprendimiento. **Fuente:** Pedro Saabedra (2004)

### ➤ **Análisis de la Diferencia de Fase de Vibraciones**

La diferencia de fase entre dos vibraciones de igual frecuencia, se puede definir como la diferencia en tiempo o en grados con que ellas llegan a sus valores máximos, mínimos o cero. La fase de las vibraciones se mide normalmente respecto a un punto de referencia obtenido de un fototacómetro.

La figura 2.8 ilustra como el análisis de la diferencia de fase entre las componentes a la velocidad de rotación de la máquina, medidas en dirección horizontal y vertical, permiten diferenciar entre dos problemas: desbalanceamiento del rotor y polea montada excéntrica en el eje, los cuales presentan espectros y formas de ondas similares, pero diferencias de fase marcadas, en ambos casos. [15].



**Figura 2.8:** Diferencia de fase entre las vibraciones horizontal y vertical para un rotor rígido desbalanceado y para una polea montada excéntrica.

**Fuente:** Pedro Saabedra (2004)

### 2.7.2. Tribología y Análisis de Aceite:

La tribología es la ciencia y tecnología que estudia la fricción entre superficies con movimiento relativo entre sí, incluye también el estudio de la lubricación y el desgaste. Los aceites y grasas lubricantes representan la “sangre” de la maquinaria industrial, sus funciones básicas son disminuir la fricción, el desgaste y disipar el calor, por lo tanto el monitoreo del aceite o el de sus propiedades es de vital importancia para definir el estado o condición de una máquina. el monitoreo de la condición de los lubricantes comprende el estudio y análisis de sus propiedades físicas y químicas como la viscosidad, la temperatura, la acidez, nivel de aditivos, la presencia de elementos contaminantes como agua o partículas sólidas y el estudio de los elementos de desgaste de componentes.[14]

El análisis de lubricantes como tecnología de inspección predictiva-proactiva se ha convertido en una herramienta de amplio uso en los programas de

mantenimiento industrial, esto fundamentalmente apoyado por los avances en los sistemas que de crónicos e informáticos de hoy. Como un instrumento de mantenimiento, el monitoreo y análisis de lubricantes es usado para determinar la condición de una amplia gama de maquinarias y equipos, la meta de esta aplicación es incrementar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de las plantas industriales a través de la minimización de las fallas inesperadas, reducción de los costos asociados al consumo de lubricantes, consumo de energía, repuestos y sobre tiempo. [16]

### **¿Por qué monitorear la condición de los lubricantes usados?**

El lubricantes es un componente más de toda la máquina, por ello debe ser inspeccionado. El aceite y la grasa son el fluido vital de los equipos rotativos, de la salud de lubricantes depende en gran medida la salud de la maquinaria. Las funciones de lubricantes son esenciales para la operación eficiente, confiable y segura de un complejo industrial: disminuye la fricción, protege contra la oxidación y la corrosión, proveer refrigeración y actúa como medio hidráulico.

Para monitorear cualquier sistema, máquina o componente es necesario conocer sus modos y efectos de falla, esto asegurará que se inspeccionarán las variables adecuadas y que se tomarán las acciones proactivas para evitar que se presenten estas fallas. Básicamente un lubricante posee tres modos de falla:

#### **1.- Contaminación por agentes externos o extraños al sistema de lubricación.**

- Contaminación sólida: tierra, polvo, polución.
- Contaminación por desgaste de elementos de máquina.
- Contaminación líquida: agua, combustible, refrigerantes, ácidos, aceites erróneos
- Contaminación gaseosa: aire, dióxido de carbono y otros gases

## **2.- Pérdida de las propiedades físico químicas**

- Por exceso de temperatura
- Agotamiento de aditivos
- Carga excesiva
- Exceso de lubricantes
- Bajo nivel o deficiencia
- Fin de su vida útil

## **3.- Mala selección y/o aplicación.**

El término mantenimiento predictivo se refiere a la capacidad de esta técnica para detectar anomalías en el lubricantes con suficiente anticipación a las fallas, el lubricantes es evaluado en el nivel microscópico permitiendo identificar contaminantes, elementos de desgaste o pérdida de sus propiedades en las etapas incipientes, antes de que estas fallas desarrollen síntomas más avanzados como ruido ultrasónico, alta temperatura, vibración anormal. [16]

### **¿Qué monitorear en un lubricantes usado?**

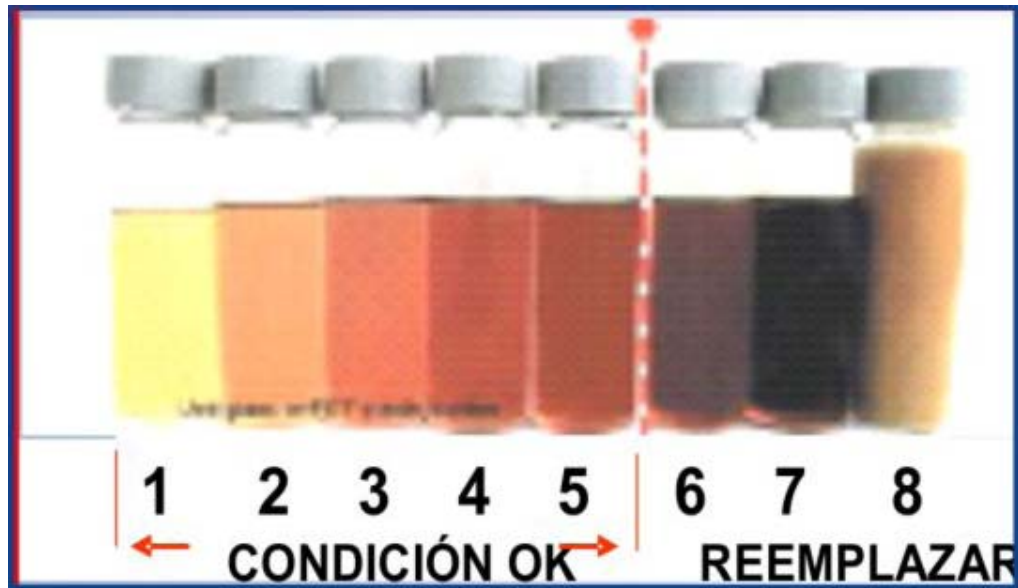
En base al Análisis de los Modos y Efectos de Falla elaborados por los fabricantes, en un lubricante debe inspeccionarse sus propiedades físico-químicas, los niveles de contaminación y la presencia de desgaste mecánico. La inspección integral del lubricante (aceite y grasa) contempla tanto el uso de técnicas especializadas, como de inspecciones relativamente sencillas, el alcance de la inspección dependerá de: la criticidad del sistema evaluado, los costos y complejidad de mantenimiento y de los costos de reemplazo de lubricantes. [16]



### **Parámetros de monitoreo**

- Aspecto visual, color y olor.
- Nivel, flujo, presión.
- Fugas.
- Temperatura.
- Contaminación sólida.
- Contaminación líquida.
- Nivel de aditivos.
- Viscosidad.
- Acidez.
- Elementos de desgaste.
- Procedimientos de lubricación. [16]

La mayoría de los lubricantes se oscurecen con el tiempo, de hecho el aceite para motores de combustión se oscurecen rápidamente por los efectos asociados con los desechos del combustible. Esto hace que detectar cambios en el color sea una tarea poco precisa para determinar la real condición de un lubricante, no obstante podemos entrenar la vista para detectar cambios inusuales basados en nuestra experiencia y en las aplicaciones específicas de la planta. La oscuridad extrema en un lubricante es síntoma de oxidación, un aspecto lechoso o nubloso puede ser indicativo de exceso de agua. En la figura 2.9 se refleja el cambio de aspecto físico de un lubricante en función a su deterioro.



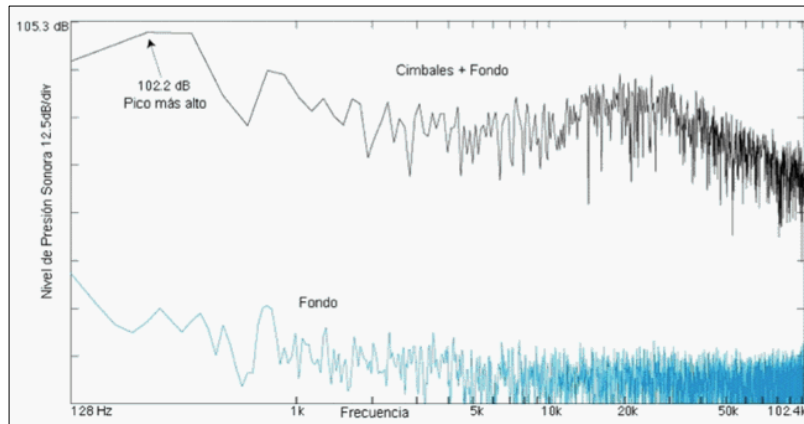
**Figura 2.9:** Aspecto visual de un aceite en proceso de deterioro

**Fuente:** Revista Mecanálisis (2006).

### 2.7.3. Técnicas de Ultrasonido.

El oído humano puede captar sonidos en el rango de 20 Hz a 20 KHz., este es el rango denominado sónico, el sonido emitido a frecuencias superiores es llamado ruido ultrasónico. Los instrumentos especiales para medir frecuencias ultrasónicas trasladan estas altas frecuencias al rango audible, adicionalmente cuantifican el ruido captado en decibeles (db). [14]

El ruido es una vibración de moléculas a través de un medio como el aire, la grasa o metal, esta vibración viaja formando ondas desde su fuente. El poder distinguir el sonido por sus distintos tonos o frecuencias, permite asociarlo a problemas específicos como fallas por fricción extrema, fugas de gases a presión, descargas eléctricas, entre otras. [14]. En la figura 2.10 se muestra un ejemplo de espectro ultrasónico.



**Figura 2.10:** Espectro ultrasónico.

**Fuente:** Pedro Saabedra (2004).

#### 2.7.4. Termografía Infrarroja:

La termografía es aplicada en algunos casos particulares para inspeccionar equipos rotativos como motores eléctricos, rodamientos y acoples; pero su mayor campo de aplicación y efectividad se observa en el monitoreo de equipos estáticos como hornos, líneas de tuberías, entre otros. [14]

#### 2.7.5. Análisis de Corriente en Motores:

Los motores eléctricos están presentes en la mayoría de las aplicaciones industriales, además de las fallas mecánicas que pueden afectar su desempeño, fallas de tipo eléctrico, que pueden originarse bien por deficiencias en la alimentación o por deficiencias en el ensamblaje. El monitoreo de la condición eléctrica se basa en la medición y registro de señales de corriente, voltaje y flujo magnético. [14]

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.**

### **3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.**

El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno o problema planteado. El siguiente trabajo se sustentó en una investigación de carácter **descriptivo**, debido a que comprende la descripción, registros, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o proceso de un fenómeno. Según Tamayo y Tamayo (1998), la investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentarnos una interpretación correcta.

### **3.2. 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**.

### **3.3. POBLACIÓN.**

Esta investigación posee dos tipos de poblaciones, **una población humana** representada por el personal de las áreas de mantenimiento, planificación, operaciones y sala de control, los cuales fueron encuestados y entrevistados con el objeto de recolectar información técnica necesaria para el estudio, y la **población de equipos**, representada por todos los activos físicos rotativos pertenecientes a las áreas, objeto de estudio, de la planta SUPERMETANOL, C.A.

### **3.4. MUESTRA.**

#### **3.4.1.- Muestra humana:**

La muestra humana se consideró igual a la población analizada, ya que esta es relativamente pequeña y representativa del estudio. Por tal motivo se considera una muestra intencional no probabilística.

#### **3.4.2.- Muestra de equipos:**

Representada por los equipos rotativos pertenecientes a las áreas de la planta que resultaron con nivel de criticidad máximo, dentro de las asignadas para el diseño del programa de mantenimiento basado en condición.

### **3.5. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS.**

A continuación se mencionan y describen brevemente un conjunto de técnicas que fueron empleadas para la recolección y análisis de los datos operacionales y de diseño, de los activos rotativos que se incluyeron en el programa de mantenimiento basado en condición desarrollado en este trabajo.

### **3.5.1. Técnicas de Recolección de Datos.**

➤ **Observación directa.**

A través de esta técnica se diagnosticó la situación actual de los activos, en su entorno operacional, es decir, directamente en las áreas específicas de la planta de producción.

➤ **Entrevistas.**

Mediante esta práctica fue posible recopilar información técnica, de gran importancia para el desarrollo de este trabajo, por medio de conversaciones con el personal técnico, operadores de planta, personal de mantenimiento, entre otros.

➤ **Aplicación de las tecnologías predictivas.**

Utilizando las herramientas predictivas seleccionadas, se obtuvo la data necesaria para el diagnóstico de la condición de los activos rotativos de la Planta SUPERMETANOL C.A., incluidos en el programa diseñado.

### **3.5.2. Técnicas de Análisis de Datos.**

➤ **Análisis de Criticidad.**

Este análisis, permitió la jerarquización de las áreas de la planta, en función de su criticidad, es decir, según el impacto que producen a nivel de operaciones, seguridad y medio ambiente, logrando establecer una clasificación de las mismas, con el objeto de determinar los equipos más críticos del sistema.

➤ **Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).**

Mediante este análisis se realizó un estudio exhaustivo de las causas más probables que generan una falla a los equipos pertenecientes a las áreas con criticidad máxima, así como los efectos que dicho evento puede causar a la organización. El AMEF sirvió de base para la selección de las herramientas predictivas empleadas en el estudio.

➤ **Análisis de la Data Predictiva.**

La data recolectada por las herramientas predictivas seleccionadas y aplicadas a los equipos rotativos, fue procesada por herramientas computacionales como el software Omnitrend®, apoyados en las normas ISO y recomendaciones de personal especializado, con la finalidad de detectar problemas y analizar sus causas, lográndose determinar finalmente, el momento oportuno para corregir eficientemente el problema detectado.

### **3.6. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **3.6.1. Etapa I: Revisión Bibliográfica.**

Esta primera etapa se basó principalmente en la recopilación de toda aquella información relacionada con el tema, así como la revisión de la documentación escrita que sustentaron las bases teóricas de este proyecto de investigación. Para llevar a cabo esta etapa, se extrajo, revisó y analizó lo que se consideró información relevante y pertinente en relación al proyecto de investigación desarrollado, utilizando fuentes documentales como libros especializados, tesis de grado, revistas y publicaciones técnicas, páginas de Internet, entre otros.

### **3.6.2. Etapa II: Diagnóstico de la situación actual de los activos rotativos.**

En esta etapa se hizo una reseña general del proceso en el cual intervienen los activos rotativos de las áreas asignadas para el estudio propuesto, unido a la descripción de la circunstancia actual, a nivel físico, mecánico y operacional, en la que se encuentran dichos equipos. Para lograr esto, se emplearon técnicas como la observación directa de los activos en su entorno operacional, entrevistas con el personal técnico, operadores y mantenedores de los activos, revisión de variables de proceso, entre otros.

### **3.6.3. Etapa III: Recopilación de la información técnica.**

Mediante la revisión de archivos, planos, información y recomendación de fabricantes, entre otros, se recolectó una serie de datos técnicos y detalles de diseño de cada uno de los activos en estudio. Toda esta información fue de gran ayuda al momento de monitorear y analizar todas las variables estudiadas para determinar la condición de los activos, debido a que representan uno de los aspectos claves al momento de dar un diagnóstico acertado. Estos datos fueron registrados en gráficos y tablas para facilitar su manejo y posterior análisis.

### **3.6.4. Etapa IV: Jerarquización de los activos de la planta.**

Para jerarquizar los activos rotativos, fue necesario aplicar, inicialmente, un análisis de criticidad para determinar cuales de las áreas en estudio, se consideran críticas, semicríticas y no críticas. Para esto, se tomaron en cuenta dos metodologías: La matriz Impacto – esfuerzo y un procedimiento de análisis de criticidad desarrollado por el Ing. José Ángel Milá de la Roca.



➤ **Matriz Impacto – Esfuerzo:**

Esta metodología permite jerarquizar áreas o sistemas de producción, en función al impacto que estas generan en la seguridad, ambiente, costos de reparación, y el esfuerzo. El procedimiento es el siguiente:

1. Se definen los factores a evaluar para determinar el impacto en las diferentes áreas del ámbito operacional.
2. Se define los rangos de aplicación para cada uno de los factores de acuerdo a los intereses de la organización, para calcular el impacto de cada una de las áreas.
3. Se realiza el calculo del impacto para cada una de las áreas, mediante la utilización de la siguiente formula:

$$\text{Impacto} = (\% \text{ Procesamiento Afectado} \times \text{TPPR} \times \text{Impacto en Producción}) + \text{Costos de Reparación} + \text{Impacto en Seguridad} + \text{Impacto Ambiental}$$

Ec. 3.1

4. Se ponderan los factores evaluados y se estima el impacto en función a una escala de 3 valores mostrada en la tabla 3.1

**Tabla 3.1.:** Escala de estimación del impacto

Evaluación Obtenida	Clasificación del Impacto	ESCALA
	Bajo ( $3 \leq \text{Ponderación total} \leq 32$ )	1
	Medio ( $32 < \text{Ponderación total} \leq 97$ )	3
	Alto ( $97 < \text{Ponderación total} \leq 162$ )	5

**Fuente:** Confima & Consultores.

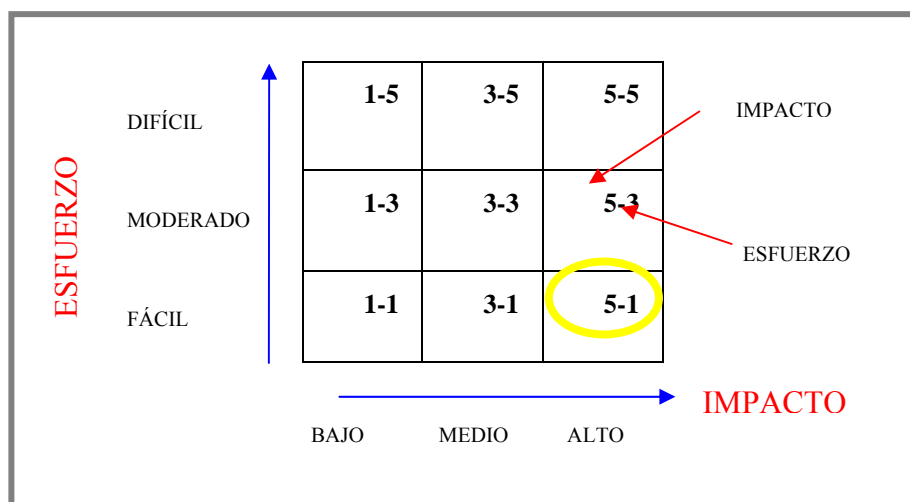
5. Se estima el esfuerzo en función a la escala mostrada en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2.:** Escala de estimación del esfuerzo

<b>Esfuerzo</b>	<b>Escala</b>
Solución directa. Se dispone de recursos propios (humano, material y repuestos)	<b>1</b>
Se identificaron alternativas de solución, sin embargo no se dispone del 100 % de los recursos para ejecutar la actividad	<b>3</b>
Se requiere de la intervención de especialistas externos o recursos no disponibles	<b>5</b>

**Fuente:** Confima & Consultores.

6. Con los resultados de los pasos anteriores, se forma la matriz de prioridades, conjugando el valor del impacto con el esfuerzo, como se muestra en la figura 3.1. De acuerdo con esta metodología se debe seleccionar la el área o sistema que genere mayor impacto y menor esfuerzo (señalados en el ovalo de color amarillo).



**Figura 3.1.** Valores conjugados de impacto-esfuerzo

Fuente: Confima & consultores.

7. Con los resultados del paso anterior se procederá a la priorización de las áreas con la matriz de prioridades, según el valor conjugado de impacto-esfuerzo que posea cada área, desde 1 (máxima prioridad) hasta 9 (baja prioridad) como lo muestra la figura 3.2. En caso de coincidir la prioridad en los sistemas, se estudiará primero la que tenga mayor valor en el cálculo de su impacto.

<b>ESFUERZO</b>	DIFÍCIL	9 1-5	6 3-5	4 5-5
	MODERADO	8 1-3	5 3-3	2 5-3
	FÁCIL	7 1-1	3 3-1	1 5-1
		BAJO	MEDIO	ALTO

**Figura 3.2.** Matriz de prioridad de impacto-esfuerzo

Fuente: Confima & Consultores.

➤ **Metodología de J. A Milá de la Roca**

Esta es una metodología que permite establecer niveles de criticidad de equipos y sistemas industriales, tomando en cuenta cuatro factores: Seguridad Industrial, Ambiente e Higiene Ocupacional (SIAHO); Calidad del Producto Final. (C); Producción. (P) y Costos de Mantenimiento. (M). Estos factores son ponderados de acuerdo a la tabla 3.3, la cual presenta tres categorías de impacto potencial, para cada factor y asigna un valor numérico a cada una de dichas categorías.

**Tabla 3.3:** Criterios de Evaluación Aplicados.

<b>ATRIBUTO</b>	<b>CRITERIO DE EVALUACIÓN</b>	<b>PUNTAJE</b>
<b><i>Seguridad Industrial Ambiente e Higiene Ocupacional (SIAHO)</i></b>	Unidades con posibilidad de ocurrencia de incidentes mayores, accidentes catastróficos y/o accidentes mayores.	10
	Unidades con posibilidad de ocurrencia de incidentes menores, accidentes serios y/o accidentes leves.	5
	Unidades con muy poca posibilidad de ocurrencia accidentes.	1
<b><i>Producción. (P)</i></b>	Unidades sin reserva, con gran efecto sobre la producción y cuyo fallo genera una gran pérdida económica.	10
	Unidades con reserva, no afectan a la producción en forma total.	5

**Fuente:** Ing. José De la Roca

**Tabla 3.3:** Criterios de Evaluación Aplicados. (Continuación)

<b>Calidad del Producto Final.</b> <b>(C)</b>	La falla de la unidad genera que el producto salga fuera de las especificaciones del sistema de aseguramiento de la calidad	10
	La falla de la unidad produce variaciones en la calidad del producto rápidamente corregibles según procedimientos establecidos.	5
	La falla de la unidad no afecta la calidad del producto final	1

**Fuente:** Ing. José De la Roca

Para determinar la criticidad de cada área, se procede de la siguiente forma:

1. Cada uno de los factores (SIAHO, C, P, y M) se le asignará un puntaje o valor de acuerdo a la tabla 3.3.
2. Se calcula el factor T por cada área, el cual representa la sumatoria de los puntajes de los factores SIAHO, C, P, y M. ( $T = \text{SIAHO} + P + M + C$ ).
3. Se estima la criticidad de las áreas en función a las consideraciones presentadas en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4:** Consideraciones para estimar la criticidad.

<b>Valor de T</b>	<b>Criticidad</b>
$T < 11$	No Crítico
$11 \leq T < 20$	Semi Crítico
$T \geq 20$	Crítico

**Fuente:** Ing. José De la Roca

Luego de evaluar ambos procedimientos, la superintendencia de mantenimiento de Supermetanol tomo la decisión de emplear la metodología desarrollada por el Ing. Milá de la Roca, debido a que fue concebida y desarrollada dentro de la empresa, tomando como base la matriz Impacto – esfuerzo, y por ende se considera que cumple satisfactoriamente con los requerimientos de dicha empresa. Otra de las razones por la cual se optó por la aplicación de este método de análisis de criticidad, fue que no se contaba con algún registro estadístico que permitiera la cuantificación de factores de mantenimiento como Tiempo Promedio para Reparar, Tiempo entre Fallas, Tiempo Fuera de Servicio, Backlog, Frecuencia de Falla, entre otros, los cuales son necesarios para la implementación de otras metodologías.

Para recolectar la información necesaria relacionada con el impacto de cada área de la empresa sobre la producción (P) y calidad del producto final (C), se implemento el instrumento “Form-001”, el cual se presenta en el apéndice A. Este instrumento fue aplicado directamente a los Operadores de Sala de Control, operadores de planta, planificadores y mantenedores de la Empresa Supermetanol, ya que este personal es el que maneja la información necesaria para este estudio. Los aspectos a investigar mediante este instrumento fueron:

- ✓ La función.
- ✓ El contexto operacional
- ✓ Las fallas posibles y/o las más recurrentes

- ✓ La incidencia en la producción
  
- ✓ La incidencia calidad del producto final de cada uno de los sectores de la planta.

La información necesaria para la evaluación de la Seguridad Industrial, Ambiente e Higiene Ocupacional (SIAHO), se obtuvo luego de revisar y analizar el *“Hazop Report. Methanol Complex.-Jose Estado Anzoátegui -Venezuela ”*, estudio realizado por la empresa PRAXIS en el año 1.993, para evaluar el impacto de cada una de las áreas en cuanto a la Seguridad, Higiene y Ambiente, de la planta como tal, el personal que en ella labora y del medio ambiente que la rodea.


La información para la evaluación de los costos de mantenimiento, se obtuvo del presupuesto original formulado para el año 2006.

Una vez determinadas las áreas críticas, y considerando que la falla de uno de los equipos que las conforman, representa la falla parcial o total de las mismas, unido a impactos negativos que se pueden suscitar en cuanto a seguridad personal y medio ambiente, tanto en las áreas incluidas, como en las no incluidas en el programa, se establecieron como **“Equipos Críticos”**, todos aquellos activos rotativos pertenecientes a las áreas que resultaron críticas.

### 3.6.5. Etapa V: Análisis de los Modos y Efectos de Falla.

Se realizó una identificación de las distintas fallas de los equipos pertenecientes a las áreas que resultaron críticas y las consecuencias de las mismas. Esta información fue de vital importancia para la selección de las herramientas predictivas y los procedimientos de inspección, además, permitió identificar las formas en que pueden fallar los equipos, las causas y los efectos sobre la organización, precisando así, la mejor forma de captar los síntomas de estas fallas en su estado prematuro. En la tabla 3.5 se muestra el formato utilizado para el manejo de la información.

**Tabla 3.5:** Formato para Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).

 <b>SUPERMETANOL, C.A.</b>		<b>EQUIPOS:</b>		<b>ÁREA:</b>		<b>REALIZADO POR:</b>	<b>FECHA:</b>
						<b>REVISADO POR:</b>	<b>HOJA:</b>
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL</b>		<b>MODOS DE FALLA</b>		<b>EFFECTOS</b>	
1		A		1.			
		B		1.			
		C		1.			

### 3.6.6. Etapa VI: Selección de las Herramientas Predictivas.

El éxito en la implementación de un programa de monitoreo por condición comienza por una selección adecuada de las técnicas de inspección, en muchos casos es necesario contar con más de una de estas tecnologías para determinar la salud de un determinado equipo.



En esta etapa se escogieron las herramientas predictivas, en base a la información suministrada por los análisis de modos y efectos de falla (AMEF), la naturaleza de los equipos y el entorno operacional, es decir, dentro de todo el universo de herramientas predictivas existentes, se seleccionaron las más apropiadas para el diagnóstico de la condición de equipos rotativos con las características que poseen los activos incluidos en el programa.

Para esta selección también se contó con la asesoría de la empresa TECNOTEST de Venezuela, (empresa especializada en el desarrollo de programas de mantenimiento basado en condición), la cual sirvió para avalar la selección realizada.

**Tabla 3.6:** Recomendación de la empresa Tecnotest para la selección de tecnologías predictivas.

	VIBRACIONES	TERMOGRAFÍA	TRIBOLOGÍA	ULTRASONIDO
<b>MÁQUINAS ROTATIVAS:</b> Motores, turbinas, compresores, bombas, molinos, ventiladores, cajas engranajes...	✓✓✓	✓	✓✓✓	✓✓
<b>EQUIPOS ELÉCTRICOS:</b> Paneles, líneas de alta tensión, cableado, transformadores...	x	✓✓✓	x	✓
<b>EQUIPOS ESTÁTICOS:</b> Tanques, tuberías...	✓	✓✓	x	✓✓✓
<b>EQUIPOS TÉRMICOS:</b> Hornos, calderas, intercambiadores de calor, columnas de procesos, reactores...	x	✓✓✓	x	✓

Leyenda: ✓✓✓Excelente, ✓✓Buena, ✓Regular, \*Poco Usada.

### **3.6.7. Etapa VII: Diseño del programa.**

Esta etapa correspondió al diseño del programa propuesto. Consistió en el planteo y la estructuración de todas y cada una de las actividades a desarrolladas en la ejecución del programa propuesto. Aquí se definieron y establecieron todos los aspectos del mantenimiento basado en condición implementado, entre los cuales tenemos:

- Definición de los puntos de medición.
- Establecimiento de rutas de muestreo
- Establecimiento de la frecuencia de monitoreo.
- Definición de las actividades a ejecutar durante los días de inspección
- Elaboración de los programas de inspección a ejecutas, con sus respectivas actividades cronológicamente ordenadas, sobre cada uno de los equipos

### **3.5.8. Etapa VIII: Ejecución del programa y presentación de resultados.**

Correspondió a la puesta en marcha de todas y cada una de las actividades diseñadas en la etapa anterior, siguiendo los procedimientos establecidos en este trabajo. Una vez recolectadas todas las variables necesarias para el monitoreo de la condición de los activos, se descargó toda esta información en el programa Omnitrend®, para su respectivo análisis. Los resultados arrojados por este análisis fueron plasmados en un reporte detallado y posteriormente entregados a la superintendencia de mantenimiento para que tomaran las acciones recomendadas.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

### **4.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE LOS ACTIVOS.**

Los equipos rotativos pertenecientes a la planta de producción de la empresa Supermetanol, están organizados y distribuidos en un conjunto de áreas, dependiendo básicamente del proceso en el cual intervienen y de la función que estos desempeñen dentro del proceso productivo. El estudio fue enfocado y desarrollado en cuatro áreas específicas asignadas por la gerencia de mantenimiento, las cuales se mencionan a continuación:

- **Área 4100:** Reformación de Gas Natural
- **Área 4600:** Agua de Calderas
- **Área 5100:** Agua desmineralizada (Agua demi).
- **Área 5400:** Aire de Servicios e Instrumentos

#### **4.1.1. Área 4100: Reformación de Gas Natural.**

El gas natural suministrado por PDVSA, es reformado con vapor, en una reacción global endotérmica la cual se lleva a cabo a elevadas temperaturas en el horno reformador (figura 4.1) donde, la alimentación de gas saturado es modificada a una mezcla de monóxido de carbono, dióxido de carbono y metano, esta mezcla es llamada gas de síntesis. Posteriormente, este gas es enfriado hasta el punto de rocío, transformándose en una mezcla de gas y condensado de proceso. Esta mezcla es separada, en corriente de gas y líquido. En la figura 4.2 se muestra el sistema de banco de tubos utilizado para el enfriamiento del gas reformado.



**Figura 4.1:** Horno Reformador. **Fuente:** Propia.



**Figura 4.2:** Enfriador de Gas Reformado. EA-4101. **Fuente:** Propia.

Los activos físicos rotativos pertenecientes a esta área son los siguientes:

- **MEA-4101 del 1 al 4:** Motores eléctricos de los ventiladores enfriadores de gas reformado.
- **MP-4101 A/B:** Motores eléctricos de las bombas de condensado de proceso
- **P-4101 A/B:** Bombas de condensado de proceso.
- **MP-4104 A/B:** Motores eléctricos de las bombas de central hidráulica
- **P-4104 A/B:** Bombas de central hidráulica.
- **MP-4109 A/B:** Motores eléctricos de las bombas de recuperación de condensado.
- **P-4109 A/B:** Bombas de recuperación de condensado.

Todos estos equipos presentan un funcionamiento acorde con lo esperado, a excepción de las bombas P-4109 A y B, las cuales han estado fuera de servicio en algunas ocasiones debido a daños en rodamientos y sellos. La transmisión de potencia entre el equipo conductor (motor eléctrico) y conducido (bomba, ventilador), es por medio de un acople rígido ajustado por pernos, excepto los motores MEA-4101, cuya transmisión es por correas. Es de acotar que no fue posible incluir en el estudio a los ventiladores acoplados a los motores MEA – 4101, debido a que el acceso a ellos es restringido, mientras se encuentran en servicio.

#### **4.1.2. Área 4600: Agua de Calderas.**

Uno de los componentes de mayor aprecio en una industria y que puede representar una buena parte de la inversión es la caldera. Esta área fue diseñada, básicamente para acondicionar el agua que será suministrada para la alimentación de las calderas, para evitar y disminuir problemas como formación de depósitos, corrosión del metal, fragilización cáustica, entre otros.

El agua desmineralizada proveniente del área 5100 (de la cual se habla posteriormente), atraviesa por una serie de procesos donde es tratada con diversos químicos como la hidroquinona, fosfato, entre otros, para su acondicionamiento y posterior envío a las calderas, donde se produce el vapor de agua utilizado en la generación de potencia (turbinas de vapor) y en muchos de los procesos productivos de la planta.

Además de acondicionar el agua, esta área también se encarga de recolectar todos los gases de purga y el condensado proveniente de las calderas, para su tratamiento y, si es posible, su posterior reciclaje.

Los equipos rotativos de esta área, cumplen con su función de manera normal. No obstante, las bombas **P-4602 A/B/C** han presentado problemas de contaminación del aceite de lubricación, lo que originó órdenes de trabajo extras (no programadas), para reemplazo de lubricante. En la figura 4.3 se muestra una imagen de la bomba P-4602 C.



**Figura 4.3:** Turbo bomba P-4602 C. **Fuente:** Propia.

La transmisión de potencia entre los equipos conductores (motor eléctrico, turbina) y conducidos (bombas), es por medio de un acople rígido ajustado por pernos. A continuación se presenta el listado de activos que la integran:

- **MP-4601:** Motor eléctrico bomba de drenaje de proceso.
- **P-4601:** Bomba de drenaje de proceso.
- **TP-4602 A/B:** Turbinas de bombas agua de calderas.
- **MP-4602 C:** Motor eléctrico bomba agua de calderas.
- **P-4602 A/B/C:** Bombas agua de calderas.
- **MP-4603 A/B:** Motores eléctricos bombas dosificadoras de fosfato.
- **P-4603 A/B:** Bombas dosificadoras de fosfato.
- **MP-4604 A/B:** Motores eléctricos bombas dosificadoras de hidroquinona.

- **P-4604 A/B:** Bombas dosificadoras de hidroquinona.
- **MP-4605 A/B:** Motores eléctricos bombas recuperadoras de condensado.
- **P-4605 A/B:** Bombas recuperadoras de condensado.

#### 4.1.3. Área 5100: Agua Desmineralizada.

Esta área de la planta ha sido diseñada para producir y suministrar suficiente agua filtrada y desmineralizada para la alimentación de las calderas y cualquier otro proceso que la requiera, de la planta de Supermetanol, C.A. El agua producida es almacenada en tanques, como el mostrado en la figura 4.4, para su posterior distribución.



**Figura 4.4:** Tanque de Agua Desmineralizada S-5101. **Fuente:** Propia.

Básicamente esta área consiste de dos filtros de carbón activado, para remover el exceso de cloro libre por debajo del límite aceptable para la resina de intercambio. La sección de decloración consiste en un par de filtros de carbón activado y equipos auxiliares para el retrolavado de los mismos. El carbón activado tiene la capacidad de remover el cloro libre. En servicio, el carbón puede arrastrar trazas de sólidos suspendidos los cuales pueden causar obstrucciones, promoviendo así un

incremento en la caída de presión; requiriendo entonces una etapa de retrolavado para restaurar la situación previa. En la unidad de desmineralización, cada tren consiste de dos líneas provistas de:

- Un intercambiador catiónico de doble lecho regenerado en contracorriente.
- Intercambiador aniónico regenerado en contracorriente.
- Intercambiador de lecho mixto
- Torre desgasificadora.
- Estación regeneradora de ácido sulfúrico.
- Estación regeneradora de soda cáustica.
- Sistema de neutralización de agua de desecho.

Los activos rotativos que intervienen en esta área son los siguientes:

- **MP-5101 A:** Motor eléctrico bomba alimentación al desaireador.
- **TP-5101 B:** Turbinas de bomba alimentación al desaireador.
- **P-5101 A/B:** Bombas de alimentación al desaireador.
- **MP-5103 A/B/C:** Motores eléctricos bombas de agua desionizada.
- **P-5103 A/B/C:** Bombas de agua desionizada.
- **MP-5105 A/B/C:** Motores eléctricos bombas de alimentación agua demi.
- **P-5105 A/B/C:** Bombas de alimentación agua demi.
- **MP-5106 A/B/C:** Motores eléctricos bombas de agua desgasificada.
- **P-5106 A/B/C:** Bombas de agua desgasificada.
- **MP-5107 A/B:** Motores eléctricos bombas de regeneración.
- **P-5107 A/B:** Bombas de regeneración.
- **MK-5105 A/B/C:** Motores eléctricos de sopladores de aire piscina neutralizadora.
- **K-5105 A/B/C:** Sopladores de aire piscina neutralizadora.



Todos estos activos rotativos presentan un funcionamiento dentro de los parámetros normales. Solo la válvula gobernadora de la turbina TP-5101 B estuvo presentando problemas de funcionamiento, lo que originó una parada no programada del equipo, para reemplazar dicha válvula. La transmisión de potencia entre los equipos conductores (motor eléctrico, turbina) y conducidos (bombas, sopladores de aire), es por medio de un acople rígido ajustado por pernos.

El Caudal de diseño de las bombas P-5101 A/B es de 240 m<sup>3</sup>/h, con una potencia absorbida de 70 Kw. aproximadamente y una temperatura de operación entre 35 y 45 °C. La temperatura de diseño de la turbina TP-5101 B es de 400 °C., con un consumo de vapor de 2 ton/h y una presión de diseño de 30 Kg. /Cm<sup>2</sup>. El flujo de diseño de las P-5105 A/B/C es de 106 m<sup>3</sup>/h y absorben una potencia de 13Kw. El flujo de diseño de las P-5107 A/B es de 65 m<sup>3</sup>/h.

#### **4.1.4. Área 5400: Aire de servicios e instrumentos.**

En esta área, el aire atmosférico es succionado por los compresores K-5401 A/B (figura 4.5), comprimido, enfriando, parcialmente secado, almacenado y distribuido por dos cabezales principales de aire: uno para el aire de instrumento y el otro para el aire de servicio a modo de cubrir las demandas de aire de la planta de metanol.

El aire de instrumento es utilizado principalmente para las válvulas de control neumáticas, tanto las activadas por diafragma, como las activadas por pistón. El aire de servicio es usado para propósitos secundarios tales como mantenimiento de herramientas de aire y para limpieza por soplado de equipos de todas las áreas de la planta.



**Figura 4.5:** Compresores de Aire K-5401 A/B. **Fuente:** Propia.

El paquete de compresores opera de la siguiente manera: el aire del ambiente entra a través del filtro de aire de tipo doble, luego pasa por el silenciador, válvula de entrada y es comprimido en la primera etapa. Luego es colectado en la carcasa del compresor y descargado en el primer enfriador intermedio, donde su temperatura disminuye y la humedad condensada es separada. Posteriormente fluye a través de la tubería ínter etapas hacia la compresión final, y al enfriador, donde su temperatura desciende a 40 – 45 °C, separándose la humedad.

De esta área, solo se tomaron en cuenta los compresores K-5401 A y B, debido a que son los únicos equipos rotativos presentes en ella. Estos fueron estudiados como un todo, es decir no se separó el motor eléctrico del compresor, debido a que estos compresores son proporcionados por los fabricantes como una unidad completa.

Normalmente un compresor esta en operación (presión de descarga a 8 Kg./cm<sup>2</sup>g aguas abajo del secador) y el otro esta en espera. Desde el interruptor del selector local es posible seleccionar cual compresor estará en servicio y cual en espera. Cuando la presión de aire en la descarga del compresor, cae a 7,5 Kg./cm<sup>2</sup>g aproximadamente, el compresor en espera arranca automáticamente y se detiene a los 8,5 Kg./cm<sup>2</sup>g.

## 4.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS.

Luego de realizar el diagnóstico de las áreas en estudio, se procedió a realizar una recolección de datos técnicos de cada uno de los equipos. A continuación se muestran estos datos:

### 4.2.1. Área 4100: Reformación de Gas Natural.

**Tabla 4.1:** Datos técnicos de los equipos rotativos del área 4100. **Fuente:** Propia.

<b>EQUIPOS:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>MP-4101 A/B:</b> Motores eléctricos de las bombas de condensado de proceso</li> <li>➤ <b>MEA-4101 del 1 al 4:</b> Motores eléctricos de los ventiladores enfriadores de gas reformado</li> </ul>	
<b>Marca:</b>	MARELLI
<b>Modelo:</b>	A4C-225-M2
<b>Apoyo:</b>	Rodamientos de bola
<b>Lubricación:</b>	PROLONLUM
<b>RPM</b>	<b>MP-4101A/B:</b> 3550 <b>MEA-4101 del 1 al 4:</b> 1800
<b>EQUIPOS:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>MP-4104 A/B:</b> Motores eléctricos de las bombas de central hidráulica</li> <li>➤ <b>MP-4109 A/B:</b> Motores eléctricos de las bombas de recuperación de condensado</li> </ul>	
<b>Marca</b>	CEMP
<b>Apoyo</b>	Rodamientos de bola
<b>Lubricación</b>	PROLONLUM
<b>RPM</b>	1750
<b>EQUIPOS:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>P-4101 A/B:</b> Bombas de condensado de proceso</li> <li>➤ <b>P-4104 A/B:</b> Bombas de central hidráulica</li> <li>➤ <b>P-4109 A/B:</b> Bombas de recuperación de condensado</li> </ul>	
<b>Marca</b>	POMPE GABBIONETA
<b>Tipo</b>	Centrífuga
<b>Apoyo</b>	Rodamientos de bola
<b>Lubricación</b>	HIDRALUB 68

#### 4.2.2. Área 4600: Agua de Calderas.

**Tabla 4.2:** Datos técnicos de los equipos rotativos del área 4600. **Fuente:** Propia.

<b>EQUIPOS:</b>	
➤ <b>MP-4601:</b> Motor eléctrico bomba de drenaje de proceso	
➤ <b>MP-4603 A/B:</b> Motores eléctricos bombas dosificadoras de fosfato	
➤ <b>MP-4604 A/B:</b> Motores eléctricos bombas dosificadoras de hidroquinona	
➤ <b>MP-4605 A/B:</b> Motores eléctricos bombas recuperadoras de condensado	
<b>Marca:</b>	MARELLI
<b>Modelo:</b>	A4C-225-M2
<b>Apoyo:</b>	Rodamientos de bola
<b>Lubricación:</b>	PROLONLUM
<b>RPM</b>	<b>MP-4605 A/B:</b> 3500
<b>EQUIPOS:</b>	
➤ <b>MP-4602 C:</b> Motor eléctrico bomba agua de calderas	
<b>Marca</b>	ABB
<b>Apoyo</b>	Cojinete y rodamiento
<b>Lubricación</b>	PROLONLUM
<b>RPM</b>	3500
<b>EQUIPO:</b>	
➤ <b>TP-4602 A/B:</b> Turbinas de bombas agua de calderas	
<b>Marca</b>	ELLIOTT
<b>Alimentación</b>	Vapor de agua
<b>Apoyo</b>	Cojinetes
<b>Lubricación</b>	HIDRALUB 46
<b>RPM</b>	3500
<b>EQUIPOS:</b>	
➤ <b>P-4601:</b> Bomba de drenaje de proceso	
➤ <b>P-4605 A/B:</b> Bombas recuperadoras de condensado	
<b>Marca:</b>	POMPE GABBIONETA
<b>Tipo:</b>	Centrífuga
<b>Apoyo:</b>	Rodamientos de bola
<b>Lubricación:</b>	HIDRALUB 68
<b>RPM</b>	<b>P-4605 A/B:</b> 3500

**Tabla 4.3:** Datos técnicos de los equipos rotativos del área 4600 (Continuación)

<b>EQUIPOS:</b>	
➤ <b>P-4603 A/B:</b> Bombas dosificadoras de fosfato	
➤ <b>P-4604 A/B:</b> Bombas dosificadoras de hidroquinona	
<b>Marca</b>	DOSAPRO MILTON ROY
<b>Tipo</b>	Centrífuga
<b>Apoyo</b>	Rodamientos
<b>Lubricación</b>	<b>P-4603 A/B:</b> ROTALUB220/HIDRALUB32 <b>P-4604 A/B:</b> ROTALUB150
<b>EQUIPO:</b>	
➤ <b>P-4602 A/B/C:</b> Bombas agua de calderas	
<b>Marca</b>	KSB
<b>Tipo</b>	Centrífuga
<b>Apoyo</b>	Cojinetes
<b>Lubricación</b>	HIDRALUB 46
<b>RPM</b>	3500

#### 4.2.3. Área 5100: Agua Desmineralizada.

**Tabla 4.4:** Datos técnicos de los equipos rotativos del área 5100. **Fuente:** Propia

<b>EQUIPOS:</b>	
➤ <b>MP-5101 A:</b> Motor eléctrico bomba alimentación al desaireador	
➤ <b>MP-5103 A/B/C:</b> Motores eléctricos bombas de agua desionizada	
➤ <b>MP-5105 A/B/C:</b> Motores eléctricos bombas de alimentación agua demi	
➤ <b>MP-5106 A/B/C:</b> Motores eléctricos bombas de agua desgasificada	
➤ <b>MP-5107 A/B:</b> Motores eléctricos bombas de regeneración	
➤ <b>MK-5105 A/B/C:</b> Motores eléctricos sopladores piscina neutralizadora	
<b>Marca:</b>	MARELLI
<b>Modelo:</b>	A4C-225-M2
<b>Apoyo:</b>	Rodamientos de bola
<b>Lubricación:</b>	PROLONLUM
<b>RPM</b>	<b>MP-5101 A:</b> 3600 <b>MP-5103 A/B; MP -5105 A/B/C;</b> <b>MP-5107 A/B; MP-5106 A/B/C:</b> 3500 <b>MK-5105 A/B/C:</b> 1750

**Tabla 4.5:** Datos técnicos de los equipos rotativos del área 5100 (Continuación)

<b>EQUIPO:</b>	
➤ <b>TP-5101 B:</b> Turbinas de bomba alimentación al desaireador	
<b>Marca</b>	ELLIOTT
<b>Alimentación</b>	Vapor de agua
<b>Apoyo</b>	Cojinetes
<b>Lubricación</b>	HIDRALUB 68
<b>RPM</b>	3600
<b>EQUIPOS:</b>	
➤ <b>P-5101 A/B:</b> Bombas de alimentación al desaireador	
➤ <b>P-5103 A/B/C:</b> Bombas de agua desionizada	
➤ <b>P-5105 A/B/C:</b> Bombas de alimentación agua demi	
➤ <b>P-5106 A/B/C:</b> Bombas de agua desgasificada	
➤ <b>P-5107 A/B:</b> Bombas de regeneración	
<b>Marca:</b>	POMPE GABBIONETA
<b>Tipo:</b>	Centrífuga
<b>Apoyo:</b>	Rodamientos de bola
<b>Lubricación:</b>	HIDRALUB 68
<b>RPM</b>	3600
<b>EQUIPOS:</b>	
➤ <b>K-5105 A/B/C:</b> Sopladores de aire piscina neutralizadora	
<b>Marca:</b>	ROBUSCHI
<b>Apoyo:</b>	Rodamientos de bola
<b>Lubricación:</b>	HIDRALUB 150
<b>RPM</b>	1750

#### 4.2.4. Área 5400: Aire de servicios e instrumentos.

**Tabla 4.6:** Datos técnicos de los equipos rotativos del área 5400. **Fuente:** Propia.

<b>EQUIPO:</b>	
➤ <b>K-5401 A/B:</b> Compresores de aire de instrumentos y servicio	
<b>Marca</b>	ATLAS COPCO
<b>Tipo</b>	Tornillo rotativo libre de aceite, dos etapas
<b>Apoyo</b>	Rodamientos
<b>Capacidad</b>	1.200 Nm <sup>3</sup> /h
<b>Presión de succión</b>	<i>Atmosférica</i>
<b>Presión de operación máxima de descarga del aire.</b>	8,5 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Temperatura de operación de aire de descarga</b>	≤ 40 °C
<b>Consumo de agua de enfriamiento</b>	16 m <sup>3</sup> /h
<b>Lubricación</b>	TURBOLUB 68
<b>RPM</b>	1800

### 4.3. JERARQUIZACIÓN DE LOS ACTIVOS DE LA PLANTA.

Para clasificar a los activos rotativos, en función a su criticidad, primero se determinó, cuales de las áreas en estudio, se consideran críticas. Esto se logró, ejecutando el procedimiento desarrollado por el Ing. J. A, Milá de la Roca, explicado en el capítulo anterior. A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir de dicho procedimiento:

**Tabla 4.7:** Evaluación de las áreas, en cuanto a la Seguridad Industrial, Ambiente e Higiene ocupacional.

Área	Descripción	Repercusión en el SIAHO			Puntaje
		Total	Parcial	Ninguna	
4100	REFORMACIÓN DEL GAS NATURAL	X			10
4600	AGUA DE CALDERAS		X		5
5100	AGUA DESMINERALIZADA		X		5
5400	AIRE DE SERVICIOS E INSTRUMENTOS			X	1

**Nota:** datos obtenidos del estudio realizado por la empresa PRAXIS en el año 1.993.

*“Hazop Report. Methanol Complex.-Jose Estado Anzoátegui -Venezuela”*

**Tabla 4.8:** Evaluación de las áreas, en cuanto a la Producción.

Área	Descripción	Repercusión en la Producción			Puntaje
		Total	Parcial	Ninguna	
4100	REFORMACIÓN DEL GAS NATURAL	X			10
4600	AGUA DE CALDERAS		X		5
5100	AGUA DESMINERALIZADA		X		5
5400	AIRE DE SERVICIOS E INSTRUMENTOS		X		5

**Nota:** datos obtenidos con la aplicación del instrumento “Form-001”

**Tabla 4.9:** Presupuesto para el Mantenimiento de las áreas, en el año 2006.

Área	Descripción	Costos de mantenimiento US\$
4100	REFORMACIÓN DEL GAS NATURAL	44.156,59
4600	AGUA DE CALDERAS	8.738,90
5100	AGUA DESMINERALIZADA	11.174,10
5400	AIRE DE SERVICIOS E INSTRUMENTOS	2.875,31

**Nota:** datos obtenidos del Presupuesto Original Formulado para el Año 2006.



**Tabla 4.10:** Evaluación de las áreas, en cuanto a los Costos de Mantenimiento.

Área	Descripción	Repercusión en los Costos de Mantenimiento			Puntaje
		Total	Parcial	Ninguna	
4100	REFORMACIÓN DEL GAS NATURAL	X			10
4600	AGUA DE CALDERAS			X	1
5100	AGUA DESMINERALIZADA		X		5
5400	AIRE DE SERVICIOS E INSTRUMENTOS			X	1

**Tabla 4.11:** Evaluación de las áreas, en cuanto a la Calidad del Producto Final.

Área	Descripción	Repercusión en la Calidad.			Puntaje
		Total	Parcial	Ninguna	
4100	REFORMACIÓN DEL GAS NATURAL	X			10
4600	AGUA DE CALDERAS		X		5
5100	AGUA DESMINERALIZADA		X		5
5400	AIRE DE SERVICIOS E INSTRUMENTOS		X		5

**Nota:** datos obtenidos con la aplicación del instrumento “Form-001”

**Tabla 4.12:** Resumen de resultados.

ÁREA	DESCRIPCIÓN	PUNTAJE EN CUANTO A:				T	Críticidad
		SIAHO	P	M	C		
4100	REFORMACIÓN DEL GAS NATURAL	10	10	10	10	40	Crítica
4600	AGUA DE CALDERAS	5	5	1	5	16	Semicrítica
5100	AGUA DESMINERALIZADA	5	5	5	5	20	Crítica
5400	AIRE DE SERVICIOS E INSTRUMENTOS	1	5	1	5	12	Semicrítica

**Nota:** Resultados obtenidos de acuerdo a la tabla 3.4

En la tabla 4.12, se muestran los resultados obtenidos al desarrollar el procedimiento para determinar los niveles de criticidad de las áreas. De las cuatro áreas asignadas por la empresa para el estudio, dos resultaron críticas, las cuales fueron “Reformación del Gas Natural” y “Agua Desmineralizada”.

Una vez identificadas las áreas de mayor impacto, la Gerencia de mantenimiento estableció como equipos críticos, todos aquellos pertenecientes a las áreas críticas, debido a que la falla parcial o total de alguno de ellos, afecta significativamente a la seguridad, al proceso productivo y a la calidad del producto final. A continuación se presenta el listado de activos rotativos críticos:

#### **Área 4100: Reformación de Gas Natural.**

- **MP-4101 A/B:** Motores eléctricos de las bombas de condensado de proceso
- **P-4101 A/B:** Bombas de condensado de proceso
  
- **MP-4104 A/B:** Motores eléctricos de las bombas de central hidráulica
- **P-4104 A/B:** Bombas de central hidráulica
  
- **MP-4109 A/B:** Motores eléctricos de las bombas de recuperación de condensado
- **P-4109 A/B:** Bombas de recuperación de condensado
  
- **MEA-4101 del 1 al 4:** Motores eléctricos de los ventiladores enfriadores de gas reformado


### **Área 5100: Agua Desmineralizada.**

- **MP-5101 A:** Motor eléctrico bomba alimentación al desaireador
- **TP-5101 B:** Turbinas de bomba alimentación al desaireador
- **P-5101 A/B:** Bombas de alimentación al desaireador
  
- **MP-5103 A/B/C:** Motores eléctricos bombas de agua desionizada
- **P-5103 A/B/C:** Bombas de agua desionizada
  
- **MP-5105 A/B/C:** Motores eléctricos bombas de alimentación agua Demi
- **P-5105 A/B/C:** Bombas de alimentación agua demi
  
- **MP-5106 A/B/C:** Motores eléctricos bombas de agua desgasificada
- **P-5106 A/B/C:** Bombas de agua desgasificada
  
- **MP-5107 A/B:** Motores eléctricos bombas de regeneración
- **P-5107 A/B:** Bombas de regeneración
  
- **MK-5105 A/B/C:** Motores eléctricos de sopladores de aire piscina neutralizadora
- **K-5105 A/B/C:** Sopladores de aire piscina neutralizadora


#### **4.4. ANÁLISIS DE LOS MODOS Y EFECTOS DE FALLA.**

Con la finalidad de determinar las causas de las fallas que se presentan en los equipos y las consecuencias que estas originan a la organización, para posteriormente seleccionar las herramientas predictivas y programas de inspección enfocados a mitigar la aparición de fallas, se elaboraron AMEF a algunos de los equipos críticos objetos de estudio. Es de acotar que, a pesar de que los equipos funcionan a RPM distintas entre si y los fluidos manejados son diferentes, presentan modos de fallas muy similares, es por esto que no se realizaron AMEF a todos los equipos, sino que se escogió uno por cada tipo de activo, es decir, un motor eléctrico, una bomba, y una turbina. A continuación se presentan los formatos con la información recabada.


**Tabla 4.13:** Análisis de los modos de falla de los motores eléctricos de las bombas de condensado de proceso.

 <b>SUPERMETANOL, C.A.</b>	<b>EQUIPOS:</b> MP-4101 A y B		<b>ÁREA:</b> 4100 Reformación de gas natural		<b>REALIZADO POR:</b> Christian Mundarain	<b>FECHA:</b>
	Motores eléctricos de las bombas de condensado de proceso				<b>REVISADO POR:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 2
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL</b>		<b>MODOS DE FALLA</b>		<b>EFFECTOS</b>
1	Suministrar la potencia requerida para mantener una velocidad de giro constante de 3550 RPM a los impulsores de las bombas de condensado de proceso.	A	El motor no arranca o se detiene súbitamente	1. Rodamientos bloqueados.  2. Ruptura del eje  3. Problemas en la alimentación de energía.  4. Corto en los circuitos eléctricos del motor	Produce torques súbitos en el eje de transmisión y en el acople, generando posibles fracturas lo cual representa riesgos para el personal y paralización del proceso de extracción de condensado. Reducción en la generación de gas de síntesis y en la producción de metanol. Parada no programada para la intervención del equipo  Posibles daños a otros componentes internos del motor. Paralización del proceso de extracción de condensado lo cual afecta la producción de gas de síntesis.  Origina retrasos en el proceso de extracción de condensado lo que conlleva a una reducción de la producción de metanol y aumento de las horas de demora.  Produce incrementos súbitos de la temperatura y posibles incendios lo que representa riesgo para el personal y el ambiente. Posibles daños a otros componentes del activo y su entorno. Paralización de la extracción de condensado. Disminución en la producción de gas de síntesis	


**Tabla 4.14:** Análisis de los modos de falla de los motores eléctricos de las bombas de condensado de proceso (Continuación).

 <b>SUPERMETANOL, C.A.</b>	<b>EQUIPOS:</b> MP-4101 A y B		<b>ÁREA:</b> 4100 Reformación de gas natural		<b>REALIZADO POR:</b> Christian Mundarain	<b>FECHA:</b>	
	Motores eléctricos de las bombas de condensado de proceso				<b>REVISADO POR:</b>	<b>HOJA:</b> 2 de 2	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA		EFECTOS	
1	Suministrar la potencia requerida para mantener una velocidad de giro constante de 3550 RPM a los impulsores de las bombas de condensado de proceso.	B	Velocidad de giro inferior a 3550 RPM	1. Desgaste en los rodamientos  2. Deficiencias en el suministro de energía  3. Problemas de lubricación  4. Sobrecarga de las bombas	Produce roce excesivo entre componentes generando incrementos bruscos de temperatura lo que representa riesgo para el personal. Deficiencias en la extracción de condensado y en la producción de gas de síntesis. Amerita paralización del activo para su intervención  Produce sobrecalentamiento en el sistema eléctrico del motor lo que puede generar posibles cortos e incendios representando riesgos para el personal y el ambiente. Reducción el la producción de metanol. Pérdidas económicas.  Genera fricción excesiva entre componentes y posibles daños en los rodamientos lo que representa riesgos para el personal y conllevaría a la intervención del equipo. Deficiencias en la extracción de condensado y la producción de gas de síntesis.  Produce torques excesivos en eje y acople con posible ruptura de los mismos. Posibles daños a otros componentes del motor. Riesgo para el personal. Reducción el la extracción de condensado, producción de gas de síntesis y metanol.		


**Tabla 4.15:** Análisis de los modos de falla de la turbina de la bomba de alimentación al desaireador.

 <b>SUPERMETANOL, C.A.</b>	<b>EQUIPOS:</b> TP-5101 B		<b>ÁREA:</b> 5100 Agua desmineralizada		<b>REALIZADO POR:</b> Christian Mundarain	<b>FECHA:</b>
	Turbinas de bomba alimentación al desaireador				<b>REVISADO POR:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 2
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL</b>		<b>MODOS DE FALLA</b>		<b>EFFECTOS</b>
1	Suministrar la potencia requerida para mantener una velocidad de giro constante de 3600 RPM a los impulsores de las bombas de alimentación de agua desmineralizada al desaireador.	A	La turbina no arranca o se detiene súbitamente	1. Alimentación de vapor de agua nula.  2. Daños en los cojinetes  3. Fractura del impulsor  4. Válvula reguladora de vapor de la turbina dañada	Paralización de la bomba P5101 B disminuyendo la distribución de agua desmineralizada a los procesos que la requieran  Roce excesivo entre partes móviles lo que conlleva a posibles daños en el eje y el acople. Es necesario intervenir el equipo. Aumento de las horas de demora y los costos de mantenimiento.  Posibles daños a otros componentes de la turbina y la bomba acoplada a ella. Aumento de las horas de demora. Disminución en la producción de agua desmineralizada y en la generación de vapor de agua  Fugas de vapor de agua a alta presión lo que representa riesgos para el personal. Es necesario paralizar la producción de agua desmineralizada para corregir la falla. Aumento del consumo de vapor proveniente de superocéanos.	

**Tabla 4.16:** Análisis de los modos de falla de la turbina de la bomba de alimentación al desaireador (Continuación).


 <b>SUPERMETANOL, C.A.</b>	<b>EQUIPOS:</b> TP-5101 B		<b>ÁREA:</b> 5100 Agua desmineralizada		<b>REALIZADO POR:</b> Christian Mundarain		<b>FECHA:</b>	
	Turbinas de bomba alimentación al desaireador							<b>HOJA:</b> 2 de 2
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA		EFECTOS		
1	Suministrar la potencia requerida para mantener una velocidad de giro constante de 3550 RPM a los impulsores de las bombas de condensado de proceso.	B	Velocidad de giro inferior a 3600 RPM	1.	Deficiencias en el suministro de vapor de agua	Aumento del consumo de vapor proveniente de superocéanos. Posibles riesgos para el personal. Disminución del flujo de agua desmineralizada al desaireador lo que origina deficiencias en las áreas que requieran dicho fluido.		
				2.	Desgaste en los cojinetes	Generación de fricción excesiva entre componentes, aumento de las vibraciones lo que representa riesgos para el personal y el equipo. Paralización del equipo para sustitución de cojinetes lo que disminuye su efectividad.		
				3.	Problemas en la válvula reguladora de vapor	Riesgos para el personal. Paralización del equipo para su intervención. Disminución en la producción de agua desmineralizada y vapor de agua.		
				4.	Sobrecarga de la bomba acoplada a la turbina.	Torques excesivos en el eje y acople lo que puede originar fracturas de los mismos, representando riesgos para el personal y paralización del equipo. Disminución en la producción de agua desmineralizada.		

**Tabla 4.17:** Análisis de los modos de falla de las bombas de alimentación al desaireador.

 <b>SUPERMETANOL, C.A.</b>	<b>EQUIPOS:</b> P-5101 A/B		<b>ÁREA:</b> 5100 Agua Desmineralizada		<b>REALIZADO POR:</b> Christian Mundarain	<b>FECHA:</b>
	Bombas de alimentación al desaireador				<b>REVISADO POR:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 2
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL</b>		<b>MODOS DE FALLA</b>		<b>EFFECTOS</b>
1	Bombear agua desmineralizada desde los tanques de almacenamiento hasta el desaireador a razón de 240 m <sup>3</sup> /h.	A	No existe flujo de agua desmineralizada	1. Falla de los equipos conductores (turbina y motor eléctrico)  2. Ruptura del impulsor.  3. Ruptura o bloqueo de rodamientos  4. Sobrecarga de fluido manejado	Al fallar los equipos conductores se imposibilita el bombeo de agua desmineralizada lo que origina reducción de la producción de este fluido. Aumento del consumo de vapor proveniente de superoctanos. Aumento de las horas de demora.  Posibles daños en otros componentes del equipo y riesgos para el personal. Deficiencias en la generación de vapor y agua desmineralizada. Amerita intervenir el equipo  Torques excesivos en el eje y acople con posible fractura de los mismos, representando riesgos para el personal y el ambiente. Disminución del flujo de agua demi. Posible disminución de la producción de metanol  Posibles daños en rodamientos, ejes e impulsores tanto de la bomba como del equipo conductor lo que representa riesgos para el personal y el entorno. Probabilidad de daños a otros equipos del área 5100.	



**Tabla 4.18:** Análisis de los modos de falla de las bombas de alimentación al desaireador (Continuación).

 <b>SUPERMETANOL, C.A.</b>	<b>EQUIPOS:</b> P-5101 A/B		<b>ÁREA:</b> 5100 Agua Desmineralizada		<b>REALIZADO POR:</b> Christian Mundarain	<b>FECHA:</b>
	Bombas de alimentación al desaireador				<b>REVISADO POR:</b>	<b>HOJA:</b> 2 de 2
<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL</b>		<b>MODOS DE FALLA</b>		<b>EFFECTOS</b>
1	Bombear agua desmineralizada desde los tanques de almacenamiento hasta el desaireador a razón de 240 m <sup>3</sup> /h.	B	Bombeo de agua desmineralizada con un caudal menor a 240 m <sup>3</sup> /h.	1. Disminución de las velocidades de giro de los equipos conductores  2. Problemas con los rodamientos  3. Fugas de fluido manejado.  4. Sobrecarga de fluido manejado.	Producción de agua demi insuficiente. Reducción en la generación de vapor y posibles deficiencias en otros sistemas del proceso productivo.  Aumento de los niveles de vibraciones representando riesgos para el personal. Posibles desgastes en ejes y otros componentes. Paralización del activo para su intervención  Presencia de fluido a presión y temperatura elevada representando riesgos para el personal y medio ambiente. Posibles daños en otros equipos cercanos. Paralización de la producción de agua demi.  Posibles daños en rodamientos, ejes e impulsores tanto de la bomba como del equipo conductor lo que representa riesgos para el personal y el entorno. Probabilidad de daños a otros equipos del área 5100. Aumento del consumo de vapor de superoctanos. Deficiencias en la producción de metanol.	

#### **4.5. SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS PREDICTIVAS**

En base a la información recabada en los Análisis de Modos y Efectos de Falla, recomendaciones de personal especializado y a la capacidad de adaptación al entorno operacional, se optó por el Análisis de Vibraciones y el Ultrasonido, como herramientas predictivas. Estas herramientas poseen gran capacidad de detectar síntomas en estado incipiente, con la finalidad de disminuir los modos de falla de los equipos incluidos en el programa.

Esta selección fue avalada por La empresa Tecnotest de Venezuela, (empresa especializada en la implementación de programas de mantenimiento basados en condición). Dicha empresa recomendó la Inspección de Lubricante como tercera herramienta predictiva. Debido a que era necesario realizar modificaciones al entorno operacional para su implementación, no fue posible incluirla, pero se estudiará la posibilidad de hacerlo a mediano plazo.

Con el objeto de complementar el diagnóstico de la condición de los activos, se implementó el monitoreo de la temperatura y actividades preventivas basadas en inspección visual, como herramientas de apoyo.

##### **4.5.1. Análisis de Vibraciones.**

Consistió en la toma de valores de vibraciones en cada uno de los equipos mencionados anteriormente, a fin de detectar síntomas que conlleven a la ocurrencia de los modos de falla. Estas mediciones se hicieron siguiendo las rutas y los puntos establecidos (de los cuales se hablará posteriormente) y empleando como instrumento de medición el colector de datos VIBXPERT y un acelerómetro como sensor. Luego de recolectar los datos, estos fueron descargados en el software OMNITREND, donde se compararon con los valores de alarmas globales establecidos en las Normas ISO

10816-3 (Tabla 4.19), y con espectros patrones de los problemas más comunes detectados por este tipo de técnica, para el análisis de los espectros y generación de reportes.

El estándar ISO 10816-3, cubre una amplia gama de maquinarias industriales y establece criterios de aceptación para equipos en operación y para pruebas de aceptación de calidad. Esta norma establece los niveles límites de amplitud de velocidad de vibración (mm/seg. ó pulg./seg.) RMS en un rango de frecuencias de entre 10 a 1000 Hz (600 a 60.000 CPM) para máquinas con velocidad mayor a 600 RPM, para rangos de velocidad menor a 600 y mayores a 120 RPM, el rango de frecuencias de referencia será de entre 2 a 1000 Hz. La norma ISO 10816-3 clasifica cuatro zonas de condiciones de trabajo:

- **Zona A, Verde:** Amplitudes máximas para máquinas nuevas recién puestas en operación.
- **Zona B, Amarillo:** Amplitudes máxima para operación continua.
- **Zona C, Naranja:** Condición aceptable por un limitado periodo de tiempo.
- **Zona D, Rojo:** vibración perjudicial y peligrosa, una falla catastrófica puede ocurrir en cualquier momento.

Adicionalmente al tipo de apoyo, Rígido o Flexible, se definen además cuatro grupos de máquinas:

- **Grupo 1:** Máquinas grandes y motores eléctricos con alturas de eje, mayores a 315 mm, generalmente apoyadas en cojinetes planos.

- **Grupo 2:** Máquinas medianas y motores eléctricos con altura de eje entre 160 y 315 mm, generalmente apoyadas en rodamientos y con velocidad de operación superior a 600 RPM.
- **Grupo 3:** Bombas de una o varias etapas con motores externos con potencia superior a 15Kw apoyadas en cojinetes planos o rodamientos.
- **Grupo 4:** Bombas de una o varias etapas con motores integrados apoyadas en cojinetes planos o rodamientos.

**Tabla 4.19:** Estándar ISO 10816 – 3. **Fuente:** Tecnotest de Venezuela.

GRUPOS		GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		GRUPO 4	
TIPO DE MAQUINA		MOTORES H > 315 MM		MOTORES 160 MM < H < 315 MM		DRIVER EXTERNO		DRIVER INTEGRADO	
		MAQUINAS GRANDES 300 Kw a 50 Mw		MAQUINAS MEDIANAS 15 Kw a 300 Kw		BOMBAS MAYORES A 15 Kw FLUJO AXIAL, RADIAL Y MISTO			
FUNDACION		FLEXIBLE	RIGIDA	FLEXIBLE	RIGIDA	FLEXIBLE	RIGIDA	FLEXIBLE	RIGIDA
MM/SEG	PULG/SEG								
0,71	0,03		ZONA A						
1,40	0,06								
2,30	0,09								
2,80	0,11								
3,50	0,14		ZONA B						
4,50	0,18								
7,10	0,28				ZONA C				
11,0	0,43								
					ZONA D				

LEYENDA	ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D
		MAQUINAS NUEVAS	OPERACION CONTINUA SEGURA	OPERACION POR TIEMPO LIMITADO

#### 4.5.2. Ultrasonido.

El colector de datos y software de pc, empleado en el análisis de vibraciones, también contaban con la capacidad de recolectar, monitorear y analizar emisiones acústicas de alta frecuencia (energía generada por la fricción entre componentes que se mueven como rodamientos, engranajes, acoples, etc.), relacionadas con problemas de lubricación y desgaste en rodamientos y partes móviles.

Debido a que no se contaba con normas que establecieran criterios de aceptación para emisiones acústicas de alta frecuencia, ni tampoco con una data histórica para conocer los decibeles (dB) generados por los componentes, sin desgaste alguno, y en virtud de que era necesario comparar los espectros acústicos, captados durante la inspección, con alguna referencia para poder realizar el diagnóstico, se tomaron las siguientes consideraciones, basados en la experiencia de personal especializado y recomendaciones de fabricantes.

- En virtud a que a lo largo de la vida de un rodamiento, su nivel de emisión ultrasónica debe permanecer relativamente constante entre 3 y 4 decibeles por milivoltio (dBmV), se estableció una línea base de cinco (5) dBmV, como referencia al rango normal de operaciones.
- Un incremento de 8 a 10 dBmV sobre la línea base, indicaba necesidad de lubricación
- Se estableció una línea de prealarma a los 15 dBmV y un nivel de alarma moderado a los 25 dBmV. Una percepción sonora por encima de los 40 dBmV, representó un estado crítico en cuanto a emisiones acústicas.
- En los equipos donde el entorno operacional lo permitiera, se utilizaron unos audífonos especiales, conectados al captador de espectros, para escuchar la señal ultrasónica y obtener datos cualitativos, para correlacionarlos con los niveles de sonoridad.

- Un sonido suave y amortiguado, junto a mediciones estables, representó un funcionamiento dentro de los parámetros normales.
- Un sonido estridente con un tono alto, indicó falta de lubricación, sobrecarga o velocidad rotacional por encima de lo especificado.
- Sonidos crujientes, con lecturas inestables y altos niveles de dBmV, fue asociado a desgastes en los rodamientos o partículas metálicas sueltas en el lubricante.

#### **4.5.3. Monitoreo de Temperatura.**

Esta herramienta sirvió de apoyo al momento de diagnosticar anomalías relacionadas con los modos de falla de los equipos rotativos, debido a que la temperatura es una variable que, en condiciones de operación normal es muy estable, y, un aumento de esta, unido a niveles de vibraciones y/o espectros ultrasónicos fuera de los rangos aceptables, representa síntomas de problemas relacionados con alta fricción entre elementos móviles, deficiencias de lubricación y desgaste.

#### **4.5.4. Inspección visual.**

La selección de las herramientas predictivas fue complementada con la implementación de Inspecciones Visuales, ya que permite detectar problemas en cuanto a: Estado físico de componentes; funcionamiento de instrumentos asociados a los activos; fugas de fluidos manejados, niveles de lubricantes y refrigerantes; existencia de condiciones inseguras para el personal operador, de mantenimiento o inspección y riesgos para el ambiente.

#### **4.6. DISEÑO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.**

Una vez seleccionadas las herramientas predictivas a emplear, se procedió a plantear, diseñar y estructurar una serie de aspectos claves, relacionados con dichas herramientas y con los AMEF de los equipos en estudio, necesarios para la recolección y análisis de los datos. Estos aspectos fueron fundamentales al momento de obtener un diagnóstico acertado de la condición de los equipos. A continuación se mencionan y explican cada uno de ellos:

##### **4.6.1. Puntos de Inspección.**

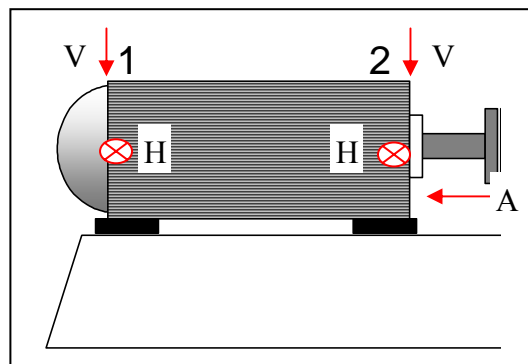
Los puntos de monitoreo se ubicaron lo mas cerca posible de los apoyos de las máquinas, tanto en su lado libre como en su lado acoplado, debido a que en estas zonas es donde se generan con mayor intensidad, los síntomas relacionados con los modos de falla. En los lados acoplados, se tomaron mediciones radiales (vertical y horizontal) y axiales, mientras que en los lados libres, solo se establecieron puntos de medición en sentido radial, ya que las fuerzas axiales generadas en estos lugares son relativamente bajas y despreciables. Para identificar los sentidos de medición, se utilizaron sus letras iniciales como referencia, es decir, la letra “V” para las mediciones en sentido vertical, la letra H para las horizontales y la letra A para las lecturas en sentido axial.

Para identificar los puntos de inspección, los equipos fueron divididos en dos grandes grupos, los conductores, que son aquellos que generan la potencia y las revoluciones por minuto necesarias (motores eléctricos y turbinas a vapor), y los conducidos que, acoplados a los conductores, cumplen con funciones específicas dentro del proceso (bombas, sopladores).

Se asignaron los números 1 y 2 para representar los lados libres y acoplados respectivamente, de los equipos conductores, mientras que para los conducidos se utilizaron los números 3 y 4 para señalar sus lados acoplados y libres respectivamente. En las figuras 4.6 y 4.7, se muestran esquemas representativos de las máquinas con sus respectivos puntos.

#### Equipos conductores:

- **MP-4101 A/B:** Motores eléctricos de las bombas de condensado de proceso
- **MP-4104 A/B:** Motores eléctricos de las bombas de central hidráulica
- **MP-4109 A/B:** Motores eléctricos de bombas recuperadoras de condensado
- **MEA-4101 del 1 al 4:** Motores eléctricos de los ventiladores enfriadores de gas reformado
- **MP-5101 A:** Motor eléctrico bomba alimentación al desaireador
- **TP-5101 B:** Turbinas de bomba alimentación al desaireador
- **MP-5103 A/B:** Motores eléctricos bombas de agua desionizada
- **MP-5105 A/B/C:** Motores eléctricos bombas de alimentación agua Demi
- **MP-5106 A/B/C:** Motores eléctricos bombas de agua desgasificada
- **MP-5107 A/B:** Motores eléctricos bombas de regeneración
- **MK-5105 A/B/C:** Motores eléctricos de sopladores de aire piscina



**Figura 4.6:** Esquema de los equipos conductores.  
**Fuente:** Propia.



### Puntos de Inspección

**1H:** Lado Libre Horizontal

**1V:** Lado Libre Vertical

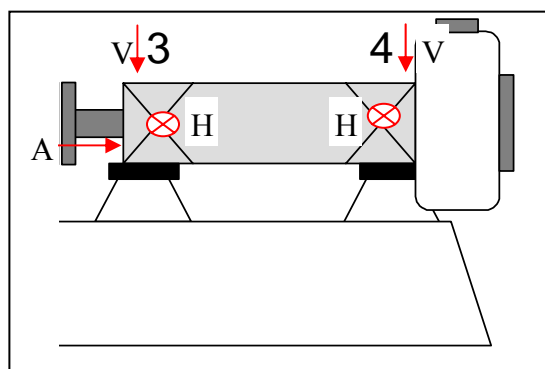
**2H:** Lado Acoplado Horizontal

**2V:** Lado Acoplado Vertical

**2A:** Lado Acoplado Axial

### Equipos Conducidos:

- **P-4101 A/B:** Bombas de condensado de proceso
- **P-4104 A/B:** Bombas de central hidráulica
- **P-4109 A/B:** Bombas de recuperación de condensado
- **P-5101 A/B:** Bombas de alimentación al desaireador
- **P-5103 A/B:** Bombas de agua desionizada
- **P-5105 A/B/C:** Bombas de alimentación agua demi
- **P-5106 A/B/C:** Bombas de agua desgasificada
- **P-5107 A/B:** Bombas de regeneración
- **K-5105 A/B/C:** Sopladores de aire piscina neutralizadora



**Figura 4.7:** Esquema de los equipos conducidos.

**Fuente:** Propia.

### Puntos de Inspección

**3H:** Lado Acoplado Horizontal    **4H:** Lado Libre Horizontal

**3V:** Lado Acoplado Vertical    **4V:** Lado Libre Vertical

**3A:** Lado Acoplado Axial

#### 4.6.2. Rutas de Muestreo.

Luego de determinar los lugares o puntos sobre los cuales se tomaron las mediciones, los equipos fueron distribuidos equitativamente en tres rutas de muestreo, quedando cada una de ellas con el mismo número de activo. Esta distribución fue establecida en función al área a la que pertenecen los equipos y cumpliendo con un orden de aparición determinado por su ubicación dentro de la planta, ya que esto facilitó la recolección de los datos, permitiendo que el proceso se diera de una forma más rápida y eficaz. A continuación se presentan las rutas de muestreo antes mencionadas:

**Tabla 4.20:** Rutas de Muestreo.

<b>Orden</b>	<b>Ruta 1</b>	<b>Ruta 2</b>	<b>Ruta 3</b>
<b>1<sup>ro</sup></b>	MEA-4101 del 1 al 4	MP-5101 A y P-5101 A	MP-5106 A y P-5106 A
<b>2<sup>do</sup></b>	MP-4109 A y P-4109 A	TP-5101 B y P-5101 B	MP-5106 B y P-5106 B
<b>3<sup>ro</sup></b>	MP-4109 B y P-4109 B	MP-5103 A y P-5103 A	MP-5106 C y P-5106 C
<b>4<sup>to</sup></b>	MP-4101 A y P-4101 A	MP-5103 B y P-5103 B	MP-5107 A y P-5107 A
<b>5<sup>to</sup></b>	MP-4101 B y P-4101 B	MP-5103 C y P-5103 C	MP-5107 B y P-5107 B
<b>6<sup>to</sup></b>	MP-4104 A y P-4104 A	MP-5105 A y P-5105 A	MK-5105 A y K-5105 A
<b>7<sup>mo</sup></b>	MP-4104 B y P-4104 B	MP-5105 B y P-5105/B	MK-5105 B y K-5105 B
<b>8<sup>vo</sup></b>	-----	MP-5105 C y P-5105 C	MK-5105 C y K-5105 C

#### **4.6.3. Frecuencia de Inspección.**

Esta frecuencia se refiere al lapso de tiempo entre inspecciones. Debido a que la empresa no contaba con un registro histórico de fallas que facilitara su cuantificación, se estableció una **frecuencia mensual**, tomando en cuenta la experiencia del personal de Tecnotest y la recomendaciones del departamento de mantenimiento de la empresa Super Octanos, C.A., el cual cuenta con programas de mantenimiento basado en condición, en sus equipos rotativos. Es de acotar que, esta frecuencia puede estar sujeta a modificación a medida que avanza la ejecución del programa diseñado, en función a las tendencias mostradas por los espectros captados a lo largo de las inspecciones.

#### **4.6.4. Actividades Diarias.**

Para la recolección y análisis de los datos y presentación de los reportes finales, se dispuso de cinco días continuos, cada uno de ellos con actividades específicas las cuales representan el procedimiento a seguir para la correcta ejecución del programa de inspección, cumpliendo con las normativas de seguridad establecidas por la empresa.

##### **Día 1:**

- Antes de ingresar a la planta, es necesario contar con los siguientes implementos de seguridad: Braga, Botas de seguridad, casco con protectores auditivos, lentes protectores y guantes aislantes.
- Solicitud del permiso de trabajo para la inspección de la ruta número 1.
- Cargar la ruta N° 1 en el colector de datos VIBXPRT.

- Realizar la inspección siguiendo el orden establecido en la ruta y recolectar los datos sobre los puntos previamente establecidos.
- Una vez terminada la inspección, es necesario cerrar el permiso de trabajo.
- Descargar los datos recolectados, en el software de mantenimiento predictivo .OMNITREND.
- Análisis de los datos.

**Día 2:**

- Se sigue la misma secuencia del día 1, sustituyendo la ruta número 1 por la 2.

**Día 3:**

- Se sigue la misma secuencia del día 1, sustituyendo la ruta número 1 por la 3.

**Día 4:**

- Ejecución de actividades pendientes de los días anteriores (en caso de ser necesario).
- Realizar nuevamente algunas de las medidas (en caso de ser necesario).
- Culminación del análisis de los datos recolectados durante las inspecciones de los 3 días anteriores.

- Elaboración del reporte final.

#### **Día 5:**

- Culminación y presentación del reporte final.

#### **4.6.5. Programas de Inspección Mensual.**

Para realizar la recolección de los datos en campo con las herramientas seleccionadas, se diseñó un conjunto de actividades a seguir, con el apoyo del AMEF, para cada uno de los equipos integrantes del programa. Estas actividades fueron organizadas en orden de ejecución y presentadas en una serie de cuadros, algunos de ellos mostrados desde la tabla 4.21 a la 4.24, (El resto se encuentran en el apéndice A.2)

Dichos cuadros contienen, además de las actividades, los rangos aceptables para cada aspecto que lo amerite, el personal encargado de cada acción y el tiempo estimado de ejecución, el cual fue determinado por pruebas previas.

**Tabla 4.21:** Programa de inspección mensual de los MEA-4101 del 1 al 4.

PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL					
Equipos: MEA-4101 del 1 al 4			Área: 4100	Ruta: 1	
Ítem	Actividad	Rango Permissible		Personal Encargado	Tiempo Estimado
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 1	< 55 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 2	< 55 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	30
10	Inspeccionar el estado de la correa transmisora	----		Sup. de Mtto	15 seg.
11	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
12	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----

**Tabla 4.22:** Programa de inspección mensual de las P-4109 A y B

PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL					
Equipos: P-4109 A / P-4109 B			Área: 4100	Ruta: 1	
Ítem	Actividad	Rango Permissible		Personal Encargado	Tiempo Estimado
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 3H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 3	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 3V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 4H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 4	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 4V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 4A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto.	1 min.
10	Chequear nivel de lubricante	0,8 L < Nivel < 1 L		Sup. de Mtto.	15 seg.
11	Comprobar que no existan fugas en el equipo	Fugas = 0		Sup. de Mtto.	1 min.
12	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto.	1 min.
13	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto.	----

**Tabla 4.23:** Programa de inspección mensual de la TP-5101 B.

PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL					
Equipos: TP-5101 B			Área: 5100	Ruta: 3	
Ítem	Actividad	Rango Permissible		Personal Encargado	Tiempo Estimado
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Verificar velocidad de giro	RPM = 3600		Sup. de Mtto	15 seg.
3	Chequear nivel de lubricante	1,4 L < nivel < 1,6 L		Sup. de Mtto	1 min.
3	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
7	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	1 min.
9	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
10	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----



**Tabla 4.24:** Programa de inspección mensual de los MK-5105 A, B y C.

PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL					
Equipos: MK-5105 A / MK-5105 B / MK-5105 C			Área: 5100	Ruta: 4	
Ítem	Actividad	Rango Permissible		Personal Encargado	Tiempo Estimado
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 1	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 2	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	1 min.
10	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
11	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----

#### 4.6.6. Reporte Final.

Una vez analizados todos los datos obtenidos de las inspecciones, se procedió a la elaboración y presentación del reporte de la condición de la maquinaria.

Este reporte fue diseñado para resumir las condiciones generales de operación de los activos monitoreados en cada ruta de inspección. Muestra un resumen sobre los puntos fundamentales que representan la salud de los equipos y su entorno, cuidando no solo los aspectos dinámicos relativos al desempeño, sino las situaciones de limpieza, orden, seguridad y ambiente que puedan representar riesgos potenciales tanto para el equipo como para la seguridad del personal de operaciones y mantenimiento.

Las recomendaciones expresadas se dirigen hacia la corrección de las causas de las fallas y no solo a mitigar los síntomas de la misma. Esto con el objetivo de disminuir la recurrencia y mejorar los procedimientos de mantenimiento y operación.

Para una mejor comprensión del formato diseñado para la presentación del reporte de la condición, a continuación se definen algunos aspectos presentes el dicho formato:

- **Condición Dinámica (D):** Se refiere a la condición del activo en cuanto a niveles de espectros de vibraciones captados.
- **Ruido Ultrasónico (U):** Representa el estado en que se encuentra el activo referente a los niveles de ruido ultrasónico captados durante la inspección.
- **Temperatura (T):** Muestra la condición de los activos, concerniente a la temperatura de servicio.

- **Nivel de Lubricante (N):** Mediante la inspección visual, se verifica que la cantidad de lubricante presente en el reservorio de los equipos, sea la recomendada.
- **Fugas (F):** En este renglón se indica si el activo inspeccionado presenta alguna pérdida de fluido manejado, lubricante o refrigerante.
- **Condición Operacional (O):** Representa la condición de los activos en cuanto al cumplimiento de su función dentro del proceso.
- **Limpieza (L):** Situación física del activo y su entorno.
- **SIAHO (S):** En este renglón se indica si durante la inspección se observó algún factor que represente un riesgo potencial para la seguridad industrial, ambiente e higiene operacional.
- **Estatus Anterior:** Indica el diagnóstico de la condición del activo en la inspección inmediata anterior.
- **Estadísticas:** En este espacio del formato, se muestra un gráfico que representa el porcentaje de activos en condición normal, observación, alarma, crítico y fuera de servicio, por cada una de las rutas.

## **4.7. REPORTE FINAL. PRIMERA INSPECCIÓN**

**Tabla 4.25:** Reporte de condición. Ruta nº 1.

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL												
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16						
Ruta: 1		Resultados de la Inspección								Estadísticas		
Área: 4100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)			
Estatus Anterior	ID/TAG											
	MEA-4101/1	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
	MEA-4101/2	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
	MEA-4101/3	(!)	✓	✓			✓	✓	✓	Se mantendrá seguimiento		
	MEA-4101/4	✓	⊖	✓			✓	✓	✓	Verificar rutina de lubricación		
	MP-4109 A	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
	P-4109 A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	MP-4109 B	F/S										
	P-4109 B	F/S										
	MP-4101 A	⊖	✓	✓			(!)	✓	✓	Se observa vibración ligeramente alta, predomina pico 2x (7200 cpm)		
	P-4101 A	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Se ve afectada por condición del motor		
Otras Observaciones: MP-4101 A - Verificar carga y estatus operacional. Por ahora solo se mantendrá seguimiento, se realizará nueva medición. Es recomendable inspección eléctrica.												
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento

**Tabla 4.26:** Reporte de condición. Ruta nº 1 (Continuación).

<p style="text-align: center;"><b>Reporte de Condición de la Maquinaria</b>  <b>Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL</b></p>																														
<b>Inspector:</b> <b>Analista:</b>						<b>Total de Equipos: 16</b>																								
<b>Ruta: 1</b>		<b>Resultados de la Inspección</b>						<b>Estadísticas</b>																						
<b>Área: 4100</b>		<b>Condición Dinámica (D)</b>	<b>Ruido Ultrasonico (U)</b>	<b>Temperatura (T)</b>	<b>Nivel de Lubricante (N)</b>	<b>Fugas (F)</b>	<b>Cond. Operacional (O)</b>	<b>Limpieza (L)</b>	<b>SI/NO (S)</b>	<table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Estadísticas de Equipos</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Cantidad</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Normal</td> <td>6</td> <td>37%</td> </tr> <tr> <td>Crítico</td> <td>6</td> <td>37%</td> </tr> <tr> <td>Alarma</td> <td>2</td> <td>13%</td> </tr> <tr> <td>Observación</td> <td>0</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>F/S</td> <td>2</td> <td>13%</td> </tr> </tbody> </table>			Categoría	Cantidad	Porcentaje	Normal	6	37%	Crítico	6	37%	Alarma	2	13%	Observación	0	0%	F/S	2	13%
Categoría	Cantidad												Porcentaje																	
Normal	6	37%																												
Crítico	6	37%																												
Alarma	2	13%																												
Observación	0	0%																												
F/S	2	13%																												
<b>Estatus Anterior</b>	<b>ID/TAG</b>																													
	MP-4101 B	F/S																												
	P-4101 B	F/S																												
	MP-4104 A	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓																				
	P-4104 A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																				
	MP-4104 B	F/S																												
	P-4104 B	F/S																												
<b>Otras Observaciones:</b>																														
<b>Legenda:</b>	(I)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento																		

**Tabla 4.27:** Reporte de condición. Ruta n° 2.

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL												
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16						
Ruta: 2		Resultados de la Inspección								Estadísticas		
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)			
Estatus Anterior	ID/TAG											
	MP-5101 A	F/S										
	P-5101 A	F/S										
	TP-5101 B	✓	(!)	(!)	✓	✓	✓	✓	(!)	Superficies calientes, cuidado. Se mantendrá seguimiento al ruido ultrasónico		
	P-5101 B	✓	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Se mantendrá seguimiento al ruido ultrasónico		
	MP-5103 A	✓	(!)	✓			✓	✓	✓	Ruido ultrasónico ligeramente alto. Se mantendrá seguimiento		
	P-5103 A	✓	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ruido ultrasónico ligeramente alto. Se mantendrá seguimiento		
	MP-5103 B	⊖	(!)	✓			✓	✓	✓	Síntomas de desalineación.		
	P-5103 B	⊖	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Se recomienda planificar reemplazo de lubricante		
	MP-5103 C	✓	(!)	✓			✓	✓	✓	Ruido ultrasónico ligeramente alto. Se mantendrá seguimiento		
	P-5103 C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Otras Observaciones: MP-5103 B - Monitorear con mayor tiempo de operación												
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	⊘	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento

**Tabla 4.28:** Reporte de condición. Ruta nº 2 (Continuación).

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL												
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16						
Ruta: 2		Resultados de la Inspección							Estadísticas			
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)			
Estatus Anterior	ID/TAG											
	MP-5105 A	(!)	✓	✓			✓	✓	✓			
	P-5105 A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	MP-5105 B	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
	P-5105 B	✓	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		Se mantendrá seguimiento a condición de lubricación	
	MP-5105 C	⊖	✓	✓			✓	✓	✓		Se observa síntomas de desalineación. Incluir actividad de alineación en próxima parada programada. Se mantendrá seguimiento	
	P-5105 C	⊖	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Otras Observaciones: Algunos diagnósticos no son representativos al monitorear equipos recién puestos en servicio. Se requiere un mayor tiempo de operación continua antes del monitoreo												
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento



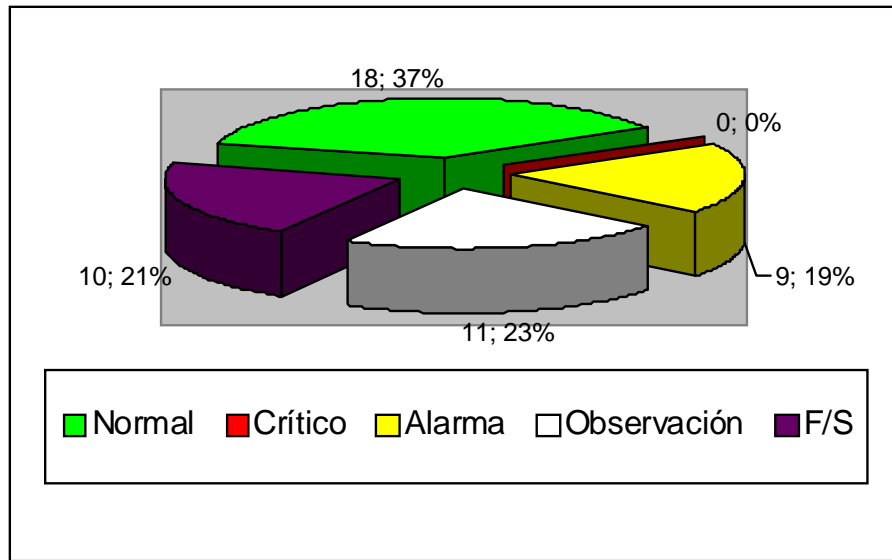
**Tabla 4.29:** Reporte de condición. Ruta nº 3.

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL												
Inspector: Analista:					Total de Equipos: 16							
Ruta: 3		Resultados de la Inspección							Estadísticas			
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)			
Estatus Anterior	ID/TAG										Observaciones	
	MP-5106 A	(!)	✓	✓			✓	✓	✓			
	P-5106 A	✓	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	MP-5106 B	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
	P-5106 B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	MP-5106 C	F/S										
	P-5106 C	F/S										
	MP-5107 A	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
	P-5107 A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	MP-5107 B	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
	P-5107 B	✓	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ruido ultrasónico alto. Planificar remplazo de lubricante antes de la próxima inspección		
Otras Observaciones:												
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento

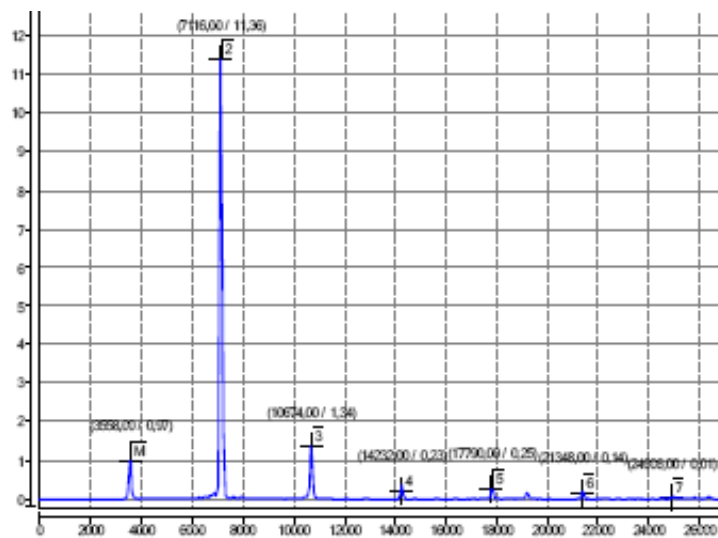
**Tabla 4.30:** Reporte de condición. Ruta nº 3 (Continuación).

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL												
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16						
Ruta: 3		Resultados de la Inspección						Estadísticas				
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)			
Estatus Anterior	ID/TAG											Observaciones
	MK-5105 A	⊖	✓	✓			✓	✓	✓	✓	Síntomas de soltura en la base del motor	
	K-5105 A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	MK-5105 B	⊖	✓	✓			✓	✓	✓	✓	Condición igual al MK-5105 A con menor severidad	
	K-5105 B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	MK-5105 C	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓		
	K-5105 C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Otras Observaciones: Es recomendable verificar condición de pernos (oxidación / rotura), apriete con torquímetro de acuerdo al tamaño del perno. Facilitar historial de mantenimiento.												
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	⊘	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento

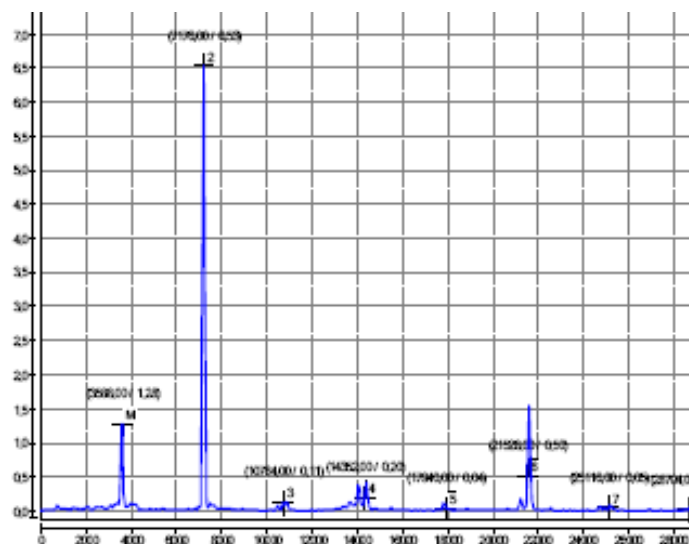
### Resumen Final. Primera Inspección:



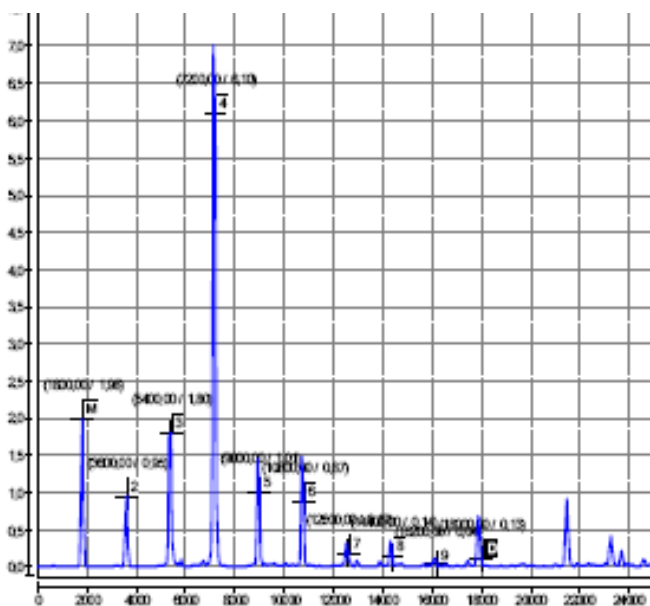
**Figura 4.8:** Representación gráfica del resumen total de la condición de los equipos.



**Figura 4.9:** Espectros de frecuencia en la posición 2A del MP-5103 B.



**Figura 4.10:** Espectros de frecuencia en la posición 1H del MP-5105 C



**Figura 4.11:** Espectros de frecuencia en la posición 2A del MK-5105 A

**Observaciones Generales:**

- Es recomendable realizar el monitoreo a los equipos en caliente, bajo las condiciones de operación normal. Monitorear equipos recién puestos en servicio no es una buena práctica, el aceite y la grasa fría tienden a dar señales no representativas de la condición de rodamiento. De igual forma, las bombas recirculando no tienen el mismo comportamiento que en régimen de carga. Es conveniente planificar la inspección en concordancia con operaciones.
- Para los equipos de operación intermitente, se puede planificar su arranque al menos 1 hora antes de la inspección, esto puede hacerse en el periodo de las tres semanas de duración del servicio por cada mes.
- Los equipos de operación continua, se deben inspeccionar en servicio y luego ejecutar un plan de rotación operacional para la inspección del equipo en reserva, bien sea en el próximo mes de ruta o planificar la rotación igualmente dentro de las tres semanas del servicio.
- En la figura 4.8 se muestra un resumen total de la condición de los equipos en esta primera inspección. Se evidencia que, de los 48 activos rotativos en estudio, 37 % se encuentran normal, 23% en observación, 21 % fuera de servicio, 19 % en alarma. No se presentaron equipos en estado crítico.
- MEA-4101 / 3: Presentó vibraciones ligeramente altas en las posiciones 1V y 2V. Se colocó en observación para mantener un seguimiento a esta condición.
- MEA-4101 / 4: Se observaron niveles de ruido ultrasónico ligeramente alto, cercanos a los 15 dBmV, Se recomienda verificar la rutina de lubricación.

- MP-4101 A: Se captaron vibraciones ligeramente altas, predominando pico en frecuencia 2X (7200 cpm). Se recomienda verificar carga y estatus operacional. Por ahora solo se mantendrá seguimiento. La bomba acoplada se ve afectada por la condición del motor (P-4101 A).
  
- TP-5101 B y P-5101B: Superficies calientes. Es necesario tener precaución y utilizar el equipo protector adecuado al momento de realizar la inspección. Se mantendrá seguimiento al ruido ultrasónico.
  
- MP-5103 B y P-5103 B: Se observa alto nivel de amplitud axial en el motor. Predomina 2X RPM, lo cual es típico de condiciones de desalineación (ver figura 4.9). A pesar de existir niveles de amplitud de vibración por encima del estándar, es conveniente realizar monitoreo con un mayor tiempo de operación (el equipo fue inspeccionado en frío), a fin de detectar condiciones más representativas. Por los momentos no se recomienda ninguna acción correctiva en el motor. En los rodamientos de la bomba se observa una amplitud de 31 dBmV en el ruido ultrasónico, lo máximo permisible para el equipo es de 15 dBmV. Dado el elevado ruido ultrasónico en los rodamientos de la bomba, es recomendable reemplazar el lubricante y vigilar la evolución de esta variable.
  
- MP-5105 C y P-5105 C: En la figura 4.10 se muestran los espectros de frecuencia en la posición 1H del MP-5105 C. La alta amplitud se concentra principalmente en 2X RPM, lo cual es típico de desalineación angular. Se recomienda planificar actividad de alineación y usar apriete adecuado de pernos ya que, el exceso de apriete puede generar este tipo de comportamiento. Se puede intentar aflojar pernos para evaluar condición. Esto con el equipo en servicio.
  
- MK-5105 A: Se observa un nivel máximo de amplitud de 6,23 mm/seg. y 6,00 mm/seg. RMS en las posiciones 2A (ver figura 4.11) y 2V respectivamente. El

máximo permisible ISO 10816-3 para este equipo es de 4,5 mm/seg. RMS. La alta amplitud vertical hace presumir problemas con el anclaje del motor eléctrico, lo que se manifiesta con los sucesivos picos de frecuencias armónicas de 1X RPM, típicos de esta condición. La soltura también puede ser motivada a exceso de holgura entre rodamientos y cajera. Se recomienda:

1. Para descartar soltura de rodamientos es conveniente verificar ajuste de pernos en la base mediante torquímetro, el torque debe ser el adecuado para el perno. Exceso de apriete genera igualmente alta vibración.
2. Verificar condición de pernos, preferiblemente planificar reemplazo de los mismos en todo el conjunto motor-soplador.
3. Revisar en histórico de mantenimiento, el último reemplazo de rodamientos.
4. Todo esto influye sobre la alineación, por lo que es conveniente incluirla dentro de la planificación.

## **4.8. REPORTE FINAL. SEGUNDA INSPECCIÓN**



**Tabla 4.31:** Reporte de condición. Ruta nº 1.

<p style="text-align: center;"><b>Reporte de Condición de la Maquinaria</b>  <b>Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL</b></p>												
<b>Inspector:</b> <b>Analista:</b>						<b>Total de Equipos: 16</b>						
<b>Ruta: 1</b>		<b>Resultados de la Inspección</b>								<b>Estadísticas</b>		
<b>Área: 4100</b>		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)			
<b>Estatus Anterior</b>	<b>ID/TAG</b>											<b>Observaciones</b>
✓	MEA-4101/1	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
✓	MEA-4101/2	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
D	MEA-4101/3	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
U	MEA-4101/4	✓	⊖	✓			✓	✓	✓	Lubricar motor		
✓	MP-4109 A	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
✓	P-4109 A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
F/S	MP-4109 B	F/S										
F/S	P-4109 B	F/S										
D	MP-4101 A	⊖	✓	✓			(!)	✓	✓	Vibración ligeramente alta en motor, predomina pico 2x (7200 cpm). Verificar carga operacional. Condición reportada anteriormente. La bomba se ve afectada por motor		
D	P-4101 A	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Otras Observaciones:												
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento

**Tabla 4.32:** Reporte de condición. Ruta nº 1 (Continuación).

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL																														
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16																								
Ruta: 1		Resultados de la Inspección						Estadísticas																						
Área: 4100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)	<table border="1"> <caption>Estadísticas de Equipos</caption> <thead> <tr> <th>Condición</th> <th>Cantidad</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Normal</td> <td>7</td> <td>43%</td> </tr> <tr> <td>F/S</td> <td>6</td> <td>38%</td> </tr> <tr> <td>Alarma</td> <td>2</td> <td>13%</td> </tr> <tr> <td>Observación</td> <td>1</td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td>Crítico</td> <td>0</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>			Condición	Cantidad	Porcentaje	Normal	7	43%	F/S	6	38%	Alarma	2	13%	Observación	1	6%	Crítico	0	0%
Condición	Cantidad												Porcentaje																	
Normal	7	43%																												
F/S	6	38%																												
Alarma	2	13%																												
Observación	1	6%																												
Crítico	0	0%																												
Estatus Anterior	ID/TAG	Observaciones																												
F/S	MP-4101 B	F/S																												
F/S	P-4101 B	F/S																												
✓	MP-4104 A	✓	✓	✓			✓	✓	✓																					
✓	P-4104 A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																					
F/S	MP-4104 B	F/S																												
F/S	P-4104 B	F/S																												
Otras Observaciones:																														
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	⊘	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento																		

**Tabla 4.33:** Reporte de condición. Ruta nº 2.

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL												
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16						
Ruta: 2		Resultados de la Inspección						Estadísticas				
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)			
Estatus Anterior	ID/TAG											
F/S	MP-5101 A	F/S										
F/S	P-5101 A	F/S										
U	TP-5101 B	✓	(!)	(!)	✓	✓	✓	✓	(!)	Tubería caliente, cuidado. Se recomienda implementar monitoreo de lubricante		
U	P-5101 B	✓	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Se mantendrá en seguimiento		
U	MP-5103 A	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
U	P-5103 A	✓	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ruido ultrasónico ligeramente alto. Se mantendrá seguimiento		
D	MP-5103 B	F/S								Verificar acciones recomendadas el la inspección anterior		
D	P-5103 B	F/S										
U	MP-5103 C	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
✓	P-5103 C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Otras Observaciones:												
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento

**Tabla 4.34:** Reporte de condición. Ruta nº 2 (Continuación).

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL													
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16							
Ruta: 2		Resultados de la Inspección						Estadísticas					
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)				
Estatus Anterior	ID/TAG												Observaciones
D	MP-5105 A	⊖	✓	✓			✓	✓	✓	Se monitoreó con mayor tiempo de servicio. Se presenta condición de desalineación. Se recomienda planificar y programar actividad de alineación			
✓	P-5105 A	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
✓	MP-5105 B	✓	✓	✓			✓	✓	✓				
U	P-5105 B	✓	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Se recomienda limpieza de cajera y reemplazo de lubricante			
D	MP-5105 C	⊖	✓	✓			✓	✓	✓	Síntomas de desalineación. Se mantiene condición reportada en inspección anterior			
D	P-5105 C	⊖	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Otras Observaciones:													
Legenda:		(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento

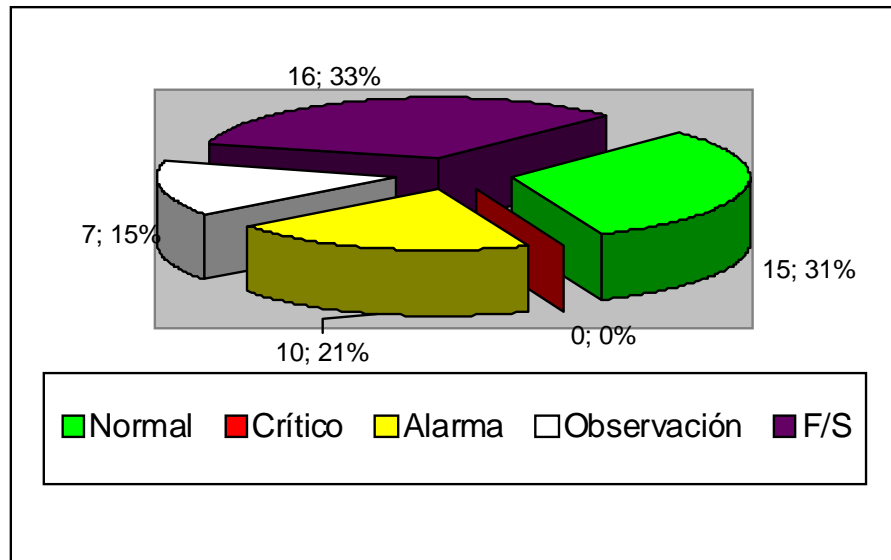
**Tabla 4.35:** Reporte de condición. Ruta nº 3.

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL												
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16						
Ruta: 3		Resultados de la Inspección								Estadísticas		
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)			
Estatus Anterior	ID/TAG											
D	MP-5106 A	(!)	✓	✓			✓	✓	✓	✓	Se recomienda Inspección eléctrica	
U	P-5106 A	✓	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Se recomienda limpieza de cajera y reemplazo de lubricante	
✓	MP-5106 B	(!)	✓	✓			✓	✓	✓	✓	Se recomienda Inspección eléctrica	
✓	P-5106 B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
F/S	MP-5106 C	(!)	✓	✓			✓	✓	✓	✓	Se recomienda Inspección eléctrica	
F/S	P-5106 C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
✓	MP-5107 A	F/S										
✓	P-5107 A	F/S										
✓	MP-5107 B	F/S										
U	P-5107 B	F/S									Verificar reemplazo de lubricante según recomendación del reporte anterior	
Otras Observaciones:												
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento

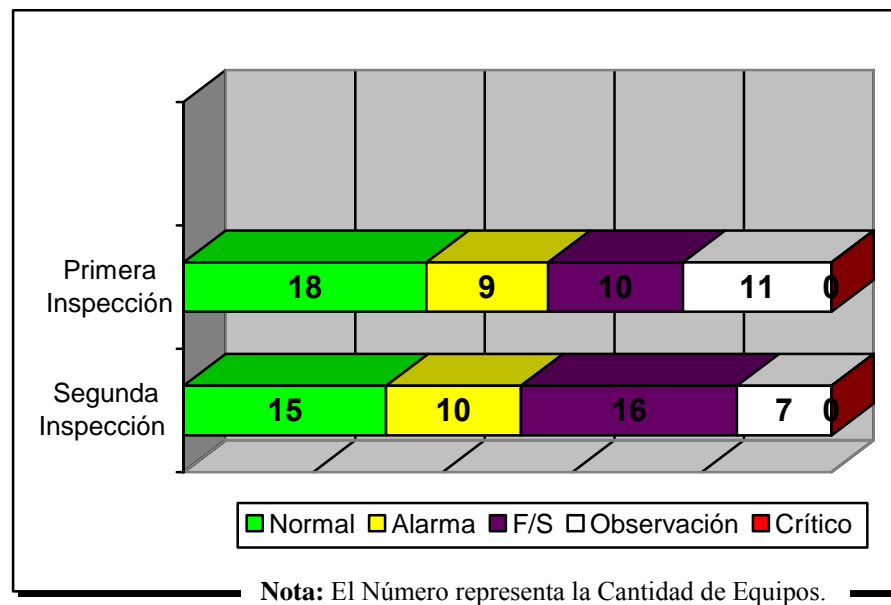
**Tabla 4.36:** Reporte de condición. Ruta nº 3 (Continuación).

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL												
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16						
Ruta: 3		Resultados de la Inspección						Estadísticas				
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)			
Estatus Anterior	ID/TAG											
D	MK-5105 A	F/S								Verificar acciones de mantenimiento recomendadas en la inspección anterior		
✓	K-5105 A	F/S										
D	MK-5105 B	⊖	✓	✓			✓	✓	✓	Se mantiene el diagnóstico de la inspección anterior		
✓	K-5105 B	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
✓	MK-5105 C	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
✓	K-5105 C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Otras Observaciones:												
<b>Leyenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento

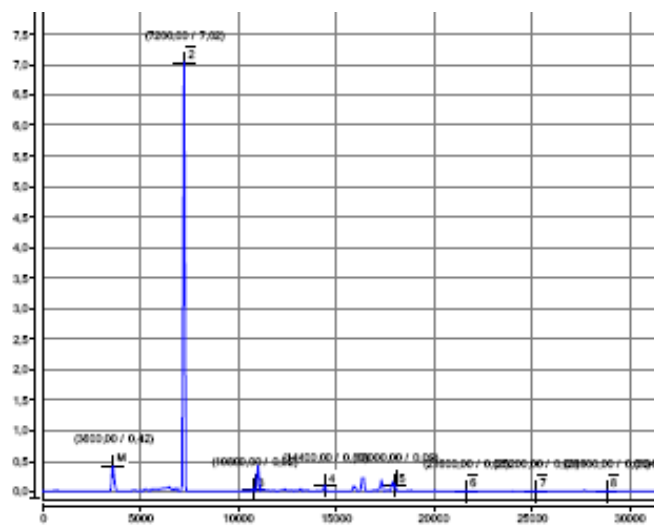
### Resumen Final. Segunda Inspección:



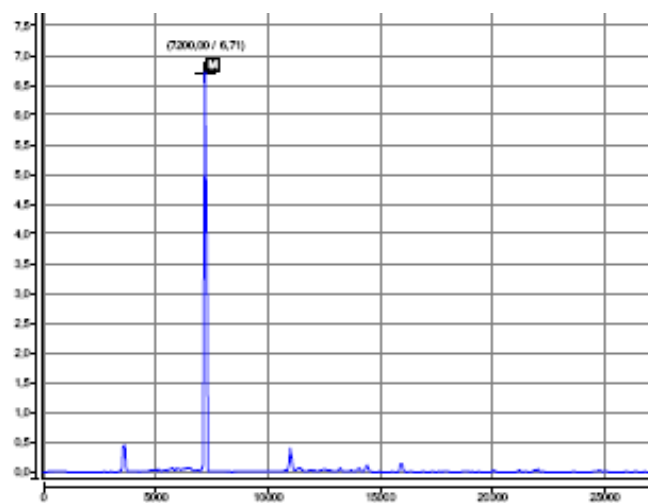
**Figura 4.12:** Representación gráfica del resumen total de la condición de los equipos.



**Figura 4.13:** Comparación entre la primera y segunda inspección.



**Figura 4.14.** Espectros de frecuencia en la posición 1H del MP-4101 A



**Figura 4.15.** Espectros de frecuencia en la posición 2H del MP-4101 A



**Observaciones Generales:**

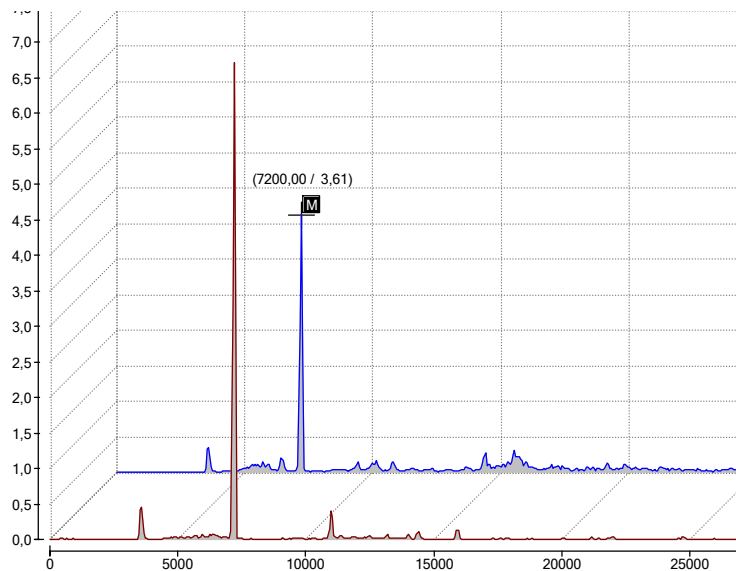
- Ejecutar, si es posible, las acciones recomendadas sobre los equipos que estaban en alarma y observación, en la primera inspección, y luego pasaron a fuera de servicio, para mejorar su condición.
- Se recomienda realizar la lubricación de los motores asegurando el drenaje de la grasa vieja, de lo contrario es posible que se origine un exceso de lubricante dentro de los motores unido a la contaminación de la grasa nueva.
- Al momento de inspeccionar la turbina de vapor TP-5101 B, es necesario utilizar, además de los equipos de seguridad de rutina (cascos, protectores auditivos, braga, botas y lentes), guantes contra temperaturas elevadas, para evitar inconvenientes.
- En la figura 4.12 se muestra un resumen total de la condición de los equipos en esta segunda inspección. Se evidencia que, de los 48 activos rotativos en estudio, 31 % se encuentran normal, 15% en observación, 33 % fuera de servicio, 21 % en alarma. No se presentaron equipos en estado crítico.
- En la figura 4.13 se muestra una comparación entre la primera y segunda inspección. Se observa una disminución de los equipos en condición normal y un pequeño incremento de los activos en estado de alarma. Esto, unido a que varios de los activos presentaron la misma condición reportada en la inspección anterior, es indicativo de que no se han ejecutado las acciones recomendadas. Es necesario incluir dichas acciones, dentro de las actividades a ejecutar en la parada de planta programada a realizarse próximamente, con el objeto de mejorar la condición de los activos.

- MEA-4101 / 4: Ruido ultrasónico ligeramente alto. Se mantiene condición reportada en el informe anterior. Es necesario lubricar motor eléctrico.
- MP-4109 B: Sin monitoreo desde el inicio del programa de inspección. Se recomienda la rotación operacional para así, poder verificar la condición de la totalidad de los activos en estudio.
- MP-4101 A y P-4101 A: Se detectaron vibraciones altas, con picos predominantes a frecuencia 2X en las posiciones 1H y 2H como se muestra en las figuras 4.14 y 4.15 respectivamente. La bomba se ve afectada por la problemática del motor. Condición reportada anteriormente.

Los espectros de frecuencia muestran predominio del 2xFL (7200 CPM), y la baja amplitud axial no sugiere condición de desalineación en el acople. Este tipo de comportamiento puede originarse básicamente por un entrehierro desigual, el cual puede ser causado por efectos mecánicos durante el montaje de rodamientos (excentricidad), defectos de las cajas o incluso una condición de “pata coja”. Puede verificarse el asentamiento (pata coja) soltando los pernos durante la operación de la máquina y verificar el comportamiento dinámico, como prueba de descarte. El montaje de rodamientos solo puede ser verificado mediante inspección de mantenimiento. Es recomendable realizar inspección de variables eléctricas para evaluar otras condiciones asociadas al motor eléctrico.

**NOTA:** Posterior a la inspección, se verificó la presencia de “pata coja”, en la base trasera del motor. Se aflojaron estos pernos produciendo una disminución de los niveles de vibración en todo el conjunto motor-bomba. El equipo queda disponible para operación confiable. La figura 4.16 muestra una comparación de los espectros, captados en la posición 2H, antes y después de realizar la actividad mencionada. Se observa una disminución del pico 2xFL, asociado a la línea eléctrica. Al corregir el

efecto de la “pata coja” la carcasa del motor se hace concéntrica nuevamente eliminando el desbalance de fuerzas magnéticas. Una posible causa de este efecto, es el corrosión presente en pernos y en la base soporte, que origina el asentamiento irregular del equipo. Es recomendable planificar la limpieza de la base y la realineación del equipo, para mejorar aun más su condición.



**Figura 4.16.** Comparación de los espectros de frecuencia, en la posición 2H antes y después de la verificación de la “pata coja” del MP-4101 A

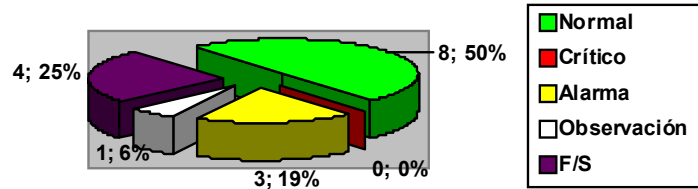
- P-5103 A: Ruido ultrasónico ligeramente alto. Se mantendrá bajo observación para monitorear la evolución de esta variable.
- MP-5103 B y P-5103 B: El conjunto se encontró fuera de servicio. En la inspección anterior presentó un estatus de alarma en cuanto a la condición dinámica. Es necesario verificar y ejecutar, de ser posible, las acciones recomendadas a fin de mitigar las fallas en estado incipiente.

- MP-5105 A y P-5105 A: Esta vez se monitoreó el conjunto, con mayor tiempo en servicio, a diferencia de la inspección anterior. Los espectros captados arrojan posible presencia de condición de desalineación. Se recomienda planificar y programar actividad de alineación
- P-5105 B: Los niveles de ruido ultrasónicos aumentaron, en comparación con la inspección anterior. Se recomienda limpieza de cajera y reemplazo de lubricante.
- MP-5105 C y P-5105 C: Síntomas de desalineación. Se mantiene condición reportada en el informe anterior.
- P-5106 A: Ruido ultrasónico en aumento. Se recomienda limpieza de cajera y reemplazo de lubricante.
- P-5107 B: La bomba se encontró fuera de servicio. En la inspección anterior presentó un estatus de alarma en cuanto a ruido ultrasónico. Verificar reemplazo de lubricante según recomendación del reporte anterior.
- MK-5105 A: Este motor se encontró fuera de servicio. En la inspección anterior presentó un estatus de alarma en cuanto a condición dinámica. Verificar acciones de mantenimiento recomendadas.
- MK-5105 C y K-5105 B: Mantiene vigencia el diagnóstico anterior
- MP y P4101 B; MP y P4104 B; MP y P-5101 A: Se mantienen fuera de servicio desde el inicio del programa. Se recomienda rotación operacional con el objeto de poder diagnosticar la condición de la totalidad de los activos en estudio.

## **4.9. REPORTE FINAL. TERCERA INSPECCIÓN**

**Tabla 4.37:** Reporte de condición. Ruta nº 1.

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL										
Inspector: Analista:				Total de Equipos: 16						
Ruta: 1		Resultados de la Inspección								Estadísticas
Área: 4100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)	Observaciones
Estatus Anterior	ID/TAG									
✓	MEA-4101/1	✓	✓	✓			✓	✓	✓	
✓	MEA-4101/2	✓	✓	✓			✓	✓	✓	
✓	MEA-4101/3	✓	✓	✓			✓	✓	✓	
U	MEA-4101/4	✓	⊖	✓			✓	✓	✓	Lubricar motor.
✓	MP-4109 A	F/S								
✓	P-4109 A	F/S								
F/S	MP-4109 B	✓	✓	✓			✓	✓	✓	
F/S	P-4109 B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
D	MP-4101 A	✓	✓	✓			✓	✓	✓	Se agregaron 0,003" en la pata trasera izquierda.
D	P-4101 A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Otras Observaciones:										
<b>Legenda:</b>	(!) Observación	✓ Normal	⊖ Alarma	⊘ Crítico	F/S Fuera de servicio	M En Mantenimiento				



**Tabla 4.38:** Reporte de condición. Ruta nº 1 (Continuación).

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL																																
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16																										
Ruta: 1		Resultados de la Inspección						Estadísticas																								
Área: 4100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)	<table border="1"> <caption>Estadísticas de Equipos</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Cantidad</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Normal</td> <td>8</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>F/S</td> <td>4</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Alarma</td> <td>3</td> <td>19%</td> </tr> <tr> <td>Observación</td> <td>1</td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td>Crítico</td> <td>0</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>					Categoría	Cantidad	Porcentaje	Normal	8	50%	F/S	4	25%	Alarma	3	19%	Observación	1	6%	Crítico	0	0%
Categoría	Cantidad														Porcentaje																	
Normal	8	50%																														
F/S	4	25%																														
Alarma	3	19%																														
Observación	1	6%																														
Crítico	0	0%																														
Estatus Anterior	ID/TAG	Observaciones																														
F/S	MP-4101 B	⊖	⊖	✓			✓	✓	✓	✓	Verificar posibles deficiencias en la base del motor y alineación. Lubricar motor.																					
F/S	P-4101 B	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																						
✓	MP-4104 A	✓	(!)	✓			✓	✓	✓	✓	Lubricar motor.																					
✓	P-4104 A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																						
F/S	MP-4104 B	F/S									Sin monitoreo desde el inicio del programa. Es necesario aplicar rotación operacional.																					
F/S	P-4104 B	F/S																														
Otras Observaciones:																																
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	⊘	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento																				

**Tabla 4.39:** Reporte de condición. Ruta nº 2.

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL													
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16							
Ruta: 2		Resultados de la Inspección						Estadísticas					
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)				
Estatus Anterior	ID/TAG												
F/S	MP-5101 A	F/S								Sin monitoreo desde el inicio del programa. Es necesario implementar rotación operacional.			
F/S	P-5101 A	F/S											
U	TP-5101 B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	(!)				
U	P-5101 B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
✓	MP-5103 A	✓	(!)	✓			✓	✓	✓	Se observa un incremento del ruido ultrasónico. El equipo fue monitoreado recién puesto en servicio.			
U	P-5103 A	✓	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
F/S	MP-5103 B	C	✓	✓		✓	✓	✓	✓	Altos niveles de vibraciones en dirección axial. Es necesario verificar presencia de "pata coja" y realizar alineación del conjunto. Reemplazar lubricante de la bomba.			
F/S	P-5103 B	⊖	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
✓	MP-5103 C	✓	✓	✓			✓	✓	✓				
✓	P-5103 C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Otras Observaciones:													
Legenda:		(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento

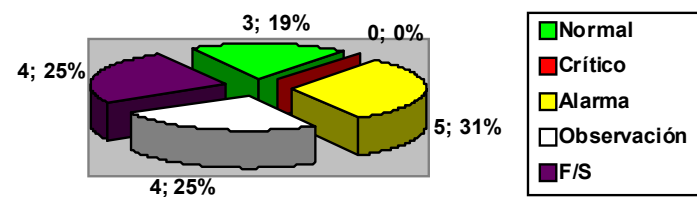


**Tabla 4.40:** Reporte de condición. Ruta nº 2 (Continuación).

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL																														
Inspector: Analista:		Total de Equipos: 16																												
Ruta: 2		Resultados de la Inspección								Estadísticas																				
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SI/NO (S)	<table border="1"> <caption>Estadísticas de Equipos</caption> <thead> <tr> <th>Condición</th> <th>Cantidad</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Normal</td> <td>5</td> <td>31%</td> </tr> <tr> <td>Alarma</td> <td>4</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Observación</td> <td>4</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>F/S</td> <td>1</td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td>Crítico</td> <td>2</td> <td>13%</td> </tr> </tbody> </table>			Condición	Cantidad	Porcentaje	Normal	5	31%	Alarma	4	25%	Observación	4	25%	F/S	1	6%	Crítico	2	13%
Condición	Cantidad												Porcentaje																	
Normal	5	31%																												
Alarma	4	25%																												
Observación	4	25%																												
F/S	1	6%																												
Crítico	2	13%																												
Estatus Anterior	ID/TAG	Observaciones																												
D	MP-5105 A	(!)	✓	✓			✓	✓	✓	✓	Se observa disminución en cuanto a niveles de vibraciones																			
D	P-5105 A	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																				
✓	MP-5105 B	⊖	✓	✓			✓	✓	✓	✓	Altos niveles de vibraciones en dirección axial. Se recomienda verificar pata coja y realinear conjunto.																			
U	P-5105 B	(!)	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																				
D	MP-5105 C	⊖	(!)	✓			✓	✓	✓	✓	Ver primer reporte. Incremento en el nivel de ruido ultrasónico. Verificar si es posible colocar el equipo fuera de servicio para mantenimiento correctivo.																			
D	P-5105 C	⊖	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																				
Otras Observaciones:																														
Legenda:		(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento																	

**Tabla 4.41:** Reporte de condición. Ruta nº 3.

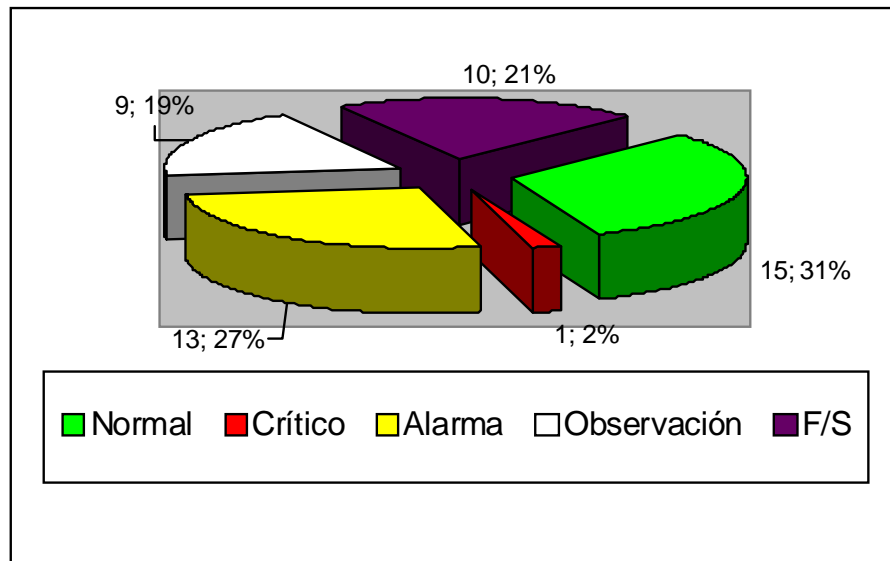
Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL												
Inspector: Analista:		Total de Equipos: 16										
Ruta: 3		Resultados de la Inspección							Estadísticas			
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)	Observaciones		
Estatus Anterior	ID/TAG											
D	MP-5106 A	(!)	(!)	✓			✓	✓	✓	Lubricar motor		
U	P-5106 A	✓	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Verificar reemplazo de lubricante recomendado en fechas anteriores.		
U	MP-5106 B	(!)	✓	✓			✓	✓	✓			
✓	P-5106 B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
U	MP-5106 C	(!)	✓	✓			✓	✓	✓			
✓	P-5106 C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
F/S	MP-5107 A	F/S										
F/S	P-5107 A	F/S										
F/S	MP-5107 B	F/S										
F/S	P-5107 B	F/S								Verificar reemplazo de lubricante recomendado en reportes anteriores.		
Otras Observaciones:												
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	⊘	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento



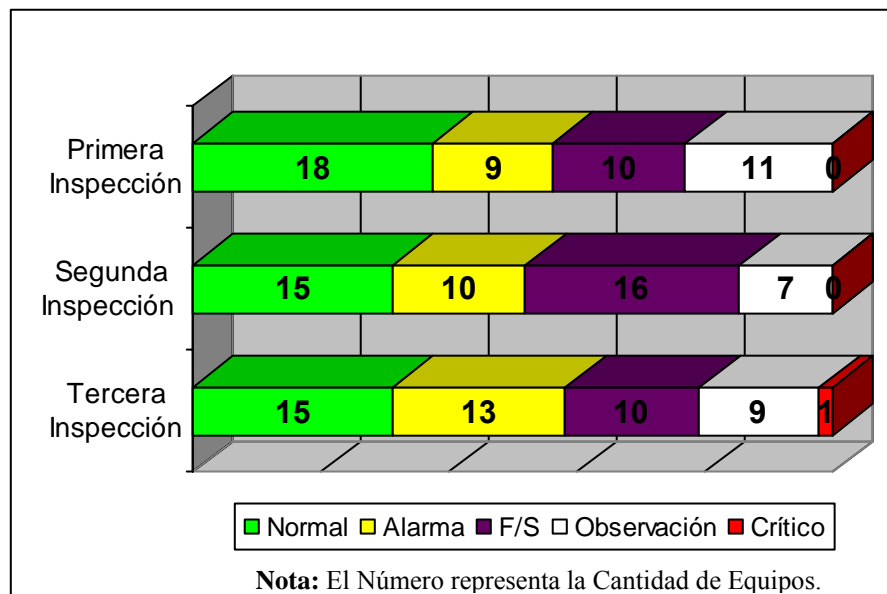
**Tabla 4.42:** Reporte de condición. Ruta nº 3 (Continuación).

Reporte de Condición de la Maquinaria Programa de Mantenimiento Basado en Condición – SUPERMETANOL												
Inspector: Analista:						Total de Equipos: 16						
Ruta: 3		Resultados de la Inspección						Estadísticas				
Área: 5100		Condición Dinámica (D)	Ruido Ultrasonico (U)	Temperatura (T)	Nivel de Lubricante (N)	Fugas (F)	Cond. Operacional (O)	Limpieza (L)	SIAHO (S)			
Estatus Anterior	ID/TAG											
F/S	MK-5105 A	⊖	✓	(!)			✓	✓	✓	Se mantiene Condición reportada desde la primera inspección		
F/S	K-5105 A	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Se mantiene Condición reportada desde la primera inspección		
D	MK-5105 B	⊖	✓	✓			✓	✓	✓	Se mantiene Condición reportada desde la primera inspección		
D	K-5105 B	⊖	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Se mantiene Condición reportada desde la primera inspección		
✓	MK-5105 C	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
✓	K-5105 C	✓	(!)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Incremento del ruido ultrasónico. Se mantendrá bajo observación.		
Otras Observaciones:												
<b>Legenda:</b>	(!)	Observación	✓	Normal	⊖	Alarma	C	Crítico	F/S	Fuera de servicio	M	En Mantenimiento

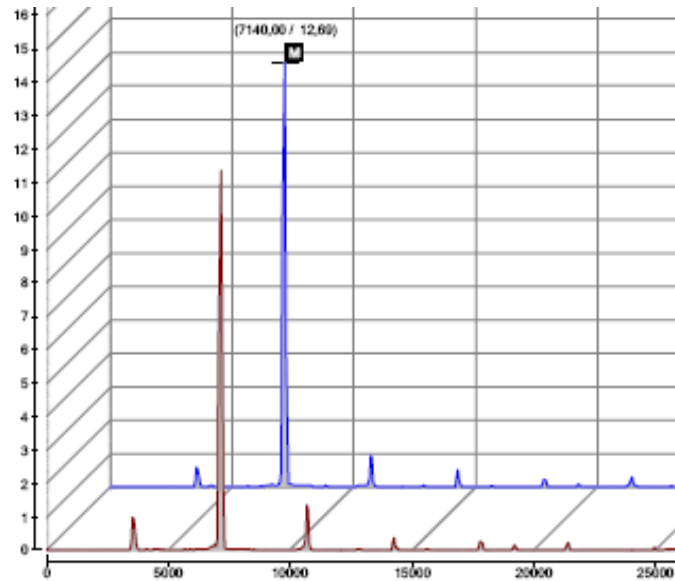
**Resumen Final. Tercera Inspección:**



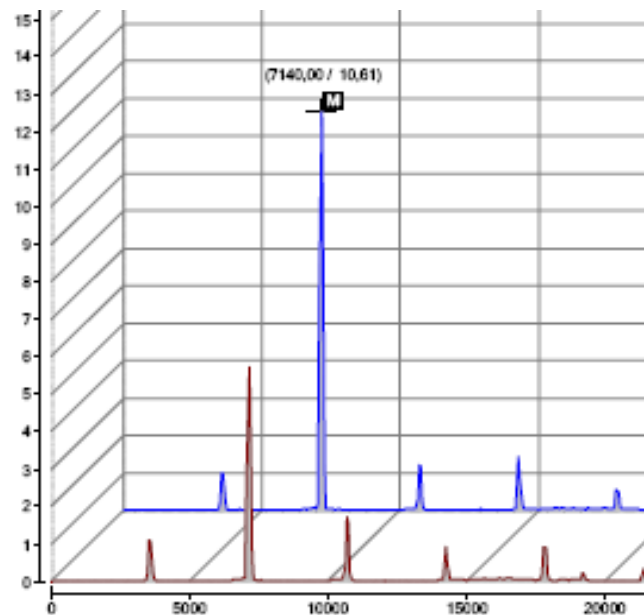
**Figura 4.17:** Representación gráfica del resumen total de la condición de los equipos.



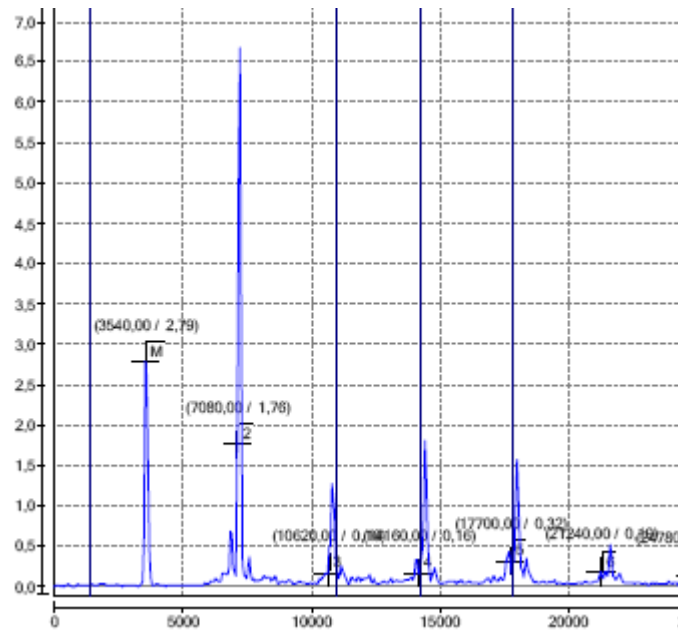
**Figura 4.18:** Comparación entre la primera, segunda y tercera inspección.



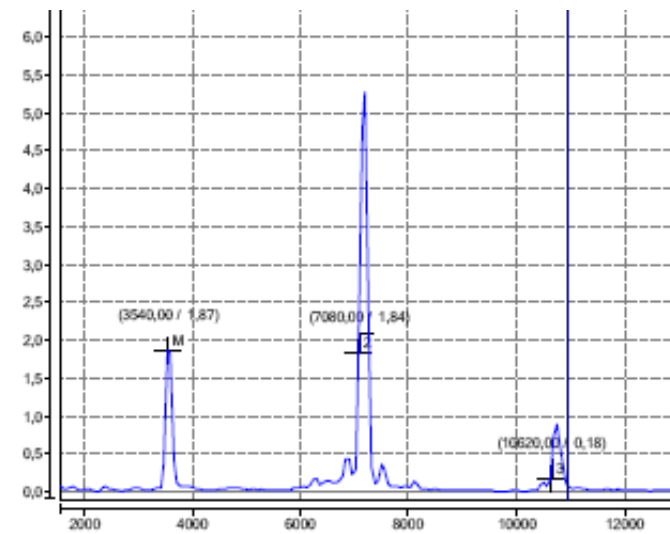
**Figura 4.19.** Comparación de los espectros de frecuencia en la posición 2A captados en la primera y tercera inspección del MP-5103 B



**Figura 4.20.** Comparación de los espectros de frecuencia en la posición 1V captados en la primera y tercera inspección del MP-5103 B



**Figura 4.21.** Espectros de frecuencia en la posición 2V del MP-5105 C



**Figura 4.22.** Espectros de frecuencia en la posición 2A del MP-5105 C

**Observaciones Generales:**

- Es recomendable realizar el monitoreo a los equipos en caliente, bajo las condiciones de operación normal. Monitorear equipos recién puestos en servicio no es una buena práctica, el aceite y la grasa fría tienden a dar señales no representativas de la condición de rodamiento. De igual forma, las bombas recirculando no tienen el mismo comportamiento que en régimen de carga. Es conveniente planificar la inspección en concordancia con operaciones.
- Es recomendable establecer un programa de inspección de lubricantes para complementar el monitoreo dinámico y auditar el esencial proceso de la lubricación, como parte fundamental, a fin de incrementar la efectividad de los activos.
- Se debe establecer la programación de la lubricación, basada en la condición de los equipos y progresivamente eliminar la lubricación basada en horas. Con esto se busca el ahorro en actividades preventivas (Horas-Hombre), ahorro de lubricante y se evita la intervención innecesaria que puede acarrear la presencia de fallas inducidas, como exceso de lubricación, paso de lubricante al inducido de los motores, contaminación del lubricante, entre otras.
- Cabe destacar que esta inspección se realizó después de una parada de planta programada, donde se ejecutaron actividades de mantenimiento mayor, en diversos equipos de la planta de producción.
- En la figura 4.17 se muestra un resumen total de la condición de los equipos en esta segunda inspección. Se evidencia que, de los 48 activos rotativos en estudio, 31 % se encuentran normal, 19% en observación, 21 % fuera de servicio, 27 % en alarma, de un equipo en estado crítico. En relación a la inspección anterior, se

muestra un incremento en los porcentajes de equipos en observación y alarma. Esto, unido a la presencia, por primera vez, de un activo en condición crítica, es indicativo de que no se están tomando en cuenta las recomendaciones presentadas en los informes.

- En la figura 4.18 se muestra una comparación entre la primera, segunda y tercera inspección. Se observa un aumento progresivo del número de equipos en condición de alarma, incremento, con respecto a la segunda inspección, de los activos bajo observación y la presencia de un equipo en estado crítico.

Para descartar o corroborar la hipótesis de que, no se están tomando en cuenta las recomendaciones planteadas en los informes, posterior a la tercera inspección, se realizó una revisión exhaustiva de las actividades de mantenimiento planificadas y ejecutadas en el lapso de tiempo comprendido entre la primera y tercera inspección, incluyendo la parada de planta programada. Con esta investigación se pudo constatar que efectivamente, la mayoría de las acciones recomendadas, no se habían planificado, y mucha de las programadas, no fueron ejecutadas. Esto es indicativo de deficiencias en el departamento de planificación de mantenimiento. Es necesario corregir esta situación, con el fin de impedir que la condición de los activos estudiados, empeore.

- MEA-4101 / 4: Lubricar motor eléctrico. Acción recomendada en ocasiones anteriores
- MP-4101 B y P4101 B: Se observan vibraciones ligeramente altas en las posiciones 1H y 2H. Se recomienda verificar deficiencias en la base del motor, para descartar posible condición de “pata coja”. Lubricar motor. La bomba se ve afectada por las vibraciones del motor.



- MP-5101 A y P-5101 A: El conjunto se ha encontrado fuera de servicio desde el inicio del programa, lo que ha imposibilitado el diagnóstico de su condición. Se recomienda la rotación operacional.
- MP-5103 A y P-5103 A: Se muestra incremento de ruido ultrasónico asociado a lubricación de rodamientos. Sin embargo este equipo se inspeccionó recién puesto en servicio, lo cual no es la mejor forma de monitorear el estado de rodamientos. Con la máquina fría, los parámetros pueden dar valores no representativos de la salud de estos componentes.
- MP-5103 B y P-5103 B: En relación a la condición reportada en la primera inspección, se observa incremento en los niveles de vibraciones, por encima del máximo permisible, en las posiciones 2A y 1V como se muestra en las figuras 4.19 y 4.20 respectivamente. Este incremento se debe a que no se ejecutaron las acciones recomendadas anteriormente. Es necesario verificar posibles deficiencias en las bases del motor y realizar la alineación del conjunto. El lubricante de la bomba amerita reemplazo.
- MP-5105 B y P-5105 B: Se recomienda limpieza de cajera y reemplazo de lubricante de la bomba, verificar deficiencias en las bases del motor y realinear equipo.
- MP-5105 C y P-5105 C: Vibración axial excesiva por posible desalineación entre acoples. Sin embargo el mayor problema se presenta en la detección de posible situación incipiente de excentricidad en el rotor del motor, ocasionada por la holgura en los rodamientos.

Los espectros 2V y 2A presentados en las figuras 4.21 y 4.22 respectivamente, muestran picos, cercanos a las frecuencias de falla de los rodamientos, del tipo utilizado por el motor (6310-Z C3). Presencia de picos espectrales, cercanos a la frecuencia de falla, del tipo de rodamiento utilizado por la bomba. También se observó incremento severo del ruido ultrasónico, con respecto a la segunda inspección, en los rodamientos del conjunto. Estos valores se muestran en la tabla 4.43. Se recomienda dejar equipo en stand by y realizar cambio operacional al equipo en reserva. Planificar mantenimiento mayor del conjunto motor – bomba.

**Tabla 4.43:** Comparación entre los valores de ruido ultrasónico en dBmv, captados en la segunda y tercera inspección.

1H	2H	3H	4H
26	11	14	9
2	2	10	13

- MP-5106 A: Pequeño incremento de los niveles de vibraciones y ruido ultrasónico. Se recomienda lubricar motor.
- P-5106 A: Ruido ultrasónico alto. Verificar reemplazo de lubricante recomendado en fechas anteriores.
- MP-5107 B y P-5107 B: El conjunto se encontró fuera de servicio. Se recomienda realizar reemplazo de lubricante recomendado anteriormente.
- MK y K-5105 A y B: Se mantiene condición reportada en la primera inspección.

## CONCLUSIONES.

- Con el diagnóstico inicial realizado a las 4 áreas en estudio, se pudo conocer que algunos de los equipos que las integran, presentan anomalías de diversos tipos, como la bomba P-4109B que mostró problemas en rodamientos y sellos, las bombas P-4602 A/B/C inconvenientes relacionados con la contaminación del aceite de lubricación y la turbina TP-5101 B que reflejó daños en la válvula que regula la entrada de vapor.
- La recopilación de la información técnica de los activos, permitió recabar datos, como las velocidades de giro, tipo de lubricante, tipo de apoyo, los cuales son de gran utilidad para realizar el diagnóstico acertado de la condición de los equipos rotativos
- Con la aplicación del Análisis de criticidad de J. A. Milá de la Roca, se estableció como equipos críticos, todos aquellos pertenecientes a las áreas de Reformación de Gas Natural (4100) y Agua Desmineralizada (5100), las cuales obtuvieron nivel de criticidad máximo.
- Con el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) se identificaron un total de 24 causas de falla, lo que sirvió de base para la selección de las herramientas predictivas y los procedimientos de inspección, precisando así, la mejor forma de captar los síntomas en su estado prematuro.
- Las herramientas seleccionadas, para realizar el mantenimiento basado en condición, fueron el Análisis de vibraciones y el Ultrasonido, ya que las mismas poseen gran capacidad para detectar los síntomas previos a la ocurrencia de los

modos de falla; y para complementar el diagnóstico se aplicó monitoreo de temperatura e inspección visual.

- El programa de mantenimiento diseñado en este estudio, contempla aspectos claves como los puntos, rutas y frecuencia de inspección, programas de actividades, necesarios para la recolección y análisis de los datos y fundamentales al momento de obtener un diagnóstico acertado de la condición de los equipos.
- Con la implementación del programa de mantenimiento basado en condición diseñado, se logró detectar un significativo número de problemas en los activos en estudio, que, de no ser captados y corregidos a tiempo, estos problemas pueden originar la ocurrencia de los modos fallas.
- El incremento del número de activos, en condiciones anormales, a lo largo del tiempo de estudio, se debió en gran medida a la no programación y ejecución de las acciones de mantenimiento, recomendadas en los reportes finales, las cuales están enfocadas a mitigar la ocurrencia de los modos de falla.
- A través del programa de mantenimiento diseñado, es posible mejorar la efectividad, siempre y cuando se tomen en cuenta las acciones recomendadas, debido a que está orientado a disminuir las horas de demora, por parada imprevistas, de los activos.

## RECOMENDACIONES.

- Continuar con la implementación del programa diseñado, a fin de mejorar la efectividad de los activos rotativos, para poder alcanzar los niveles de producción esperados.
- Colocar arandelas metálicas en los puntos de medición de los equipos con carcasa de aluminio, para facilitar el acople del captador magnético.
- Establecer un programa de inspección de lubricantes para complementar el monitoreo dinámico y auditar el esencial proceso de la lubricación, como parte fundamental, a fin de incrementar la efectividad de los activos.
- Se debe establecer la programación de la lubricación, basada en la condición de los equipos y progresivamente eliminar la lubricación basada en horas.
- Para los equipos de operación intermitente, se puede planificar su arranque al menos 1 hora antes de la inspección, esto puede hacerse en el periodo de las tres semanas de duración del servicio por cada mes.
- En los equipos de operación continua, se deben inspeccionar en servicio y luego ejecutar un plan de rotación operacional para la inspección del equipo en reserva, bien sea en el próximo mes de ruta o planificar la rotación igualmente dentro de las tres semanas del servicio.

## BIBLIOGRAFÍA.

1. 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.
2. RIVAS, Anahys. **“Implementación del Mantenimiento Predictivo basado en el análisis de Vibración en la Empresa C.V.G Ferrominera Orinoco C.A.”** Trabajo presentado ante la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico. Puerto la Cruz, (2003).
3. SALAZAR, Francisco. **“Mejoras en el Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibración en Equipos Rotativos de la planta Catalítica y Alquiler”** Trabajo presentado ante la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico. Puerto la Cruz, (2004).
4. AGUILERA, Javier Antonio **“Análisis de Espectros de Vibración en los Motocompresores Marca Clark, Modelo TLA10”** Trabajo presentado ante la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico. Puerto la Cruz, (2003).
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. GONZALES, G. **“Diseño de un Programa de Mantenimiento Preventivo para los Equipos Críticos de las Cintas Transportadoras de la empresa C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A.”** Tesis de grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias aplicadas, Departamento de Mecánica, Universidad de Oriente, Puerto la Cruz. (1998)
7. MARQUEZ A. **“Guía para el estudio de la materia mantenimiento general”, (1999).**
8. SUÁREZ, Diógenes **“Mantenimiento Mecánico Guía Teórico – Práctico”** Puerto la Cruz, (2001)
9. TROCEL, David. **“Mantenimiento y Confiabilidad Industrial”** Taller dictado para trabajadores de mantenimiento de la empresa Supermetanol, C.A. y abalado por TECNOTEST. (2007)
10. **“Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”,** ISC Gerencia de Activos C.A., PDVSA CIED, Venezuela (2005).
11. AMENDOLA, L. **“INDICADORES DE CONFIABILIDAD PROPULSORES EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO”** Universidad Politécnica Valencia España Dpto. Proyectos de Ingeniería Publicado en [www.klaron.net](http://www.klaron.net)
12. HUERTA, Rosendo. **“EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD, UNA METODOLOGÍA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL”** Artículo publicado en la revista Mantenimiento Mundial n°6. (2001)

13. HUERTA, Rosendo. **“TALLER DE ANALISIS Y MODOS DE EFECTOS DE FALLA (CONFIABILIDAD OPERACIONAL II)”** Engineering, Reliability and Management. (2004).
14. **“MECANÁLISIS”** Una publicación de **TECNOTEST** soluciones industriales, Barcelona, Anzoátegui, Abril – Mayo (2006).
15. SAAVEDRA, Pedro. **“La Evolución y Perspectivas del Mantenimiento Predictivo Proactivo en la Industria.”** Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Concepción, Chile. (2004).
16. **“MECANÁLISIS”** Una publicación de **TECNOTEST** soluciones industriales, Barcelona, Anzoátegui, Junio – Julio (2006).
17. **“MECANÁLISIS”** Una publicación de **TECNOTEST** soluciones industriales, Barcelona, Anzoátegui, Octubre – Noviembre (2006).
18. DE LA ROCA, José A. **“Análisis Funcional y de Criticidad de la Planta de la Empresa Supermetanol, C.A., Ubicada en el Complejo Petroquímico “General de División José Antonio Anzoátegui”.** Trabajo de Grado presentado ante el Consejo Rectoral de la Universidad “GRAN MARISCAL DE AYACUCHO”, para optar al Título de Ingeniero de Mantenimiento, Mención Industrial. El Tigre, (2003).



## APÉNDICES.

### APÉNDICE A: Instrumento Form-001.

	<b>SUPERMETANOL, C.A</b> <b>Superintendencia de Mantenimiento</b>	<b>FECHA:</b> _____
<b>AREA:</b> _____	<b>NOMBRE:</b> _____	
<b>FUNCION:</b> _____ _____ _____		
<b>¿CUALES SON LAS FALLAS POSIBLES Y/O MAS RECURRENTES? :</b> _____ _____ _____		
<b>¿LA FALLA O PARO IMPREVISTO DEL SECTOR AFECTA A LA PRODUCCION?:</b> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> De ser positiva su respuesta mencione si es: En Forma Parcial <input type="checkbox"/> En que porcentaje _____ % En Forma Total <input type="checkbox"/>		
<b>¿EXISTE UN SECTOR QUE PUEDA SUPLIR A ESTE EN CASO DE FALLA O PARO IMPREVISTO?</b> No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> ¿Cual?: _____		
<b>LAS PERDIDAS ECONOMICAS POR LA FALLA O PARO IMPREVISTO DEL SECTOR ESTAN POR EL ORDEN DE:</b> _____ Millones de Dólares      Otros: _____		
<b>LA FALLA O PARO IMPREVISTO DEL SECTOR GENERARÁ:</b> <input type="checkbox"/> Que el producto final obtenido se encuentre fuera de las especificaciones del Sistema de Calidad <input type="checkbox"/> Variaciones en la calidad, que son rápidamente corregibles según procedimientos establecidos <input type="checkbox"/> No afectará la calidad del producto final		
<b>OBSERVACIONES:</b>   		

<b>A QUE MEDIO EL ÁREA AFECTA MAYORMENTE:</b>			
Aire	<input type="checkbox"/>	Comunidad.	<input type="checkbox"/>
Agua	<input type="checkbox"/>	Operadores.	<input type="checkbox"/>
Suelo	<input type="checkbox"/>	Otros.	<input type="checkbox"/>
Flora	<input type="checkbox"/>	Especificar: _____	
Fauna	<input type="checkbox"/>	_____	
<b>QUE TIPO DE RIESGOS SON A LOS QUE ESTA EXPUESTO EL PERSONAL EN ESTE SECTOR:</b>			
Mecanico	<input type="checkbox"/>	Exposición a sustancias, Fluidos o particulas	<input type="checkbox"/>
Electrico	<input type="checkbox"/>	Exposición a agentes biologicos	<input type="checkbox"/>
Incendio	<input type="checkbox"/>	Condiciones ergonomicas	<input type="checkbox"/>
Explosión	<input type="checkbox"/>	(manejo de equipos pesados, Mov. Repetitivos)	<input type="checkbox"/>
Exposición al Ruido	<input type="checkbox"/>	Riesgos Psicosociales	<input type="checkbox"/>
Exposición a Vibraciones	<input type="checkbox"/>	(Sobrecarga de trabajo, descomfort)	
Temperaturas Extremas	<input type="checkbox"/>		
<b>LA FALLA Y/O LAS CONDICIONES DEL SECTOR PUEDE OCASIONAR LA MUERTE O INCAPACIDAD PERMANENTE EN EL PERSONAL:</b>			
<input type="checkbox"/> SI		<input type="checkbox"/> NO	
<b>OBSERVACIONES:</b>			
			Form-001

## APÉNDICE B: Programas de inspección Mensual.

Programa de inspección mensual de los MP-4109 A y B.

PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL					
Equipos: MP-4109 A / MP-4109 B			Área: 4100	Ruta: 1	
Ítem	Actividad	Rango Permisible		Personal Encargado	Tiempo Estimado
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 1H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 2H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	1 min.
10	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
11	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----

Programa de inspección mensual de los MP-4101 A y B

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> MP-4101 A / MP-4101 B			<b>Área:</b> 4100	<b>Ruta:</b> 1	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permisible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 1H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 2H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	1 min.
10	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
11	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----

Programa de inspección mensual de las P-4101 A y B.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> P-4101 A / P-4101 B			<b>Área:</b> 4100	<b>Ruta:</b> 1	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 3H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 3H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 3V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 4H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 4H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 4V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 4A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto.	1 min.
10	Chequear nivel de lubricante	0,8 L <Nivel< 1 L		Sup. de Mtto.	15 seg.
11	Comprobar que no existan fugas en el equipo	Fugas = 0		Sup. de Mtto.	1 min.
12	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto.	1 min.
13	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto.	----

Programa de inspección mensual de los MP-4104 A y B.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> MP-4104 A / MP-4104 B			<b>Área:</b> 4100	<b>Ruta:</b> 1	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 1H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 2H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	1 min.
10	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
11	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----

Programa de inspección mensual de las P-4104 A y B.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> P-4104 A / P-4104 B			<b>Área:</b> 4100	<b>Ruta:</b> 1	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 3H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 3H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 3V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 4H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 4H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 4V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 4A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto.	1 min.
10	Chequear nivel de lubricante	0,8 L <Nivel< 1,1 L		Sup. de Mtto.	15 seg.
11	Comprobar que no existan fugas en el equipo	Fugas = 0		Sup. de Mtto.	1 min.
12	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto.	1 min.
13	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto.	----

Programa de inspección mensual del MP-5101 A.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> MP-5101 A			<b>Área:</b> 5100	<b>Ruta:</b> 3	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 1H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 2H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	1 min.
10	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
11	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----



Programa de inspección mensual de las P-5101 A y B.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> P-5101 A / P-5101 B			<b>Área:</b> 5100	<b>Ruta:</b> 3	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 3H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 3H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 3V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 4H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 4H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 4V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 4A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto.	1 min.
10	Chequear nivel de lubricante	1,3 L <Nivel< 1,5 L		Sup. de Mtto.	15 seg.
11	Comprobar que no existan fugas en el equipo	Fugas = 0		Sup. de Mtto.	1 min.
12	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto.	1 min.
13	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto.	----

Programa de inspección mensual de los MP-5103 A, B y C.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> MP-5103 A / MP-5103 B / MP-5103 C			<b>Área:</b> 5100	<b>Ruta:</b> 3	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 1H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 2H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	1 min.
10	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
11	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----

Programa de inspección mensual de las P-5103 A, B y C.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> P-5103 A / P-5103 B / P-5103 C			<b>Área:</b> 5100	<b>Ruta:</b> 3	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 3H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 3H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 3V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 4H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 4H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 4V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 4A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto.	1 min.
10	Chequear nivel de lubricante	0,30 L < Nivel < 0,35 L		Sup. de Mtto.	15 seg.
11	Comprobar que no existan fugas en el equipo	Fugas = 0		Sup. de Mtto.	1 min.
12	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto.	1 min.
13	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto.	----

Programa de inspección mensual de los MP-5105 A, B y C.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> MP-5105 A / MP-5105 B / MP-5105 C			<b>Área:</b> 5100	<b>Ruta:</b> 3	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 1H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 2H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	1 min.
10	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
11	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----

Programa de inspección mensual de las P-5105 A, B y C.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> P-5105 A / P-5105/B / P-5105 C			<b>Área:</b> 5100	<b>Ruta:</b> 3	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 3H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 3H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 3V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 4H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 4H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 4V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 4A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto.	1 min.
10	Chequear nivel de lubricante	0,4 L < Nivel < 0,6 L		Sup. de Mtto.	15 seg.
11	Comprobar que no existan fugas en el equipo	Fugas = 0		Sup. de Mtto.	1 min.
12	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto.	1 min.
13	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto.	----

Programa de inspección mensual de los MP-5106 A, B y C.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> MP-5106 A / MP-5106 B / MP-5106 C			<b>Área:</b> 5100	<b>Ruta:</b> 4	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 1H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 2H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	1 min.
10	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
11	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----

Programa de inspección mensual de las P-5106 A, B y C.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> P-5106 A / P-5106 B / P-5106 C			<b>Área:</b> 5100	<b>Ruta:</b> 4	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 3H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 3H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 3V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 4H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 4H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 4V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 4A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto.	1 min.
10	Chequear nivel de lubricante	0,30 L <Nivel< 0,35 L		Sup. de Mtto.	15 seg.
11	Comprobar que no existan fugas en el equipo	Fugas = 0		Sup. de Mtto.	1 min.
12	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto.	1 min.
13	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto.	----

Programa de inspección mensual de los MP-5107 A y B.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> MP-5107 A / MP-5107 B			<b>Área:</b> 5100	<b>Ruta:</b> 4	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 1H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 1H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 1V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 2H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 2H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 2V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 2A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto	1 min.
10	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto	1 min.
11	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto	----



Programa de inspección mensual de las P-5107 A y B.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> P-5107 A / P-5107 B			<b>Área:</b> 5100	<b>Ruta:</b> 4	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 3H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 3H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 3V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 4H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 4H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 4V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 4A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto.	1 min.
10	Chequear nivel de lubricante	0,4 L <Nivel< 0,6 L		Sup. de Mtto.	15 seg.
11	Comprobar que no existan fugas en el equipo	Fugas = 0		Sup. de Mtto.	1 min.
12	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto.	1 min.
13	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto.	----

Programa de inspección mensual de los K-5105 A, B y C.

<b>PROGRAMA DE INSPECCIÓN MENSUAL</b>					
<b>Equipos:</b> K-5105 A / K-5105 B / K-5105 C			<b>Área:</b> 5100	<b>Ruta:</b> 4	
<b>Ítem</b>	<b>Actividad</b>	<b>Rango Permissible</b>		<b>Personal Encargado</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
1	Verificar que el equipo esté en funcionamiento	----		Sup. de Mtto	30 seg.
2	Captar los espectros en la posición 3H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
3	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 3H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
4	Captar los espectros en la posición 3V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
5	Captar los espectros en la posición 4H	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
6	Tomar la temperatura de carcasa en la posición 4H	< 65 °C		Inspector	30 seg.
7	Captar los espectros en la posición 4V	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
8	Captar los espectros en la posición 4A	< 4,5 m/s	< 15 Db	Inspector	3 min.
9	Inspeccionar el estado de los componentes del equipo	----		Sup. de Mtto.	1 min.
10	Chequear nivel de lubricante	1,8 L <Nivel< 2,1 L		Sup. de Mtto.	15 seg.
11	Comprobar que no existan fugas en el equipo	Fugas = 0		Sup. de Mtto.	1 min.
12	Inspeccionar estado de los filtros de aire de succión	----		Sup. de Mtto.	30 seg.
13	Verificar aspectos de higiene y seguridad del equipo y su entorno	----		Sup. de Mtto.	1 min.
14	Registrar cualquier otra información de importancia	----		Sup. de Mtto.	----

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	<b>“DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN, ENFOCADO A LA MEJORA DE LA EFECTIVIDAD DE LOS ACTIVOS ROTATIVOS” CASO: SUPERMETANOL, JOSE ESTADO ANZOÁTEGUI</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
<b>MUNDARAIN C. CHRISTIAN H.</b>	<b>CVLAC: 16.486.327 E MAIL: christianmundarain@hotmail.com</b>
	<b>CVLAC: E MAIL:</b>
	<b>CVLAC: E MAIL:</b>
	<b>CVLAC: E MAIL:</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

<b>PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN</b>
<b>MEJORA DE LA EFECTIVIDAD</b>
<b>ACTIVOS ROTATIVOS</b>
<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO</b>

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
<b>INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS</b>	<b>INGENIERIA MECANICA</b>

**RESUMEN (ABSTRACT):**

En este trabajo se diseñó un programa de mantenimiento basado en condición enfocado en mejorar la efectividad de los activos rotativos críticos de la planta Supermetanol C.A., a fin de disminuir las horas de parada no programadas, elevar la productividad del sistema y minimizar los costos asociados al mantenimiento. Para lograr esto, primero se realizó un diagnóstico de la situación de los activos y una recopilación de información técnica. Luego, se determinaron los equipos críticos, empleando una modificación de la metodología desarrollada por el Ing. J.A. Milá de la Roca., y se les realizaron Análisis de Modos y Efectos de falla a dichos equipos, para determinar los modos de falla recurrentes y sus consecuencias. Este análisis sirvió de base para seleccionar las herramientas predictivas, y a partir de ellas se determinaron los procedimientos de inspección y otros aspectos claves como puntos de medición, rutas de muestreo, frecuencia de inspección, actividades. Una vez diseñado todo el programa, se procedió a su ejecución, dando como resultado la detección de diversos problemas que, de no ser corregidos a tiempo, pueden originar fallas que impactarían significativamente en la producción, seguridad y medio ambiente.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
DARWIN BRAVO	CVLAC:	8.298.181			
	E_MAIL	darwinjbg@gmail.com			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
JOSÉ ORTEGA	CVLAC:				
	E_MAIL	jortega@socasume.com.ve			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

2009	02	20
AÑO	MES	DÍA

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS. DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN.DOC	Application/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H I J K  
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y  
z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

**INGENIERO MECÁNICO**

---

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

**PREGRADO**

---

**ÁREA DE ESTUDIO:**

**DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**

---

**INSTITUCIÓN:**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE. NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**

---

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS**

**Los trabajos de grado son exclusiva  
propiedad de la Universidad de Oriente y  
solo podrán ser utilizados a otros fines, con  
el consentimiento del Consejo de Núcleo  
quien lo participara al Consejo Universitario.**

CHRISTIAN H. MUNDARAIN C.

**AUTOR**

Prof. Darwin Bravo

**TUTOR**

Prof. Diógenes Suárez

**JURADO**

Prof. Luis Griffith

**JURADO**

Prof. Delia Villarroel

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**