

**MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD BASADO EN  
TECNICAS PREDICTIVAS: VIBRACION, TERMOGRAFIA Y MEDICIÓN DE  
PARAMETROS ELECTRICOS; PARA LAS MAQUINAS E INSTALACIONES  
ELECTRICAS PRESENTES EN LOS ACTIVOS Y SERVICIOS DE  
COTECMAR.**

**MARY ALEJANDRA CERRA VERGARA  
LUIS DAVID PACHECO TERAN**

**Proyecto de grado presentado para optar el título de Ingeniero  
Mecatrónico**

**Director**

**Vladimir Quiroz Mariano**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA Y MECATRONICA  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2012**

Cartagena de indias D.T. y C. 18 de julio de 2012

Señores

COMITÉ CURRICULAR  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
Facultad de Ingeniería  
Cartagena

Estimados Señores

Presentamos a su consideración la monografía de Minor en Mantenimiento Industrial titulada “**Mantenimiento centrado en confiabilidad basado en técnicas predictivas: vibración, termografía y medición de parámetros eléctricos; para las maquinas e instalaciones eléctricas presentes en los activos y servicios de Cotecmar.**” como requisito para obtener el título de Ingeniero Mecatrónico.

Atentamente

---

Mary Alejandra Cerra Vergara  
1.143.342.566 de Cartagena

---

Luis David Pacheco Terán  
1.047.397.911 de Cartagena

Cartagena de indias D.T. y C. 18 de julio de 2012

Señores

COMITÉ CURRICULAR  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
Facultad de Ingeniería  
Cartagena

Estimados Señores

Luego de revisar la monografía **“Mantenimiento centrado en confiabilidad basado en técnicas predictivas: vibración, termografía y medición de parámetros eléctricos; para las maquinas e instalaciones eléctricas presentes en los activos y servicios de Cotecmar.”** desarrollada por los estudiantes Mary Alejandra Cerra Vergara y Luis David Pacheco Terán; considero que cumple con los objetivos propuestos, por lo que estoy de acuerdo en presentarla formalmente para su evaluación y así puedan optar por el título de Ingeniero Mecatrónico.

Cordialmente,

---

Ing. Vladimir Quiroz Mariano  
Director de proyecto

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA</b>	<b>3</b>
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Formulación del problema	3
<b>CAPITULO II OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo General	4
2.2 Objetivos Específicos	4
<b>CAPITULO III JUSTIFICACION</b>	<b>5</b>
<b>CAPITULO IV COTECMAR</b>	<b>6</b>
4.1 Generalidades de la empresa	6
4.1.1 Reseña Histórica	6
4.1.2 Visión	8
4.1.3 Misión	8
4.1.4 Políticas Corporativas	8
4.1.5 Estructura Organizacional	9
4.1.6 Servicios	10
4.1.6.1 Servicios a la industria	10
4.1.6.2 Reparaciones en muelle	11
4.1.6.3 Reparaciones en dique	12
4.1.6.4 Diseño e innovación de productos	12



<b>CAPITULO V MARCO DE REFERENCIA</b>	<b>14</b>
5.1 Antecedentes de la investigación	14
5.2 Diagnostico actual	14
5.3 Integración con el direccionamiento estratégico	15
5.4 Alcance de la investigación	15
5.5 Estrategias para la formulación de la investigación	16
<b>CAPITULO VI MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)</b>	<b>17</b>
6.1 Generalidades	17
6.2 Siete preguntas básicas del RCM	18
6.3 Contexto Operacional	18
6.4 Funciones	19
6.5 Fallas funcionales o estados de falla	19
6.6 Modos de falla	19
6.7 Efectos de la falla	20
6.8 Categoría de consecuencias	21
6.9 Diferencia entre efectos y consecuencias de falla	22
6.10 Diferencia entre falla funcional y modos de falla	22
6.11 Distintos tipos de mantenimiento	22
6.11.1 Mantenimiento Predictivo	22
6.11.2 Mantenimiento Preventivo	23
6.11.3 Mantenimiento Correctivo	23
6.11.4 Mantenimiento Detectivo	24
6.12 ¿Cómo seleccionar el tipo de mantenimiento adecuado?	24
6.13 Patrones de falla en función del tiempo	25
6.14 Beneficios del RCM	27

<b>CAPITULO VII</b>	<b>TECNICAS PREDICTIVAS</b>	<b>28</b>
7.1	Análisis de Vibraciones	28
7.1.1	Vibración	28
7.1.1.1	Características de la vibración	28
7.1.1.2	Unidades de las vibraciones	28
7.1.2	Adquisición de datos	29
7.1.3	Procedimiento para la medición de vibraciones	30
7.1.4	Diagnostico de falla	33
7.1.5	Normatividad para el análisis de vibraciones	34
7.1.5.1	ISO 10816-1	34
7.1.5.1.1	Alcance	34
7.2	Termografía	35
7.2.1	Definición	35
7.2.2	Procedimiento para análisis termográfico	35
7.2.3	Aplicaciones de termografía infrarroja	37
7.2.3.1	Detección de conexiones eléctricas sueltas con corrosión	38
7.2.3.2	Detección de desequilibrios y sobrecargas eléctricas	40
7.2.3.3	Inspección de rodamientos	41
7.2.3.4	Inspección de motores eléctricos	42
7.3	Análisis de Parámetros Eléctricos	44
7.3.1	Pruebas de Hipot	45
7.3.2	Pruebas de Impulsos	47
7.3.3	Prueba de Índice de Polarización (IP)	52
7.3.4	Fallas típicas en bobinados	52
<b>CAPITULO VIII</b>	<b>RCM EN LAS MAQUINAS E INSTALACIONES ELECTRICAS DE COTECMAR A TRAVES DE LA APLICACIÓN DE VIBRACIONES, TERMOGRAFIA Y ANALISIS DE PARAMETROS ELECTRICOS</b>	<b>54</b>
8.1	RCM en motores eléctricos	58
8.1.1	Análisis de Vibraciones para los motores	59
8.1.1.1	Bomba de suministro de agua a puestos de varadero	59

<b>8.1.1.2 Bomba de enfriamiento motor de combustión del remolcador</b>	
SAAM AZTECA	63
<b>8.1.2 Termografía</b>	66
<b>8.1.2.1 Bomba de suministro de agua a puestos de varadero</b>	66
<b>8.1.2.2 Bomba de enfriamiento motor de combustión del remolcador</b>	
SAAM AZTECA	68
<b>8.1.3 Análisis de parámetros eléctricos</b>	71
<b>8.1.3.1 Bomba de suministro de agua a puestos de varadero</b>	71
<b>8.1.3.2 Bomba de enfriamiento motor de combustión del remolcador</b>	
SAAM AZTECA	73
<b>8.2 RCM en subestaciones eléctricas</b>	75
<b>8.2.1 Termografía</b>	76
<b>8.2.1.1 Subestaciones</b>	76
<b>8.2.2 Análisis de parámetros eléctricos</b>	81
<b>8.2.2.1 Subestaciones</b>	81
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>93</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> RCM en motores eléctricos	58
<b>Tabla 2.</b> RCM en subestaciones eléctricas	75

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura Organizacional COTECMAR 2007 – 2011 tomado del Plan Estratégico Cotecmar	10
<b>Figura 2.</b> Seis patrones de fallas	26
<b>Figura 3.</b> Vibración Longitudinal	32
<b>Figura 4.</b> Vibración Radial	32
<b>Figura 5.</b> Puntos de medición para análisis de vibraciones	33
<b>Figura 6.</b> Las conexiones de la bomba de este evaporador muestran una temperatura 50 grados mayor que en la fase C.	39
<b>Figura 7.</b> Las lecturas de temperaturas muestran puntos calientes en las conexiones de las fases A y B de este interruptor de iluminación, lo cual indica una carga no equilibrada.	39
<b>Figura 8.</b> Las conexiones de la bomba de este evaporador muestran una temperatura 50 grados mayor en la fase 3.	40
<b>Figura 9.</b> Este sobrecalentamiento en el eje y el rodamiento puede ser un indicio de un fallo en el rodamiento, de una lubricación insuficiente o de una mala alineación.	41
<b>Figura 10.</b> En condiciones normales de funcionamiento los rodamientos deben mostrar temperaturas moderadas	42
<b>Figura 11.</b> Las relativamente bajas temperaturas en los rodamientos son un indicio de que éstos funcionan correctamente.	43
<b>Figura 12.</b> Partes principales del probador digital de devanados	46
<b>Figura 13.</b> Ejemplo de un patrón de ondas “redondo” resultante de la Prueba de Impulsos	48
<b>Figura 14.</b> Buen patrón de comparación. Solo aparece un patrón de ondas en la pantalla al mostrar dos pruebas simultáneamente. (Los patrones de ondas comparados se superponen exactamente)	49
<b>Figura 15.</b> Patrones de ondas con fallas. Las formas de ondas son erráticas durante la prueba (izquierda) o separadas en la totalidad del trazo (derecha).	49
<b>Figura 16.</b> Bobina en buen estado	53
<b>Figura 17.</b> Bobina individual en corto	53

<b>Figura 18.</b> Corto parcial en corto	53
<b>Figura 19.</b> Bobina a masa 1	53
<b>Figura 20.</b> Corto de espira a espira	53
<b>Figura 21.</b> Corto de bobina a bobina	53
<b>Figura 22.</b> Corto de fase a fase	53
<b>Figura 23.</b> Corto de grupo a grupo o bobina al revés	53
<b>Figura 24.</b> Motor Bomba enfriamiento de motor de combustión	55
<b>Figura 25.</b> Motor suministro de bomba de agua	55
<b>Figura 26.</b> Subestación Principal	56
<b>Figura 27.</b> Subestación 1	56
<b>Figura 28.</b> Subestación 2	56
<b>Figura 29.</b> Subestación 3	56
<b>Figura 30.</b> Subestación 4	56
<b>Figura 31.</b> Subestación 5	56
<b>Figura 32.</b> Subestación 6	56

## **INTRODUCCIÓN**

El crecimiento económico mundial se ha dado de la mano del desarrollo productivo que se ha presentado en las industrias de todo el mundo. Dicho desarrollo productivo constituye la fuerza motriz de la aplicación de nuevas tecnologías a la producción. Estas tecnologías constituyen los activos físicos con los que cuentan las organizaciones para la prestación de los servicios, por tal razón, es de vital importancia garantizar la vida útil de los mismos.

Con este objetivo en mente, el ser humano se ha esmerado por acabar con los pensamientos convencionales de que se debe reparar cuando se produzca el daño, hoy en día se ha demostrado que esperar a que esto ocurra es incurrir en unos costos excesivamente elevados. Por tal razón, dentro de las empresas industriales se han planteado llevar a cabo procesos de prevención de estos daños mediante un adecuado programa de mantenimiento.

Dentro del estudio de la temática de la Gestión del Mantenimiento, se desarrolló un proceso metódico, lógico y objetivo, conocido como Reliability Centred Maintenance (RCM) centrado únicamente en la seguridad. Sin embargo, en poco tiempo se comprobó que además de tener un fuerte impacto en la seguridad, mejoraba la disponibilidad y optimizaba los recursos, ya que permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cada activo físico teniendo en cuenta su fiabilidad o probabilidad al fallo.

Esta metodología resulta útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento, y debe trabajar conjunta a los diferentes tipos de mantenimiento que se pueden realizar en las empresas (correctivo, preventivo, predictivo, proactivo). Este trabajo investigativo se enfatizará en el mantenimiento predictivo, como fuente valiosa para lograr la confiabilidad de todo plan de mantenimiento.

El mantenimiento predictivo o bajo condición evalúa el estado de los componentes mecánicos o eléctricos, mediante técnicas de seguimiento y análisis, permitiéndonos programar las operaciones de mantenimiento cuando sean necesarias. Su objetivo es la reducción de los costes de operación y el incremento de la disponibilidad de los equipos, esto se logra gracias a la monitorización de los mismos mientras se encuentran en funcionamiento.

Las técnicas de monitorización más utilizadas en la industria son: análisis de vibraciones, termografía, detección ultrasónica de defectos, análisis de aceites, etc. De las técnicas mencionadas anteriormente solo serán objeto de estudio en este proyecto la termografía, el análisis de vibración y el estudio de los parámetros eléctricos, aplicados a las maquinas e instalaciones eléctricas de Cotecmar y sus clientes, con el fin de mejorar la calidad del funcionamiento interno de la empresa y los servicios prestados, al contar con procedimientos estandarizados que utilicen técnicas de mantenimiento predictivo adecuadas.



## **CAPITULO I PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA**

### **1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

Actualmente en Cotecmar se presentan dos grandes problemas: el primero, es que se reciben muchos reclamos de garantía por parte de los clientes, ocasionando pérdidas económicas y la reputación de la empresa se ve afectada, el segundo, es que los activos fijos pierden disponibilidad a causa de paradas no programadas, lo que conlleva a daños totales y parciales de los equipos, atrasos e incumplimientos en la producción y riesgos en la integridad física de las personas cuando la falla termina convirtiéndose en un accidente.

Gracias al estudio de las técnicas y procedimientos predictivos implementados por la empresa, se observa que Cotecmar, a pesar de contar con algunos equipos de mantenimiento predictivo, solo los utiliza para diagnosticar y no para establecer u ofrecer un mantenimiento predictivo centrado en confiabilidad, donde se requiere aplicar más de una técnica predictiva e implementar un monitoreo continuo. Para lograr esto, se requiere que la empresa cuente con los equipos necesarios, los procedimientos y certificaciones que demanda la implementación de un RCM.

### **1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Cómo a través de la aplicación de técnicas predictivas como el análisis de vibraciones, análisis de parámetros eléctricos y la termografía se puede garantizar mayor confiabilidad en el plan de mantenimiento de las maquinas e instalaciones eléctricas presentes en los activos y servicios de COTECMAR?

## **CAPITULO II OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar la metodología del RCM basado en técnicas predictivas: vibración, termografía y medición de parámetros eléctricos; para las maquinas e instalaciones eléctricas presentes en los activos y servicios de COTECMAR.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los modos de fallas y componentes críticos de las maquinas e instalaciones eléctricas de COTECMAR sede Mamonal.
- Elaborar la metodología de mantenimiento basado en confiabilidad con la integración de procedimientos y formatos para el análisis de termografía, análisis de vibración y medición de parámetros eléctricos.
- Analizar las ventajas de aplicar las técnicas predictivas como termografía, análisis de vibración y medición de parámetros eléctricos aplicadas a las maquinas e instalaciones eléctricas, con el fin de diagnosticar el estado de los equipos.
- Analizar los resultados arrojados por la técnicas predictivas con el fin de asegurar la disponibilidad y confiabilidad de las mismas dentro de los procesos.

### **CAPITULO III JUSTIFICACION**

Con base a la problemática que se presenta en COTECMAR, con este trabajo se busca desarrollar una metodología basada en técnicas predictivas como el análisis de vibraciones, termografía y parámetros eléctricos, con el fin de garantizar la confiabilidad de las maquinas e instalaciones eléctricas de COTECMAR y de sus clientes.

Como esta metodología estará basada en un mantenimiento centrado en confiabilidad, se hace necesario aplicar más de una técnica predictiva, realizar monitoreo gradual del equipo y desarrollar análisis causa raíz. Todo esto con el objetivo de implementar los procedimientos para la detección de fallas a través de termografía, vibraciones y valoración de parámetros eléctricos.

Finalmente lo que se busca es mejorar la calidad del funcionamiento interno de la empresa y los servicios prestados a los clientes, al contar con procedimientos estandarizados que utilicen técnicas de mantenimiento predictivo adecuadas.

## **CAPITULO IV COTECMAR**

### **4.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

#### **4.1.1 RESEÑA HISTÓRICA**

En 11 años de constituida, COTECMAR es líder de la Industria Naval en Colombia, desarrollando programas de investigación y desarrollo, creando un vínculo entre la academia y la industria astillera del país, logrando el apoyo de Conciencias y empresas particulares que han creído en este ambicioso megaproyecto, consolidando día a día su posición de liderazgo y ganando terreno en el mercado internacional.

A mediados de 1998, la Armada Nacional lideró una iniciativa para recuperar y modernizar las instalaciones del antiguo astillero Conastil, apropiando los recursos necesarios para dar vida a lo que hoy es la Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial, COTECMAR.

Fue así como el Ministerio de Defensa Nacional-Armada Nacional, Universidad Nacional de Colombia, la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y la Universidad Tecnológica de Bolívar trabajando mancomunadamente en aras de sacar adelante el proyecto, suscribieron el 21 de julio el acta de constitución de lo que hoy es COTECMAR, empresa que trabaja a todo vapor para adquirir y desarrollar tecnología, que contribuye al crecimiento de la industria astillera en el país, propiciando un desarrollo sostenido de la Industria Naval colombiana, la Marina Mercante y la Flotas Pesqueras nacionales y extranjeras.

COTECMAR es una corporación sin ánimo de lucro que invierte lo excedentes financieros de sus actividades industriales y comerciales en proyectos de ciencia y tecnología para el desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial de Colombia.

Para ello cuenta con la Dirección de Ciencia y Tecnología que lidera todos los proyectos de investigación y desarrollo que emprende la Corporación, integrando los esfuerzos de cada uno de los socios de la empresa.

Actualmente se están desarrollando los proyectos de Investigación y Desarrollo para el manejo integral de la corrosión marina; programa de investigación y desarrollo de materiales para la construcción naval, y el programa de investigación y desarrollo de diseño e ingeniería naval, financiados con recursos provenientes de sus socios, Conciencias, y otras entidades conscientes del potencial de la empresa y del futuro del país.

COTECMAR genera más de 800 empleos directos coadyuvando al desarrollo económico de la región. Cuenta con un equipo multidisciplinario de ingenieros y arquitectos en diferentes ramas de conocimiento, así como profesionales y técnicos altamente calificados para el logro de los objetivos trazados en cada uno de los proyectos y actividades que desarrolla ofreciendo a sus clientes la mejor relación costo-beneficio.

Suministramos servicios de diseño y construcción de buques y artefactos navales, certificados bajo la ISO 9001:2000LRQA, incluyendo construcciones en fibra de vidrio y materiales compuestos.

En el área de reparaciones contamos con dos astilleros y una dirección de servicios técnicos en la ciudad de Cartagena, cubriendo las reparaciones de dique, a flote e industriales abarcando un amplio rango de servicios para todo tipo de embarcaciones hasta 3600 toneladas de desplazamiento, incluyendo sistemas eléctricos y de control automático, sistemas de propulsión, hidráulicos, tuberías, pintura y recubrimientos, válvulas y otras.

En los últimos cuatro años de operaciones, COTECMAR ha fortalecido su presencia en el mercado internacional, atendiendo más de 200 embarcaciones particulares de diversos países como Estados Unidos, Jamaica, Japón, Honduras, Noruega, Panamá, México, Rusia, Alemania, Antillas Holandesas,

entre otros, desarrollando agresivas estrategias comerciales que le han permitido posicionarse en un mercado altamente competitivo.

#### **4.1.2 VISIÓN**

Ser la organización líder en la investigación e innovación tecnológica para el desarrollo del Poder Marítimo Nacional, en el campo de la industria naval, marítima y fluvial, con proyección internacional.

#### **4.1.3 MISIÓN**

COTECMAR es una Corporación de ciencia y tecnología orientada al diseño, construcción, mantenimiento y reparación de buques y artefactos navales.

COTECMAR, apoyada en la relación universidad-empresa, tiene como prioridad la investigación, el desarrollo, la aplicación de nuevas tecnologías y de las mejores prácticas empresariales en la elaboración de sus productos y servicios, dirigidos a satisfacer las necesidades técnicas de la Armada Colombiana y del mercado nacional e internacional, para así contribuir con el desarrollo tecnológico, social y económico del país.

COTECMAR propicia el desarrollo personal y profesional de sus integrantes y se compromete con una cultura de calidad y respeto al medio ambiente. Sus socios, empleados y aliados son el respaldo y la seguridad en la excelencia del servicio.

#### **4.1.4 POLÍTICAS CORPORATIVAS**

- ▶ La Armada Nacional tendrá siempre la prioridad en la prestación de los servicios ofrecidos por COTECMAR dentro de un adecuado planeamiento anual y quinquenal adelantado de común acuerdo.
- ▶ La organización mantendrá una disciplina de planeamiento, programación, ejecución y control para su normal funcionamiento.

- ▶ Cotecmar competirá lealmente con los astilleros del área de influencia.
- ▶ Cotecmar estará comprometida con el mejoramiento de las competencias del personal.

#### **4.1.5 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL**

COTECMAR tendrá su mapa estratégico hasta el año 2020, basado en tres escenarios secuenciales, Océano Rojo (2007 – 2011), Sueños Alcanzados (2012 – 2015) y Soberanía (2016 – 2020).

La estructura organizacional que aparece en la figura N° 1 es la que soportará la construcción del futuro que COTECMAR se ha planteado en su escenario apuesta, primera etapa, esto es: “Océano Rojo 2007 – 2011”

La estructura de COTECMAR como se observa en la figura 1 estará dividida en cuatro (4) Unidades: Unidades de Dirección y Planeación (Rojo), Unidades Asesoras (Amarillo), Unidades de Negocios (Azul) y Unidades de Gestión Estratégica (Verde) y un Centro de Gestión de Conocimiento que se establece como un sistema de sistemas, el cual tiene como función gestionar el conocimiento con la finalidad de que la Corporación se constituya en una organización orientada a la innovación y que se interrelaciona con los sistemas de inteligencia empresarial, aprendizaje organizacional, sistemas integrados de gestión y sistemas de tecnologías de información y comunicación, para el logro de este propósito.

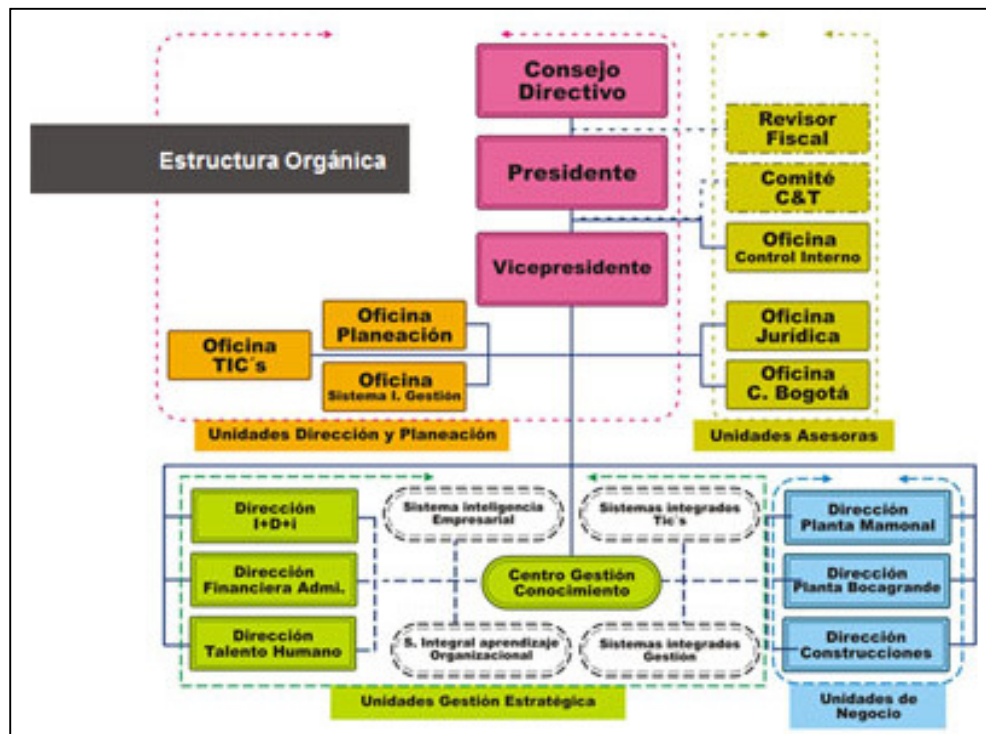


Figura 1. Estructura Organizacional COTECMAR 2007 – 2011 tomado del Plan Estratégico Cotecmar

## 4.1.6 SERVICIOS

### 4.1.6.1 SERVICIOS A LA INDUSTRIA

#### *Trabajos de Metalmecánica y Soldadura en General*

En la división de soldadura y pailería contamos con personal altamente calificado y certificado para la realización de este tipo de trabajos.

#### *Taller de Motores Combustión Interna DIESEL*

Mantenimiento y Reparación

#### *Taller de Electricidad (Taller de Servicio Autorizado Siemens Motores)*

En **COTECMAR** tenemos un equipo de especialistas, Ingenieros y técnicos altamente calificados, lo cuales poseen las herramientas y equipos que garantizan la calidad de los procesos.



### ***Automatización y control (A&D)***

Somos integradores de **siemens** en automatización y control (**A&D**), contando con el soporte, apoyo y capacitación, lo cual nos permite ofrecer soluciones de ingeniería a los sectores marítimo, industrial y comercial.

### ***Refrigeración y Aire Acondicionado***

Instalación, reparación y mantenimiento de Sistemas de Aire Acondicionado hasta 100 T.R. tipo Expansión Directa o tipo Chiller y Sistemas de Refrigeración hasta 6 T.R, tipo marino, con fluidos.

### ***Departamento de Inspección y Ensayo***

El Departamento de Inspección y Ensayos ofrece un servicio especializado en Ensayos No Destructivos (**END**), realizados por un equipo técnico multidisciplinario, calificado en cada una de las técnicas (**END**), apoyados por equipos sofisticados de alta tecnología.

### ***Metrología y Calibraciones***

Los equipos y/o instrumentos de medición usados para las calibraciones que se realizan en distintas magnitudes, son trazados a patrones nacionales e internacionales teniendo como base la norma **ISO-IEC 17025**.

### ***Laboratorio de Metrología***

COTECMAR cuenta con un moderno Laboratorio de Metrología, dotado con unas instalaciones bajo condiciones ambientales de acuerdo a lo que establece la **OIML**, con equipos e instrumentación de calibración con tecnología de punta y un talento humano altamente capacitado.

## **4.1.6.2 REPARACIONES EN MUELLE**

Servicios de reparación y mantenimiento en muelle:

- ▶ Servicio de muelle
- ▶ Aceros
- ▶ Calibraciones ultrasónicas
- ▶ Pintura

► Tapas Mc Gregor

#### **4.1.6.3 REPARACIONES EN DIQUE**

Servicios de reparación y mantenimiento en dique Varadero y servicios adicionales: gas free protección catódica, calibraciones ultrasónicas, toma de luces, sandblasting y pintura obra viva, trabajos en obra muerta, rejillas y cajas de mar, aceros, válvulas de fondo, anclas y cadenas, limpieza de tanques, sistema de propulsión mecánica, sellos simplex de cola.

#### **4.1.6.4 DISEÑO E INNOVACIÓN DE PRODUCTOS**

COTECMAR ofrece asesoría en diseño y construcción de todo tipo de embarcaciones de navegación fluvial, costeras y oceánicas.

COTECMAR como Corporación de Ciencia y Tecnología, a través de la Dirección de Investigación y Desarrollo e Innovación, cuenta con la capacidad necesaria para adelantar soluciones avanzadas en el diseño de embarcaciones de navegación fluvial (Riverine), costero (Inland waterways) y oceánico (seagoing).

##### ***Diseño de Embarcaciones y Artefactos Navales***

COTECMAR se ha caracterizado por el desarrollo de diseños de embarcaciones enmarcadas dentro de altos estándares de calidad y funcionalidad.

Dentro de las capacidades de diseño de embarcaciones y artefactos navales Cotecmar cuenta con un grupo multidisciplinario de profesionales, distribuidos en dos oficinas de diseño, que con el empleo de diferentes herramientas informáticas especializadas en diseño naval permiten garantizarle al usuario final la satisfacción final de sus necesidades específicas.

##### ***Navegación Fluvial (Riverine Vessels)***

Diseño de Centro de Atención Ambulatoria Fluvial

Diseño de Centro de Enseñanza Itinerante

***Law Enforcement***

Diseño de Patrulleras Fluviales Pesadas

Diseño de Lanchas Patrulleras de Río

Diseño de Patrulleras Fluviales Livianas

***Embarcaciones Costeras (Inland Vessels)***

Work Boats

Lancha hidrográfica

Car Ferry

***Law Enforcement***

Landing Craft Utility

***Pleasure Boats***

B5

***Embarcaciones Oceánicas (Seagoing Vessels)***

Work Boats

30000 BI Tanker

***Law Enforcement***

OPV-80 (Diseño de detalle)

***Desmantelamiento***

La Unidad de negocios Planta Mamonal tiene las facilidades requeridas para ofrecer esta opción a los clientes, la cual se convierte en favorable en la misma medida en la que los precios y el proceso orientado a la comercialización de la chatarra les sean más adecuados<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> <http://www.cotecmar.com>

## **CAPITULO V MARCO REFERENCIA**

### **5.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

En COTECMAR ya se han realizado proyectos concernientes a las técnicas de mantenimiento predictivo. Uno de los proyectos consolidados y ejecutados fue la “Implementación de técnicas predictivas: Primera Fase”, en la cual se abarcaron técnicas como el análisis de vibraciones y balanceo, que dio como resultado la adquisición del equipo de vibraciones VIBXPER a mediados del 2010.

Viendo la viabilidad del proyecto, DEINE decide implementar la segunda fase de técnicas de mantenimiento predictivo, en la cual se incluyen como objeto de estudio las técnicas de termografía, ultrasonido y la alineación laser, con la intención de que el departamento de inspección y ensayos fortalezca la capacidad de inspección y control de calidad mediante el uso de equipos especializados para la monitorización que permitan la detección de fallas.

A partir de las necesidades de la empresa con esta investigación se busca desarrollar la metodología que integre los procedimientos y formatos del análisis de vibración y termografía, que son técnicas ya utilizadas dentro del sistema de detección de fallas. Y además se plantea la medición de parámetros eléctricos como una tercera técnica de predicción que ayuda a ofrecer un mantenimiento mucho más confiable, logrando suplir las necesidades del astillero y por ende ampliar los servicios ofrecidos por el departamento de inspección y ensayos.

### **5.2 DIAGNOSTICO ACTUAL**

COTECMAR como corporación de ciencia y tecnología actualmente brinda servicios de vibraciones a los clientes del astillero como técnica de mantenimiento predictivo, tras contar con los procedimientos, formatos y protocolos estandarizados. Por otro lado, la empresa posee una cámara termográfica que solo se utiliza en el departamento eléctrico, y a pesar de que

se cuenta con los procedimientos y formatos pertinentes, la técnica no se encuentra avalada como servicio del DEINE. Finalmente la medición de parámetros eléctricos no se aplica, por lo que constituye un objetivo de la investigación la implementación de la misma dentro de las técnicas predictivas utilizadas.

Contar con técnicas predictivas como la termografía y la medición de parámetros eléctricos permitirá no solo verificar el trabajo realizado por las otras dependencias sino que también abrirán oportunidades de negocios con el ofrecimiento de nuevos servicios a los clientes de la corporación.

### **5.3 INTEGRACIÓN CON EL DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO**

La presente investigación se alinea con los siguientes objetivos estratégicos de la corporación:

- ▶ **Producción:** Responder efectivamente a los requerimientos de producción de los proyectos de ventas de servicios y productos de la corporación.
- ▶ **Tecnología e innovación:** Acelerar la gestión para la consecución del dominio y ejecución de nuevas tecnologías, que contribuyan al cumplimiento efectivo de los objetivos propuestos por el proyecto.

### **5.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

Elaboración de la metodología de mantenimiento basado en confiabilidad con la integración de técnicas predictivas como la termografía, el análisis de vibración y análisis de parámetros eléctricos. Para ello se utilizarán los procedimientos y formatos de cada una de las técnicas, proponiéndose la introducción de nuevas técnicas y equipos para el mantenimiento predictivo. Se elaborarán los procedimientos formales para las técnicas que no los tienen desarrollados. En definitiva lo que busca la investigación es que el departamento cuente con la metodología necesaria para consolidar una unidad de mantenimiento basado en confiabilidad con la aplicación de estas tres

técnicas que permitan prestar servicios a los clientes de la corporación y a la industria en general.

## **5.5 ESTRATEGIAS PARA LA FORMULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

- ▶ Estudiar la bibliografía sobre el mantenimiento centrado en confiabilidad aplicando varias técnicas de mantenimiento predictivo.
- ▶ Conocer técnicas de análisis termográfico, vibración y medición de parámetros eléctricos aplicadas al sector naval e industrial.
- ▶ Definir procedimientos de los ensayos de termografía y medición de parámetros eléctricos.
- ▶ Aplicación de las pruebas y retroalimentación al proceso.

## **CAPITULO VI MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)**

### **6.1 GENERALIDADES**

El objetivo básico de cualquier gestión de Mantenimiento, consiste en incrementar la disponibilidad de los activos, a bajos costes, permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional, cumpliendo con las funciones para las cuales fueron diseñados. Es decir, deben estar centrados en la Confiabilidad Operacional.

En la actualidad, esta meta puede ser alcanzada de forma óptima, con la metodología de Gestión del Mantenimiento, titulada Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

El RCM fue desarrollado a fines de los sesenta por la industria aeronáutica, la cual se vio en la necesidad de “ver mejor” el mantenimiento según se estaba desarrollando entonces (mantenimiento preventivo, mayormente desarrollado por recomendaciones hechas por fabricantes de partes). Esta forma de mantenimiento imposibilitaría una eficaz operación del Boeing 747, obligándole a estar mucho tiempo en tierra para mantenimiento preventivo. Los resultados fueron sorprendentes y en un poco tiempo era herramienta estándar de las fuerzas militares norteamericanas y de la industria nuclear. Los otros sectores industriales fueron tentados en los ochenta (petróleo, energía y minería), con resultados muy buenos en unos casos y decepcionantes en otros<sup>2</sup>.

El RCM es una metodología que permite identificar las políticas de mantenimiento óptimas para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción. Sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional. Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de los activos de un determinado contexto operacional realizado por un equipo de

---

<sup>2</sup> The Woodhouse Partnership Limited Inglaterra

trabajo multidisciplinario. El equipo desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta, la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón coste/beneficio.

Esta metodología demanda una revisión sistemática de las funciones que conforman un proceso determinado, sus entradas y salidas, las formas en que pueden de-jar de cumplirse tales funciones y sus causas, las consecuencias de los fallos funcio-nales y las tareas de mantenimiento óptimas para cada situación (predictivo, preven-tivo, proactivo, etc.) en función del impacto global (seguridad, ambiente, costo, unidades de producción)<sup>3</sup>.

## **6.2 SIETE PREGUNTAS BÁSICAS DEL RCM**

La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM. Según esta norma, las siete preguntas básicas para este tipo de proceso son:

- ✓ ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
- ✓ ¿Cuáles son los estados de fallas (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
- ✓ ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
- ✓ ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
- ✓ ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
- ✓ ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
- ✓ ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

## **6.3 CONTEXTO OPERACIONAL**

Antes de comenzar a redactar las funciones deseadas para el activo que se está analizando (primera pregunta del RCM), se debe tener un claro

---

<sup>3</sup> Confiabilidad Operacional – Capítulo 3: Mantenimiento centrado en Confiabilidad RCM. Introducción – Autor: Luis Amendola.



entendimiento del contexto en el que funciona el equipo. Por ejemplo, dos activos idénticos operando en distintas plantas, pueden resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de de operación son diferentes.

Entonces, antes de comenzar el análisis se debe redactar el contexto operacional, breve descripción donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo (producción perdida o reducida, recuperación de producción en horas extra, tercerización), objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente, etc.

#### **6.4 FUNCIONES**

El análisis de RCM comienza con la redacción de las funciones deseadas. Por ejemplo, la función de una bomba puede definirse como “Bombear no menos de 500 litros/minuto de agua”. Sin embargo, la bomba puede tener otras funciones asociadas, como por ejemplo “Contener al agua (evitar pérdidas)”. En un análisis de RCM, todas las funciones deseadas deben ser listadas.

#### **6.5 FALLAS FUNCIONALES O ESTADOS DE FALLA**

Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema. Por ejemplo, para una bomba tres estados de falla podrían ser “Incapaz de bombear agua”, “Bombea menos de 500 litros/minuto”, “No es capaz de contener el agua”. Notar que los estados de falla están directamente relacionados con las funciones deseadas. Una vez identificadas todas las funciones deseadas de un activo, identificar las fallas funcionales es generalmente muy sencillo.

#### **6.6 MODOS DE FALLA**

Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Por ejemplo, “impulsor desgastado” es un modo de falla que

hace que una bomba llegue al estado de falla identificado por la falla funcional “bombee menos de lo requerido”. Cada falla funcional suele tener más de un modo de falla. Todos los modos de falla asociados a cada falla funcional deben ser identificados durante el análisis de RCM.

Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante listar la “causa raíz” de la falla. Por ejemplo, si se están analizando los modos de falla de los rodamientos de una bomba, es incorrecto listar el modo de falla “falla rodamiento”. La razón es que el modo de falla listado no da una idea precisa de por qué ocurre la falla. Es por ¿“falta de lubricación”? Es por ¿“desgaste y uso normal”? Es por ¿“instalación inadecuada”? Notar que este desglose en las causas que subyacen a la falla sí da una idea precisa de por qué ocurre la falla, y por consiguiente que podría hacerse para manejarla adecuadamente (lubricación, análisis de vibraciones, etc.).

## **6.7 EFECTOS DE LA FALLA**

Para cada modo de falla deben indicarse los efectos de falla asociados. El efecto de falla es una breve descripción de qué pasa cuando la falla ocurre. Por ejemplo, el efecto de falla asociado con el modo de falla “impulsor desgastado” podría ser el siguiente: “a medida que el impulsor se desgasta, baja el nivel del tanque, hasta que suena la alarma de bajo nivel en la sala de control. El tiempo necesario para detectar y reparar la falla (cambiar impulsor) suele ser de 6 horas. Dado que el tanque se vacía luego de 4 horas, el proceso aguas abajo debe detenerse durante dos horas. No es posible recuperar la producción perdida, por lo que estas dos horas de parada representan una pérdida de ventas”. Los efectos de falla deben indicar claramente cuál es la importancia que tendría la falla en caso de producirse.

## 6.8 CATEGORÍA DE CONSECUENCIAS

La falla de un equipo puede afectar a sus usuarios de distintas formas:

- ✓ Poniendo en riesgo la seguridad de las personas (consecuencias de seguridad)
- ✓ Afectando al medio ambiente (consecuencias de medio ambiente)
- ✓ Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa (consecuencias operacionales)
- ✓ Ninguna de las anteriores (consecuencias no operacionales)

Además, existe una quinta categoría de consecuencias, para aquellas fallas que no tienen ningún impacto cuando ocurren salvo que posteriormente ocurra alguna otra falla. Por ejemplo, la falla del neumático de auxilio no tiene ninguna consecuencia adversa salvo que ocurra una falla posterior (pinchadura de un neumático de servicio) que haga que sea necesario cambiar el neumático. Estas fallas corresponden a la categoría de fallas ocultas.

Cada modo de falla identificado en el análisis de RCM debe ser clasificado en una de estas categorías. El orden en el que se evalúan las consecuencias es el siguiente: seguridad, medio ambiente, operacionales, y no operacionales, previa separación entre fallas evidentes y ocultas.

El análisis RCM bifurca en esta etapa: el tratamiento que se le va a dar a cada modo de falla va a depender de la categoría de consecuencias en la que se haya clasificado, lo que es bastante razonable: no sería lógico tratar de la misma forma a fallas que pueden afectar la seguridad que aquellas que tienen consecuencias económicas. El criterio a seguir para evaluar tareas de mantenimiento es distinto si las consecuencias de falla son distintas.

## **6.9 DIFERENCIA ENTRE EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE FALLA**

El efecto de falla es una descripción de qué pasa cuando la falla ocurre, mientras que la consecuencia de falla clasifica este efecto en una de 5 categorías, según el impacto que estas fallas tienen.

## **6.10 DIFERENCIA ENTRE FALLA FUNCIONAL Y MODOS DE FALLA**

La falla funcional identifica un estado de falla: incapaz de bombear, incapaz de cortar la pieza, incapaz de sostener el peso de la estructura... No dice nada acerca de las causas por las cuales el equipo llega a ese estado. Eso es justamente lo que se busca con los modos de falla: identificar las causas de esos estados de fallas (eje cortado por fatiga, filtro tapado por suciedad, etc.).

## **6.11 DISTINTOS TIPOS DE MANTENIMIENTO**

Tradicionalmente, se consideraba que existían tres tipos de mantenimiento distintos: predictivo, preventivo, y correctivo. Sin embargo, existen cuatro tipos de mantenimiento distintos:

- ▶ Mantenimiento predictivo, también llamado mantenimiento a condición.
- ▶ Mantenimiento preventivo, que puede ser de dos tipos: sustitución o reacondicionamiento cíclico.
- ▶ Mantenimiento correctivo, también llamado trabajo a la falla.
- ▶ Mantenimiento detectivo ó “búsqueda de fallas”.

### **6.11.1 MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

El mantenimiento predictivo o mantenimiento a condición consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra. Por ejemplo, la inspección visual del grado de desgaste de un neumático es una tarea de mantenimiento predictivo, dado que permite identificar el proceso de falla antes de que la falla funcional ocurra.

Estas tareas incluyen: inspecciones (ej: Inspección visual del grado de desgaste), monitoreos (ej. vibraciones, ultrasonido), chequeos (ej: nivel de aceite). Tienen en común que la decisión de realizar o no una acción correctiva depende de la condición medida. Por ejemplo, a partir de la medición de vibraciones de un equipo puede decidirse cambiarlo o no. Para que pueda evaluarse la conveniencia de estas tareas, debe necesariamente existir una clara condición de falla potencial. Es decir, debe haber síntomas claros de que la falla está en el proceso de ocurrir.

### **6.11.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

El mantenimiento preventivo se refiere a aquellas tareas de sustitución o retrabajo hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente. Estas tareas solo son válidas si existe un patrón de desgaste: es decir, si la probabilidad de falla aumenta rápidamente después de superada la vida útil del elemento. Debe tenerse mucho cuidado, al momento de seleccionar una tarea preventiva (o cualquier otra tarea de mantenimiento, de hecho), en no confundir una tarea que se puede hacer, con una tarea que conviene hacer. Por ejemplo, al evaluar el plan de mantenimiento a realizar sobre el impulsor de una bomba, podríamos decidir realizar una tarea preventiva (sustitución cíclica del impulsor), tarea que en general se puede hacer dado que la falla generalmente responde a un patrón de desgaste (patrón B de los 6 patrones de falla del RCM). Sin embargo, en ciertos casos podría convenir realizar alguna tarea predictiva (tarea a condición), que en muchos casos son menos invasivas y menos costosas.

### **6.12.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Si se decide que no se hará ninguna tarea proactiva (predictiva o preventiva) para manejar una falla, sino que se reparará la misma una vez que ocurra, entonces el mantenimiento elegido es un mantenimiento correctivo. ¿Cuándo conviene este tipo de mantenimiento? Cuando el costo de la falla (directos indirectos) es menor que el costo de la prevención, ó cuando no puede hacerse ninguna tarea proactiva y no se justifica realizar un rediseño del equipo. Esta

opción solo es válida en caso que la falla no tenga consecuencias sobre la seguridad o el medio ambiente. Caso contrario, es obligatorio hacer algo para reducir o eliminar las consecuencias de la falla.

#### **6.11.4 MANTENIMIENTO DETECTIVO**

El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallas consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios. En el mantenimiento detectivo no se está reparando un elemento que falló (mantenimiento correctivo), no se está cambiando ni reacondicionando un elemento antes de su vida útil (mantenimiento preventivo), ni se están buscando síntomas de que una falla está en el proceso de ocurrir (mantenimiento predictivo). Por lo tanto, el mantenimiento detectivo es un cuarto tipo de mantenimiento.

A este mantenimiento también se le llama búsqueda de fallas o prueba funcional, y al intervalo cada cual se realiza esta tarea se le llama intervalo de búsqueda de fallas, o FFI, por sus siglas en inglés (Failure-Finding Interval). Por ejemplo, arrojar humo a un detector contra incendios es una tarea de mantenimiento detectivo.

#### **6.12 ¿CÓMO SELECCIONAR EL TIPO DE MANTENIMIENTO ADECUADO?**

En el RCM, la selección de políticas de mantenimiento está gobernada por la categoría de consecuencias a la que pertenece la falla.

- ✓ Para fallas con consecuencias ocultas, la tarea óptima es aquella que consigue la disponibilidad requerida del dispositivo de protección.
- ✓ Para fallas con consecuencias de seguridad o medio ambiente, la tarea óptima es aquella que consigue reducir la probabilidad de la falla hasta un nivel tolerable.

✓ Para fallas con consecuencias económicas (operacionales y no operacionales), la tarea óptima es aquella que minimiza los costos totales para la organización.

“Aún hoy, mucha gente piensa en el mantenimiento preventivo como la principal opción al mantenimiento correctivo. Sin embargo, el RCM muestra que en el promedio de las industrias el mantenimiento preventivo es la estrategia adecuada para menos del 5% de las fallas. ¿Qué hacer con el otro 95 %? En promedio, al realizar un análisis RCM se ve que las políticas de mantenimiento se distribuyen de la siguiente forma: 30% de las fallas manejadas por mantenimiento predictivo (a condición), otro 30% por mantenimiento detectivo, alrededor de 5% mediante mantenimiento preventivo, 5% de rediseños, y aproximadamente 30% mantenimiento correctivo.”

Esto muestra efectivamente que una de las máximas del TPM (Total Productive Maintenance) que dice que “todas las fallas son malas y todas deben ser prevenidas”, es de hecho equivocada: solo deben ser prevenidas aquellas que convenga prevenir, en base a un cuidadoso análisis costo-beneficio.

### **6.13 PATRONES DE FALLA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO**

¿Cuál es la relación entre la probabilidad de falla y el tiempo? Tradicionalmente se pensaba que la relación era bien simple: a medida que el equipo es más viejo, es más probable que falle. Sin embargo, estudios realizados en distintas industrias muestran que la relación entre la probabilidad de falla y el tiempo u horas de operación es mucho más compleja.

No existen uno o dos patrones de falla, sino que existen 6 patrones de falla distintos. La figura 2 muestra los 6 patrones de falla. Cada patrón representa la probabilidad de falla en función del tiempo.

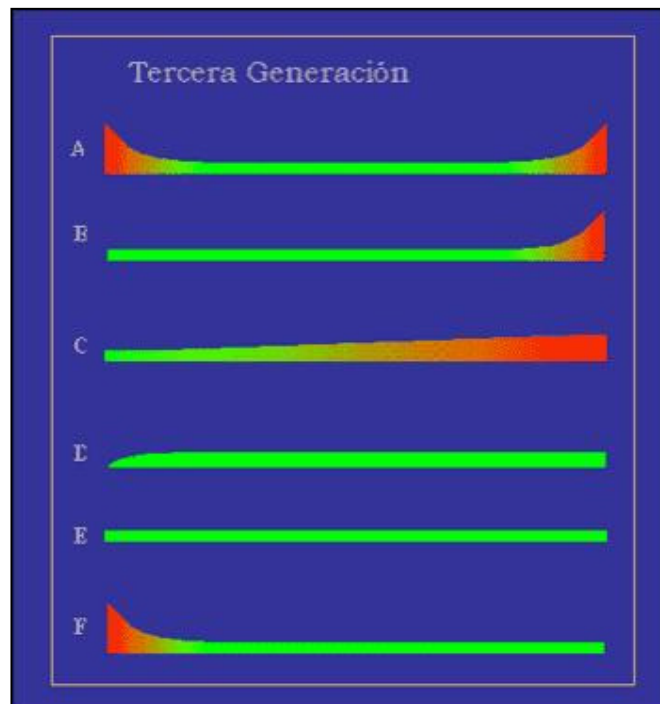


Figura 2. Seis patrones de fallas<sup>5</sup>

- ▶ Patrón **A**, donde la falla tiene alta probabilidad de ocurrir al poco tiempo de su puesta en servicio (mortalidad infantil), y al superar una vida útil identificable.
- ▶ Patrón **B**, o “curva de desgaste”.
- ▶ Patrón **C**, donde se ve un continuo incremento en la probabilidad condicional de la falla.
- ▶ Patrón **D**, donde superada una etapa inicial de aumento de la probabilidad de falla el elemento entra en una zona de probabilidad condicional de falla constante.
- ▶ Patrón **E**, o patrón de falla aleatorio.
- ▶ Patrón **F**, con una alta probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo seguido de una probabilidad condicional de falla constante y aleatoria.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Mantenimiento – 1° Edición – Enrique Muñoz , Jonathan Ortiz, Charlie Jiménez – Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador.



## **6.14 BENEFICIOS DEL RCM**

La implementación del RCM debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costos (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto, y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> [www.rcm-confiabilidad.com.ar](http://www.rcm-confiabilidad.com.ar) "RCM-Mantenimiento centrado en confiabilidad"

## CAPITULO VII TECNICAS PREDICTIVAS

### 7.1 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

El método general de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas tiene el objetivo final de asegurar el correcto funcionamiento de las máquinas a través de la vigilancia continua de los niveles de vibración en las mismas, siendo estos últimos, los indicadores de su condición; y se ejecuta sin necesidad de recurrir a desmontajes y revisiones periódicas.

#### 7.1.1 VIBRACIÓN

Es el cambio de posición de una máquina en el tiempo de un lado a otro respecto a su posición de reposo.

##### 7.1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VIBRACIÓN

Las características fundamentales de la vibración son:

- ✓ **Amplitud:** Cantidad de vibración medida en desplazamiento.
- ✓ **Frecuencia:** Número de ciclos por unidad de tiempo.
- ✓ **Fase:** Posición de una pieza que vibra en un instante dado con respecto a un punto de referencia o a otra pieza.

##### 7.1.1.2 UNIDADES DE LAS VIBRACIONES

Para cuantificar la vibración se utilizan tres medidas.

- ✓ **Desplazamiento:** Es la distancia recorrida por el punto medido, debido a la vibración y la medida que domina a bajas frecuencias (inferiores 1200 CPM) y está relacionado a los esfuerzos de flexión de los elementos y se expresa en mils pico a pico o mm pico a pico.

- ✓ **Velocidad:** Es aquella que experimentada por el punto medido al pasar por la posición neutra, y dominante a frecuencias medias (600 CPM hasta 6000CPM) y se conoce como la rapidez del cambio de desplazamiento y está relacionado a la fatiga del material y se expresa en ips (pul/seg) o mm/seg; pico o rms.
  
- ✓ **Aceleración:** Es el cambio de velocidad en el tiempo. La dominante a frecuencias altas (mayores a 60000 CPM) y está relacionada a las fuerzas presentes en los componentes de la máquina. Y se expresa CPM (ciclos/seg) o Hz (ciclos/seg)

### 7.1.2 ADQUISICIÓN DE DATOS

El éxito en campo del análisis de vibraciones constituye dos etapas: la adquisición e interpretación de los datos. La adquisición es el primer paso y se considera el más importante, de este depende la interpretación de los datos ya que si se obtienen datos fiables de manera ordenada y precisa, podrá realizarse un diagnóstico lo más exacto posible.

Los datos de la máquina se obtienen a través de transductores los cuales convierten la vibración mecánica en una señal eléctrica y de la elección del transductor depende la calidad de la señal, además de la forma en que se realice el montaje y donde se ubique. Para la adquisición de los datos se hace necesario tener en cuenta los siguientes pasos:

- Determinar las características de funcionamiento y diseño de la máquina (datos técnicos de la máquina: rpm, potencia, tipos de rodamientos entre otros).
- Determinar el objetivo de la vibración: se debe diferenciar entre medidas de rutina para detectar una posible falla o medidas para crear un histórico de datos de tal manera que se establezcan las condiciones normales de la máquina.

- Selección de la medida: desplazamiento, velocidad o aceleración. Esto determina la selección del transductor, ya que lo ideal es que este proporcione directamente la medida seleccionada.
- Establecer la posición y la dirección de los transductores. Normalmente se toman en tres sentidos axial, vertical y horizontal.
- Determinar los datos requeridos para la interpretación de los datos, magnitud de la vibración, espectros entre otros.

### **7.1.3 PROCEDIMIENTOS PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES**

#### ***Objetivo***

Asegurar el correcto funcionamiento de las máquinas a través de la vigilancia continua de los niveles de vibración, sin necesidad de recurrir a desmontajes y revisiones periódicas.

#### ***Condiciones generales:***

- La aplicación de esta técnica se realiza para detectar o pronosticar el punto de falla de un componente de la maquina.
- Cumplir con los requerimientos de las normas establecidas por las Sociedades Clasificadoras y Códigos.
- El solicitante debe entregar datos técnicos de la maquina: Condiciones iniciales de la maquina, tipo de rodamientos, tipo de apoyo, velocidad, rpm, potencia, frecuencia.
- La técnica se realiza con un personal con conocimiento, experiencia, calificado en Análisis de vibraciones.
- Se debe realizar las mediciones en operación normal, es decir cuando la temperatura de los cojinetes alcance los valores normales y estables.

#### ***Condiciones de equipo***

- El equipo debe programar su base de datos de acuerdo al tipo de máquina a la cual se le realizara el Análisis de vibraciones.

- Se deben generar mediciones multi-parámetros.
- Establecer el límite de alarma.
- Determinar la frecuencia máxima.
- Determinar el factor de escala
- Se debe escoger el transductor adecuado para el Análisis de Vibraciones.

### ***Documentos de referencia***

- ISO 10816-1/6
- ISO 4868
- ANSI-S2

### ***Descripción Narrativa***

Para el análisis de vibraciones se seguirán los siguientes pasos:

#### **1. Identificación de las máquinas**

Para la identificación de la máquina se miran los datos técnicos de la máquina (potencia, rpm, frecuencia, tipo de rodamiento), ubicación y si el cliente lo suministra las condiciones iniciales de la máquina (historial de averías, tendencia).

El inspector realiza la toma de datos se de acuerdo al sentido de la transmisión de potencia, del conductor al conducido.

El sensor debe formar un ángulo de 90° grados con respecto a la superficie de medición.

La sujeción debe ser fija, para garantizar una toma de datos segura y eliminar lecturas erróneas. En este caso el montaje es en forma magnética en caso de que el material no posea propiedades magnéticas se debe utilizar un acoplante.

## 2. Selección de los puntos y posiciones de medición

La selección de los puntos se realiza con base a los criterios de la norma ISO 10816. Es necesario establecer mediciones en tres direcciones:

- Axial.
- Vertical.
- Radial.

Estas direcciones se pueden visualizar en las figura 3 y 4.

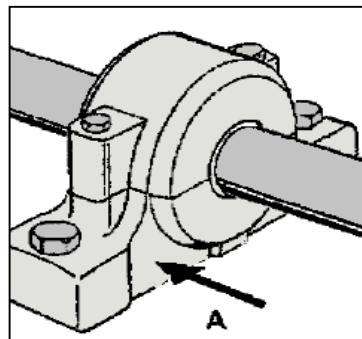


Figura 3. Vibración Longitudinal

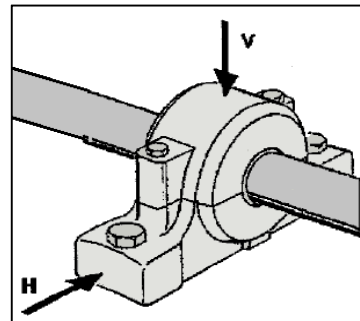
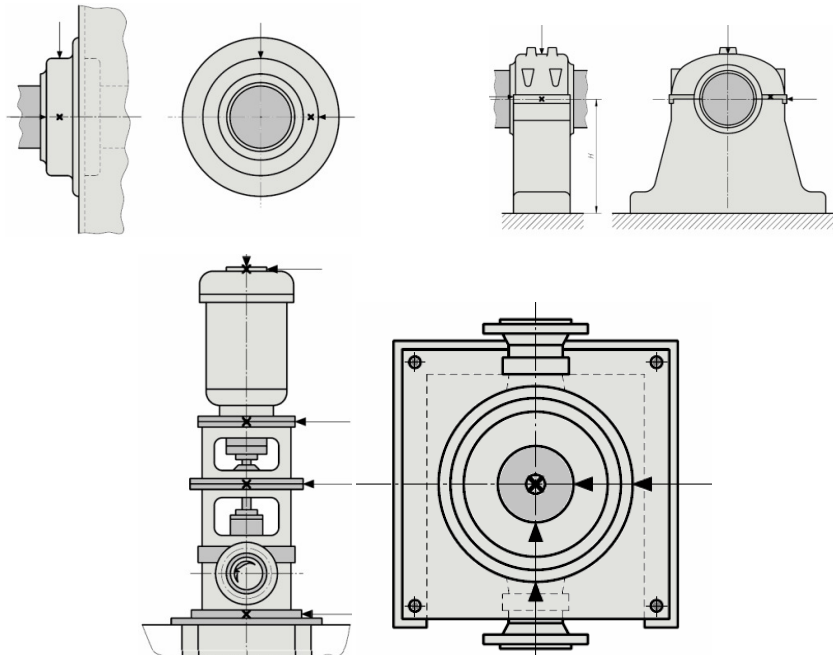


Figura 4. Vibración Radial

Por otro lado los puntos de medición pueden ser los ilustrados en la figura 5.



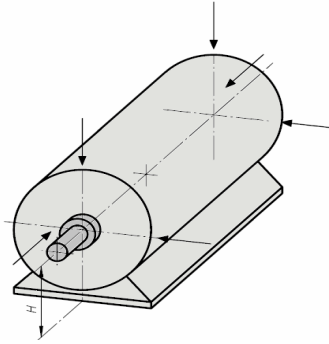


Figura 5. Puntos de medición para análisis de vibraciones<sup>6</sup>

#### 7.1.4 DIAGNÓSTICO DE FALLA

Luego de haber obtenido los datos el siguiente paso es la interpretación en el cual se identificará la causa de la vibración. Las técnicas básicas para diagnosticar una falla son: amplitud de la vibración, espectro, y fase. En el estudio de los datos de vibraciones, el análisis espectral es la base para encontrar la causa y forma de corregir el defecto.

Los problemas mecánicos más comunes en las máquinas que pueden llegar a producir vibración son:

- Desbalance
- Desalineación
- Desgastes de cojinetes y excesiva tolerancia
- Resonancia
- Soltura
- Excentricidad
- Fallas en los rodamientos
- Fallas en la caja de engranajes
- Fallas en motores eléctricos
- Fallas en las bombas, como cavitación y recirculación

<sup>6</sup> Figuras 14, 15, 16 y 18. Norma ISO 10816-1

## **7.1.5 NORMATIVIDAD PARA EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES**

La normatividad existente acerca del tema de vibraciones es muy extensa y se divide dependiendo del campo de aplicación. La metodología se basó en investigar cada una de las normas y determinar cuál de estas es aplicable, para elaborar procedimientos y determinar criterios de aceptación. Todo esto a fin de responder a los clientes con procesos y procedimientos estandarizados que garanticen un servicio eficiente y eficaz.

A continuación se enuncia el alcance que tiene la norma ISO 10816, la cual suministra las directrices generales para realizar la medición y evaluar los criterios de severidad.

### **7.1.5.1 ISO 10816-1**

Establece los parámetros a medir, procedimientos, instrumentación y condiciones de operación recomendados para tomar las mediciones.

#### **7.1.5.1.1 ALCANCE**

Esta parte de la norma establece las condiciones generales y los procedimientos para la medición y evaluación de las vibraciones a través de pruebas realizadas a partes no rotativas o máquinas recíprocas.

Los criterios generales de evaluación, que se presentan tanto en términos de magnitud de vibración y cambio de vibración, están relacionadas con el control de operación y los criterios de aceptación, lo cual brinda una obtención confiable, asegurando la operación a largo plazo de la máquina y reduciendo al mínimo los efectos adversos en los equipos asociados. También se presentan directrices para los establecimientos de límites operacionales. Se debe aclarar que los criterios de evaluación solo se refieren a la vibración causada por la propia máquina y no a la transmitida por el exterior, además esta parte de la norma ISO 10816 no incluye consideración de vibraciones torsionales.



## **7.2 TERMOGRAFÍA**

### **7.2.1 DEFINICION**

La termografía es un método de inspección de equipos eléctricos y mecánicos mediante la obtención de imágenes de su distribución de temperatura. Este método de inspección se basa en que la mayoría de los componentes de un sistema muestran un incremento de temperatura en mal funcionamiento. El incremento de temperatura en un circuito eléctrico podría deberse a una mala conexión o problemas con un rodamiento en caso de equipos mecánicos. Observando el comportamiento térmico de los componentes pueden detectarse defectos y evaluar su seriedad.

La herramienta de inspección utilizada por los termógrafos es una cámara térmica. Son equipos sofisticados que miden la emisión natural de radiación infrarroja procedente de un objeto y generan una imagen térmica. Las cámaras de termografía modernas son portátiles y de fácil manejo. Al no necesitar contacto físico con el sistema, las inspecciones pueden realizarse a pleno funcionamiento sin pérdida o reducción de productividad.

### **7.2.2 PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS TERMOGRÁFICO**

#### ***Objetivo:***

Asegurar el correcto funcionamiento de las máquinas o piezas a través de la inspección continua de los niveles de temperatura de sus componentes, sin necesidad de recurrir a desmontajes.

#### ***Descripción Narrativa:***

1. Antes de proceder con la toma de imágenes termográficas, se requiere que el objeto (pieza o máquina) que se va analizar cumpla con los requerimientos óptimos para realizar la prueba. Tales como:

- ✓ El objeto debe encontrarse libre de suciedad (grasa, polvo, pintura)
  - ✓ Se requiere que no hayan focos de calor externos que interfieran con la radiación infrarroja propia de la pieza o máquina que se le realiza termografía.
- 2.** Se identifican los parámetros que se requieran para llevar a cabo la toma de la medición.
- ✓ Material del objeto: aquí se verifica que tipo de material se trabaja, y las características superficiales del mismo, tales como; si esta pulido a espejo, opaco o corrugado.
  - ✓ La emisividad del material: esta va asociada al material de trabajo, la cual se encuentra especificado en tablas.
  - ✓ La distancia a la que se realizarán las pruebas: siempre que se realiza la toma de la imagen térmica se debe tener presente que el campo de visión térmica de la cámara dependerá directamente de la distancia a la que se encuentre el objeto (esta distancia es llamada IFOV y se determina con la calculadora IFOV de Fluke.)
- 3.** En caso de que el objeto sea un dispositivo o sistema eléctrico se debe verificar que este se encuentre encendido y en plena carga. Si se trata de aislamiento térmico estructural se debe tener presente la temperatura ambiente respecto a la temperatura del lugar o recinto en que se realiza la medición.
- 4.** Para capturar la imagen termográfica se tiene en cuenta lo siguiente:
- ✓ Enfoque: el inspector durante la toma la captura de la imagen debe verificar que el lente de la cámara tenga el enfoque correcto para que la imagen termográfica sea totalmente nítida.

- ✓ Rango de temperatura de trabajo: el rango de temperatura puede ser graduada automáticamente o de manera manual, dependiendo de la temperatura que experimente el objeto y el margen en que lo queramos censar.
  - ✓ Paleta de colores: es necesario graduar la escala de colores que queremos que muestre nuestra imagen térmica, identificando los colores que representan la máxima y mínima temperatura.
5. Tras la captura de la imagen esta es guardada en la memoria SD de la cámara, para que posteriormente pueda ser procesada y analizada con el software Smartview 2.1.
  6. Para hacer más efectiva la técnica predictiva de termografía, se debe disponer de elementos que permitan determinar las posibles anomalías que sean detectadas en la imagen térmica. Entre ellos: Analizadores de calidad energética, pinzas voltiamperimétricas, medidores de aislamiento. etc.
  7. El analista de termografía realiza la evaluación y el análisis de las imágenes térmicas basándose los datos históricos del equipo y/o a la norma que establezca los parámetros de condición del equipo. Este análisis termográfico será registrado en un formato de prueba y entregado como informe de termografía.
  8. El Jefe del Departamento de Inspección y Ensayo chequea el informe para posteriormente ser entregado a quien ha solicitado el servicio.

### **7.2.3 APLICACIONES DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA**

En el ámbito industrial la aplicación de la termografía en el área de mantenimiento es una de las más difundidas, especialmente en el mantenimiento llamado predictivo o de monitoreo de condiciones.

La Termografía Infrarroja en el área de mantenimiento presenta ventajas comparativas inigualables. Quizá sea el ensayo más divulgado y exitoso.

Se complementa eficientemente como los otros ensayos del mantenimiento, así como son el análisis de lubricantes, el análisis de vibraciones, el ultrasonido pasivo y el análisis predictivo de motores eléctricos. También, por supuesto, con los ensayos no destructivos clásicos como lo son el ensayo radiográfico, el ultrasonido activo, tintas penetrantes, partículas magnéticas y corrientes inducidas.

Toda falla electromecánica antes de producirse se manifiesta generando calor. Este calor o elevación de temperatura puede ser una elevación súbita, pero por lo general, dependiendo del objeto, la temperatura comienza a manifestarse lentamente. Ahí es donde la termografía se transforma en una herramienta irremplazable. El objetivo es poder detectar a priori fallas que pueden producir paradas imprevistas en los equipos.

La Termografía tiene muchos campos de aplicación tales como: medicina, electricidad, mecánica, aplicaciones ambientales, estructura de edificios etc. sin embargo en este trabajo será objeto de estudio solo las aplicaciones eléctricas y mecánicas por ser las de mayor aplicación en la industria.

### **7.2.3.1 DETECCIÓN DE CONEXIONES ELÉCTRICAS SUELTAS O CON CORROSIÓN**

En las figuras 6 y 7 se ilustran los resultados obtenidos a través de una cámara termográfica en diferentes conexiones eléctricas:

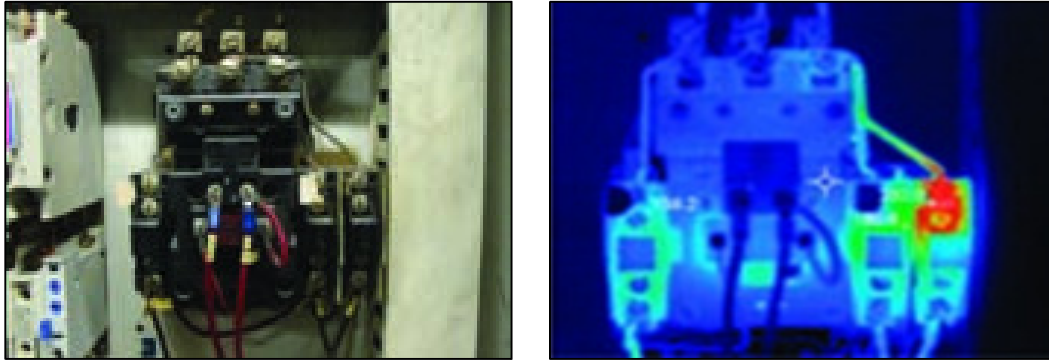


Figura 6. Las conexiones de la bomba de este evaporador muestran una temperatura 50 grados mayor que en la fase C.<sup>11</sup>

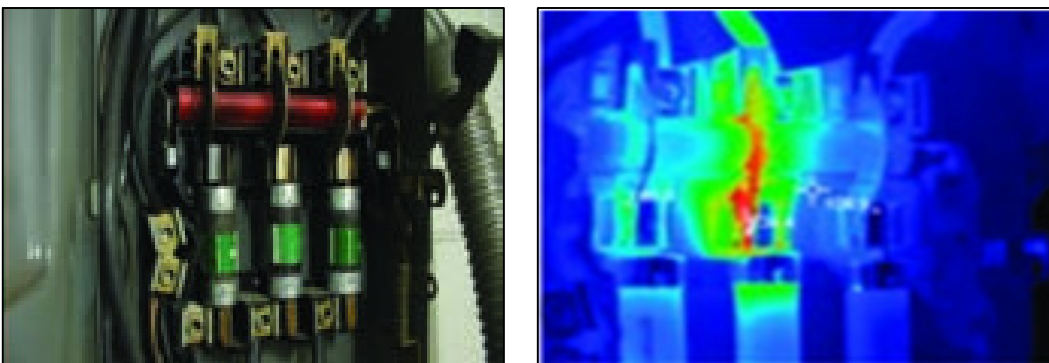


Figura 7. Las lecturas de temperaturas muestran puntos calientes en las conexiones de las fases A y B de este interruptor de iluminación, lo cual indica una carga no equilibrada.<sup>11</sup>

La principal razón por la que la termografía es tan indicada para el seguimiento de sistemas eléctricos es que los componentes eléctricos nuevos comienzan a deteriorarse desde el mismo momento en que se instalan. Independientemente de la carga de un circuito, la vibración, la fatiga y el paso del tiempo hacen que las conexiones eléctricas se aflojen, a la vez que las condiciones ambientales pueden acelerar su proceso de corrosión. En pocas palabras, todos los sistemas eléctricos acaban deteriorándose con el paso del tiempo. Si no se localizan estos deterioros y no se reparan, estos fallos en las conexiones derivarán en importantes averías.

Por suerte, cuando una conexión está suelta o tiene algún tipo de corrosión, su resistencia aumenta y dado que al aumentar la resistencia también aumenta la caída de tensión y se genera un aumento del calor, podemos detectar el fallo antes de que se produzca una avería utilizando una cámara termográfica.

La detección y corrección de fallos en las conexiones antes de que produzca una avería, evita incendios y paradas que pueden ser cruciales para la rentabilidad de una compañía. Estas acciones predictivas son vitales para una empresa, ya que, si un sistema principal falla, los gastos generales aumentan de forma inevitable, obliga a una redistribución de los trabajadores y del material, reduce la productividad y repercute en la seguridad de los empleados y de los clientes.

### 7.2.3.2 DETECCIÓN DE DESEQUILIBRIOS Y SOBRECARGAS ELÉCTRICAS

En la figura 8 se ilustran los resultados obtenidos a través de una cámara termográfica en diferentes conexiones eléctricas producto de desequilibrios y sobrecargas:

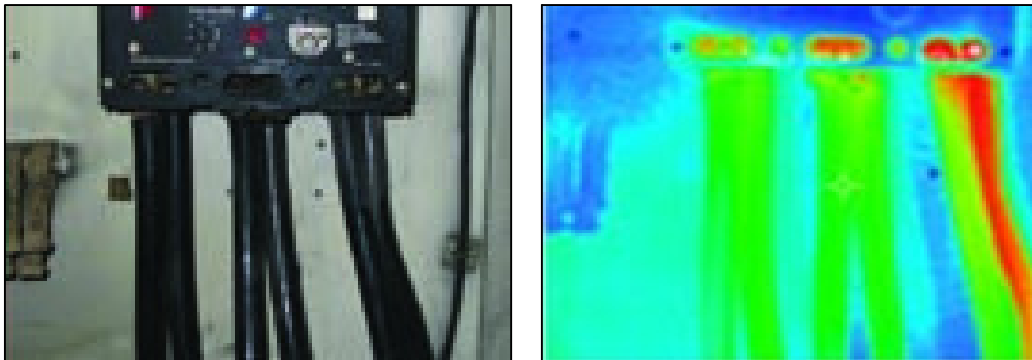


Figura 8. Las conexiones de la bomba de este evaporador muestran una temperatura 50 grados mayor en la fase 3.<sup>11</sup>

Un desequilibrio eléctrico puede deberse a varias razones: un problema en la alimentación, baja tensión en una fase o una ruptura de la resistencia del aislamiento de las bobinas del motor.

Un pequeño desequilibrio de tensión puede deteriorar las conexiones, reduciendo la cantidad de tensión suministrada. Esto hace que los motores y otras cargas requieran más corriente, dispongan de un par más bajo (con el esfuerzo mecánico asociado) y se estropeen antes.

### ***Qué puedo comprobar***

Se deben capturar imágenes térmicas de todos los cuadros eléctricos y de otros puntos de conexión de carga alta, tales como variadores, protecciones, controles, etc. En los lugares donde las temperaturas sean superiores, siga el circuito correspondiente y compruebe las cargas y los subcircuitos asociados. Compruebe los cuadros y otras conexiones sin las cubiertas, tapas de acrílico y puertas.

Lo ideal sería comprobar los dispositivos eléctricos cuando estuvieran calientes y en un estado de funcionamiento estable con al menos un 40 % de su carga típica. Así, las medidas se pueden evaluar y comparar con las condiciones normales de funcionamiento de forma adecuada.

### **7.2.3.3 INSPECCIÓN DE RODAMIENTOS**

En la figura 9 se ilustran los resultados obtenidos a través de una cámara termográfica cuando el equipo presenta falla en los rodamientos:

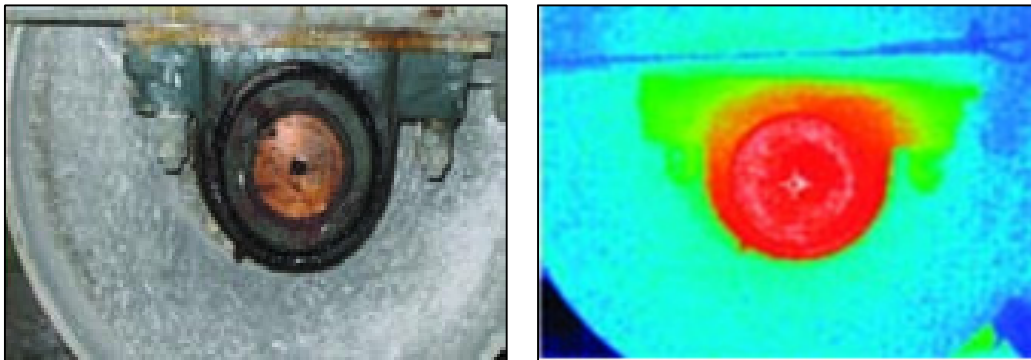


Figura 9. Este sobrecalentamiento en el eje y el rodamiento puede ser un indicio de un fallo en el rodamiento, de una lubricación insuficiente o de una mala alineación.<sup>11</sup>

### ***Que puedo comprobar***

En general, el análisis de vibraciones es el método más utilizado de los programas de mantenimiento predictivo para supervisar rodamientos de gran tamaño, fácil acceso y que trabajan a alta velocidad. No obstante, este análisis

sólo se puede llevar a cabo de una forma segura si se colocan los transductores de medida de vibraciones sobre los rodamientos. En el caso de rodamientos de pequeño tamaño (por ejemplo, de los rodillos de una cinta transportadora), que funcionan a baja velocidad y a los que no se puede acceder directamente o que pueden poner en riesgo para la seguridad si se intenta acceder a ellos durante el funcionamiento del equipo, la termografía puede ser una buena alternativa.

En la mayoría de los casos, se pueden realizar imágenes térmicas mientras el equipo está funcionando, si guarda una distancia de seguridad. Además, capturar imágenes térmicas con una cámara termográfica portátil es más rápido que realizar un análisis de vibraciones.

El equipo mecánico debe inspeccionarse cuando se haya calentado, se encuentre en un estado de funcionamiento estable y tenga una carga normal. De este modo, las medidas podrán interpretarse dentro de unas condiciones normales de funcionamiento.

#### 7.2.3.4 INSPECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

En las figuras 10 y 11 se ilustran los resultados obtenidos a través de una cámara termográfica en motores eléctricos:

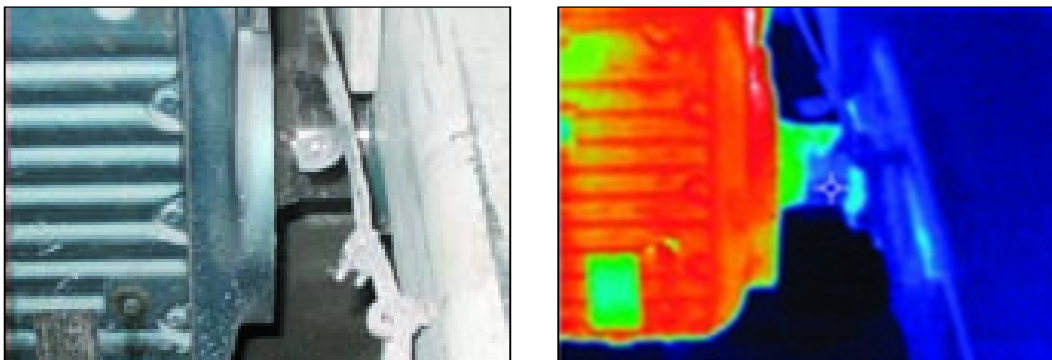


Figura 10. En condiciones normales de funcionamiento los rodamientos deben mostrar temperaturas moderadas<sup>11</sup>



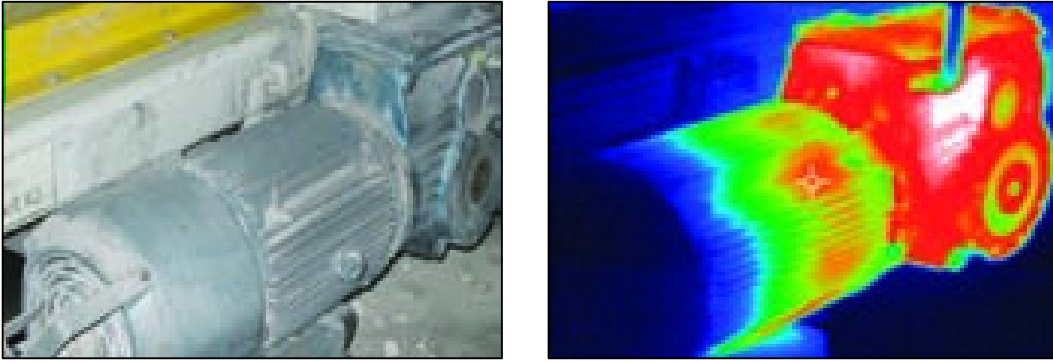


Figura 11. Las relativamente bajas temperaturas en los rodamientos son un indicio de que éstos funcionan correctamente.<sup>11</sup>

Este método de seguimiento resulta esencial para anticiparse y minimizar el número de inesperadas averías en el motor en los sistemas principales de los procesos de la empresa, comerciales y de producción. Estas acciones preventivas son vitales, ya que, si un sistema principal falla, los gastos generales aumentan de forma inevitable, obliga a una redistribución de los trabajadores y del material, reduce la productividad y, si esta avería no se soluciona, puede perjudicar a la rentabilidad de la empresa y, probablemente, al bienestar de los empleados y los clientes.

### ***Qué puedo comprobar***

Lo ideal sería realizar comprobaciones de los motores cuando estuvieran trabajando bajo condiciones normales de funcionamiento. A diferencia de los termómetros por infrarrojos que sólo pueden capturar temperaturas en un único punto, una cámara termográfica puede capturar al mismo tiempo temperaturas de miles de puntos de todos los componentes principales: el motor, el acoplamiento del eje, los rodamientos del motor y del eje y cuadro de control/conexiones.

***Recuerde:*** Todos los motores están diseñados para funcionar a una temperatura interna determinada. Los demás componentes no deben tener temperaturas superiores a las del alojamiento del motor<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Guía de aplicaciones de la termografía en mantenimiento industrial - FLUKE

### 7.3 ANÁLISIS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS

El monitoreo de parámetros eléctricos se basa en la medición y análisis espectral de corrientes (AC y DC), Tensiones y Flujo Magnético Axial y Radial, siendo éstas técnicas, aplicables en motores Asíncrónicos, Síncrónicos y de CC.

Esta técnica es básica en el Mantenimiento Predictivo de Sistemas Eléctricos (MPSE) la cual consiste en el diagnóstico de las máquinas y/o instalaciones a partir del monitoreo y análisis de sus variables eléctricas. Permite prever o anticipar acciones ante una probable situación de falla. Esto mejora la confiabilidad operacional del equipo.

Este análisis de parámetros eléctricos se puede realizar desde dos puntos de vistas:

#### ***Operación***

- Condiciones de operación
- Consumo de potencia
- Armónicos de corriente y tensión
- Flujos de dispersión

#### ***Aislamiento***

- Resistencia de aislamiento
- Índice de polarización
- Perdidas dieléctricas
- Descargas parciales
- Corrientes de absorción
- Corrientes de fuga<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Mantenimiento Predictivo de sistemas eléctricos – Ronaldo López Serrazina – Ingeniero Civil Industrial – Rolop Gestión Empresarial.

En este estudio se enfatizará en la medición de parámetros eléctricos asociados con el aislamiento de los equipos. Esta medición se realizará con ayuda del equipo de pruebas análogo de impulsos y hipot de CC marca BAKER. A continuación se describen cada una de las pruebas que realiza este equipo y que en conjunto brindan un diagnóstico del estado eléctrico del mismo,

### **7.3.1 PRUEBAS DE HIPOT**

Las pruebas de Hipot han probado ser una herramienta útil para evaluar de una forma no destructiva la potencia dieléctrica de la conexión a tierra.

La resistencia de la aislación es un factor importante al evaluar su condición. Sin embargo, la resistencia de la aislación es solamente un factor. Esta resistencia puede ser medida y la potencia dieléctrica asegurada con una prueba de Hipot. La resistencia es determinada al dividir el voltaje aplicado a las bobinas por la corriente de pérdida medida. Ambos valores son controlados con la prueba e Hipot.

La prueba de Hipot es utilizada para asegurar que la aislación no se romperá con los voltajes de pruebas prescritos. El voltaje de pruebas debe ser menor que la potencia dieléctrica nominal de la aislación. Si la aislación falla bajo la prueba, la aislación a tierra no es confiable y el aparato no es utilizable.

Las pruebas de Hipot son consideradas el soporte de las pruebas de motores. Pueden ser realizadas de dos modos, AC o CC. El Hipot pone todas las bobinas del motor al mismo potencial.

Durante una prueba de Hipot, todos los cables de salida del motor son unidos y conectados al cable de prueba # 1. El cable de conexión a tierra del equipo de pruebas es conectado a la estructura del motor. El voltaje de salida es incrementado hasta el voltaje de prueba predeterminado y se obtiene la lectura de la corriente. Mientras más baja sea la lectura de corriente de pérdida para el voltaje dado, la aislación de la pared de la conexión a tierra es mejor.

## Como realizar una prueba de Hipot

En la figura 12 se ilustran las partes principales del Probador Digital de Devanados para hacer más sencilla la comprensión de los pasos para realizar las pruebas:

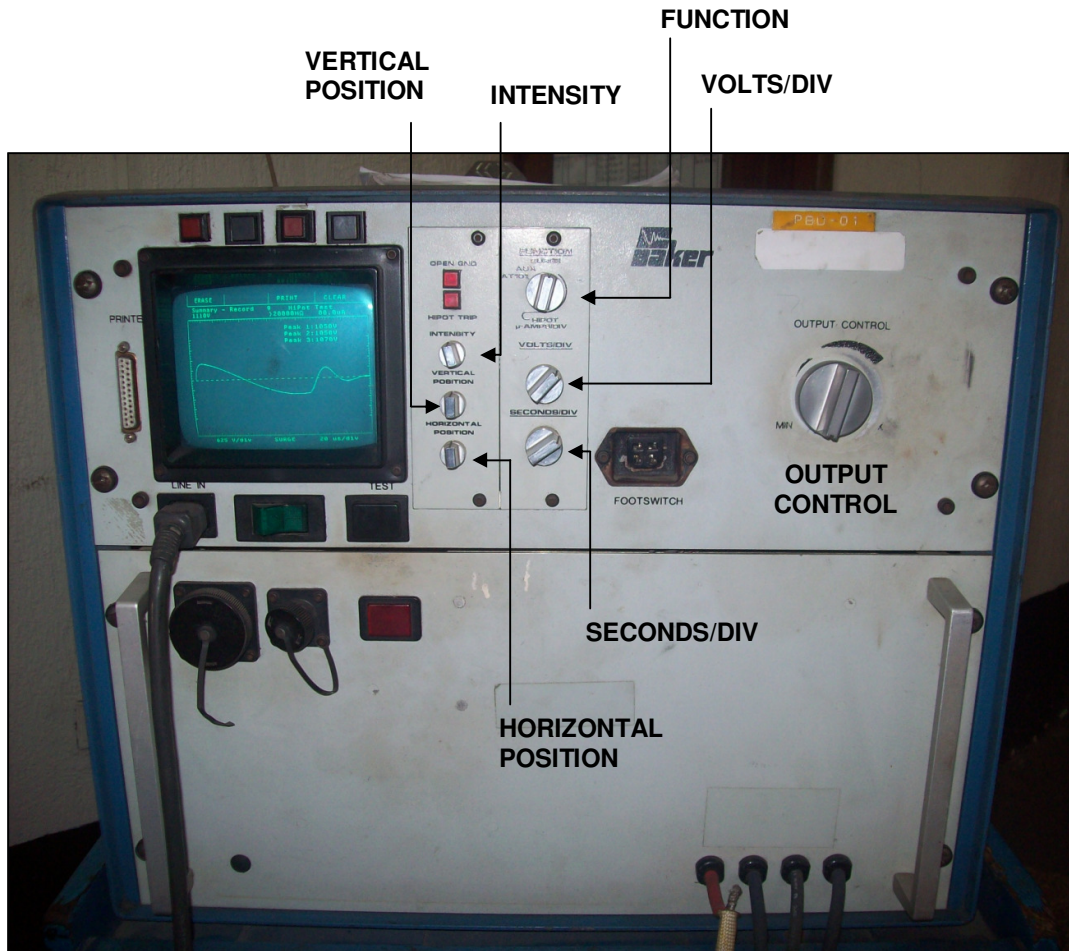


Figura 12. Partes principales del Probador Digital de Devanados

1. Hacer girar la llave de **Función (Function)** hacia alguna de las posiciones de Micro Amperios/Div de Hipot. Se sugiere la escala más alta. Esta posición define el número de micro amperios de corriente medida por cada división de la gráticula sobre la pantalla de TRC.
2. Hacer girar el control **Vertical** para colocar el trazo de la pantalla cerca de la parte inferior de la pantalla, detrás de una de las líneas de la gráticula. Esta gráticula servirá como la linera cero de referencia.

3. Colocar la llave **Selectora de Cable de Prueba (Test Lead Select (TLS))** en la posición **Hipot**. Esto selecta al cable de prueba rojo # 1 como el **vivo**. El cable negro es la conexión a tierra. Los cables # 2 y # 3 están **abiertos**.
4. Asegurarse que el control de **Salida (Output)** este en su posición mínima, en sentido completamente anti horario.
5. Conectar el cable de conexión a tierra (**Ground**) a una masa limpia en la carcaza o núcleo del equipo bajo pruebas.
6. Para realizar la prueba, presionar y mantener presionado el botón de **Prueba (Test)** e incrementar lentamente el voltaje con el control de **Salida (Output)**.
7. Una vez que el voltaje de prueba ha sido alcanzado, hacer girar la llave **Micro-Amps/Div** hasta la posición más baja que muestre la barra de corriente en la pantalla.
8. Mantener el potencial de la prueba durante un (1) minuto. Si se observa inestabilidad o un marcado incremento en la corriente, detener inmediatamente la prueba.
9. Cuando la prueba es finalizada, liberar el botón de **Prueba (Test)** y colocar el **Control de Salida (Output)** en la posición mínima. La barra de voltaje regresa gradualmente a la línea base ya que la capacitancia de las bobinas es descargada por medio de la resistencia interna del equipo de pruebas.

### 7.3.2 PRUEBAS DE IMPULSOS

Una bobina típica de motor consiste de vueltas o giros de alambre de cobre. Las fallas de aislación de las bobinas de motores generalmente comienzan como una falla vuelta a vuelta, cobre a cobre o giro a giro. Las pruebas de impulsos pueden detectar las etapas tempranas de fallas en la aislación en las bobinas tales como fallas rizo a rizo, corto circuitos, masas, malas conexiones y conteo de vueltas erróneo sin dañar permanentemente las bobinas.

Breves impulsos de voltaje (o pulsos) son aplicados a la bobina durante esta prueba para crear un potencial de voltaje a lo largo de todo el cable en las bobinas. Este potencial produce una tensión momentánea de voltaje entre las vueltas.

La bobina responde, en los periodos de tiempo entre pulsos, con un patrón de onda sinusoidal redonda o con depresiones como se observa en la figura 13. Cada bobina tiene su propia y única forma circular o patrón de ondas que puede ser mostrado en la pantalla del TRC.

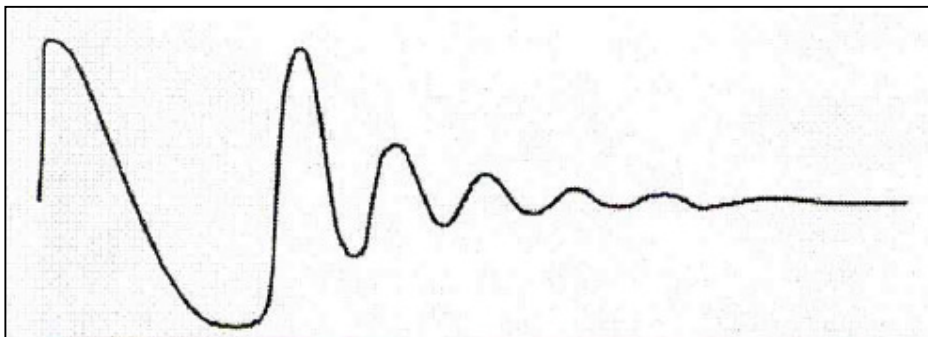


Figura 13. Ejemplo de un patrón de ondas “redondo” resultante de la Prueba de Impulsos<sup>13</sup>

### ***Pruebas de comparación de impulsos***

Los resultados de las pruebas de impulsos pueden ser utilizados para comparar motores o bobinas para detectar fallas. Esta es la prueba de comparación de impulsos.

Ya que el patrón de ondas de una prueba de impulsos es único para la bobina bajo pruebas, los patrones de ondas de bobinas supuestamente idénticas también deberían ser idénticos. Cualquier diferencia en la bobina (más o menos vueltas, ruptura de la aislación, orientación, etc) resultaría en un patrón de ondas diferente durante la prueba de impulsos. Estas diferencias son más comunes debido a una falla en las bobinas.

Los motores trifásicos proveen una ilustración de la prueba de comparación de impulsos. Un motor trifásico típico debe estar compuesto de tres bobinas o

fases idénticas. Así, los resultados de tres pruebas de impulsos iguales sobre cada fase del motor deben ser idénticas. Si existen diferencias en los tres resultados, una o más fases están fallando.

En las figuras 14 y 15 se muestran las diferentes imágenes que pueden resultar de las pruebas realizadas con el probador digital de devanados:

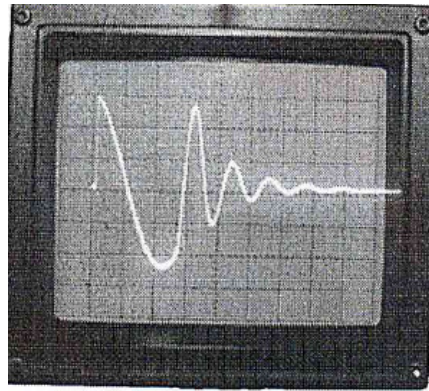


Figura 14. Buen patrón de comparación. Solo aparece un patrón de ondas en la pantalla al mostrar dos pruebas simultáneamente. (Los patrones de ondas comparados se superponen exactamente)<sup>13</sup>

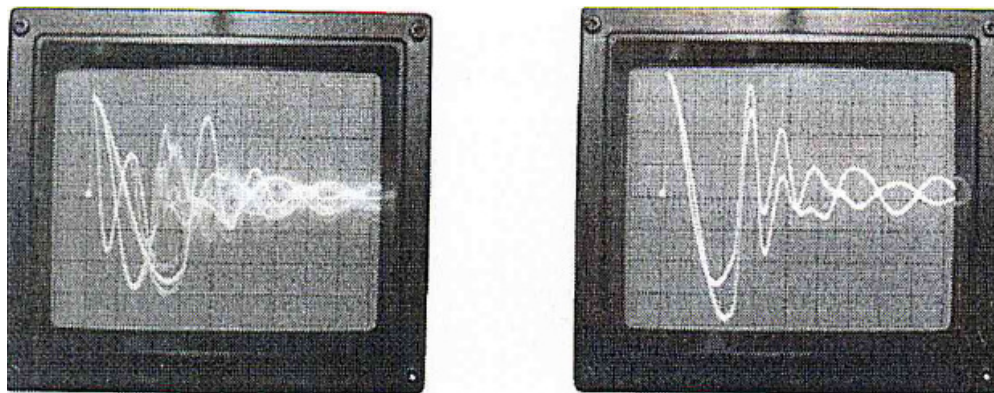


Figura 15. Patrones de ondas con fallas. Las formas de ondas son erráticas durante la prueba (izquierda) o separadas en la totalidad del trazo (derecha).<sup>13</sup>

### ***Como realizar una prueba de impulsos***

1. Con la llave **Selectora de cable de pruebas (TLS)** en la posición **Cables a tierra (Leads Ground)**, realizar las siguientes conexiones.
  - a. Conectar los tres cables de prueba rojos en los cables de entrada del motor. Cualquier orden es correcto pero Baker Instrument Company

recomienda el cable de pruebas # 1 al cable del motor # 1, el # 2 al # 2 y el # 3 al # 3. Consultar la tabla Conexiones de los Cables de Pruebas para conocer los cables que serán probados de acuerdo a la posición de la llave **TLS**.

- b.** Conectar el cable negro de tierra a la carcaza del motor.
- 2.** Girar la llave de **Función (Function)** hasta la posición **Impulsos (Surge)**. La pantalla de impulsos debe estar en blanco con una línea horizontal centrada en la misma. Esta línea es la línea de referencia *cero* o *línea base*.
- 3.** Colocar la llave **Volts/Div** en su posición mínima que permita ver el máximo patrón completamente en la pantalla.
- 4.** Seleccionar la posición de **TLS 1-2**. Estos cables serán los *Vivos*.
- 5.** La prueba puede comenzar ahora de la siguiente forma:
  - a.** Colocar el **Control de Salida (Output Control)** en su posición mínima girándolo completamente en sentido anti horario.
  - b.** Presionar y mantener la presión sobre el botón de **Prueba (Test)** (o sobre la llave de pie). La lámpara de **Cables con Energía (Leads Energized)** se enciende indicando que los cables de prueba están vivos.
  - c.** Elevar lentamente la salida, aplicando voltaje a las bobinas bajo prueba. Observar cuidadosamente el trazo en la pantalla y ajustar el control **Volts/Div** y el **Barrido (Sweep)** para obtener la mejor forma de onda posible.
  - d.** Ajustar los controles de **Salida (Output)** y de **Volts/Div** hasta el nivel de voltaje deseado manteniendo un patrón de onda completamente visible en pantalla. El voltaje es medido desde la línea cero hasta el primer pico posible (en el extremo izquierdo) del trazo multiplicado por la posición de la llave **Volts/Div**.
  - e.** Cuando se finaliza la prueba del cable, el botón de **Prueba (Test)** puede ser liberado. Colocar el **Control de Salida (Output)** al mínimo



(completamente en sentido anti horario). La lámpara **Cables con Energía (Leads Energized)** se apaga.

Si el patrón de ondas de Impulsos aparece parejo y estable la aislación de las bobinas es suficiente para soportar el voltaje aplicado y la prueba es exitosa.

**Nota:** Si el patrón de ondas comienza a parpadear o a cambiar rápidamente de posición hacia la izquierda y derecha y/o hacia arriba y abajo mientras la Salida (output) es incrementada, existe una debilidad en la aislación de las bobinas y se producen arcos intermitentes entre las bobinas o fases. Las bobinas o fases tienen una falla cuando el patrón de ondas va hacia la izquierda y la amplitud disminuye. Mientras más severo es el cambio y la caída de la amplitud la falla también lo es. Las fallas son generalmente acompañadas por un sonido audible del arco.

Cuando existe una falla obvia, el motor es defectuoso. Finalizar la prueba liberando el botón de **Prueba (Test)** y desconectando el motor del equipo de pruebas.

- f. Repetir el paso 5 para cada posición de **TLS** (posiciones 2-3 y luego 3-1) llevando el voltaje pico hasta el mismo valor utilizado en la primera prueba.

Durante la prueba de comparación de impulsos se determina si existe una bobina o fase con fallas en las mismas. El método básico aquí es comparar todos los patrones de ondas para cada bobina en pares. Con bobinas idénticas, los tres patrones de ondas deben ser idénticos. Si una o dos bobinas son diferentes de alguna forma, los patrones de ondas mostrarán diferencias al ser comparados.

Por lo general para cada fase o bobina del motor que es probada se inspecciona el patrón de ondas y se compara con otro patrón de ondas del

mismo motor. Si se observan tres patrones o separaciones buenas y estables en los patrones al ser comparados, existe una posible falla.

### **7.3.3 PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION (IP)**

El índice de polarización es útil para probar aparatos con aislación compleja tales como motores grandes y generadores, donde pruebas repetidas de resistencia de aislación son difíciles de obtener. Esta prueba mide la relación entre las lecturas de la resistencia de aislación a 1 minuto y a 10 minutos. Una vez que usted tiene una lectura de resistencia válida en cada uno de estos incrementos temporales use la siguiente fórmula para determinar el Índice de Polarización

$$\frac{R \text{ a } 10 \text{ minutos}}{R \text{ a } 1 \text{ minuto}} = \text{Indice de Polarizacion (IP)}$$

Hay un número de ventajas en el uso de la prueba del Índice de Polarización sobre la probablemente cambiante prueba de resistencia de aislación.

- ✓ La compensación por temperatura NO es necesaria porque usted está comparando dos lecturas de valores de resistencia a la misma temperatura para determinar la relación.
- ✓ La prueba IP puede determinar fallas en el aislamiento en piezas grandes con mucho más aislamiento que las piezas pequeñas.
- ✓ Determinación del índice de polarización requiere solo dos mediciones.

### **7.3.4 FALLAS TIPICAS EN BOBINADOS**

Para determinación inicial de fallas en bobinados refiérase a las siguientes figuras. Estas formas de onda son típicamente vistas en bobinados de estatores de inducción, trifásicos, conectados en estrella, de espira suelta. Estas imágenes proveen una referencia para asociar una forma de onda característica con una falla tipo.

**Nota:** Se debe esperar variaciones de estas formas de onda **No considere estas formas de onda como absolutas**. Recuerde que debido a la variedad de bobinados y conexiones que existen, cada bobinado de motor va a tener una forma de onda característica. La memorización de coincidencias exactas de las siguientes formas de onda **NO** es necesaria cuando se realicen las pruebas.<sup>9</sup>

En las figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23 se muestran los diferentes errores que detecta el probador digital de devanados:

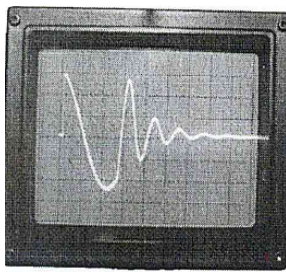


Figura 16. Bobina buen estado<sup>13</sup>

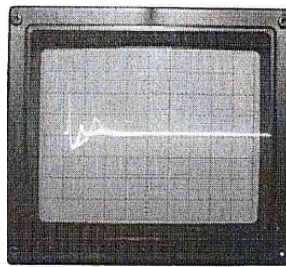


Figura 17. Bobina individual en corto<sup>13</sup>

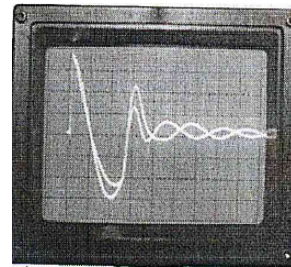


Figura 18. Corto parcial en corto<sup>13</sup>

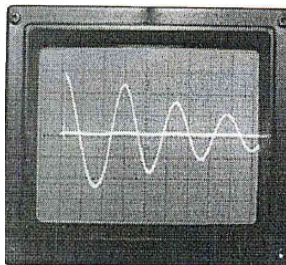


Figura 19. Bobina a masa<sup>13</sup>

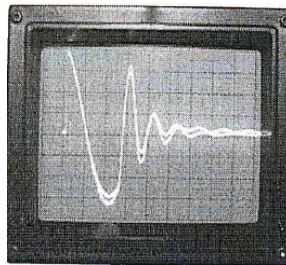


Figura 20. Corto espira a espira<sup>13</sup>

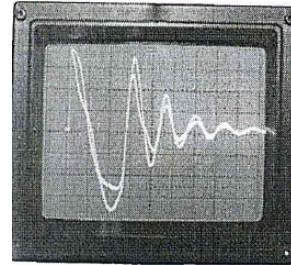


Figura 21. Corto bobina a bobina<sup>13</sup>

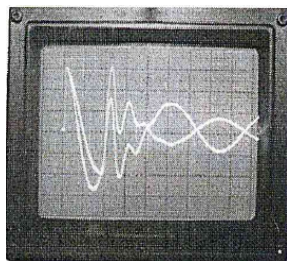


Figura 22. Corto de fase a fase<sup>13</sup>

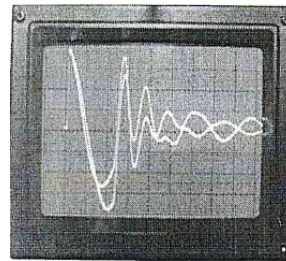


Figura 23. Corto bobina al revés<sup>13</sup>

<sup>9</sup> Manual del Usuario – Equipo de Pruebas Análogo de Impulsos y Hipot de CC - Baker Instrument Company

## **CAPITULO VIII RCM EN LAS MÁQUINAS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE COTECMAR A TRAVES DE LA APLICACIÓN DE VIBRACIONES, TERMOGRAFIA Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS**

Como se describió en el capítulo III toda aproximación del RCM se basa en responder de una manera sistemática y estructurada 7 preguntas:

- ✓ ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
- ✓ ¿Cuáles son los estados de fallas (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
- ✓ ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
- ✓ ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
- ✓ ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
- ✓ ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
- ✓ ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

Como el título de esta investigación lo plantea el RCM a implementar está dirigido para las máquinas e instalaciones eléctricas presentes en los activos y servicios de COTECMAR. Para evidenciar los resultados que se pueden obtener con la metodología propuesta, se escogieron los siguientes activos para analizar:

- ✓ **MOTOR AC TRIFÁSICO – BOMBA ENFRIAMIENTO MOTOR DE COMBUSTION DEL REMOLCADOR SAAM AZTECA**

### ***Datos de placa***

- **Marca:** SIEMENS
- **Potencia:** 3,75 KW
- **Tensión:** 208-230/440 V
- **Corriente:** 13,5/6,2 AMP
- **Velocidad:** 3600 RPM
- **Frecuencia:** 60 Hz

En la figura 24 se ilustra el motor de la bomba enfriamiento de motor de combustión escogido para estudio:



Figura 24. Motor Bomba enfriamiento de motor de combustión

✓ **MOTOR AC TRIFÁSICO – BOMBA DE SUMINISTRO DE AGUA A PUESTOS DE VARADERO**

***Datos de placa***

- **Marca:** SIEMENS
- **Potencia:** 25 HP
- **Tensión:** 220/440 V
- **Corriente:** 66/33 A
- **Velocidad:** 3490 Rpm
- **Frecuencia:** 60 Hz

En la figura 25 se ilustra el motor de la bomba enfriamiento de motor de combustión escogido para estudio:



Figura 25. Motor suministro de bomba de agua

## ✓ SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

En las figuras 26, 27, 28, 29, 30, 31 y 32 se ilustran las subestaciones escogidas para estudio:



Figura 26. Subestación Principal



Figura 27. Subestación 1

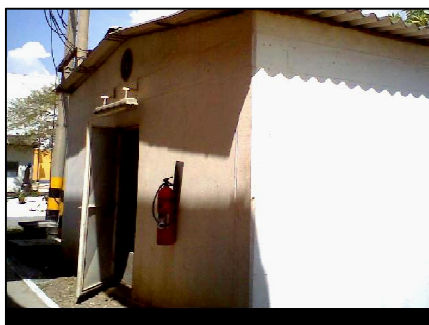


Figura 28. Subestación 2



Figura 29. Subestación 3





Figura 30. Subestación 4



Figura 31. Subestación 5



Figura 32. Subestación 6

Contando con estos tres casos para analizar se debe proceder a contestar las preguntas, cuyas respuestas nos permitirán obtener la información de; cómo puede fallar el activo, el porqué ocurre, las consecuencias cuando falla y como se puede detectar y prevenir su ocurrencia o en el peor de los casos mitigar las consecuencias en caso de que ocurra. Se contempla no únicamente lo que ha ocurrido sino lo que tiene buena probabilidad de ocurrir aunque no haya ocurrido aun.

Finalmente una vez respondidas dichas preguntas tendremos plenamente establecida unas estrategias de mantenimiento que permitirán tener un mayor enfoque en cumplir las funciones de los equipos y por ende de la empresa.

A continuación se muestra la implementación del RCM en estos activos con base en un plan de acciones concretas y un sistema de seguimiento del progreso.

Toda la información recopilada para realizar el RCM de los motores eléctricos partiendo desde sus funciones hasta la tarea predictiva a utilizar proviene de fuentes como: juicio de expertos, manual del equipo, historial de fallas del equipo e investigaciones en libros y documentos sobre el tema.



## 8.1 RCM EN MOTORES ELÉCTRICOS

En tabla 1 se aplica el RCM a los motores eléctricos seleccionados de COTECMAR:

EQUIPO	FUNCIONES	ESTADOS DE FALLA	MODOS (CAUSAS) DE FALLA	EFECTOS DE LA FALLA	CONSECUENCIA DE LA FALLA	TAREA PREDICTIVA O PREVENTIVA
Motor Bomba de suministro de agua – Motor Bomba enfriamiento motor de combustión	1. Generar energía mecánica rotatoria a través de la energía eléctrica suministrada	▶ Parada del motor	▪ Sobrecarga cuando se dispara la protección	- Desgaste del aislamiento - Quemada del embobinado del motor	Consecuencias Operacionales	Medición parámetros eléctricos
			▪ Falta de tensión de alimentación	- No se genera la FEM requerida para el movimiento del motor	Consecuencias Operacionales	Medición parámetros eléctricos
		▶ Alta temperatura	▪ Sobrecarga (Consumo de mucha corriente)	- Desgaste del aislamiento - Quemada del embobinado del motor	Consecuencias Operacionales	Medición parámetros eléctricos
			▪ Falta de lubricación	- Fractura del rodamiento - Desgaste en los escudos y eje	Consecuencias Operacionales	Carta Lubricación Medir Vibraciones
			▪ Falta de ventilación	- No se disipa el calor en el interior del motor	Consecuencias Operacionales	Termografía
			▪ Mal ajuste entre escudos y rodamientos	- Fractura del rodamiento - Desbalanceo	Consecuencias Operacionales	Termografía Medir Vibraciones
		▶ Vibración	▪ Desbalanceo	- Fatiga en los elementos de transmisión	Consecuencias Operacionales	Medir Vibraciones
			▪ Desalineación	- Aumento de la fricción y, por tanto, del consumo energético - Averías prematuras de rodamientos y retenes - Averías prematuras de ejes y acoplamientos - Fugas excesivas del lubricante por la obturación - Fallo pernos de acoplamientos y fijaciones	Consecuencias Operacionales	Medir Vibraciones Termografía
		▶ Ruido	▪ Falta de lubricación	- Fractura del rodamiento - Desgaste en los escudos y eje	Consecuencias Operacionales	Carta Lubricación Medir Vibraciones
			▪ Falla en rodamientos	- Pérdida de excentricidad - Desbalanceo del rotor - Quemada del embobinado del motor	Consecuencias Operacionales	Termografía Medir Vibraciones
	▪ Mal ajuste entre escudos y rodamientos		- Fractura del rodamiento - Desbalanceo	Consecuencias Operacionales	Termografía Medir Vibraciones	
	2. Entregar una potencia de 25 y 60 HP	▶ Entrega una potencia menor a 25 y 60 HP	▪ Debilidad en el núcleo por desgaste	- Quemada del embobinado del motor por sobrecarga.	Consecuencias Operacionales	Medición parámetros eléctricos
			▪ Láminas del núcleo en corto	- Recalentamiento del núcleo dañando el bobinado del motor	Consecuencias Operacionales	Medición parámetros eléctricos
▪ Daño en la jaula de ardilla			- Sobrecarga - Recalentamiento (alto consumo de corriente)	Consecuencias Operacionales	Medición parámetros eléctricos	

Tabla 1. RCM en motores eléctricos

En el capítulo VI se describieron las categorías de las consecuencias de fallas que se pueden presentar dentro del funcionamiento de un equipo. Como se observa en el cuadro anterior para el análisis realizado en esta investigación todos los casos tratados pueden resultar en consecuencias de fallas operacionales, es decir, la no disponibilidad de estos activos afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente o costos operacionales) además del costo directo de la reparación.

### 8.1.1 ANÁLISIS DE VIBRACIONES PARA LOS MOTORES

A continuación se muestra el formato diseñado para el registro de los resultados y análisis de las pruebas de vibraciones realizadas a los activos seleccionados de COTECMAR como es la Bomba de suministro de agua a puestos de varadero y Bomba enfriamiento motor de combustión del remolcador SAAM AZTECA.

#### 8.1.1.1 Bomba de suministro de agua a puestos de varadero

<b>ANÁLISIS DE VIBRACIONES</b>		
<b>Dirección:</b> Planta Mamonal	<b>Fecha:</b> 07/01/2012	<b>Cliente:</b> Cotecmar
<b>Dependencia:</b> Departamento de Inspección y ensayos	<b>Proyecto:</b> Bomba de suministro de agua a puestos de varadero	<b>Realizador por:</b> Luis David Pacheco Teherán Inspector de pruebas
<b>Norma:</b> ISO 10816 Rev. 2003 – Asociados Técnicos de Charlotte (Tabla 1 – Carta Ilustrada de Diagnostico de Vibración).	<b>Equipo de medición:</b> Analizador de vibraciones VIBXPERT	<b>Código:</b> 01-046-01-028 <b>Fecha de calibración:</b> 24/05/2011
<b>Objetivo</b>	Verificación de desempeño y condición mecánica mediante el monitoreo y análisis de vibraciones mecánicas en bombas de servicios de la unidad.	
<b>Descripción del trabajo</b>	<p>Los parámetros de análisis aplicados corresponden a los métodos comprobados de los Asociados Técnicos de Charlotte. Adicionalmente se utilizaron como referencia los límites de alarma para la operación normal, alerta y fallo, establecidos por la norma ISO 10816 Rev. 2003 y de los Asociados Técnicos de Charlotte.</p> <p>Se tomaron como valores relevantes los picos con mayores amplitudes de los espectros de vibración en los parámetros de velocidad y aceleración.</p> <p>Se tomarán medidas en tres puntos de los apoyos principales de la maquina, correspondiendo estos a las componentes verticales, horizontales y axiales, establecidos por las normas en mención.</p>	

### Resultados

<b>Equipo</b>	Bomba de suministro de agua a puestos de varadero		
<b>Potencia</b>	25 Hp	<b>Tipo de maquina</b>	Rotatoria
<b>RPM</b>	3490	<b>Marca</b>	SIEMENS
<b>Corriente</b>	66/33 A	<b>Ubicación</b>	Muelle Norte
<b>Voltaje</b>	220-440 V	<b>Tipo de Montaje</b>	Rígido

**Descripcion de los puntos de medicion:**

Los puntos de medición fueron seleccionados de acuerdo a lo establecido en la norma ISO 10816 para maquinaria rotativa, siendo estos puntos la componente vertical, horizontal y axial. Ver figura 1.



Fig 1. Bomba de suministro de agua varadero

**Tabla de resultados No. 1.**

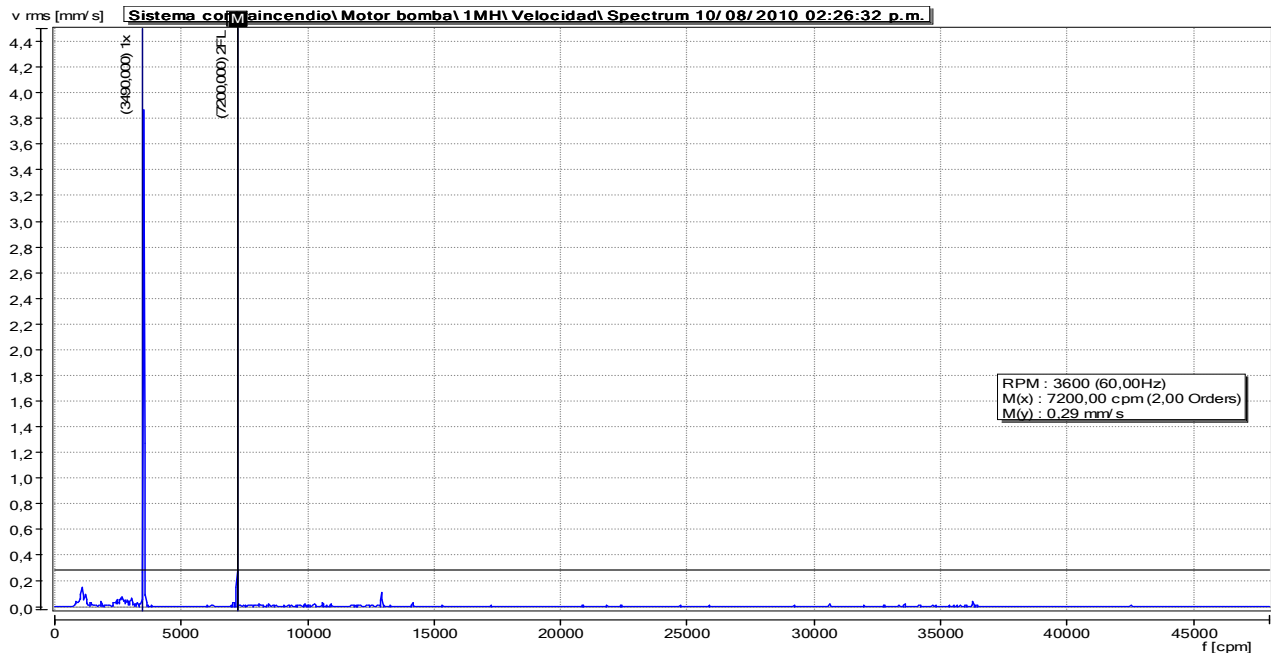
Equipo	Pos.	Valores de medición – rms									ISO 10816 / TA Cha.		
		3490 rpm			----- rpm			----- rpm			0 – 3,5	3,5-5,5	8,0
		mm/s	G (s)	Um	mm/s	G (s)	um	mm/s	G (s)	um	mm/s	G (s)	um
Motor Eléctrico	1MH	3,39	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	1MV	3,87	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	1MA	0,59	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	2MH	4,04	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	2MV	2,39	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	2MA	0,67	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**Convención:**

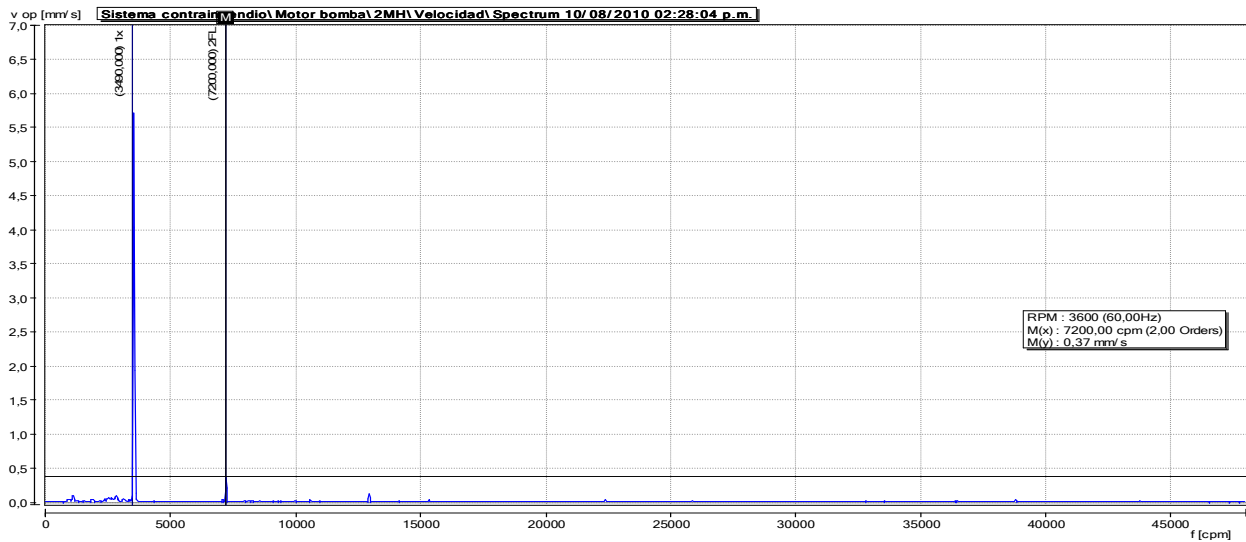
Parámetros: velocidad (mm/s), aceleración (Gs'), desplazamiento (um).

## Espectros relevantes

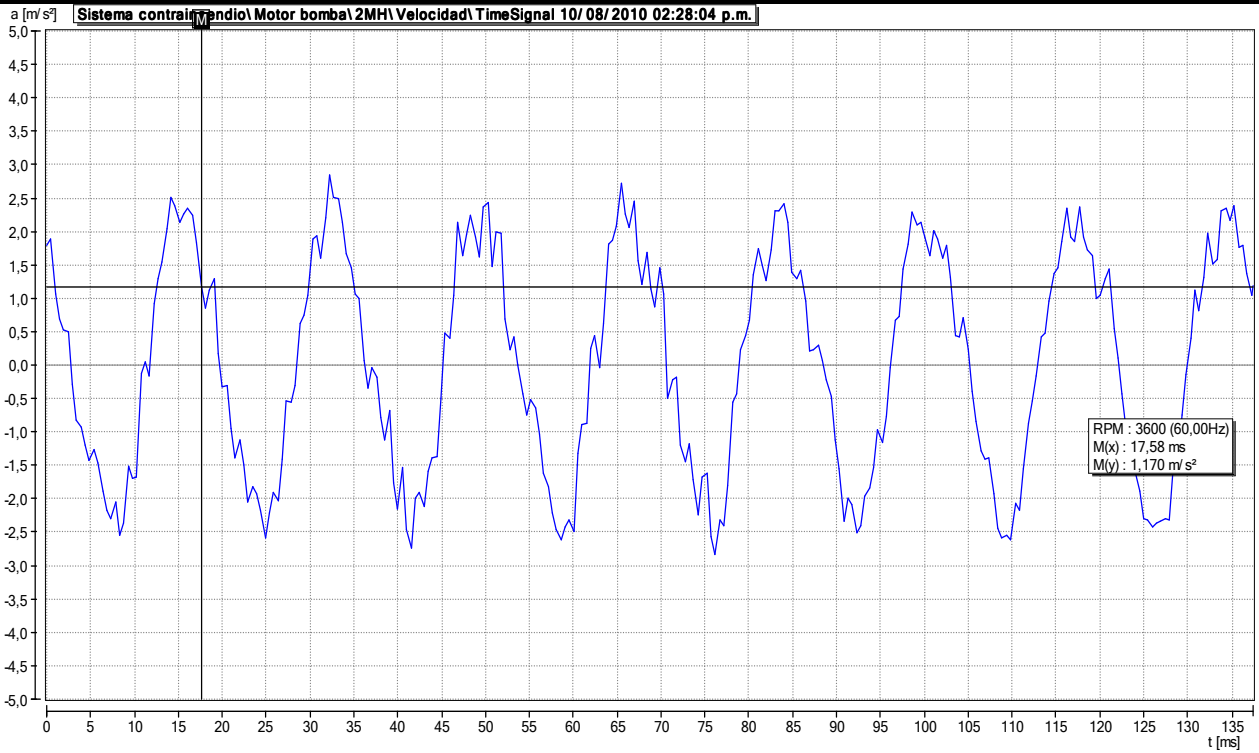
### Espectro N° 1 – posición 1H – mm/s rms



### Espectro N° 2 – posición 2H – mm/s rms

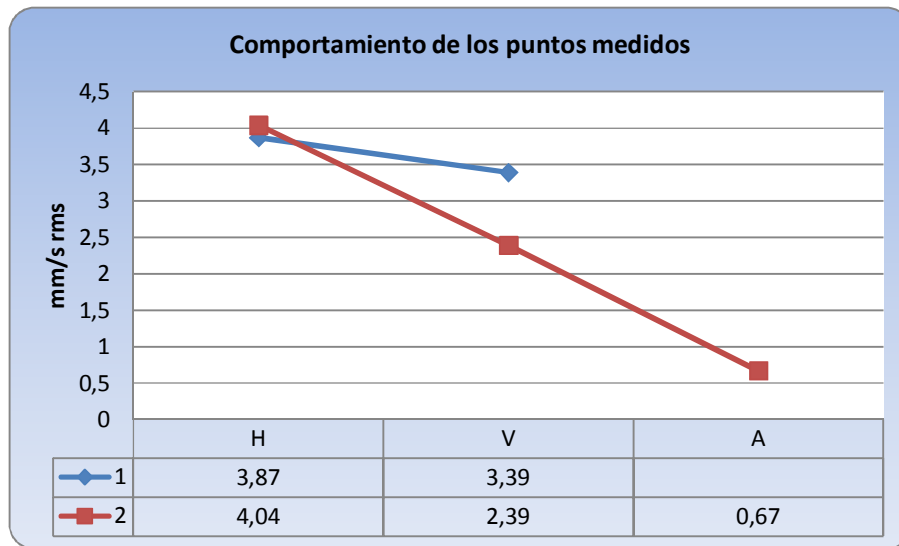


### Espectro N| ° - Forma de Onda – posicion 2H



**Grafica de comportamiento**

**Grafica 1**



H= componente horizontal  
 V= componente vertical  
 A= componente axial

<b>Análisis</b>
<p><b>Espectro N°1:</b> Alta vibración a la 1x de la velocidad de operación (3490 cpm), predominando este patrón en las componentes radiales de los puntos medidos. Las mediciones en las componentes axiales no son relevantes, por lo tanto este comportamiento puede ser debido a desequilibrio de masa en el rotor (desbalance), estando en una etapa inicial, la cual puede estar originada por diferentes causas. La característica sinusoidal de la forma de onda en el tiempo, muestra el patrón típico de desbalance de masa. Se debe tener en cuenta que este sistema trabaja con agua de mar lo cual puede contribuir con desgaste abrasivo del rotor debido a partículas en suspensión presentes en el fluido o incrustaciones en el impulsor, en términos generales posible desgaste del elemento impulsor.</p>
<b>Recomendaciones</b>
<p><b>R1:</b> verificar que no existan desajustes mecánicos que puedan estar originando alta vibración a la 1x. <b>R2:</b> teniendo en cuenta que la condición de la maquina se encuentra en una etapa tolerable, se sugiere realizar revisiones periódicas, y dejar información física por escrito de los respectivos ajustes que se le hagan a la máquina. <b>R3:</b> programar mediciones periódicas de vibraciones para trazar línea de tendencia de comportamiento y condición del equipo.</p>
<b>Observaciones</b>
<p>De acuerdo a la tabla de resultados N° 1, la medición en la dirección axial del punto 1MA no pudo ser tomada debido a la poca confiabilidad que genera medir sobre una caperuza de motor.</p>

### 8.1.1.2 Bomba enfriamiento motor de combustión del remolcador SAAM AZTECA

<b>ANÁLISIS DE VIBRACIONES</b>		
<b>Dirección:</b> Planta Mamonal	<b>Fecha:</b> 15/02/2012	<b>Cliente:</b> RM SAAM AZTECA
<b>Dependencia:</b> Departamento de Inspección y ensayos	<b>Proyecto:</b> Bomba enfriamiento motor de combustión del remolcador SAAM AZTECA	<b>Realizador por:</b> Luis David Pacheco Teherán Inspector de pruebas
<b>Norma:</b> ISO 10816 Rev. 2003 – Asociados Técnicos de Charlotte (Tabla 1 – Carta Ilustrada de Diagnostico de Vibración).	<b>Equipo de medición:</b> Analizador de vibraciones VIBXPRT	<b>Código:</b> 01-046-01-028 <b>Fecha de calibración:</b> 24/05/2011
<b>Objetivo</b>	Verificación de desempeño y condición mecánica mediante el monitoreo y análisis de vibraciones mecánicas en bomba del sistema de refrigeración del motor de combustión de babor.	
<b>Descripción del trabajo</b>	Los parámetros de análisis aplicados corresponden a los métodos comprobados de los Asociados Técnicos de Charlotte. Adicionalmente se utilizaron como referencia los límites de alarma para la operación normal, alerta y fallo, establecidos por la norma ISO 10816 Rev. 2003 y de los Asociados Técnicos de Charlotte.	

### Resultados

<b>Equipo</b>	Bomba de refrigeración motor de combustión		
<b>Potencia</b>	3.75 KW	<b>Tipo de maquina</b>	Rotatoria
<b>RPM</b>	3600	<b>Marca</b>	SIEMENS
<b>Corriente</b>	13.5/6.2 A	<b>Ubicación</b>	Cuarto de maquina
<b>Voltaje</b>	208-230/440 V	<b>Tipo de Montaje</b>	Rígido

#### Descripción de los puntos de medición:

Los puntos de medición fueron seleccionados de acuerdo a lo establecido en la norma ISO 10816 para maquinaria rotativa, siendo estos puntos la componente vertical, horizontal y axial. Ver figura 1.



Fig. 1 Bomba de suministro de agua varadero

#### Tabla de resultados No. 1.

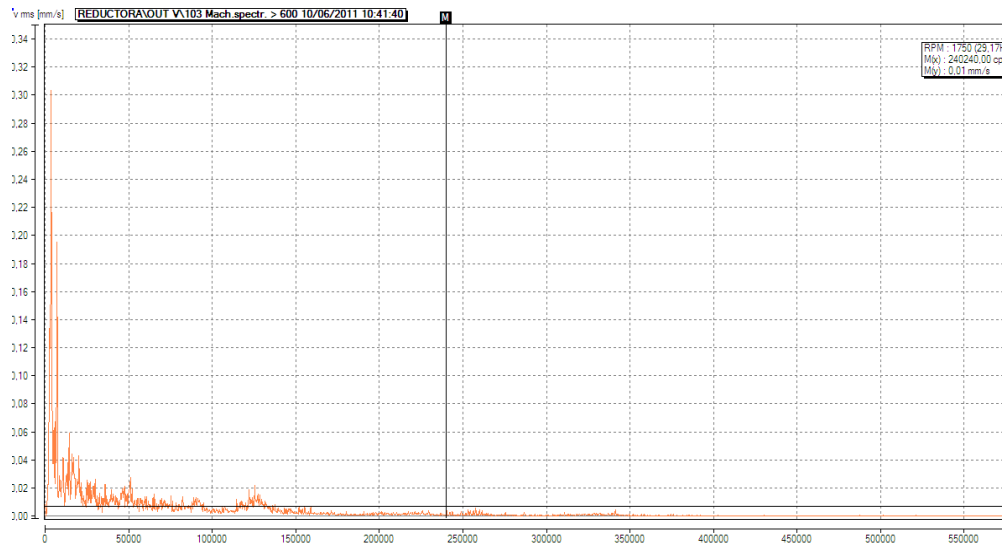
Equipo	Pos.	Valores de medición - rms			ISO 10816 / AT Cha.		
		mm/s	G (s)	µm	0 – 1,8	1,9-2,64	>2,64
					----- rpm		
3600 rpm			Mm/s	G (s)	µm		
Motor	1V	0,68	-----	-----	-----	-----	-----
	1H	0,82	-----	-----	-----	-----	-----
	1ª	0,49	-----	-----	-----	-----	-----
	2V	0,24	-----	-----	-----	-----	-----
	2H	0,29	-----	-----	-----	-----	-----
	2ª	0,41	-----	-----	-----	-----	-----
Reductora	3V	0,86	-----	-----	-----	-----	-----
	3H	0,66	-----	-----	-----	-----	-----
	3ª	0,25	-----	-----	-----	-----	-----
	4V	0,36	-----	-----	-----	-----	-----
	4H	0,22	-----	-----	-----	-----	-----
	4ª	0,32	-----	-----	-----	-----	-----

#### Convención:

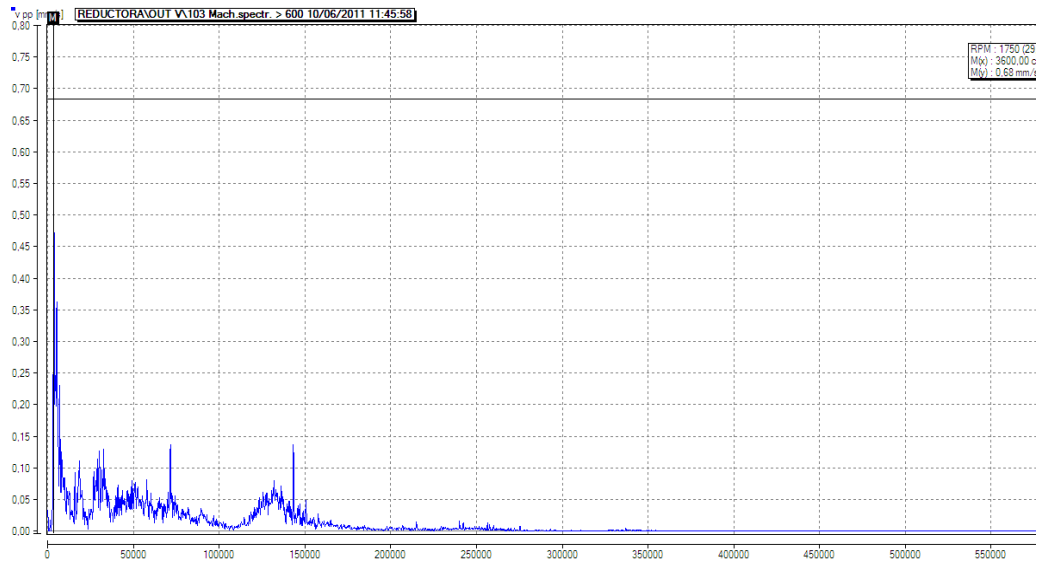
Parámetros: velocidad (mm/s), aceleración (Gs'), desplazamiento (µm).

## Espectros relevantes

### Espectro N° 1 – posición 1V– mm/s rms.



### Espectro N° 2 – posición 3V – mm/s rms



## Análisis

Las amplitudes de la vibración se encuentran dentro del rango admisible por norma tanto en el motor como en el reductor.

- **Motor:** Los espectros no registran amplitudes elevadas, con una amplitud máxima de 1,20 mm/seg en posición 2V a 3485 rpm (Grafico N° 1), se observa presente en el espectro la frecuencia línea (2FL) la cual es característica de este tipo de maquinas.



<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Reductor:</b> Las amplitudes se encuentran dentro de un rango permisible por la norma, se encuentra presente la GMF a amplitudes bajas, la cual es una frecuencia generada por la normal operación de los elementos que componen la reductora y no representan un defecto en la maquina. La mayor amplitud se dio en el punto 3V en posición vertical, teniendo un valor de 0,82 mm/seg a una frecuencia de 1X.</li> </ul>
<b>Recomendaciones</b>
<p>En la medición y el análisis de vibración realizada al motor, no se detectan valores elevados que representen anomalías en su funcionamiento, pero de manera preventiva se sugiere realizar inspección periódica y el monitoreo de las vibraciones para tener un seguimiento en el incremento de las amplitudes y de esta manera puede intervenir cuando estas se presenten por fuera de los rangos permisibles.</p>
<b>Observaciones</b>
<p><b>Convención:</b></p> <p>GMF: frecuencia de interacción de engranajes.</p> <p>FL: frecuencia de línea.</p>

### 8.1.2 TERMOGRAFÍA

A continuación se muestra el formato diseñado para el registro de los resultados y análisis de las pruebas de termografía realizadas a los activos seleccionados de COTECMAR como es la Bomba de suministro de agua a puestos de varadero y Bomba enfriamiento motor de combustión del remolcador SAAM AZTECA.

#### 8.1.2.1 Bomba de suministro de agua a puestos de varadero

<b>REPORTE DE INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA</b>		
<b>Dirección:</b> Planta Mamonal	<b>Fecha:</b> 07/01/2012	<b>Cliente:</b> Cotecmar
<b>Dependencia:</b> Departamento de Inspección y ensayos	<b>Proyecto:</b> Bomba de suministro de agua a puestos de varadero	<b>Realizado por:</b> Luis David Pacheco Teherán Inspector de calidad
<b>Norma:</b> ISO 18434 Condition monitoring and diagnostics of machines -- Thermography -- Part 1: General procedures	<b>Equipo de medición:</b> Cámara TI25-Fluke	<b>Código:</b> 12-43-92-34-21
		<b>Fecha de calibración:</b> 24/05/2011
<b>Objetivo</b>	Inspeccionar por medio del análisis termográfico la Bomba centrífuga para suministro de agua a puestos de varadero	
<b>Descripción del trabajo</b>	Se tomaron las imágenes térmicas de la bomba centrífuga de suministro de agua a los puestos de varadero, para ello se tuvieron en cuenta las zonas más elevadas de temperatura que presento el equipo en operación.	

## Registro termográfico

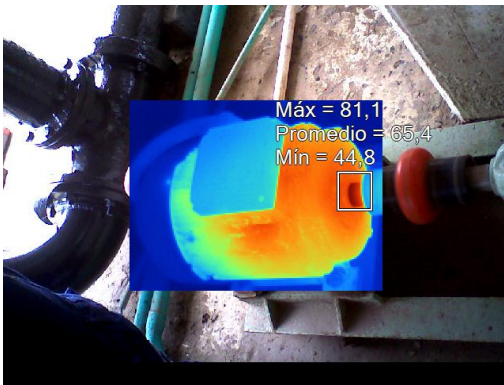


**Fig. 1 Bomba centrífuga**



**Fig. 2 Imagen con luz visible**

Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Desviación estándar
63,6°C	38,5°C	71,5°C	0,95	7,23

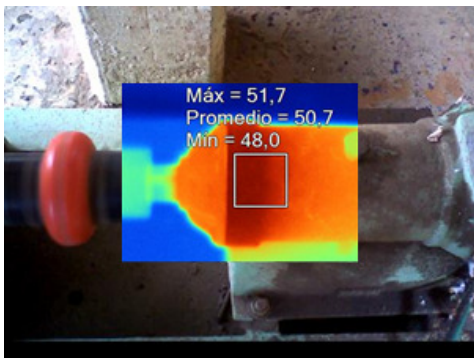


**Fig. 3 Motor eléctrico**

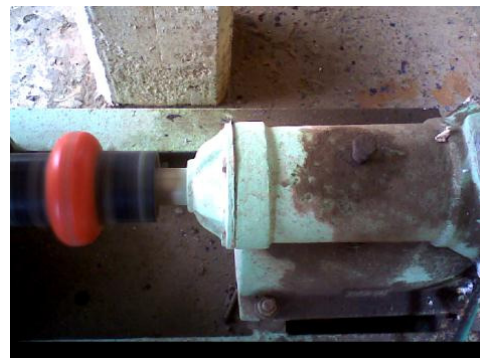


**Fig. 4 Imagen con luz visible**

Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Desviación estándar
65,4°C	44,8°C	81,1°C	0,95	12,09



**Fig. 5 Soporte inferior de la bomba.**



**Fig. 6 Imagen con luz visible**

Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Desviación estándar
50,7°C	48,0°C	51,7°C	0,95	0,88

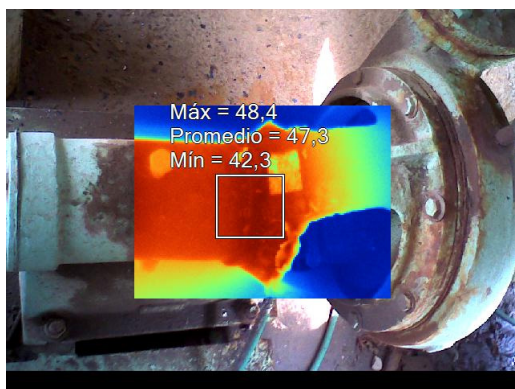


Fig. 7 Soporte superior de la bomba.



Fig. 8 Imagen con luz visible

Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Desviación estándar
47,3°C	42,3°C	48,4°C	0,95	1,03

### Análisis

En la realización de la prueba se observó que la bomba centrífuga de distribución de agua de mar a los puestos de varadero presenta zonas de calentamiento excesivo en los punto de apoyo tanto del motor como de los soportes de la bomba, este calentamiento se sitúa específicamente sobre los cojinetes del sistema. Se puede observar en la figura 2 que el mayor grado de temperatura es de 81,1 °C sobre el eje del motor y la zona aledañas cojinete que lo soporta, si comparamos esta temperatura respecto a los soportes inferior y superior de la bomba encontramos que la temperatura disminuye gradualmente a 51,7 °C y 48,4 °C según las figuras 3 y 4, este comportamiento térmico nos indica que el motor presenta un desbalance en el rotor y que puede estar presentándose combinadamente con una desalineación principalmente entre el motor y el primer soporte de la bomba.

### Observaciones

Se encontró que la bomba centrífuga de distribución de agua de mar presento fuga en el sello mecánico durante la operación y por tanto el cuerpo de la bomba presenta alto grado de corrosión.

### 8.1.2.2 Bomba enfriamiento motor de combustión del remolcador SAAM AZTECA

<b>REPORTE DE INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA</b>		
<b>Dirección:</b> Planta Mamonal	<b>Fecha:</b> 15/02/2012	<b>Cliente:</b> Cotecmar
<b>Dependencia:</b> Departamento de Inspección y ensayos	<b>Proyecto:</b> Bomba enfriamiento motor de combustión del remolcador SAAM AZTECA	<b>Realizado por:</b> Luis David Pacheco Teherán Inspector de calidad
<b>Norma:</b> ISO 18434 Condition monitoring and diagnostics of machines -- Thermography -- Part 1: General procedures	<b>Equipo de medición:</b> Cámara TI25-Fluke	<b>Código:</b> 12-43-92-34-21
		<b>Fecha de calibración:</b> 24/05/2011



<b>Objetivo</b>	Inspeccionar por medio del análisis termográfico los equipos del remolcador SAAM AZTECA relevantes para los protocolos de recepción.
<b>Descripción del trabajo</b>	El día sábado 3 de marzo del 2012 se llevó a cabo la inspección termográfica de los equipos del remolcador SAAM AZTECA. Se realizó la inspección de los motores de combustión y las bombas de enfriamiento de los mismos.

### Registro termográfico

#### BOMBA DE ENFRIAMIENTO SUPERIOR (EST)

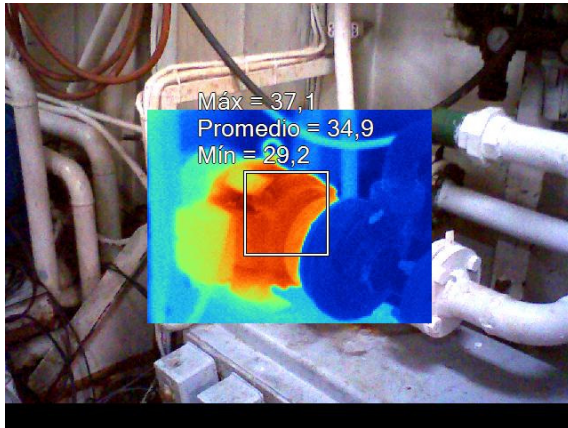


Fig. 1 Bomba de enfriamiento estribor



Fig. 2 Imagen con luz visible

Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Desviación estándar
34,9°C	29,2° C	37,1°C	0,95	2,16

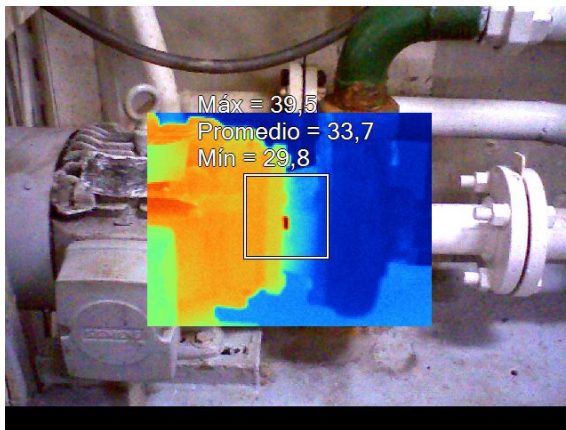


Fig. 3 Eje Bomba de enfriamiento estribo



Fig. 4 Imagen con luz visible

Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Desviación estándar
33,7°C	29,8°C	39,5°C	0,95	2,32

## BOMBA DE ENFRIAMIENTO INFERIOR (BB)

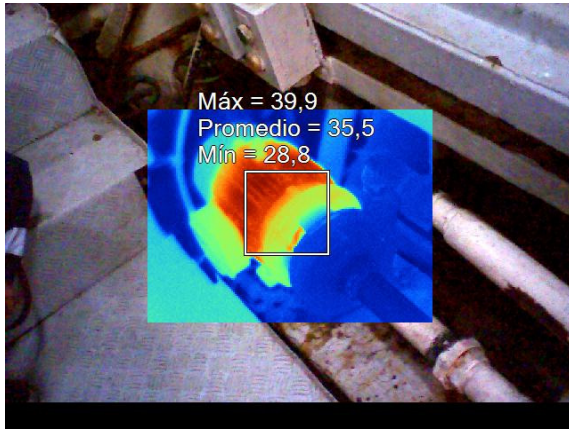


Fig. 5 Bomba de enfriamiento babor



Fig. 6 Imagen con luz visible

Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Desviación estándar
35,5°C	28,8°C	39,9°C	0,95	3,06

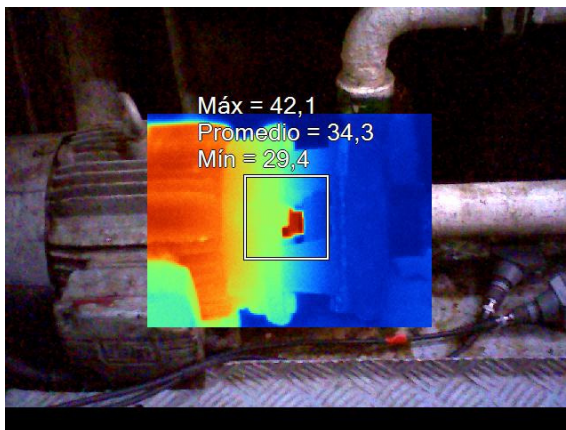


Fig. 7 Eje Bomba de enfriamiento de babor



Fig. 8 Imagen con luz visible

Promedio	Mín	Máx	Emisividad	Desviación estándar
33,7°C	29,8°C	39,5°C	0,95	2,32

### Observaciones

En la realización de la prueba se observó que de las bombas de enfriamiento no presentaron puntos de temperatura elevados respecto a la temperatura de operación presentes en la placa del motor, en las figuras 1 y 3 se encuentran las imágenes térmicas de cada una de las bombas. La comparación de ambas bombas nos muestra que la bomba de enfriamiento de estribor presenta el mayor grado de temperatura con un delta que oscila entre 2 y 4 grados Celsius.

### Nota:

La bomba de enfriamiento del costado de babor no se encuentra sujeta a la base y presenta fuga en el sello mecánico cuando no está en operación.

### 8.1.3 ANÁLISIS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS

A continuación se muestra el formato diseñado para el registro de los resultados y análisis de las pruebas de parámetros eléctricos realizadas a los activos seleccionados de COTECMAR como es la Bomba de suministro de agua a puestos de varadero, Bomba enfriamiento motor de combustión del remolcador SAAM AZTECA.

#### 8.1.3.1 Bomba de suministro de agua a puestos de varadero

<b>ANÁLISIS DE PARAMETROS ELECTRICOS</b>			
<b>Dirección:</b> Planta Mamonal		<b>Fecha:</b> 27/02/2012	
<b>Dependencia:</b> Departamento de Inspección y ensayos		<b>Cliente:</b> Cotecmar	
<b>Proyecto:</b> Bomba de suministro de agua a puestos de varadero		<b>Realizado por:</b> Mary Cerra Ing. Mecatrónica	
<b>Equipo de medición:</b> Equipo de pruebas análogo de impulsos y Hipot de CC marca BAKER.		<b>Código:</b> 12-43-92-34-21	
		<b>Fecha de calibración:</b> 15/08/2011	
<b>Objetivo</b>	Verificación del estado eléctrico del los equipos a través del monitoreo y medición de sus variables eléctricas.		
<b>Descripción del trabajo</b>	<p>Se realiza la medición de parámetros eléctricos asociados con el aislamiento de los equipos. Las pruebas a realizar son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Prueba de Hipot:</b> Evalúa de manera no destructiva la potencia dieléctrica de la conexión a tierra. Se mide la resistencia de la aislación asegurándose de que dicha aislación no se romperá con los voltajes de pruebas aplicados.</li> <li>✓ <b>Prueba de Impulsos:</b> Detecta las etapas tempranas de fallas en la aislación en las bobinas. Se compara patrones de ondas las distintas bobinas sometidas a pruebas que conforman el bobinado del motor.</li> <li>✓ <b>Prueba Índice de Polarización:</b> Es útil para probar aparatos con aislación compleja tales como motores grandes y generadores. Mide la relación entre las lecturas de la resistencia de aislación a 1 minuto y a 10 minutos.</li> </ul>		
<b>CARACTERISTICAS DEL EQUIPO</b>			
<b>Equipo</b>	Bomba de suministro de agua a puestos de varadero		
<b>Potencia</b>	25 Hp	<b>Tipo de maquina</b>	Rotatoria
<b>RPM</b>	3490 Rpm	<b>Marca</b>	SIEMENS
<b>Corriente</b>	66/33 A	<b>Ubicación</b>	Muelle Norte
<b>Voltaje</b>	220-440 V	<b>Tipo de Montaje</b>	Rígido
<b>INFORME ELECTRICO</b>			
<b>PRUEBAS ELÉCTRICAS ESTÁTICAS AL DEVANADO DEL ESTATOR</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Prueba Resistencia De Aislamiento Con Respecto A Tierra:</b> Resultado: 7123 MΩ. A 1113 V. Corriente: 0,2 μ A.</li> <li>✓ <b>Prueba De Resistencia De Aislamiento Entre Conductores:</b> Resultado: Bueno a 1230 V.</li> </ul>			

**Test Results Summary - Baker Instrument**

170-02-12 BOMBA SUM H2O-27/02/2012 02:57:50 p.m.

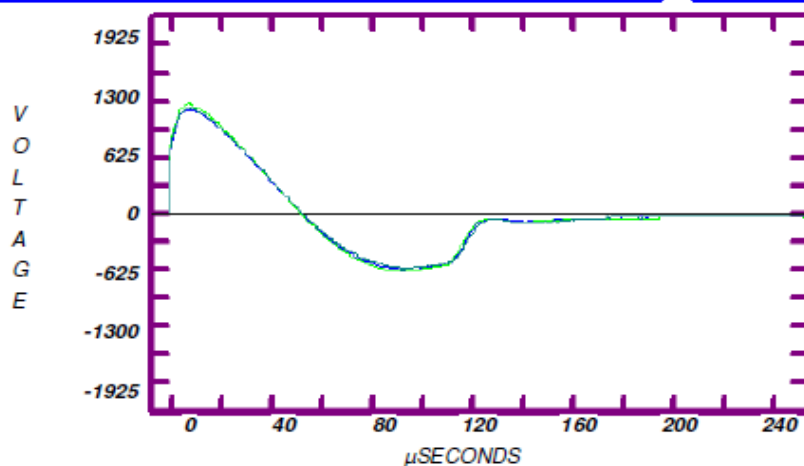
<u>TEMP AND RESISTANCE</u>	<u>COMPENSATED</u>	
Winding Temperature:	30,0 °C	
Phase 1:	0 Ω	0
Phase 2:	0 Ω	0
Phase 3:	0 Ω	0
Delta R Max:	0 %	

<u>PI DATA</u>	
PI Voltage:	0 V
30 Sec:	0 MΩ
1 Min:	0 MΩ
3 Min:	0 MΩ
10 Min:	0 MΩ
DA Ratio:	0,0
PI Ratio:	0,0

<u>SURGE TEST</u>					
EAR 1-2:	3	%	Lead 1:	1230	V
EAR 1-3:	3	%	Lead 2:	1280	V
EAR 2-3:	5	%	Lead 3:	1250	V
Max EAR:	5	%			

<u>HIPOT TEST</u>	
Volts:	1113 V
Leakage:	0,2 μA
Resistance:	7123 MΩ
At 40 °C:	3561 MΩ

<u>MEGOHM DATA</u>					
Volts:	0 V	Current:	0,0	μA	
Resistance:	0 MΩ	At 40 °C:	0,0	MΩ	



**Surge Summary**

- Lead 1:
- Lead 2:
- Lead 3:

### 8.1.3.2 Bomba enfriamiento motor de combustión del remolcador SAAM AZTECA

<b>ANÁLISIS DE PARAMETROS ELECTRICOS</b>			
<b>Dirección:</b> Planta Mamonal		<b>Fecha:</b> 07/01/2012	
<b>Dependencia:</b> Departamento de Inspección y ensayos		<b>Proyecto:</b> Bomba enfriamiento motor de combustión del remolcador SAAM AZTECA	
<b>Equipo de medición:</b>  Equipo de pruebas análogo de impulsos y Hipot de CC marca BAKER.		<b>Cliente:</b> Cotecmar	
		<b>Realizado por:</b> Mary Cerra Ing. Mecatrónica	
		<b>Código:</b> 12-43-92-34-21	
		<b>Fecha de calibración:</b> 15/08/2011	
<b>Objetivo</b>	Verificación del estado eléctrico del los equipos a través del monitoreo y medición de sus variables eléctricas.		
<b>Descripción del trabajo</b>	Se realiza la medición de parámetros eléctricos asociados con el aislamiento de los equipos.		
	<p>Las pruebas a realizar son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Prueba de Hipot:</b> Evalúa de manera no destructiva la potencia dieléctrica de la conexión a tierra. Se mide la resistencia de la aislación asegurándose de que dicha aislación no se romperá con los voltajes de pruebas aplicados.</li> <li>✓ <b>Prueba de Impulsos:</b> Detecta las etapas tempranas de fallas en la aislación en las bobinas. Se compara patrones de ondas las distintas bobinas sometidas a pruebas que conforman el bobinado del motor.</li> <li>✓ <b>Prueba Índice de Polarización:</b> Es útil para probar aparatos con aislación compleja tales como motores grandes y generadores. Mide la relación entre las lecturas de la resistencia de aislación a 1 minuto y a 10 minutos.</li> </ul>		
<b>CARACTERISTICAS DEL EQUIPO</b>			
<b>Equipo</b>	Bomba de suministro de agua a puestos de varadero		
<b>Potencia</b>	3,75 KW	<b>Tipo de maquina</b>	Rotatoria
<b>RPM</b>	3600 RPM	<b>Marca</b>	SIEMENS
<b>Corriente</b>	13,5/6,2 AMP	<b>Ubicación</b>	REMOLCADOR SAAM AZTECA
<b>Voltaje</b>	208-230/440 V	<b>Tipo de Montaje</b>	Rígido
<b>INFORME ELECTRICO</b>			
<b>PRUEBAS ELÉCTRICAS ESTÁTICAS AL DEVANADO DEL ESTATOR</b>			
<b>Prueba Resistencia De Aislamiento Con Respecto A Tierra:</b>			
Resultado: 1660 MΩ. A 1816 V. Corriente: 1,1 μ A.			
<b>Prueba De Resistencia De Aislamiento Entre Conductores:</b>			
Resultado: Bueno a 1850 V.			



**Test Results Summary - Baker Instrument**

002-01-12 INICIAL-07/01/2012 09:33:35 a.m.

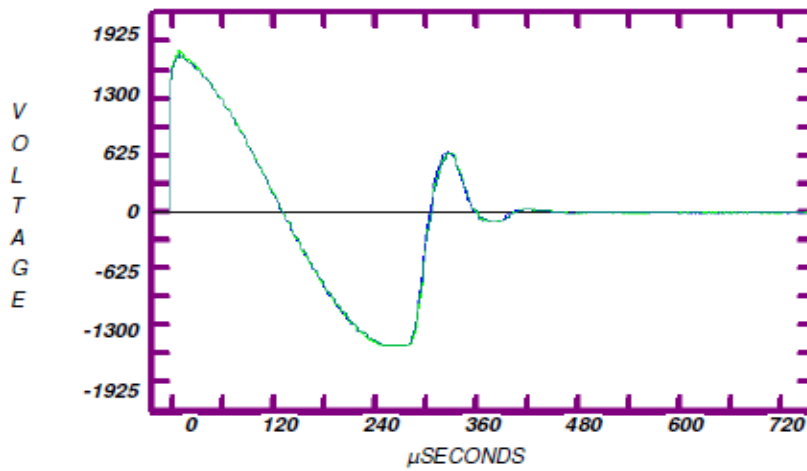
<u>TEMP AND RESISTANCE</u>	<u>COMPENSATED</u>	
Winding Temperature:	30,0 °C	
Phase 1:	0 Ω	0
Phase 2:	0 Ω	0
Phase 3:	0 Ω	0
Delta R Max:	0 %	

<u>PI DATA</u>	
PI Voltage:	0 V
30 Sec:	0 MΩ
1 Min:	0 MΩ
3 Min:	0 MΩ
10 Min:	0 MΩ
DA Ratio:	0,0
PI Ratio:	0,0

<u>SURGE TEST</u>					
EAR 1-2:	1	%	Lead 1:	1850	V
EAR 1-3:	2	%	Lead 2:	1850	V
EAR 2-3:	1	%	Lead 3:	1810	V
Max EAR:	2	%			

<u>HPOT TEST</u>	
Volts:	1816 V
Leakage:	1,1 μA
Resistance:	1660 MΩ
At 40 °C:	830 MΩ

<u>MEGOHM DATA</u>					
Volts:	0 V	Current:	0,0	μA	
Resistance:	0 MΩ	At 40 °C:	0,0	MΩ	



**Surge Summary**

- Lead 1:
- Lead 2:
- Lead 3:

## 8.2 RCM EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

En la tabla 2 se aplica el RCM a las subestaciones seleccionadas de COTECMAR:

EQUIPO	FUNCIONES	ESTADOS DE FALLA	MODOS (CAUSAS) DE FALLA	EFFECTOS DE LA FALLA	CONSECUENCIA DE LA FALLA	TAREA PREDICTIVA O PREVENTIVA
Subestaciones Eléctricas	1. Recibir energía	▶ No se recibe energía	▪ Que se abra el circuito de entrada	- No se entrega la energía a su destino	Operacionales Seguridad	Análisis parámetros eléctricos
			▪ Planta generadora o subestación de donde proviene la energía tenga problema en la entrega		Operacionales Seguridad	Análisis parámetros eléctricos
	2. Transformar energía	▶ No se transforma la energía	▪ Daños en las bobinas del transformador	- No se entrega la energía a su destino	Operacionales Seguridad	Análisis parámetros eléctricos Termografía
			▪ Falta de tensión de alimentación en el transformador		Operacionales Seguridad	Análisis parámetros eléctricos
	3. Distribuir energía	▶ No se distribuye la energía	▪ Daño en el transformador	- No se entrega la energía a su destino	Operacionales Seguridad	Análisis parámetros eléctricos Termografía
			▪ Disparo en los sistemas de protección		Operacionales Seguridad	Análisis parámetros eléctricos
			▪ Daño en los seccionadores		Operacionales Seguridad	Análisis parámetros eléctricos
		▶ Daños en las acometidas	▪ Debilitamiento del aislamiento de las líneas		Operacionales Seguridad	Análisis parámetros eléctricos Termografía
			▪ Calentamiento de las líneas por falso contacto		Operacionales Seguridad	Análisis parámetros eléctricos Termografía

Tabla 2. RCM en subestaciones eléctricas

Al igual que para los motores eléctricos evaluando las categorías de las consecuencias de fallas para las subestaciones como se observa en el cuadro anterior las fallas pueden resultar en consecuencias operacionales, es decir, la no disponibilidad de estos activos afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente o costos operacionales) además del costo directo de la reparación. Sin embargo, en este caso también podemos obtener consecuencias de seguridad, es decir, estos activos pueden herir o matar alguna persona teniendo en cuenta que las corrientes que se manejan dentro de una subestación eléctrica son altas y si los dispositivos que la contralan no funcionan esto puede resultar fatal para los operarios.

### 8.2.1 TERMOGRAFÍA

Al igual que en los motores, a continuación se muestra el formato diseñado para el registro de los resultados y análisis de las pruebas de termografía realizadas en este caso a las subestaciones eléctricas seleccionadas de COTECMAR.

#### 8.2.1.1 Subestaciones

<b>REPORTE DE INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA</b>		
<b>Dirección:</b> Planta Mamonal	<b>Fecha:</b> 08/12/2011	<b>Cliente:</b> Cotecmar
<b>Dependencia:</b> Departamento de Inspección y ensayos	<b>Proyecto:</b> Subestaciones	<b>Realizado por:</b> Luis David Pacheco Teherán Inspector de calidad
<b>Norma:</b> ISO 18434 Condition monitoring and diagnostics of machines -- Thermography -- Part 1: General procedures	<b>Equipo de medición:</b> Cámara TI25-Fluke	<b>Código:</b> 12-43-92-34-21
		<b>Fecha de calibración:</b> 24/05/2011
<b>Objetivo</b>	Verificar por medio del análisis termográfico que los equipos de las subestaciones estén en las condiciones óptimas.	

<b>Descripción del trabajo</b>	El día lunes 25 de noviembre del 2011 en horas de la tarde se llevó a cabo la inspección termográfica de las subestaciones principales de Cotecmar planta Mamonal. El propósito era realizar nuestra propia toma de datos a medida que la empresa MANFRE realizara su inspección. El acompañamiento a esta inspección fue realizado por personal de la División de mantenimiento y del Departamento de inspección y ensayos. Las subestaciones inspeccionadas fueron las siguientes:	
	<b>Subestación</b>	<b>Nombre / Localización</b>
	Sub. Principal	Caseta de medidas / En la entrada de Cotecmar.
	Sub. 1	NLP1 / Detrás de la infraestructura de nueva línea de producción.
	Sub. 2	Hangar / Entre la cafetería y la cancha de Voleibol, parte posterior.
	Sub. 3	Paileria / Dentro del taller de soldadura.
	Sub. 4	Producción y mecánica / Diagonal al departamento de inspección y ensayos.
	Sub. 5	Sicroelevador/En el muelle norte
Sub. 6	Administración/ Parte posterior del edificio administrativo	
Tabla1. Localización de las subestaciones		

### Criterio de severidad

Las especificaciones de la NETA (International Electrical Testing Association) indican que deben tomarse medidas correctoras inmediatas cuando la diferencia de la temperatura ( $\Delta T$ ) entre componentes eléctricos similares bajo cargas similares supere los 15°C o cuando la  $\Delta T$  entre las temperaturas de un elemento eléctrico y del aire del entorno superen los 40°C.

### Indicadores de severidad

Severidad	Indicación
<b>P1</b>	<b>Caso crítico</b>
<b>P2</b>	<b>Caso semi-crítico</b>
<b>P3</b>	<b>Caso importante</b>
<b>P4</b>	<b>Caso leve</b>
<b>P5</b>	<b>Caso semi-leve</b>
<b>P6</b>	<b>Caso muy leve</b>

Tabla 1. Indicadores de severidad por espectro de colores de la imagen térmica de acuerdo al equipo T125

### Equipos que presentaron fallas



Fig. 1 Transformador de 75 KVA sub. 1



Fig. 2 Tablero 440-220 sub. 2

## Resultados de la inspección térmica



Fig. 3 Conexiones in-out sub.1



Fig. 4 Imagen con luz visible

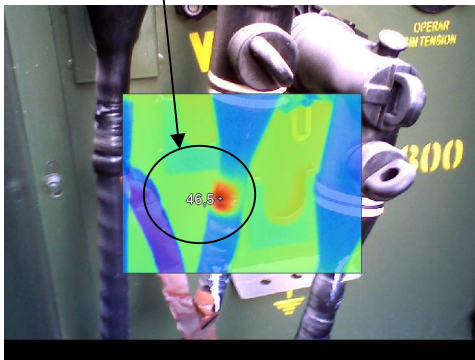


Fig. 5 Conexiones in enfoque sub.1

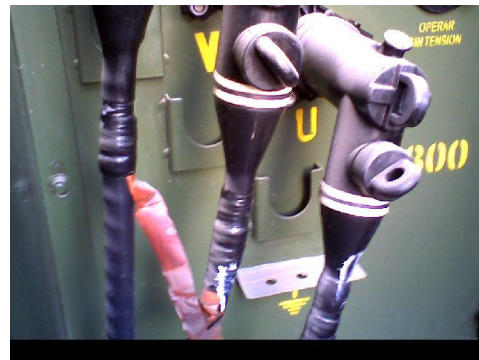


Fig. 6 Imagen con luz visible

### Información de la imagen

Emisividad	0,95
Temperatura promedio	39,5°C
Rango de temperatura de la imagen	34,8°C a 46,5°C

### Marcadores de la imagen principal

Nombre	Temperatura
P1	46,5°C

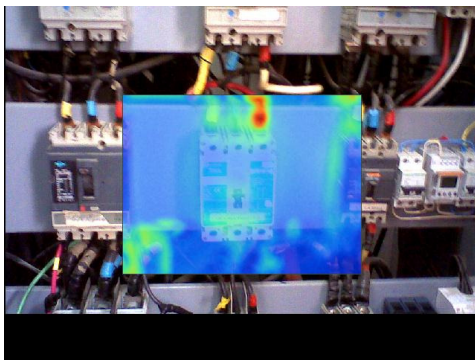


Fig. 7 Breaker mantenimiento sub.2

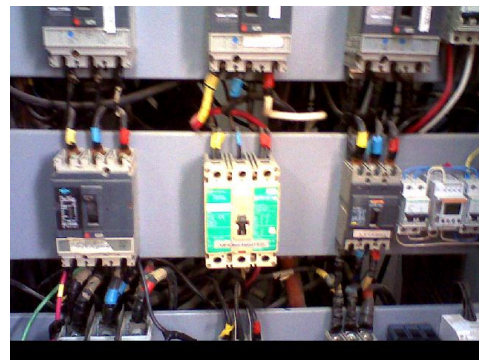


Fig. 8 Imagen con luz visible



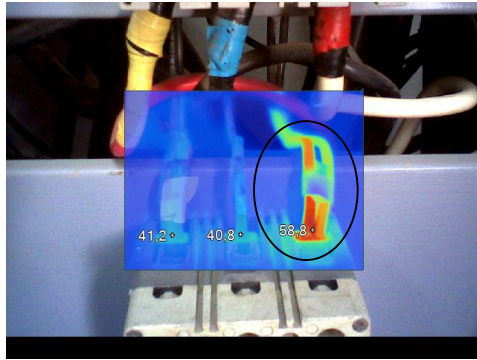


Fig. 9 Breaker enfoque sub.2

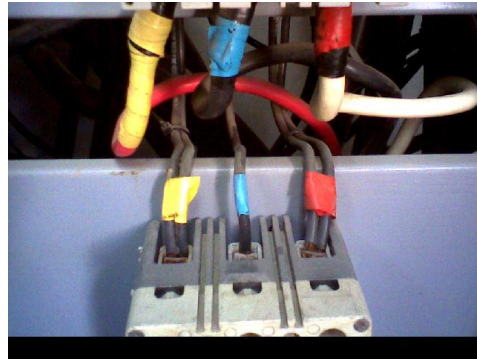


Fig. 10 Imagen con luz visible

**Información de la imagen**

Temperatura de fondo	38,0°C
Emisividad	0,95
Temperatura promedio	38,1°C
Rango de temperatura de la imagen	32,5°C a 58,8°C

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Temperatura
P1	41,2°C
P2	40,8°C
P3	58,8°C

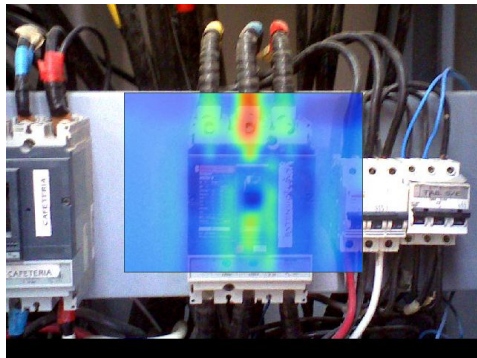


Fig. 11 Breaker linea OPV sub.2

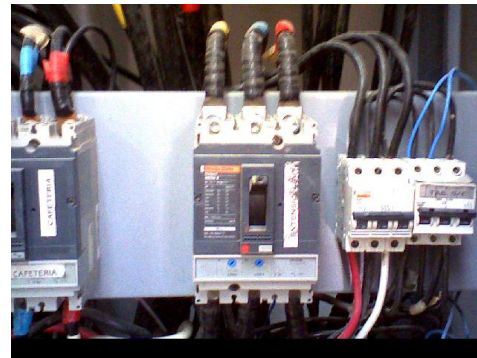


Fig. 12 Imagen con luz visible

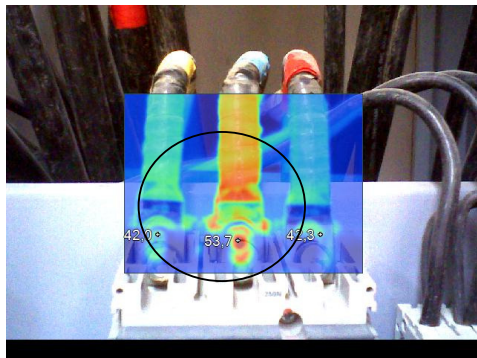


Fig. 13 Breaker enfoque sub.2

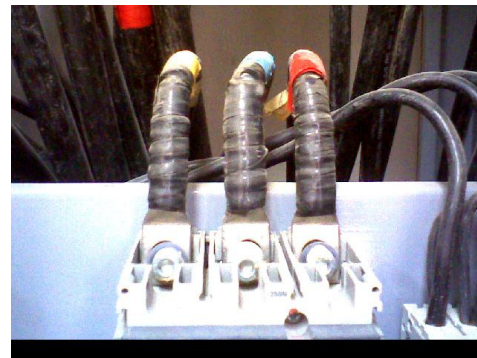


Fig. 14 Imagen con luz visible

### Información de la imagen

Temperatura de fondo	38,0°C
Emisividad	0,95
Temperatura promedio	40,0°C
Rango de temperatura de la imagen	34,2°C a 53,7°C

### Marcadores de la imagen principal

Nombre	Temperatura
P1	42,0°C
P2	53,7°C
P3	42,3°C

### Otros resultados de la inspección



Fig. 15 Sub. 3 no hay equipo contra incendio

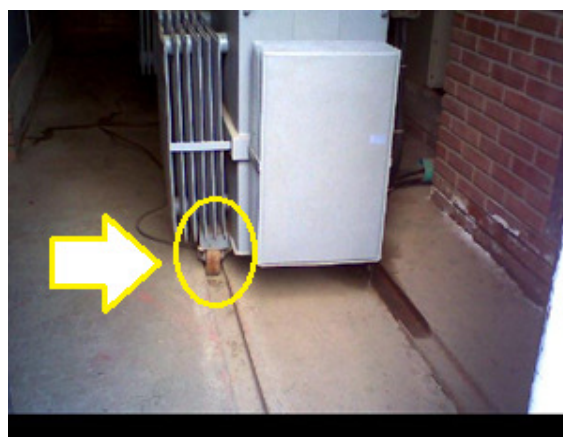


Fig. 16 Sub.5 Transformador sin anclaje

### Análisis

- En la inspección termográfica realizada a las subestaciones de Cotecmar planta Mamonal se detectaron puntos calientes en las líneas de entrada del transformador de 75KVA de la subestación 1 y en dos de los breaker que hacen parte del tablero 220V de la subestación 2, específicamente el breaker de la división de mantenimiento y el de la línea OPV.
- La Fig. 10 muestra la imagen térmica de las líneas de entrada del transformador, esta presenta un punto caliente que se encuentra enfocado en la Fig 11. Con un registro de temperatura de 46,5 °C, lo que representa un calentamiento apreciable por tratarse de un sistema de alta tensión (severidad semi-critica), puesto que el calentamiento es puntual y no presenta transferencia de calor al resto del cable, indica que existe mal contacto entre el cable y el conector de cono.
- La Fig. 12 corresponde a la imagen térmica del breaker de la división de mantenimiento, este presenta un punto caliente con una temperatura máxima P3= 58,8°C según la Fig.13. Si comparamos esta temperatura con las otras dos líneas P1=41,2°C y P2=40,8°C obtenemos un delta de temperatura de 17,6°C y 18 °C, lo que nos indica un grado de severidad crítica. Este aumento de temperatura en una de las líneas puede atribuirse a sobrecarga en la fase combinada por juego en la junta, ya que el aumento de temperatura se presenta uniformemente en el cable y puntualmente en la junta.
- La Fig. 14 corresponde a la imagen térmica del breaker línea OPV, este presenta un punto caliente con una temperatura máxima P2= 53,7°C según la Fig.15. Si comparamos esta temperatura con las otras dos líneas P1=42 °C y P3=42,3 °C obtenemos un delta de temperatura de 11,7°C y 11,4°C, lo que nos indica un grado de severidad semi-critica. El aumento de temperatura puede atribuirse a sobrecarga en la fase ya que la línea presenta una temperatura uniforme.

<b>Nota:</b> La inspección nos permite adicionalmente presentar consideraciones de seguridad industrial como se aprecia en las Figuras 16 y 17 donde se observa que las subestaciones no cuentan con el equipo contra incendio. Además en la Fig. 17 se observa que los transformadores de la Subestación 5 no poseen anclaje, lo que indica un posible riesgo
<b>Recomendaciones</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectuar el mantenimiento de los equipos que presentaron puntos calientes, y garantizar que cumplan con las condiciones óptimas para estar en funcionamiento por medio de otra inspección termográfica.</li> <li>• Se sugiere realizar una inspección termográfica a las instalaciones menores correspondientes a las salidas de las subestaciones.</li> </ul>
<b>Observaciones</b>
Establecer verificaciones periódicas en los planes de mantenimiento de los equipos con el fin de prevenir posibles daños en sistemas.

## 8.2.2 ANÁLISIS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS

Al igual que en los motores, a continuación se muestra el formato diseñado para el registro de los resultados y análisis de las pruebas de parámetros eléctricos realizadas en este caso a las subestaciones eléctricas seleccionadas de COTECMAR.

### 8.2.2.1 Subestaciones

<b>ANÁLISIS DE PARAMETROS ELECTRICOS</b>		
<b>Dirección:</b> Planta Mamonal	<b>Fecha:</b> 20/01/2012	<b>Cliente:</b> Cotecmar
<b>Dependencia:</b> Departamento de Inspección y ensayos	<b>Proyecto:</b> Subestaciones	<b>Realizado por:</b> Mary Cerra Ing. Mecatrónica
<b>Equipo de medición:</b> Equipo de pruebas análogo de impulsos y Hipot de CC marca BAKER.		<b>Código:</b> 12-43-92-34-21
		<b>Fecha de calibración:</b> 15/08/2011
<b>Objetivo</b>	Verificación del estado eléctrico de los equipos a través del monitoreo y medición de sus variables eléctricas.	
<b>Descripción del trabajo</b>	<p>Se realiza la medición de parámetros eléctricos asociados con el aislamiento de los equipos. Las pruebas a realizar son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Prueba de Hipot:</b> Evalúa de manera no destructiva la potencia dieléctrica de la conexión a tierra. Se mide la resistencia de la aislación asegurándose de que dicha aislación no se romperá con los voltajes de pruebas aplicados.</li> <li>✓ <b>Prueba de Impulsos:</b> Detecta las etapas tempranas de fallas en la aislación en las bobinas. Se comparan patrones de ondas en las distintas bobinas sometidas a pruebas que conforman el bobinado del motor.</li> <li>✓ <b>Prueba Índice de Polarización:</b> Es útil para probar aparatos con aislación compleja tales como motores grandes y generadores. Mide la relación entre las lecturas de la resistencia</li> </ul>	



de aislación a 1 minuto y a 10 minutos.

**CARACTERISTICAS DEL EQUIPO**

<b>Equipo</b>	Acometida de Subestaciones		
<b>Potencia</b>		<b>Tipo de maquina</b>	
<b>RPM</b>		<b>Marca</b>	
<b>Corriente</b>		<b>Ubicación</b>	
<b>Voltaje</b>	13200 V	<b>Tipo de Montaje</b>	

**INFORME ELECTRICO**

**PRUEBAS ELÉCTRICAS**

Se le realizo pruebas eléctricas a (7) siete Acometidas Eléctricas, ubicadas de la siguiente forma:

**Subestación 1:** Acometida 531MD14M01 – Acometida 532MD140M01 – Acometida 592EQ01 – Acometida 593EQ01

**Subestación 3:** Acometida 001GAP1 – Acometida 001GAP2 – Acometida 001GAP3

Se obtuvieron los siguientes resultados:

**SUBESTACION 1**

<b>ACOMETIDA TRIFASICA 531MD14M01</b>			
<b>Prueba de aislamiento con respecto a tierra</b>			
<b>Linea</b>	<b>Voltaje Aplicado (V)</b>	<b>Corriente de Fuga (µA)</b>	<b>Aislamiento en t=1min (Ω)</b>
531MD14M01 – H01	7030	4,4	1598
531MD14M01 – H02	7090	4,1	1596
531MD14M01 – H03	7090	3,8	1706
531MD14M01 – H04	7090	3,5	1885
531MD14M01 – H05	7030	3,4	1931
531MD14M01 – H06	7030	2,8	2313

<b>ACOMETIDA TRIFASICA 532MD140M01</b>			
<b>Prueba de aislamiento con respecto a tierra</b>			
<b>Linea</b>	<b>Voltaje Aplicado (V)</b>	<b>Corriente de Fuga (µA)</b>	<b>Aislamiento en t=1min (Ω)</b>
532MD14M01 – H01	7030	0,6	9766
532MD14M01 – H02	7090	0,4	13635
532MD14M01 – H03	7090	0,4	13635
532MD14M01 – H04	7030	0,4	14650
532MD14M01 – H05	7090	0,4	17726
532MD14M01 – H06	7090	0,4	>20000

<b>ACOMETIDA TRIFASICA 592EQ01</b>			
<b>Prueba de aislamiento con respecto a tierra</b>			
<b>Linea</b>	<b>Voltaje Aplicado (V)</b>	<b>Corriente de Fuga (µA)</b>	<b>Aislamiento en t=1min (Ω)</b>
592EQ01 – H01	7030	3,2	1910
592EQ01 – H02	7030	3,2	2044
592EQ01 – H03	7030	2,4	2746

<b>ACOMETIDA TRIFASICA 593EQ01</b>			
<b>Prueba de aislamiento con respecto a tierra</b>			
<b>Linea</b>	<b>Voltaje Aplicado (V)</b>	<b>Corriente de Fuga (<math>\mu</math>A)</b>	<b>Aislamiento en t=1min (<math>\Omega</math>)</b>
593EQ01 – H01	7030	1,2	5493
593EQ01 – H02	7030	0,8	7325
593EQ01 – H03	7030	1,0	6112

### SUBESTACION 3

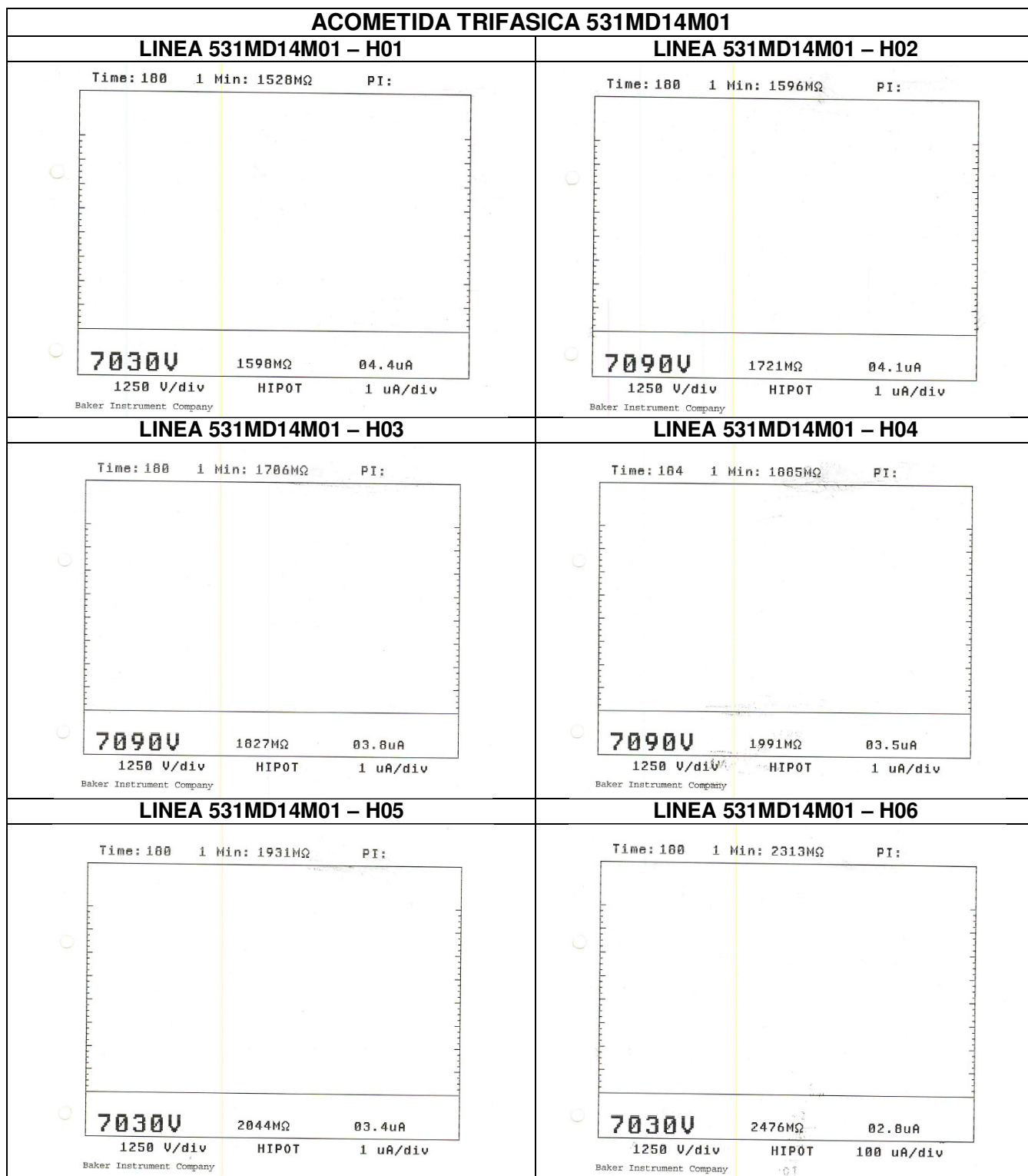
<b>ACOMETIDA TRIFASICA 001GAP1</b>			
<b>Prueba de aislamiento con respecto a tierra</b>			
<b>Linea</b>	<b>Voltaje Aplicado (V)</b>	<b>Corriente de Fuga (<math>\mu</math>A)</b>	<b>Aislamiento en t=1min (<math>\Omega</math>)</b>
001GAP1 – H01	7030	4,6	1264
001GAP1 – H02	7030	4,5	1583
001GAP1 – H03	7030	3,9	1790
001GAP1 – H04	7030	4,2	1515
001GAP1 – H05	7030	3,9	1740
001GAP1 – H06	7030	4,3	1542

<b>ACOMETIDA TRIFASICA 001GAP2</b>			
<b>Prueba de aislamiento con respecto a tierra</b>			
<b>Linea</b>	<b>Voltaje Aplicado (V)</b>	<b>Corriente de Fuga (<math>\mu</math>A)</b>	<b>Aislamiento en t=1min (<math>\Omega</math>)</b>
001GAP2 – H01	7090	1,3	6456
001GAP2 – H02	6970	1,6	4028
001GAP2 – H03	7090	1,6	4431

<b>ACOMETIDA TRIFASICA 001GAP3</b>			
<b>Prueba de aislamiento con respecto a tierra</b>			
<b>Linea</b>	<b>Voltaje Aplicado (V)</b>	<b>Corriente de Fuga (<math>\mu</math>A)</b>	<b>Aislamiento en t=1min (<math>\Omega</math>)</b>
001GAP3 – H01	7030	1,4	4220
001GAP3 – H02	7090	1,6	4062
001GAP3 – H03	7030	1,2	5022

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que los valores de las resistencias de los aislamientos de todas las líneas se encuentran dentro de los límites aceptados en las normas ICEA S-66-524 para cables aislados de media tensión (15KV), la INTERNATIONAL ELECTRICAL TESTING SPECIFICATIONS FOR ELECTRIC POWER DISTRIBUTION EQUIPMENT AND SYSTEMS y las especificaciones técnicas del fabricante.

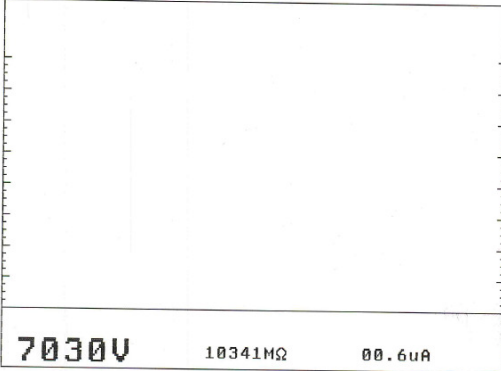
# SUBESTION 1



# ACOMETIDA TRIFASICA 532MD14M01

## LINEA 532MD14M01 – H01

Time: 180 1 Min: 9766MΩ PI:

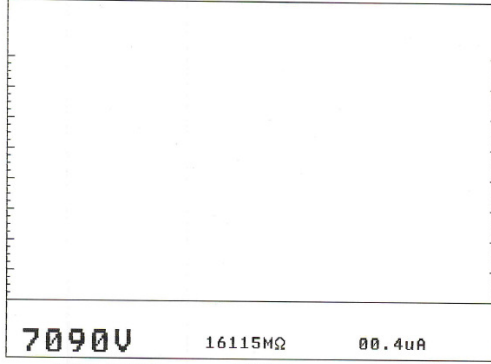


7030V 10341MΩ 00.6uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

Baker Instrument Company

## LINEA 532MD14M01 – H02

Time: 180 1 Min: 13635MΩ PI:

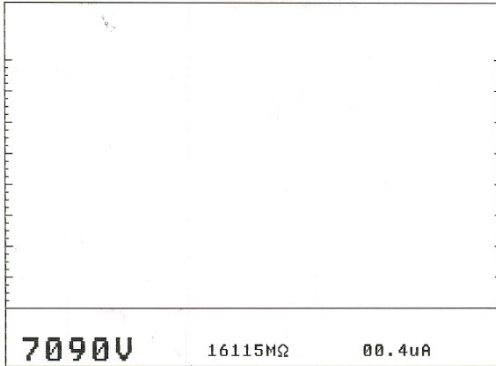


7090V 16115MΩ 00.4uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

Baker Instrument Company

## LINEA 532MD14M01 – H03

Time: 180 1 Min: 16115MΩ PI:

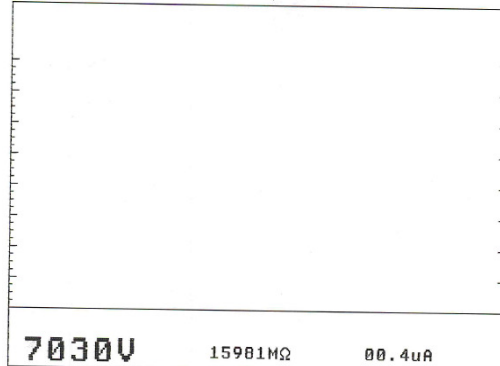


7090V 16115MΩ 00.4uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

Baker Instrument Company

## LINEA 532MD14M01 – H04

Time: 180 1 Min: 14650MΩ PI:

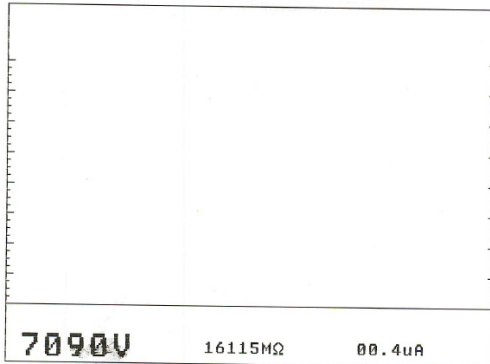


7030V 15981MΩ 00.4uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

Baker Instrument Company

## LINEA 532MD14M01 – H05

Time: 180 1 Min: 17726MΩ PI:

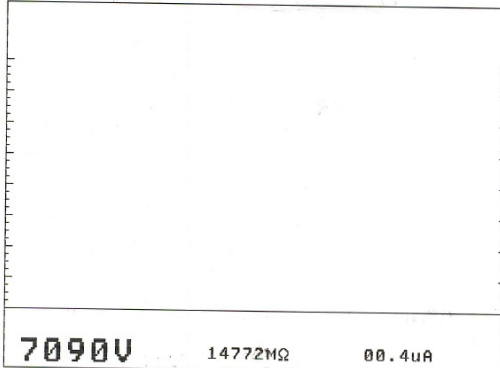


7090V 16115MΩ 00.4uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

Baker Instrument Company

## LINEA 532MD14M01 – H06

Time: 180 1 Min: >20000MΩ PI:

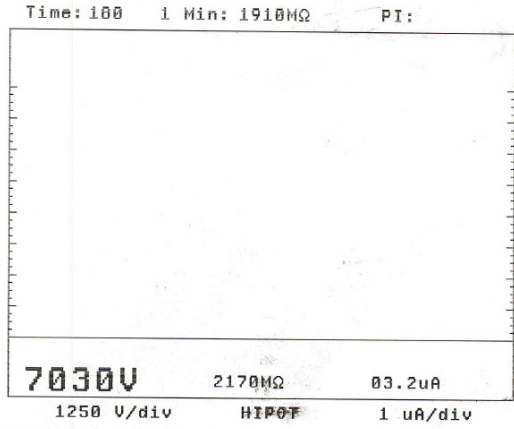


7090V 14772MΩ 00.4uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

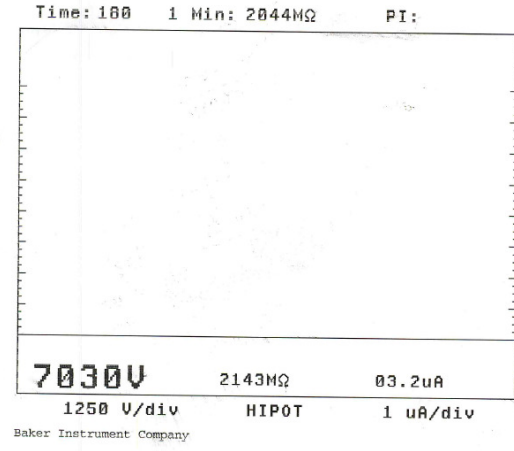
Baker Instrument Company

# ACOMETIDA TRIFASICA 592EQ01

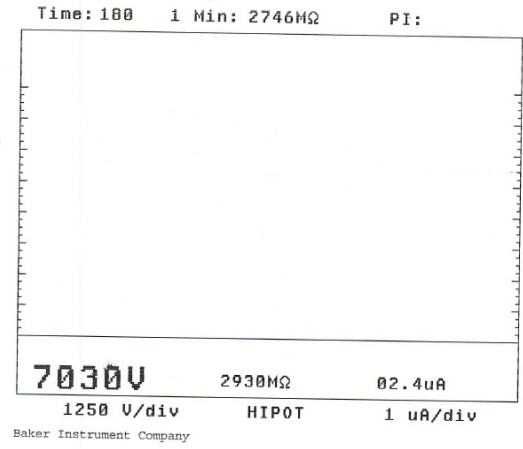
## LINEA 592EQ01 - H01



## LINEA 592EQ01 - H02



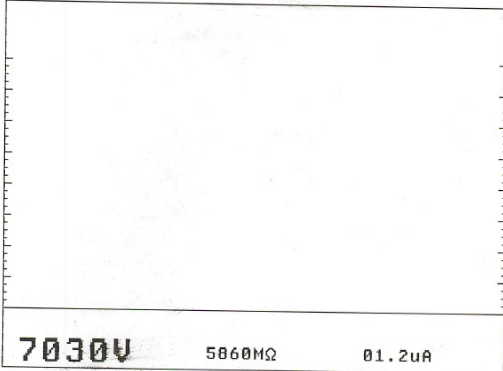
## LINEA 592EQ01 - H03



# ACOMETIDA TRIFASICA 593EQ01

## LINEA 593EQ01 – H01

Time: 180 1 Min: 5493MΩ PI:

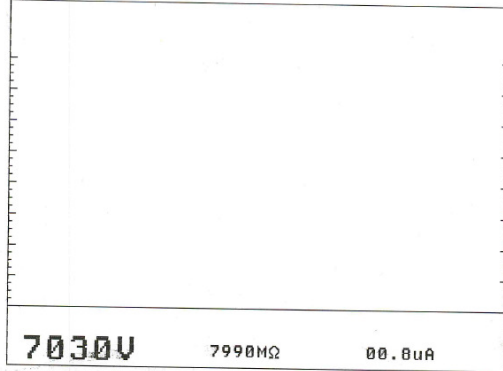


7030V 5860MΩ 01.2uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

Baker Instrument Company

## LINEA 593EQ01 – H02

Time: 180 1 Min: 7325MΩ PI:

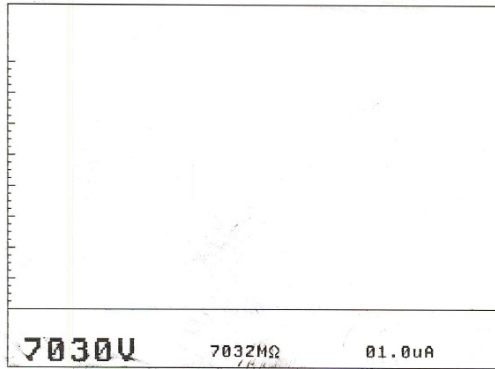


7030V 7990MΩ 00.8uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

Baker Instrument Company

## LINEA 593EQ01 – H03

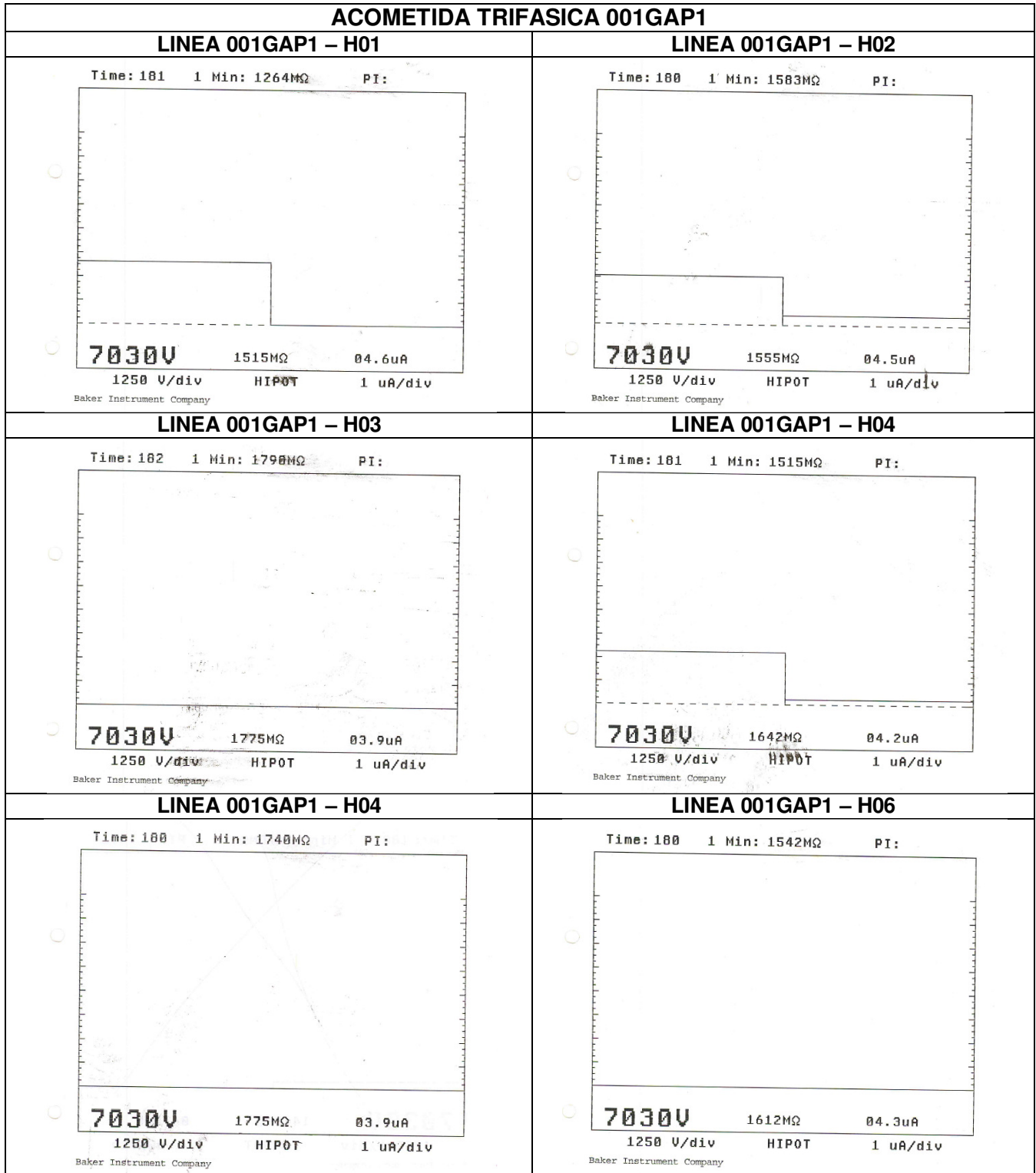
Time: 180 1 Min: 6112MΩ PI:



7030V 7032MΩ 01.0uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

Baker Instrument Company

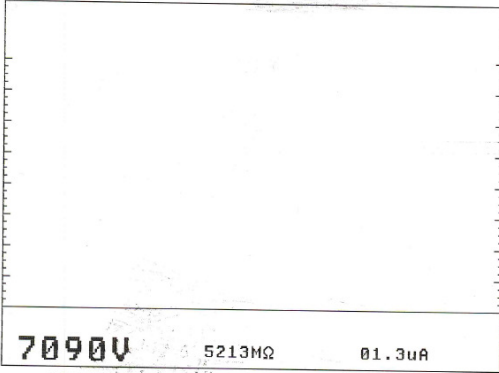
# SUBESTACION 3



# ACOMETIDA TRIFASICA 001GAP2

## LINEA 001GAP2 - H01

Time: 180 1 Min: 6456MΩ PI:

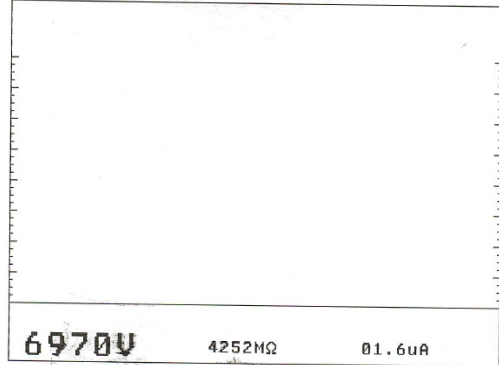


7090V 5213MΩ 01.3uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

Baker Instrument Company

## LINEA 001GAP2 - H02

Time: 180 1 Min: 4028MΩ PI:

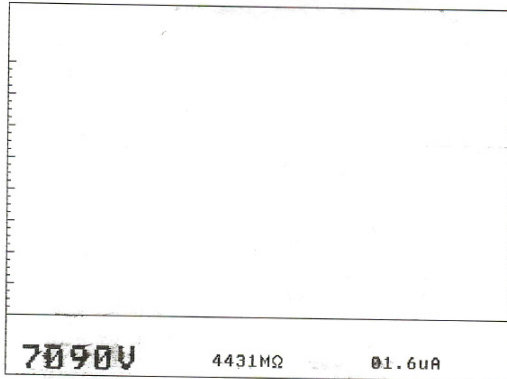


6970V 4252MΩ 01.6uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

Baker Instrument Company

## LINEA 001GAP2 - H03

Time: 180 1 Min: 4431MΩ PI:



7090V 4431MΩ 01.6uA  
1250 V/div HIPOT 1 uA/div

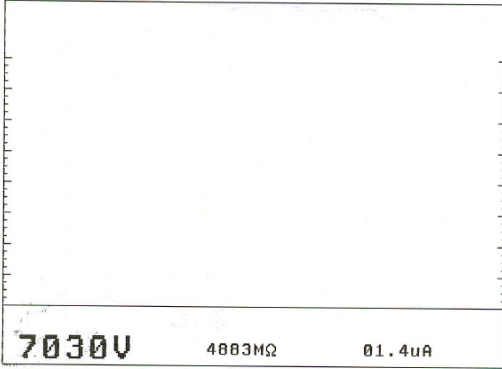
Baker Instrument Company



# ACOMETIDA TRIFASICA 001GAP3

## LINEA 001GAP3 – H01

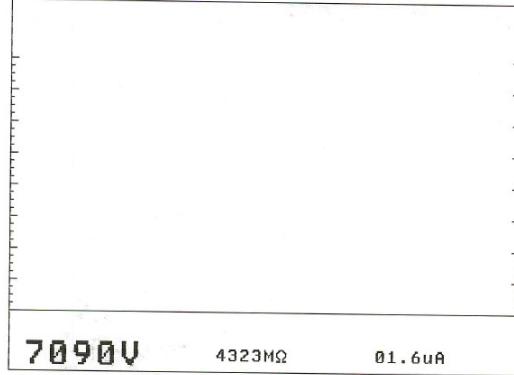
Time: 180 1 Min: 4220MΩ PI:



Baker Instrument Company

## LINEA 001GAP3 – H02

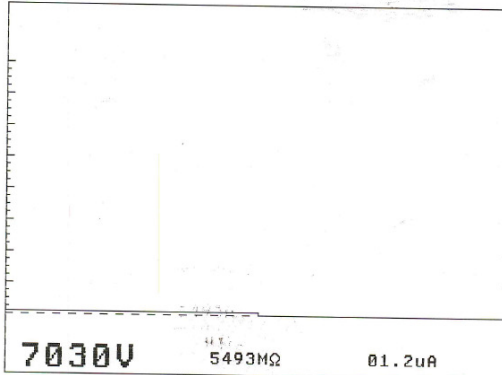
Time: 180 1 Min: 4062MΩ PI:



Baker Instrument Company

## LINEA 001GAP3 – H03

Time: 180 1 Min: 5022MΩ PI:



Baker Instrument Company

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los dos grandes problemas que actualmente presenta Cotecmar en la prestación de sus servicios: garantía por parte de los clientes y la no disponibilidad de los activos fijos a causa de paradas no programadas; con la implementación de un mantenimiento centrado en confiabilidad se puede lograr preservar las funciones de los equipos y sistemas, identificando los modos y causa de fallas que nos permiten seleccionar únicamente tareas de mantenimiento y mejora que contribuyan a preservar esas funciones, entre las cuales para los equipos que se analizaron se encuentran la vibración, la termografía y el análisis de parámetros eléctricos.

La idea es que los equipos con los que cuenta la empresa: medidor de vibraciones, cámara termográfica y probador digital de devanados, no sean solo utilizados para diagnosticar sino que se utilicen para realizar un mantenimiento predictivo aplicando varias técnicas que ayuden a aumentar la confiabilidad de los equipos y sistemas.

Sin embargo la implementación no queda en realizar las mediciones y pruebas sino que se hace necesario documentar los resultados del programa de mantenimiento preventivo, prever el costo-efectividad de la aplicación del RCM, usar documentos electrónicos para soportar el análisis del RCM, los resultados de la optimización de las tareas de mantenimiento preventivo y recursos del mantenimiento deben transformarse en indicadores de gestión y finalmente se debe asegurar que el programa de RCM este alineado a los objetivos de la organización.

Finalmente para la optimización del RCM a implementar se realizan las siguientes recomendaciones:

- ✓ Manejar las futuras fallas de los equipos.
- ✓ Identificar la necesidad de expandir el programa

- ✓ Direccionar nuevas tecnologías del mantenimiento
- ✓ Asignar responsables para analizar el mantenimiento basado en RCM.
- ✓ Realizar revisiones periódicas para detectar necesidades básicas basadas en: Cambios de diseño, cambios operacionales, cambios en equipos.
- ✓ Diligencias un historial de fallas de cada equipo
- ✓ Visionar nuevos desarrollos o técnicas a ejecutar en el mantenimiento.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. <http://www.cotecmar.com>
2. The Woodhouse Partnership Limited Inglaterra
3. Confiabilidad Operacional – Capitulo 3: Mantenimiento centrado en Confiabilidad RCM. Introducción –Autor: Luis Amendola.
4. [www.rcm-confiabilidad.com.ar](http://www.rcm-confiabilidad.com.ar) “RCM-Mantenimiento centrado en confiabilidad”
5. Presentación Instrumentación y sensores. Autor: Royman Lopez
6. Norma ISO 10816-1
7. Guía básica a la termografía, Pag. 3-4
8. Guía de aplicaciones de la termografía en mantenimiento industrial - FLUKE
9. Mantenimiento Predictivo de sistemas eléctricos – Ronaldo López Serrazina – Ingeniero Civil Industrial – Rolop Gestión Empresarial.
10. Manual del Usuario – Equipo de Pruebas Análogo de Impulsos y Hipot de CC - Baker Instrument Company