

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR
VIBRACIONES MECÁNICAS EN LA EMPRESA MONÓMEROS COLOMBO
VENEZOLANOS.**

JOSE MANUEL OSORIO VERGARA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2014

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR
VIBRACIONES MECÁNICAS EN LA EMPRESA MONÓMEROS COLOMBO
VENEZOLANOS**

JOSE MANUEL OSORIO VERGARA

**Monografía de Grado presentado como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

Director:

**Dayana Negrete Caro
Ingeniera Mecánica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2014

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de grado primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A mi directora, Ingeniera: Dayana Negrete por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mi especialización con éxito.....

Mi agradecimiento más especial a mi esposa Dayana y mi hija Ana Lucia la cuales me brindaron su amor, cariño, apoyo y comprensión para realizar esta especialización.

Mi sentimiento de agradecimiento va para la mujer más especial de mi vida, mi madre quien a través de su dedicado amor ha permitido llegar a esta etapa; a mi padre quien me inculco el valor del trabajo. De igual manera agradezco a Gecolsa por el apoyo dado para la realización de esta especialización.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCION | 17 |
| 1 MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANO | 19 |
| 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 23 |
| 3 OBJETIVOS | 24 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 24 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 24 |
| 4 JUSTIFICACIÓN | 26 |
| 5 ANALISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA | 27 |
| 5.1 MARCO DE REFERENCIA | 27 |
| 5.1.1 El mantenimiento predictivo frente a otros tipos de mantenimiento | 27 |
| 5.1.2 Mantenimiento preventivo planificado. Desmontajes periódicos e inspecciones. | 27 |
| 5.1.3 Mantenimiento predictivo | 29 |
| 5.1.4 Aspectos básicos del mantenimiento predictivo | 31 |
| 6 EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES. | 33 |
| 6.1 EQUIPOS PARA SISTEMA EN RUTA..... | 33 |
| 6.1.1 El Enpac 2500 | 34 |
| 6.1.2 Emonitor Enterprise de Rockwell Automation..... | 35 |
| 6.2 EQUIPOS PARA SISTEMA EN LÍNEA..... | 35 |
| 6.2.1 Módulos de medición | 36 |
| 6.2.2 DeviceNet | 36 |
| 6.2.3 Ethernet | 37 |
| 6.2.4 Sensores..... | 38 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 6.2.5 | Software..... | 39 |
| 6.2.6 | Rspowerplus (Comunicaciones) | 40 |
| 6.2.7 | Esquema de Implementación de sistemas de monitoreo en línea..... | 42 |
| 7 | DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES EN LA EMPRESA MONÓMEROS | 43 |
| 7.1 | OML INGENIERÍA..... | 43 |
| 7.2 | SEMAPI COLOMBIA..... | 45 |
| 7.2.1 | Mantenimiento Predictivo..... | 46 |
| 7.2.2 | Análisis De Vibraciones | 46 |
| 7.2.3 | Termografía Infrarroja..... | 47 |
| 7.2.4 | Balanceo De Máquinas..... | 47 |
| 7.2.5 | Análisis De Corriente | 47 |
| 7.2.6 | Alineación Laser | 47 |
| 7.2.7 | Mantenimiento Predictivo, Preventivo y Correctivo a Sopladores de Lobulos y Compresores Rotativos y alternativos | 48 |
| 7.3 | SERVICIO INDUSTRIAL PRODUCTIVO TOTAL (SIPT)..... | 48 |
| 7.3.1 | Mantenimiento | 49 |
| 8 | ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES EN LA EMPRESA MONÓMEROS..... | 50 |
| 8.1 | ANÁLISIS DE COSTOS PARA MONITOREO EN LÍNEA | 50 |
| 8.2 | ANÁLISIS DE COSTOS PARA MONITOREO EN RUTA. | 53 |
| 8.3 | COMPARACION COSTO INICIAL EN RUTA VS EN LÍNEA | 55 |
| 9 | PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES EN LA EMPRESA MONÓMEROS..... | 56 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 10 | INSTITUCIONES DISPONIBLES PARA ENTRENAMIENTO EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES EN LA EMPRESA MONÓMEROS..... | 59 |
| 10.1 | RESEÑA HISTÓRICA DEL INSTITUTO DE VIBRACION | 60 |
| 10.2 | CURSOS DE FORMACIÓN | 61 |
| 10.2.1 | Introducción al Análisis de Vibración en Maquinaria. (IVM)..... | 62 |
| 10.2.2 | Conceptos Básicos de Vibraciones en Maquinaria (BVM). | 63 |
| 10.2.3 | Balanceo de Maquinaria Rotativas (BMR)..... | 65 |
| 10.2.4 | Análisis de Vibración en la Maquinaria (AVM)..... | 66 |
| 10.2.5 | Control de Vibración Avanzada (CVA). | 68 |
| 10.2.6 | Dinámica y Modelación Práctica De Rotores (DMR). | 69 |
| 10.2.7 | Análisis de Vibración Avanzada (AVA)..... | 70 |
| 10.2.8 | Alineación De Ejes | 71 |
| 11 | ANALISIS DE COSTOS DEL ENTRENAMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN LA EMPRESA MONÓMEROS..... | 74 |
| 12 | COSTO TOTAL (EQUIPOS, ENTRENAMIENTO, ETC.) DE IMPLEMENTACIÓN DE ESTE SISTEMA EN LA EMPRESA MONÓMEROS..... | 76 |
| 12.1 | ANÁLISIS DEL COSTOS TOTAL PARA MONITOREO EN LINEA. | 76 |
| 12.2 | ANÁLISIS DEL COSTOS TOTAL PARA MONITOREO EN RUTA. | 77 |
| 12.3 | COMPARACION COSTO TOTAL INICIAL EN RUTA VS EN LÍNEA..... | 78 |
| 13 | ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO Y PRÁCTICO DEL MÉTODO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES EN LA EMPRESA MONÓMEROS..... | 80 |
| 13.1 | DESCRIPCION GENERAL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA MONOMEROS..... | 80 |
| 13.1.1 | Zona Húmeda..... | 81 |
| 13.1.2 | Zona Seca. | 82 |

13.2 EQUIPOS CRITICOS DE LAS PLANTAS83
13.3 ANALISIS DE COSTOS.....85
14 CONCLUSIONES87
15 RECOMENDACIONES.....89
BIBLIOGRAFÍA90

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Listado de precios 2013 (OML ingeniería) | 50 |
| Tabla 2: Listado de precios 2013 (OML ingeniería) | 53 |
| Tabla 3: Cursos recomendados como preparación parcial para los exámenes de certificación | 62 |
| Tabla 4: Listado de precios total de la capacitación 2014 (Instituto de Vibración). 74 | |
| Tabla 5: Listado de equipos críticos en la planta 12 | 83 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Planta de fertilizantes en Monómeros..... | 19 |
| Figura 2: Monómeros filial de Pequiven Venezuela | 21 |
| Figura 3: Ubicación Geográfica de Monómeros Colombo Venezolanos-..... | 22 |
| Figura 4: Vista de la empresa sobre la Vía 40 | 22 |
| Figura 5: Comportamiento estadístico de los equipos | 28 |
| Figura 6: Comportamiento estadístico de fallas en máquinas sometidas a mantenimiento preventivo..... | 29 |
| Figura 7: Equipo para toma de vibraciones en ruta Enpac 2500 | 34 |
| Figura 8: Equipo Emonitor Enterprise de Rockwell Automation..... | 35 |
| Figura 9: Módulos de medición | 36 |
| Figura 10: El <i>Backbone</i> está compuesto de un gran número de <i>routers</i> | 37 |
| Figura 11: Red de área local..... | 38 |
| Figura 12: Sensores..... | 38 |
| Figura 13: Sensores de alta Temperatura, Baja Frecuencia, Duales, Triaxiales, Propósito General..... | 39 |
| Figura 14: Herramienta de análisis y diagnóstico para Monitoreo | 40 |
| Figura 15: Rspowerplus | 40 |
| Figura 16: Esquema de implementación Rspowerplulus | 42 |
| Figura 17: Esquema de Implementación sistemas de monitoreo en línea..... | 42 |
| Figura 18: OML Ingeniería | 43 |
| Figura 19: Talento humano de OML Ingeniería | 44 |
| Figura 20: Equipos de vibración de OML Ingeniería | 44 |
| Figura 21: Equipos de vibración SEMAPI Colombia | 45 |
| Figura 22: Toma de análisis de vibración por sistema de monitoreo en ruta | 46 |
| Figura 23: Toma de muestra termográfica..... | 47 |
| Figura 24: Empresa SIPT | 48 |
| Figura 25: Costo de implementación sistema de línea | 52 |
| Figura 26: Porcentaje de implementación del monitoreo en línea | 52 |
| Figura 27: Costo inicial del monitoreo en ruta..... | 54 |
| Figura 28: Porcentaje de costo del monitoreo en ruta | 54 |
| Figura 29: Comparación Costo Inicial en Ruta vs en Línea | 55 |
| Figura 30: Comparación del costo inicial en ruta vs en línea | 55 |
| Figura 31: Sede de Vibration Institute..... | 59 |
| Figura 32: Análisis de costo entrenamiento | 75 |
| Figura 33: Porcentaje comparativo del entrenamiento..... | 75 |
| Figura 34: Costo total de implementación del monitoreo en línea (Incluye entrenamiento)..... | 76 |
| Figura 35: Comparativo del Costo total de implementación del monitoreo en línea (Incluye entrenamiento) | 77 |
| Figura 36: Costo total de implementación del monitoreo en ruta (Incluye entrenamiento)..... | 77 |

| | |
|--|----|
| Figura 37: Comparativo del Costo total de implementación del monitoreo en ruta (Incluye entrenamiento) | 78 |
| Figura 38: Comparación del Costo Total en Ruta vs en Línea..... | 79 |
| Figura 39: Comparación del Costo Total en Ruta vs en Línea (Porcentaje) | 79 |
| Figura 40: Diagrama de flujo Planta de fertilizantes en Monómeros | 81 |
| Figura 41: Diagrama de procesos Planta 12..... | 84 |
| Figura 42: Costo comparativo de la implementación de un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones en línea y en ruta versus el costo por perdida por producción | 85 |
| Figura 43: Porcentaje del costo inicial Vs perdida por producción..... | 86 |

GLOSARIO

ANALISIS DE CAUSA RAIZ (RCA): proceso estructurado de análisis utilizado en la solución efectiva de problemas.

CONFIABILIDAD: capacidad de un equipo o sistema para cumplir ciertas funciones requeridas bajo unas condiciones dadas en un periodo de tiempo establecido.

CONSECUENCIA DE LA FALLA: cuando una falla ocurre en cualquier sistema, equipo o dispositivo el resultado es que puedan existir varios grados de impacto; como no todas las fallas son iguales, las consecuencias de la falla tienen repercusiones diferentes en el resto del sistema, la empresa y el entorno operativo en el cual ocurren

CONTROL NET: se define una única capa física basada en cable coaxial RG-6 con conectores BNC. Las características que distinguen a ControlNet de otros buses de campo incluyen el soporte incorporado para cables totalmente redundantes y el hecho de que toda comunicación en ControlNet es estrictamente planificada y altamente determinista

DISPONIBILIDAD: es el porcentaje de tiempo en el cual un equipo está disponible para cumplir las funciones para la cual fue diseñado durante un intervalo de tiempo definido.

DEVICENET: es un protocolo de comunicación usado en la industria de la automatización para interconectar dispositivos de control para intercambio de datos.

ESPECTRO: es la imagen o registro gráfico que presenta un sistema físico al ser excitado y posteriormente analizado.

ETHERNET: es un estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por contienda (CSMA/CD). Su nombre viene del concepto físico de ether. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI (modelo de interconexión de sistemas abiertos).

HARDWARE: se refiere a todas las partes tangibles de un sistema informático; sus componentes son: eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos, Son cables, gabinetes o cajas, periféricos de todo tipo y cualquier otro elemento físico involucrado; contrariamente, el soporte lógico es intangible y es llamado software.

INVERSION: es el acto mediante el cual se invierten ciertos bienes con el ánimo de obtener unos ingresos o rentas a lo largo del tiempo. La inversión se refiere al empleo de un capital en algún tipo de actividad o negocio, con el objetivo de incrementarlo, además consiste en renunciar a un consumo actual y cierto, a cambio de obtener unos beneficios futuros y distribuidos en el tiempo.

MANTENIMIENTO BASADO POR CONDICION (CBM): mantenimiento Basado en la Condición, CBM por las siglas de su nombre en Inglés (Condition-based Maintenance), tiene como base la Monitorización de las condiciones o estado de los diferentes elementos de una máquina o equipo para decidir el momento óptimo (más adecuado) para realizar las tareas de mantenimiento

VIBRACION: propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo (o posición de equilibrio), una vibración se puede considerar como un movimiento repetitivo alrededor de una posición de equilibrio.

PLANTA: las plantas industriales, por lo tanto, son las fábricas donde se elaboran diversos productos. Se trata de aquellas instalaciones que disponen de todos los medios necesarios para desarrollar un proceso de fabricación.

PROCEDIMIENTO: cada uno de los conjuntos de actividades que conforman un trabajo, que posee un ordenamiento lógico y permite definir recursos y precauciones para una etapa específica del proceso.

SOFTWARE: equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos que son llamados hardware.

RESUMEN

TÍTULO:

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES MECÁNICAS EN LA EMPRESA MONÓMEROS COLOMBO VENEZOLANOS *

AUTOR:

JOSE MANUEL OSORIO VERGARA**

PALABRAS CLAVES:

CBM, Disponibilidad, Confiabilidad, Mantenimiento, Benchmark, costos, Inversión.

DESCRIPCION:

Confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad es lo más importantes en la industria de hoy en día, por lo tanto se hacen grandes esfuerzos para mejorar estos indicadores, aunque a menudo esto cuenta con inversiones en equipos y recursos humanos calificados. Este estudio es acerca de la implementación del Mantenimiento Predictivo basado en la Condición de Vibraciones (MPCV) en equipos rotativos en Monómeros; Bombas, Ventiladores, Compresores, Motores Eléctricos los cuales pueden ser monitoreados por este tipo de mantenimiento. Hay dos posibilidades, una de éstas es implementar un sistema en línea o el sistema en ruta. El primero en aplicarse para equipos críticos, cuya falla inesperadamente o apagado no programado causa grandes pérdidas en la producción, daños al ambiente o personas, la matriz de equipos críticos en Monómeros ofrece esta información, este tipo de mantenimiento abarca la instalación de sensores o acelerómetros en la máquina que llevan la señal hasta los computadores en planta u oficina de control, esto permite hacer un continuo y permanente monitoreo, con el fin de decidir cuándo hacer el mantenimiento o reemplazar partes en la programación, evitando pérdida en la producción o reemplazos innecesarios. Por otro lado está el sistema de en ruta el cual aplica para equipos de stand by o spare cuya falla no significa grandes pérdidas en la producción.

Este estudio se hace un análisis de costos de la implementación de ambos métodos en Monómeros, costos vs pérdida en la producción, se averigua acerca de institutos o compañías que brindan entrenamiento, suministro de equipos y servicios post-venta.

* Monografía

**Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Especialización en Gerencia de mantenimiento. Director: Dayana Negrete Caro, Ingeniera Mecánica.

SUMMARY

TITLE:

FEASIBILITY SURVEY OF PREDICTIVE MAINTENANCE BY MECHANICAL VIBRATIONS IN MONOMEROS COMPANY

AUTHOR:

JOSE MANUEL OSORIO VERGARA **

KEY WORDS:

CBM, Availability, Reliability, Maintenance, Benchmark, costs, investment.

SUBJECT:

Reliability, availability and maintainability are more important each time in current industry, therefore nowadays make big efforts improving these indicators, although often it counts in investments in equipment and qualified human resource. This survey is about the implementation predictive maintenance based on condition (CBM) for vibration in rotary equipment in Monomeros Company; pumps, blowers, compressors, electric motors are some that can be monitored by this kind of maintenance. There are two possibilities, one is implementing on line or rout systems. The first one applies for critical equipment, whose fails unexpected or unscheduled shut down cause big production loss, hurt to environmental o people, the critical equipment matrix of Monomeros Company offers this information, this kind of maintenance involves installing sensors or accelerometers in the machine and carry the signal to computers in plant or engine office, this allow make a continuous and permanent tracing, in order to decide when make maintenance or replace parts in a schedule way, avoiding production lost and unnecessary replacements. By the other way is rout systems, this applies for equipment with standby or spare and whose fails doesn't mean big loss of production.

This survey make a cost analysis of the implementation of both methods in Monomeros company versus costs for loss production, investigate about institutes or companies who give coaching, equipment's supply and after sold services.

At last of this survey you could see how the implementation of a predictive maintenance based on condition for vibrations can improve the performance and the reliability of a productive process and how the return of investment in got in a very short time, allowing enjoying of its advantages for a long time.

* Monograph

**Faculty of Physics- Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Dayana Negrete, Mechanical Engineer.

INTRODUCCION

El objetivo del mantenimiento es lograr que la maquinaria opere sin problemas, especialmente aquella que es fundamental en el proceso de producción. Es bien conocido que las averías catastróficas e inesperadas dan lugar a elevados costos por: pérdidas en la producción y reparaciones.

El concepto tradicional de mantenimiento, es decir, el mantenimiento preventivo, a pesar de haberse mecanizado, la única estrategia que establece para evitar las averías es realizar: Desmontajes periódicos para inspección y reparación, si procede y montaje posterior.

Debe señalarse que en ocasiones, el desmontaje periódico trae como consecuencia el cambio de piezas, partes y elementos exigidos por cartas técnicas de mantenimiento y que en realidad pueden estar en buen estado.

Debido al alto costo de esta metodología, solo se aplica a aquellas máquinas que constituyen agregados fundamentales de la empresa industrial. La moderna tecnología proporciona una serie de métodos que permiten una evaluación exterior de las condiciones internas de la maquinaria; sin desmontajes previos y sin afectar su funcionamiento normal. Hoy en día es conocido, y se tiene una amplia experiencia mundial, que el más efectivo de los métodos es el análisis por vibraciones mecánicas. Este análisis de vibraciones, junto con otros parámetros específicos de cada máquina, constituye la base del moderno mantenimiento predictivo.

Las máquinas y estructuras vibran en respuesta a una o más fuerzas pulsantes que a menudo son llamadas fuerzas excitadoras. La magnitud de la vibración no solamente depende de la fuerza sino también de las propiedades del sistema, el análisis vibracional aplica técnicas de eliminación porque hay numerosas fallas que producen vibraciones de características similares.

La gran mayoría de empresas del mundo han impulsado el Análisis Vibracional en sus plantas debido al ahorro que ha logrado en los gastos de mantenimiento, al ser parte muy importante del Mantenimiento Predictivo.

1 MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANO

Monómeros se inicia en Septiembre de 1.967, cuando el Consejo Nacional de Política Económica aprobó el proyecto destinado a la producción de Caprolactama y Fertilizantes Compuestos, como culminación del estudio de factibilidad presentado en 1.965 por el Fondo de Estudios Petroquímicos.

En Diciembre del mismo año se elevó a escritura pública la constitución de Monómeros de Colombia, como sociedad de responsabilidad limitada, con participación inicial del Instituto de Fomento Industrial, IFI, la Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL y el Instituto Venezolano de Petroquímica, IVP.

En 1.968 ingresó como accionista la firma licenciadora del proceso Stamicarbon de Holanda, se modificó la razón social y se cambió la forma jurídica de la empresa, tomando el nombre de Monómeros Colombo Venezolanos S.A..

Figura 1: Planta de fertilizantes en Monómeros



Fuente: Tomado de la página web www.monmeros.com.co

En 1.972 se concluyó el montaje de las plantas, procediendo a la puesta en marcha y normalización de operaciones. En 1.973, se iniciaron las actividades comerciales.

En 1.985 se transformó la compañía en Empresa Multinacional Andina acogiendo a las ventajas que otorga el Acuerdo de Cartagena y posteriormente se abrió una sucursal en Venezuela, aprovechando las ventajas de ser considerada como nacional en ese país.

En 1990 se creó la compañía naviera Compass Rose Shipping Ltda., la cual presta un servicio de carga dedicado a Colombia y Venezuela desde el Norte de Europa, Escandinavia, El Reino Unido, España, Estados Unidos y África Occidental. Esta exitosa empresa es el resultado de la asociación de Monómeros Colombo Venezolanos S.A., con el grupo CLIPPER, empresa naviera de Dinamarca.

En el año 2000 se adquirió una participación accionaria en la Compañía VANYLON, productora de filamentos de nylon.

En 2002 se adquirió la operación de fertilizantes de Cargill en Colombia, la cual pasó a llamarse ECOFÉRTIL, se dedica a la producción y comercialización de fertilizantes simples y mezclados. Tiene su sede social en Bogotá y la planta de producción de mezclas en Buenaventura.

Figura 2: Monómeros filial de Pequiven Venezuela



Fuente: Tomado de la página web www.monmeros.com.co

En 2003 se creó la empresa Monómeros International Ltd., esta empresa con sede en las Islas Vírgenes Británicas, tiene como objetivo el de realizar operaciones logísticas y comerciales tanto con Monómeros como con terceros y el de agilizar la gestión documentaria de las importaciones de Monómeros.

El 18 de abril de 2006 la Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL y el Instituto de Fomento Industrial, IFI vendieron su participación accionaria al socio venezolano Petroquímica de Venezuela S.A., Pequiven.

El 21 de diciembre de 2006 Pequiven compró las acciones de DSM. Después de esta transacción la participación de Pequiven en Monómeros es actualmente Monómeros Colombo Venezolanos S.A. es una filial de Pequiven, que transforma hidrocarburos en desarrollo social y que con una visión de liderazgo se proyecta como una potencia petroquímica mundial.

Figura 3: Ubicación Geográfica de Monómeros Colombo Venezolanos-



Fuente: <http://earth.google.es>

Figura 4: Vista de la empresa sobre la Vía 40



Fuente: <http://earth.google.es>

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La implementación de los métodos tradicionales de mantenimiento, tales como preventivos y correctivos a falla pueden garantizar la continuidad de los procesos productivos, pero el costo de estos es muy alto, debido a que generalmente implican reemplazo total de maquinaria o repuestos, largos periodos de mantenimiento, elevados número de personal, grandes daños y pérdidas en la producción en caso de fallas o averías inesperadas y elevado número de máquinas de recambio (***spare, stand by***). En cambio el mantenimiento predictivo por vibraciones puede contribuir a la detección precoz e identificación de defectos sin necesidad de parar la máquina, permite programar la parada del equipo en un tiempo muerto o parada programada por producción del equipo, y lo más importante es que permite monitorear la condición mecánica del equipo continuamente, con el fin de evitar un daño catastrófico, lo cual contribuye directamente en una reducción de costos y aumento de la productividad. Sin embargo actualmente el mantenimiento predictivo por vibraciones es poco utilizado en la industria nacional colombiana por su alto costo de implementación inicial (equipos, accesorios) y la necesidad de formación especializada tanto del técnico que debe tomar los datos en planta, como del personal de ingeniería encargado de procesar mediciones y tomar decisiones.

Teniendo en cuenta la necesidad de la empresa Monómeros de aumentar su productividad y disminuir sus costos operativos, con el fin de hacer sus productos más competitivos en los mercados internacionales en el nuevo escenario de los tratados de libre comercio que actualmente impulsa el gobierno nacional, se debe analizar la factibilidad de la implantación del método de mantenimiento predictivo por vibraciones debido a sus ventajas competitivas frente a otros métodos de mantenimiento tradicionales.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la factibilidad de la implementación del Mantenimiento Predictivo por Vibraciones Mecánicas en la empresa Monómeros Colombo Venezolanos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los equipos requeridos para la implementación del mantenimiento predictivo por vibraciones, tales como equipos, accesorios, software, herramientas, adaptaciones.
- Investigar la disponibilidad y los costos de los equipos requeridos para la implantación de esta técnica en la empresa Monómeros, facilidad para la consecución de sus repuestos y servicios de reparación, calibración y patronaje.
- Investigar entidades disponibles para la formación del personal encargado de las mediciones de rutina.
- Identificar las necesidades de especialización del personal de ingeniería encargado de procesar las mediciones y tomar las decisiones.
- Investigar las entidades disponibles para el entrenamiento especializado a nivel nacional e internacional que puedan emitir las certificaciones necesarias
- Determinar un procedimiento completo para la implementación del mantenimiento predictivo por vibraciones que incluya la investigación del equipamiento a monitorear (límites de vibración, determinación de espectros patrones, selección de puntos de medición, etc.)

- Establecer el costo total (equipos, entrenamiento, etc.) de implantación de este sistema en la empresa Monómeros.
- Determinar la factibilidad de la implantación desde el punto de vista económico y práctico del método de mantenimiento predictivo por vibraciones en la empresa Monómeros.

4 JUSTIFICACIÓN

Es evidente que el criterio “ahorro” será el que mueva o decida a los dirigente y/o dueños de las empresas a la realización de la inversión que requiere la implantación de este método de mantenimiento. Esto implica que es necesario realizar una evaluación de la rentabilidad de esta inversión.

La situación real es que para poder evaluar el beneficio económico de la implantación de este tipo de mantenimiento, es necesario establecer una línea base para cada empresa, con la sumatoria del costo por paradas imprevistas, pérdidas de producción y daños graves, para después poder hacer una comparación con la suma de estos mismos costos luego de la implantación.

Es importante conocer los beneficios económicos que se han logrado en la práctica internacional, los cuales justifican y motivan esta investigación:

- Reducción de las máquinas de reserva (spare, stand by).
- Reducción notable del periodo de mantenimiento.
- Reducción del personal de mantenimiento propio y contratado.
- Eliminación de las averías por roturas inesperadas, esto se traduce en mayor confiabilidad y productividad.
- Eliminación de pérdidas en la producción final de alto costo debido a fallas de elementos de poco valor.
- Reducción de los gastos (lucro cesante) por elementos de máquinas y piezas de repuesto en almacenes.

5 ANALISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA

5.1 MARCO DE REFERENCIA

5.1.1 El mantenimiento predictivo frente a otros tipos de mantenimiento

En todas las instalaciones y plantas industriales donde existe maquinaria de producción con elementos dotados de movimiento rotativo o alternativo, se hace necesario efectuar un mantenimiento de estas máquinas para conservarlas en correcto estado de servicio y garantizar la seguridad y fiabilidad de la planta. Este mantenimiento puede ser más o menos sofisticado.

Dependiendo de la naturaleza e importancia de las máquinas que se consideren, agrupadas en varios estados que van desde el más simple, hasta el más complejo. Para formarse un mejor criterio de lo que significa y aporta el mantenimiento predictivo será comparado con su antecesor: el mantenimiento preventivo.

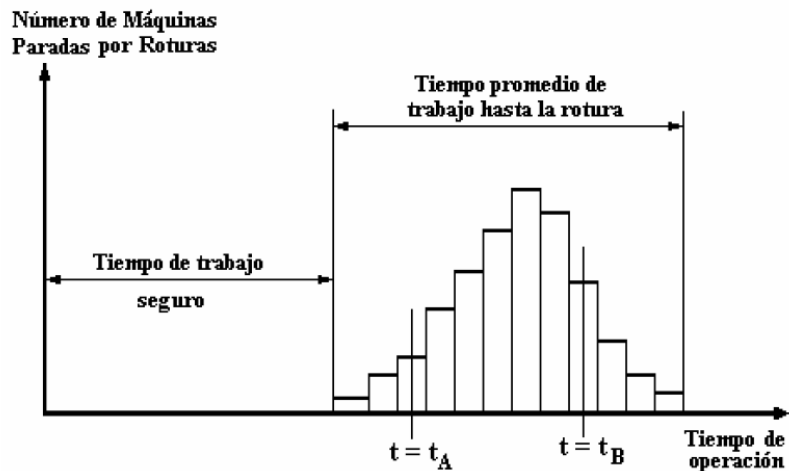
5.1.2 Mantenimiento preventivo planificado. Desmontajes periódicos e inspecciones.

En esta metodología, quizás la más extendida actualmente en Latinoamérica, cada máquina principal, después de un determinado período de operación se somete a un desmontaje total o parcial para su inspección y en casos de que existan defectos, proceder a la reparación de los mismos. Aunque el método pueda ser automatizado, presenta los inconvenientes siguientes:

1. El desmontaje periódico, total o parcial, de una máquina con la inevitable interrupción de la producción y reposición de partes y piezas, es excesivamente costoso para la seguridad y fiabilidad de funcionamiento que aportan. No es menos cierto los múltiples casos conocidos, por los ingenieros de plantas, donde averías mayores han tenido lugar de forma súbita e inesperada al transcurrir horas de funcionamiento después de estos chequeos.

- El intervalo entre inspecciones periódicas, si bien está basado en la teoría de la fiabilidad y vida media, es difícil de definir. Si no se producen fallos durante este intervalo puede pensarse que el mismo es demasiado corto y por tanto se esté perdiendo dinero. Este planteamiento se ilustra en la Fig. 1.1. En ella se representa el tiempo de trabajo seguro y el tiempo de trabajo hasta la falla de un gran número de máquinas idénticas, que permitió establecer la estadística de fallas que se observa. Si una máquina es sometida a un programa de mantenimiento preventivo planificado dado por el tiempo $t=t_A$, para todas las máquinas, cuya estadística de fallas esté por debajo de t_A , representará un trabajo hasta la rotura. Para el resto, donde sus correspondientes estadísticas de fallas están por encima de t_A significa dejar de producir estando aún en buenas condiciones técnicas para el trabajo.

Figura 5: Comportamiento estadístico de los equipos

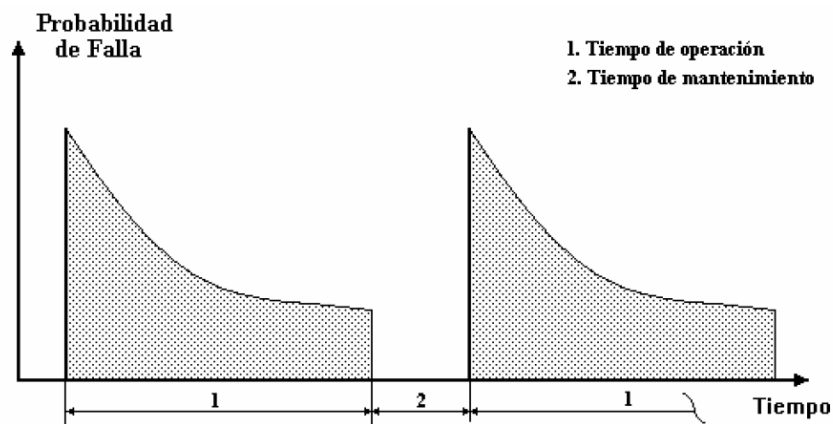


Fuente: Las vibraciones mecánicas y su aplicación en mantenimiento predictivo

Para el caso en que $t=t_B$ la situación sería catastrófica, ya que la gran mayoría de esas máquinas alcanzarían antes la rotura.

- A veces una máquina que operaba correctamente al ser sometida a inspección periódica puede quedar, por errores en el montaje, en peores condiciones que las iniciales, siendo así más propensa al fallo, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6: Comportamiento estadístico de fallas en máquinas sometidas a mantenimiento preventivo.



Fuente: Las vibraciones mecánicas y su aplicación en mantenimiento predictivo

4. Existen defectos en las máquinas que únicamente pueden ser detectados durante el proceso de operación, como: desbalances, resonancias, desalineamientos, etc.

Con relación al mantenimiento de máquinas, tal y como tradicionalmente se entiende y viene aplicándose, puede afirmarse en resumen, que la programación en el tiempo de revisiones y/o reparaciones es INSEGURA e IMPRECISA. Es insegura, porque la necesidad de reparar solo se pone de manifiesto desmontando la máquina y revisando sus elementos; si un defecto grave no se aprecia por inspección el daño será irremediable y la parada inminente en el proceso de producción. Es imprecisa, porque sin medios que permitan determinar el estado técnico o condición de la máquina desde el exterior y sin afectar su normal funcionamiento se desmontará y revisarán máquinas en perfecto estado y otras con peligro de avería y parada inminente, pueden no ser tenidas en cuenta.

5.1.3 Mantenimiento predictivo

Dos aspectos principales del mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas sobre otros métodos generales de mantenimiento:

- La reducción de costos.
- El aumento de la seguridad sobre el funcionamiento de los equipos. Esto consiste en la configuración de una metodología que permita la vigilancia continua de las máquinas, especialmente aquellas que son las principales y las de importancia relativa en el proceso productivo de la empresa industrial.

Para que esta nueva metodología, basada en la vigilancia continua, sea eficaz frente a los conceptos tradicionales de mantenimiento, deberá abarcar los objetivos siguientes:

- No impedir o limitar el funcionamiento de la máquina durante su ejecución.
- Su costo de implantación debe ser menor que el ocasionado por otro tipo de mantenimiento.
- Debe permitir la detección de la avería en fase incipiente antes de convertirse en catastrófica, así como la identificación o diagnóstico de la causa que la origina.

Se puede afirmar que el mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas, a través de la medición continua o periódica, el análisis y control de determinados parámetros y la opinión técnica de los operadores de experiencia conforman los indicadores del "estado de salud" o condición de la máquina que cumple con los objetivos anteriores.

Las máquinas ideales no vibran. Toda la energía que intercambia es empleada para efectuar el trabajo para el cual fue diseñada. En la práctica la vibración aparece producto de la transmisión normal de fuerzas cíclicas a través de los mecanismos. Los elementos de la máquina disipan una parte de la energía que se le entregó dando a la estructura una vibración característica.

Una buena concepción de fallas es el nivel de vibración. Son muchos los factores de operación, diseño y montaje que provocan el surgimiento de los diferentes niveles de vibración.

El hecho de que la condición de la máquina esté íntimamente ligada con las vibraciones que ella produce hace que la medición, el análisis de vibraciones, el análisis de señales y el análisis mecánico sean las herramientas básicas del mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas.

5.1.4 Aspectos básicos del mantenimiento predictivo

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. Este método considera de antemano que la empresa industrial opera con la suficiente disciplina tecnológica en su maquinaria, esto es: el usuario debe observar las normas de explotación del fabricante. De aquí se desprende la importancia de la conducta de buenas prácticas de operadores y demás personal técnico en la Industria.

Esta metodología considera a cada máquina individualmente. Es reemplazada la revisión periódica del mantenimiento preventivo, por la medición regular con la cual se obtiene la evolución total del funcionamiento. Las vibraciones mecánicas son un excelente indicador de estas condiciones, por esta razón el mantenimiento por condición se basa en este parámetro. El axioma del mantenimiento por condición consiste en que las revisiones son efectuadas justamente en el momento en que las mediciones indican que son necesarias. Esta precisamente es la confirmación de la intuición del personal de explotación experimentado, que como resultado de su experiencia piensan, que las máquinas no deben ser tocadas si funcionan bien. Sin embargo, a estos técnicos calificados les era imposible justificar el momento de rotura de la máquina. Las mediciones regulares permiten determinar los niveles inaceptables y definir la correspondiente parada de la máquina.

Como ya se conoce, las vibraciones son normalmente el producto de la transmisión de fuerzas lo que provoca el desgaste y/o deterioro de las máquinas. A través de determinados elementos de las mismas, una fracción de estas fuerzas es disipada hacia el exterior, por ejemplo, mediante los apoyos, uniones, etc. Lo que permite medir la vibración debida a las fuerzas excitadoras. Así, si las fuerzas

de excitación se mantienen constantes dentro de ciertos límites, el nivel de vibración medido se mantiene dentro de los mismos límites proporcionalmente. Cuando los defectos comienzan a aparecer, los procesos dinámicos de la máquina son alterados, alterándose las fuerzas que, como resultado, darán una modificación al espectro de vibración. Si se es capaz de transformar el movimiento mecánico, proporcional a las fuerzas actuantes, en señal eléctrica, entonces, la señal de vibración contendrá la información relativa a las condiciones de funcionamiento de la máquina, que de por sí caracteriza el estado técnico de sus partes y componentes, pues cada una tiene la particularidad de vibrar a una frecuencia característica.

La teoría mecánica arriba expuesta conduce a definir que la herramienta básica del presente mantenimiento es, por tanto, el análisis de vibraciones y, los principios en que se basa son los siguientes:

- Toda máquina en correcto estado de operación tiene un cierto nivel de vibraciones y ruidos, debido a los pequeños defectos de fabricación. Esto puede considerarse como el patrón de referencia, nivel base característico o estado básico de esa máquina en su funcionamiento satisfactorio.
- Cualquier defecto en una máquina, incluso en fase incipiente, lleva asociado un incremento en el nivel de vibración perfectamente detectable mediante la medición.
- Cada defecto, aún en fase incipiente, lleva asociado cambios específicos en las vibraciones que produce (espectros), lo cual permite su identificación.

La importancia del método de Análisis por Vibraciones Mecánicas, sustentado en los avances de la moderna tecnología de medición y en el análisis dinámico temporal y frecuencia de señales, y utilizado como herramienta del mantenimiento predictivo, permite hoy en día, detectar con gran precisión desde desgastes de cojinetes antifricción, hasta qué diente de un reductor de engranajes está dañado. El alcance atribuido al mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas está supeditado a la mayor rentabilidad, seguridad y precisión en el diagnóstico.

6 EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES.

Teniendo en cuenta la criticidad de los equipos, la consecuencia de la falla, el costo de la falla, pérdida de producción e impacto ambiental, existen dos formas de implementar el mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas; una de ellas es sistema de ruta, la cual aplica para monitoreo de equipos tales como: bombas, compresores, ventiladores, motores, equipos rotativos, etc. De moderado impacto en la operación, es decir, cuya falla no tenga alto impacto en la seguridad, operación y medio ambiente, generalmente aplican en equipos que tenga *stand by* o *spare*. Este sistema solo exige un equipo de medición portátil con un software que permita la interpretación de los resultados y un programa que establezca lo equipos a monitorear con una frecuencia de medición para cada máquina de acuerdo a histórico de fallas o recomendación de fabricante o incluso de acuerdo a la consecuencia de la falla.

El otro sistema es en línea la cual involucra medición permanente del equipo con un sistema exclusivo para cada máquina, envía señal mediante cables al operador o cuarto de control del estado en tiempo real de vibraciones, se establecen valores de alarma y de paro del equipo.

El primer sistema se utiliza en equipos con consecuencias de fallas menores, por ejemplo equipos con *stand by* o *spare*, el segundo puede ser utilizado en equipos extremadamente críticos para la operación, la seguridad o la producción.

6.1 EQUIPOS PARA SISTEMA EN RUTA

El principal equipo utilizado en este sistema de mantenimiento predictivo por vibraciones es un dispositivo colector de información portátil, utilizado para recolección de información en campo, análisis y corrección de problemas de operación en aplicaciones de equipos rotativos, tales como motores, bombas, reductores, sopladores, etc. A continuación se muestran algunos de los principales modelos disponibles en el mercado.

6.1.1 El Enpac 2500

Combina características de peso liviano y facilidad de uso con una funcionalidad escalable para uso en una gama de industrias, entre ellas la de generación de energía, pulpa y papel, metales, tratamiento de agua y aguas residuales, alimentos y bebidas, automotriz, farmacéutica, semiconductores y petroquímica.

Figura 7: Equipo para toma de vibraciones en ruta Enpac 2500



Fuente: www.rockwellautomation.com

El Enpac 2500 tiene muchas herramientas fáciles de usar que lo hacen ideal para la recolección de datos segura y eficiente en una variedad de entornos industriales, entre ellas: diseño compacto, resistente y liviano; velocidades hasta 50% mayores; un sistema de menús basado en iconos intuitivos y una pantalla de colores 1/4 VGA fácil de leer. Para ambientes hostiles, satisface el estándar en lo que respecta a golpes, sellado IP65 (a prueba de polvo y agua) y un rango de temperaturas de funcionamiento de -10 a 50 °C.

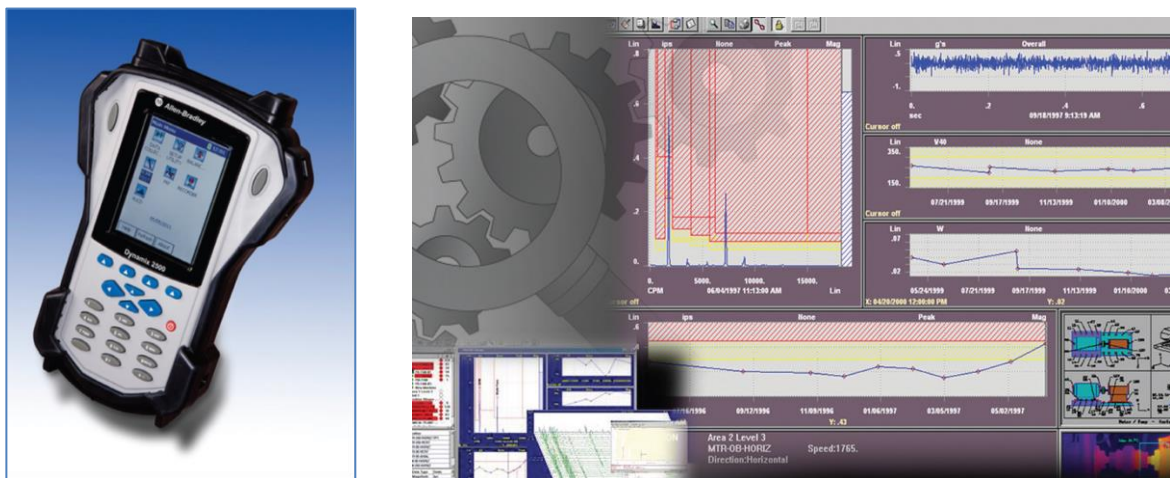
Con una capacidad de memoria virtualmente ilimitada, el colector de datos es compatible con el software líder en la industria.

6.1.2 Emonitor Enterprise de Rockwell Automation

Funciones avanzadas como la funcionalidad de dos canales y balanceo en dos planos lo hacen ideal tanto para el analista experimentado como para el principiante.

El Enpac 2500 utiliza la tecnología **Spike Energy** (Energía Pico) y **ESP** (Control de estabilidad) para una detección temprana del desgaste de cojinetes y otros posibles problemas relacionados con la lubricación y cavitación de la bomba. Esto también incluye un tacómetro láser interno patentado que permite al usuario tomar mediciones de velocidad y fase sin equipo adicional.

Figura 8: Equipo Emonitor Enterprise de Rockwell Automation



Fuente: www.rockwellautomation.com

6.2 EQUIPOS PARA SISTEMA EN LÍNEA

Mediante el sistema de monitoreo en línea podemos llevar la información de las condiciones de los equipos críticos, facilitando la gestión de los programas de operación, rutinas de mantenimiento y toma de decisiones de los ingenieros. Los sistemas en línea son dispositivos dedicados al monitoreo y protección de maquinaria de forma permanente, consisten en unos sensores fijos ubicados en los puntos estratégicos de las máquinas, tales como rodamientos y cojinetes,

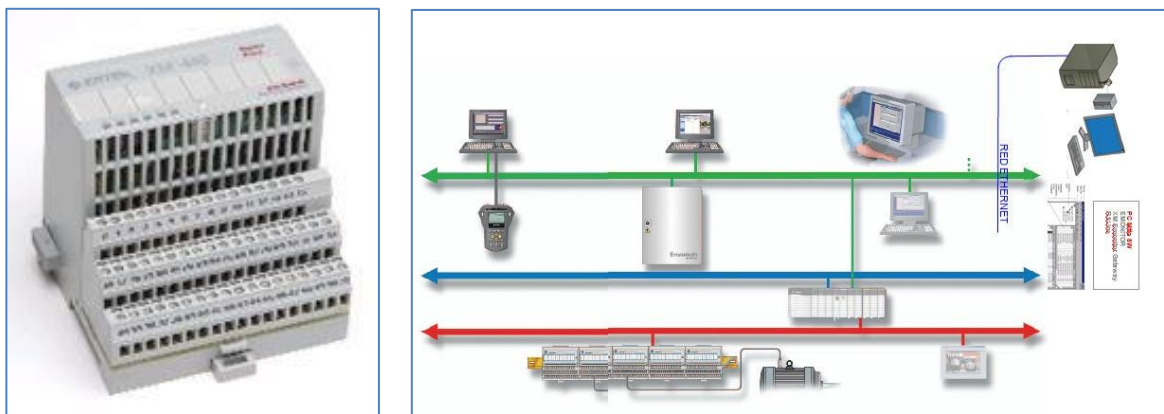
unos módulos de captura en tiempo real de datos y cables de señal que llevan esta información a una computadora o u cuarto de control de la planta. A continuación se muestran algunos de los principales modelos disponibles en el mercado.

6.2.1 Módulos de medición

Tiene atributos de escalabilidad e integración proporcionan beneficios incomparables, tales como ampliación paso a paso del sistema y conectividad con sistemas ya existentes. La serie líder en el mercado es la XM de *Rockwell automation*.

Todas las variables pueden ser llevadas a **ETHERNET** y **CONTROL NET** por medios módulos Gateway XM500.

Figura 9: Módulos de medición



Fuente: www.omlingeniería.com.co

6.2.2 DeviceNet

Es un protocolo de comunicación usado en la industria de la automatización para interconectar dispositivos de control para intercambio de datos. Éste usa *Bus CAN (Controller Area Network)* como tecnología *Backbone* (Principales conexiones troncales de Internet) y define una capa de aplicación para cubrir un rango de perfiles de dispositivos. Las aplicaciones típicas incluyen dispositivos de intercambio, dispositivos de seguridad grandes redes de control.

Figura 10: El *Backbone* está compuesto de un gran número de *routers*



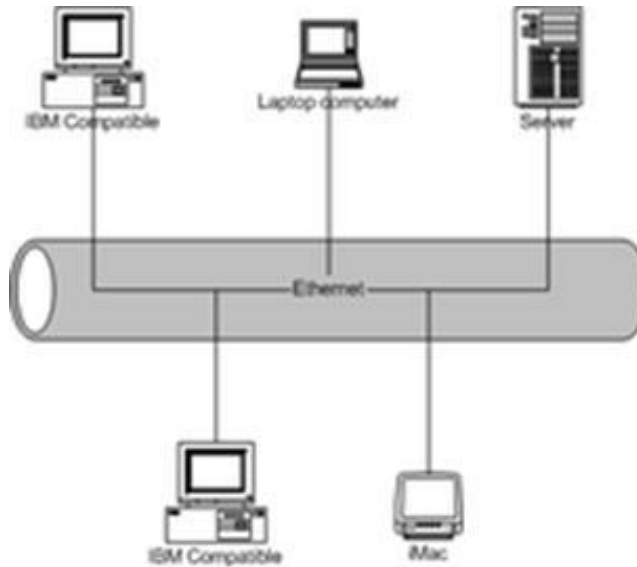
Fuente: www.wikipedia.com

Las principales características de estos equipos son los siguientes: Velocidad: 125kb, 250kb or 500 kb, Configurado como *Master* soporta hasta 63 módulos XM, Soporta Mensajería explícita, *polling* y COS, Soporta *Automatic Device Replacement* (ADR).

6.2.3 Ethernet

Es un estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones (CSMA/CD). Su nombre viene del concepto físico de *ether*. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI).

Figura 11: Red de área local.



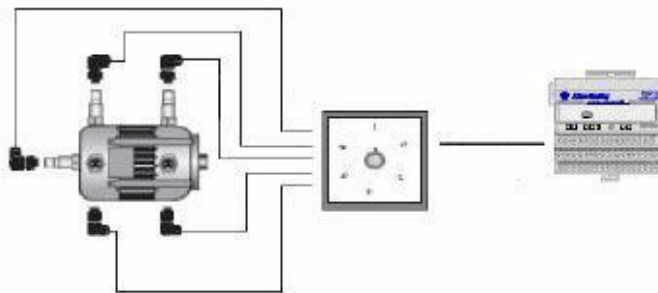
Fuente: www.wikipedia.com

Las principales características de estos equipos son: 10/100 BaseT Auto switching, Soporte DHCP/BootP y ARP para la configuración de IP, Soporta los protocolos de sistemas de control *Ethernet/IP* y *Modbus/TCP*.

6.2.4 Sensores

La Automatización de Rockwell ofrece una gama completa de sensores para supervisión y protección.

Figura 12: Sensores



Fuente: www.rockwellautomation.com

Diseñado para el empleo en una amplia gama de usos, varios tipos de acelerómetros incluyendo de alta frecuencia, baja frecuencia, alta temperatura, y sensores de especialidad ofrecen una variedad de gamas de frecuencia y se refieren sensibilidades para proporcionar la mejor selección para cada medida.

Figura 13: Sensores de alta Temperatura, Baja Frecuencia, Duales, Triaxiales, Propósito General.

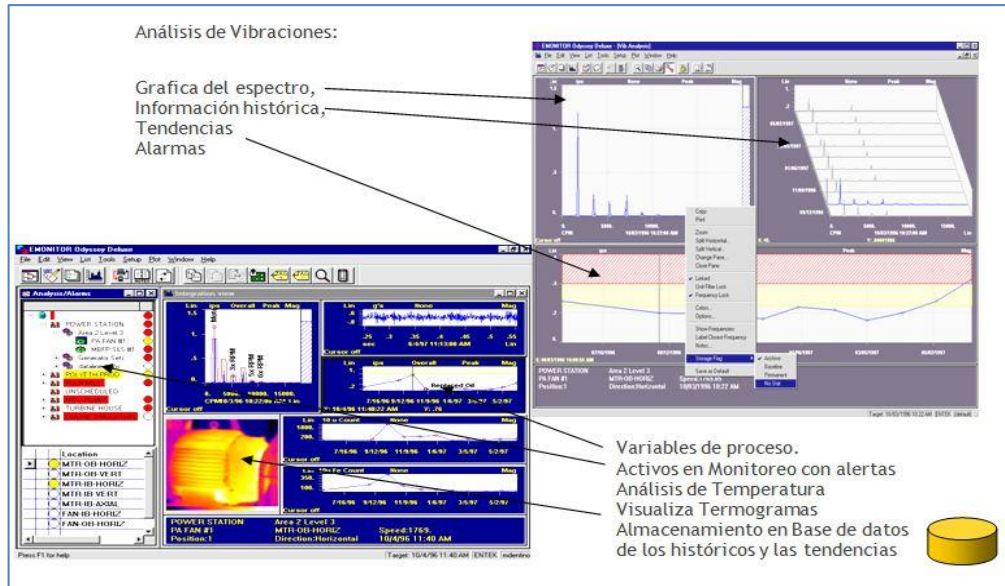
| |  9000A |  9000B |  9008 |  9010 |
|---|--|--|---|---|
| Model Name | General Purpose Accelerometer | Integral Cable General Purpose Accelerometer | Low Cost Integral Cable Accelerometer | General Purpose Accelerometer |
| Part Number | EK-437811 | EK-437821 | EK-462551 | EK-458901 |
| Data Sheet Number | GMSI10-TD001A-EN-E | GMSI10-TD002A-EN-E | GMSI10-TD032A-EN-E | GMSI10-TD031A-EN-E |
| Dynamic | | | | |
| Sensitivity | | | | |
| | English | | | |
| | 100 mV/g | | | 50 mV/g |
| | SI | | | |
| | 10.2 mV/(m/s ²) | | | 5.1 mV/(m/s ²) |
| Accuracy | +/- 5% | | +/- 20% | +/- 10% |
| Measurement Range | | | | |
| | English | | | |
| | +/- 50 g | | | 100 g |
| | SI | | | |
| | +/- 490 m/s ² | | | +/- 981 m/s ² |
| Frequency Response | | | | |
| +/- 5% | 1.2 - 5,000 Hz | 1.2 - 7,000 Hz | - | 1.2 - 5,000 Hz |
| +/- 10% | 0.87 - 8,000 Hz | | - | 0.85 - 7,000 Hz |
| +/- 3 dB | 0.43 - 10,000 Hz | 0.44 - 13,000 Hz | 0.5 - 10,000 Hz | 0.4 - 10,000 Hz |
| Resonance Frequency | 28 kHz | | 22 kHz | 30 kHz |
| Broadband Resolution (1 - 10,000 Hz) | | | | |
| | English | | | |
| | 300 µg | 75 µg | 350 µg | 400 µg |
| | SI | | | |
| | 2943 µm/s ² | 735.6 µm/s ² | 3434 µm/s ² | 3924 µm/s ² |

Fuente: www.omlingenieria.com

6.2.5 Software

El EMonitor es una completa herramienta de análisis y diagnóstico para Monitoreo basado en condición (MBC) que cuenta además con las siguientes características, genera graficas de espectro, almacena información histórica, tendencias y permite configurar alarmas.

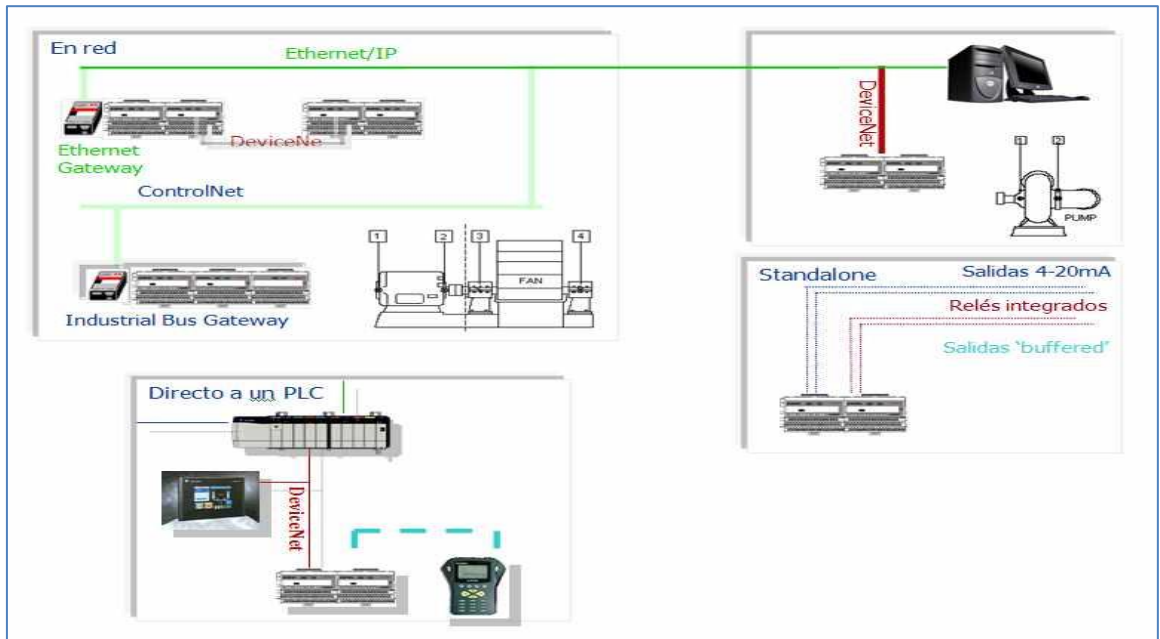
Figura 14: Herramienta de análisis y diagnóstico para Monitoreo



Fuente: www.omlingenieria.com

6.2.6 Rspowerplus (Comunicaciones)

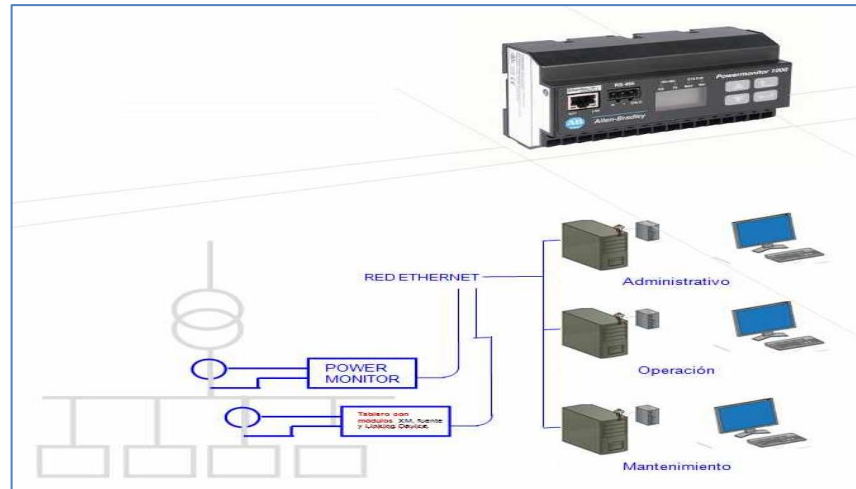
Figura 15: Rspowerplus



El Rspowerplus permite la comunicación entre los sensores de medición y la computadora o el cuarto de control, sus principales características son las siguientes:

- Simplemente señala y hace “click” para generar informes de configuración para uno o varios powermonitors.
- Acceso continuo a todos los datos de potencia desde su computador personal.
- Muestra sus datos en tiempo real en vistas opcionales que emplean unidades seleccionables de ingeniería para cada tipo de parámetro.
- Muestra información histórica almacenada dentro del power monitor.
- Seguridad Integral para restringir el acceso de usuarios no autorizados a los comandos del Power Monitor mientras que permite que todos empleen la información.
- RSPowerPlus contiene un servidor OPC/DDE y emplea la tecnología ActiveX para proveer información simultánea a muchos paquetes externos de software.
- Comunicaciones flexibles vía RSLinx para comunicar con otros power monitors.
- Visualiza toda la información eléctrica incluyendo el valor en facturación de sus plantas desde diferentes puntos.
- Configuración rápida y fácil, supervisando e integrando la información de potencia, organiza sus Powermonitors en un árbol gráfico para representar su configuración específica o ver los Powermonitors en una lista clasificada.
- Cargan y descargan los parámetros de configuración del Powermonitor desde su computador personal.
- Almacenan la configuración entera del sitio así como los datos individuales de cada monitor.

Figura 16: Esquema de implementación Rspowerplulus

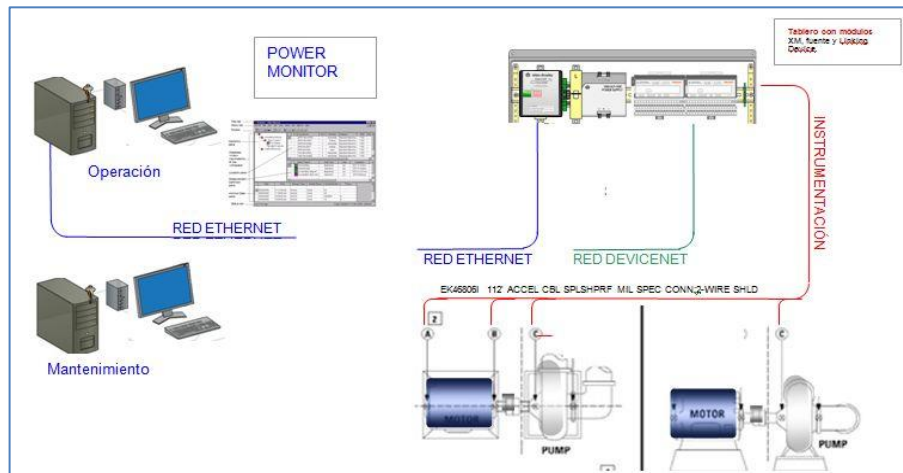


Fuente: www.omlingenieria.com

6.2.7 Esquema de Implementación de sistemas de monitoreo en línea.

La implementación de un sistema de monitoreo por condición en línea reduce los costos de operación, incrementa la eficiencia de las plantas, es decir, reduce el costo unitario por producción, mejora la productividad, protege los activos más críticos para el proceso, permite tomar decisiones en tiempo real y operar interrumpidamente.

Figura 17: Esquema de Implementación sistemas de monitoreo en línea



Fuente: www.omlingenieria.com

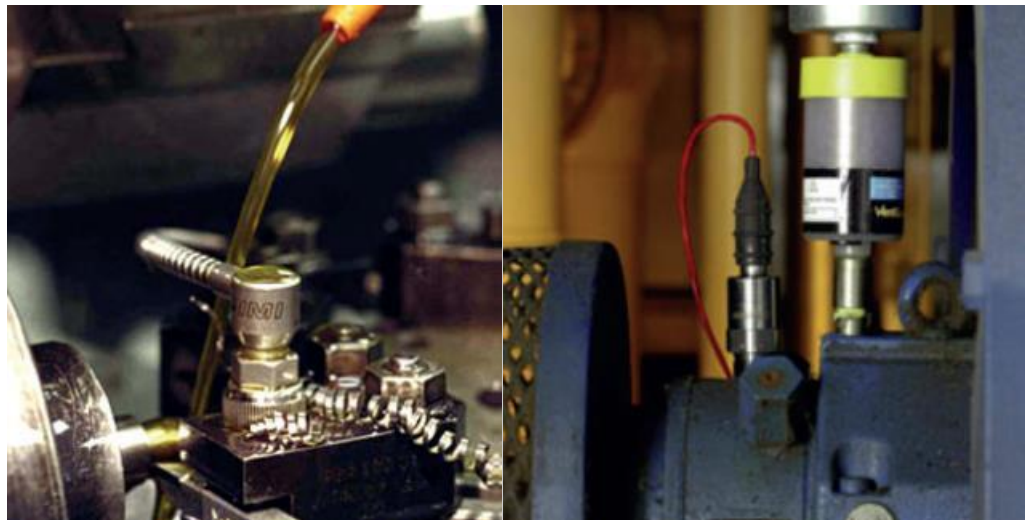
7 DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES EN LA EMPRESA MONÓMEROS

Durante la investigación se encontraron varias empresas a nivel nacional que prestan servicio de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas, venta de equipos y entrenamiento, con una amplia oferta de accesorios, software y hardware requerido para la implementación tanto de sistemas de monitoreo en línea como de ruta. A continuación un breve resumen de las más importantes.

7.1 OML INGENIERÍA

Es una empresa que cuenta con más de diez años de experiencia en el desarrollo de ingeniería, montaje y soporte técnico para sistemas de monitoreo de condiciones y protección para equipos rotativos en los sectores Minero, Energético, Cementero, Petrolero, de alimentos e industrial en general. Está basado en su experiencia y el conjunto de alianzas estratégicas con los mejores fabricantes de equipos de alta tecnología y proveedores de sistemas destinados a mejorar la infraestructura para realizar mantenimientos efectivos sin inversiones adicionales.

Figura 18: OML Ingeniería



Fuente: www.omlingenieria.com

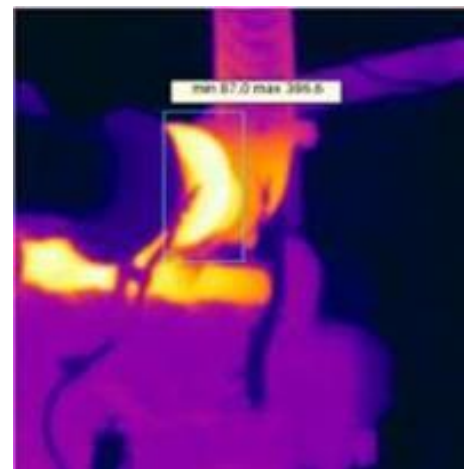
Figura 19: Talento humano de OML Ingeniería



Fuente: www.omlingenieria.com

OML ingeniería cuenta con un excelente talento humano que basado en experiencia, conocimiento en campo, más su permanente capacitación le permite contar con un verdadero conocimiento y herramientas para que sus activos tengan soporte total.

Figura 20: Equipos de vibración de OML Ingeniería



Fuente: www.omlingenieria.com

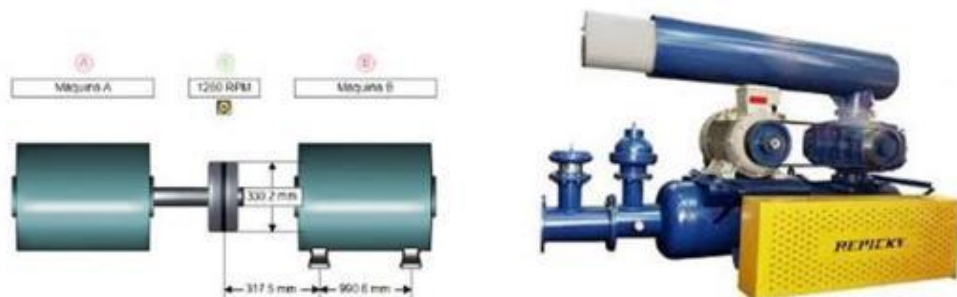
OML está ubicada en Bogotá, sin embargo su plataforma tecnológica y de comunicaciones permiten realizar acompañamiento permanente, adicional a las visitas y entrenamientos en distintas ciudades, le permiten tener presencia continua en Colombia, Perú y Ecuador. ¹

7.2 SEMAPI COLOMBIA

Es una compañía dedicada al servicio de mantenimiento predictivo usando las tecnologías de análisis de vibración, termografía y análisis de lubricantes. Además realizamos los siguientes correctivos: balanceo estático y dinámico, alineación laser de ejes y poleas, análisis de corriente en motor eléctrico y mediciones de flujo de presión en fluidos gaseosos.

Posee divisiones dedicadas a la fabricación de ventiladores industriales y sistemas de control ambiental, reparación y mantenimiento de compresores rotativos y reciprocantes y sopladores lobulares tipo *roots*, esta división diseña y fabrica soluciones de acuerdo a sus necesidades. Semapi tiene tecnología de punta para realizar todas estas actividades.

Figura 21: Equipos de vibración SEMAPI Colombia



Fuente www.semapi.com

Además de Ofrecer a sus clientes la más alta tecnología en servicios de mantenimiento predictivo por vibraciones, termografía, balanceo y alineación laser de ejes en sitio y asistencia en la ejecución de mantenimiento en sus etapas predictivas, preventivas y correctivas al sector industrial.

¹ Disponible en <http://www.omlingenieria.com/>

Ser la empresa más rentable de la industria manteniendo un crecimiento anual sostenido y ser reconocidos por la calidad de sus servicios de mantenimiento predictivo por vibraciones, termografía, balanceo y alineación laser de ejes a nivel nacional con los precios más competitivos del mercado.

7.2.1 Mantenimiento Predictivo

Semapi Ltda. Posee 15 años en mantenimiento predictivo industrial. Usa las técnicas análisis de vibración, termografía Certificación RUC-SSOMAC y sistema de aseguramiento de calidad ISO 9001 montado desde hace dos años y en proceso de certificación.

7.2.2 Análisis De Vibraciones

Los equipos realizan diversos estudios de vibraciones pudiendo determinar inconvenientes mecánicos en máquinas, así también estudiar vibraciones que sean nocivas para el cuerpo humano.

Figura 22: Toma de análisis de vibración por sistema de monitoreo en ruta

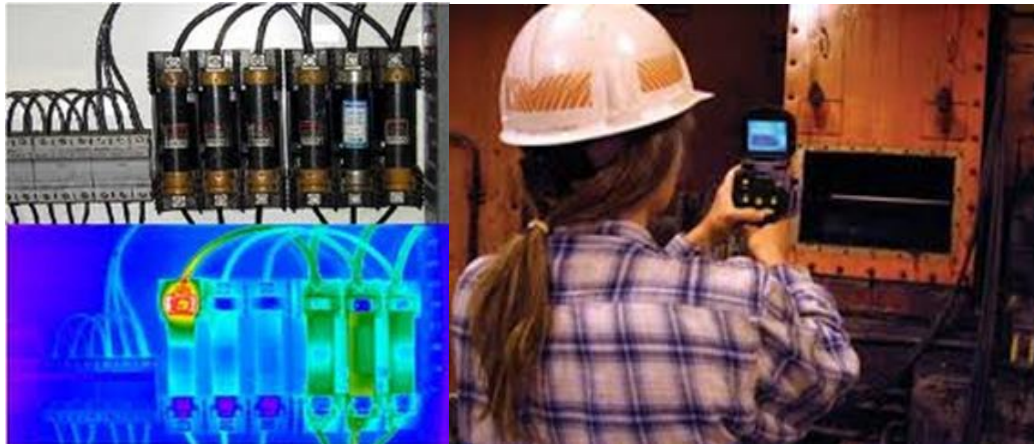


Fuente www.semapicolombia.com

7.2.3 Termografía Infrarroja

El Mantenimiento Predictivo Termográfico permite detectar fallas incipientes, permitiendo programar la reparación, sin detener los equipos efectúa estudios predictivos por medio de las imágenes térmicas de alta resolución.

Figura 23: Toma de muestra termográfica



Fuente www.semapiocolombia.com

7.2.4 Balanceo De Máquinas

Balancear máquinas de cualquier forma, tamaño y velocidad de operación en sitio o en banco con equipo electrónico de alta precisión.

7.2.5 Análisis De Corriente

Permite establecer la condición eléctrica de cualquier motor, no es necesario detener la maquina se puede diagnosticar fallas como desbalanceo, defectos en jaula de ardilla, excentricidad en rotor de armadura y desbalance magnéticos entre fases.

7.2.6 Alineación Laser

Realiza alineación laser de equipos horizontales y verticales, ejes o poleas con el más avanzado equipamiento y los operadores con más experiencia comprobable en el país. Utilizando los accesorios más modernos de medición y ajustes.

7.2.7 Mantenimiento Predictivo, Preventivo y Correctivo a Sopladores de Lobulos y Compresores Rotativos y alternativos

Este servicio se presta a cualquier tipo de compresores recíprocos rotativos y dinámicos y a sopladores tipo *root* independiente de la potencia y fabricante.²

7.3 SERVICIO INDUSTRIAL PRODUCTIVO TOTAL (SIPT)

La empresa servicio industrial productivo total (SIPT) inició en el año 2000, es una compañía dedicada a la prestación de servicios en plantas industriales, nació de la experiencia de más de 40 años de sus Ingenieros gestores y se encuentra comprometida con el mejoramiento continuo.

Figura 24: Empresa SIPT



Fuente: www.sipt.com.co

Su principal trabajo es brindar a las empresas servicios integrales de operación y mantenimiento de su infraestructura productiva, con filosofía de seguridad total para facilitarles que puedan hacer más y ser mejores en sus actividades.

El compromiso de SIPT es con la calidad, la seguridad, la responsabilidad social y ambiental, cumpliendo los requerimientos de sus clientes y la programación acordada.

² Disponible en <http://www.semapiocolombia.com/>

Aparte de ser líderes en la búsqueda de la actualización del conocimiento técnico y de sus clientes, generando desarrollo en sus empleados y socios.

La empresa SIPT ofrece un conjunto de acciones oportunas y continuas dirigidas a prever y asegurar el funcionamiento normal y la eficiencia de los sistemas mecánicos, eléctricos y de supervisión y de control. A continuación mostraremos los servicios que presta la empresa SIPT.

7.3.1 Mantenimiento

Servicio de mantenimiento mecánico, eléctrico, electrónico, de instrumentación y de obras civiles. Soportadas con recurso humano entrenado y tecnología de punta. Disponibilidad nacional e internacional.

7.3.1.1 Operación: servicio de operación de centrales de generación hidráulica y térmica, estaciones de bombeo y equipos de alimentación de carbón. Orientado bajo estándares internacionales.

7.3.1.2 Control fisicoquímico: servicio de análisis y tratamiento de aguas industriales, y potabilización de agua para consumo. Bajo altos estándares de calidad total.

7.3.1.3 Ingeniería de mantenimiento: servicio de análisis y evaluación de la gestión, los recursos y el alcance del mantenimiento mecánico, eléctrico y de instrumentación mediante el diseño de programas de mantenimiento que garanticen la eficacia de los equipos e instalaciones, así como el buen uso y su conservación.

7.3.1.4 Capacitación: servicios de capacitación, entrenamiento, OJT y certificado de competencia del recurso humano en operación y mantenimiento de centrales de generación, logrando altos indicadores de eficacia que unidos a la tecnología aumentan la efectividad de nuestros clientes.³

³ Disponible en <http://www.sipt.com.co/>

8 ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES EN LA EMPRESA MONÓMEROS

La implementación de todo sistema novedoso en una compañía implica incurrir en una inversión inicial de capital, en el caso del sistema mantenimiento predictivo por vibraciones se requiere la compra de equipos de medición, software y entrenamiento al personal. Para poder determinar la factibilidad de la implementación de un sistema de este tipo, el costo inicial debe ser comparado con el costo de la pérdida de producción por la falla inesperada de una máquina, su impacto en la seguridad de un proceso o en el medio ambiente. Con base en el mapa de riesgos de la compañía se puede establecer a cuales equipos es necesario instalarle sistemas de monitoreo en línea y a cuales se les puede hacer seguimiento mediante una ruta con un equipo portátil.

8.1 ANÁLISIS DE COSTOS PARA MONITOREO EN LÍNEA

Para implementar el sistema de monitoreo en línea es necesario definir en cuales equipos de la empresa se justifica su instalación, es decir, el impacto o la consecuencia de la falla de estas máquinas debe ser representativa en los costos de perdida por producción de la planta, generalmente son equipos que no cuentan con respaldo de un equipo stand by, o un spare. Definido lo anterior se requiere presupuestar los siguientes ítems:

Tabla 1: Listado de precios 2013 (OML ingeniería)

| EQUIPOS | Descripción | Qty | Precio Ext (USD) | Tipo |
|------------------|---|-----|------------------|---------|
| 1440-SDM02-01RA | 1440-SDM02-01RA: XM-124 Standard Dynamic Measurement Module | 1 | 2,023 | Equipos |
| 1440-VDRS06-00RH | 1440-VDRS06-00RH: XM-160 Overall Vibration Module (IEPE Accelerometers, AC Coupled Signals) | 1 | 1,420 | Equipos |

| | | | | |
|--------------------|---|---|-------------------|------------|
| 1440-TPR06-00RE | 1440-TPR06-00RE: XM-360 Process Module | 1 | 1,479 | Equipos |
| 9309-ODDX000ENF | EMonitor (Odyssey Deluxe) Factory Unlimited | 1 | 22,500 | Software |
| 1440-ACNR | 1440-ACNR: ControlNet adapter for 1440-DYN02-01RJ | 1 | 944 | Accesorios |
| 1788-EN2DN | 1788-EN2DN: Ethernet / IP to Devicenet Linking Device | 1 | 1,564 | Equipos |
| EK-43781I | EK-43781I: Model 9000A, General Purpose Accelerometer | 1 | 305 | Accesorios |
| EK-43794I | EK-43794I: Model 9100L, Low Frequency Accelerometer | 1 | 560 | Accesorios |
| EK-43807I | EK-43807I: Model 9150HT, High Temperature Charge-mode AccelerometerSystem | 1 | 1,695 | Accesorios |
| EK-43811I | EK-43811I: Model 9200AT, Combination Acceleration and Temperature Output | 1 | 671 | Accesorios |
| EK-46800I | EK-46800I: Splash Proof Cable Assembly, 16ft; 2-socket Connector to Blunt Cut; Twisted-shielded pair; Teflon Jacket | 1 | 197 | Accesorios |
| EK-46803I | EK-46803I: Splash Proof Cable Assembly, 16ft; 3-socket Connector to Blunt Cut; Shielded 3-Conductor ; Teflon Jacket | 1 | 218 | Accesorios |
| TOTAL (USD) | | | 33,575 | |
| TOTAL (COP) | | | 63,791,740 | |

En la siguiente figura se muestra el costo comparativo del software, equipos y accesorios requeridos para la implementación de un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones en línea. Se puede apreciar que el costo inicial de implementar el monitoreo en línea es de 33.575 USD, el cual está distribuido de la siguiente manera, el software tiene un porcentaje de 67% del valor total, el

costo de los equipos es de 19% y los accesorios un 14%. El alto costo del software se debe a las licencias requeridas y al grado de especialidad del mismo.

Figura 25: Costo de implementación sistema de línea

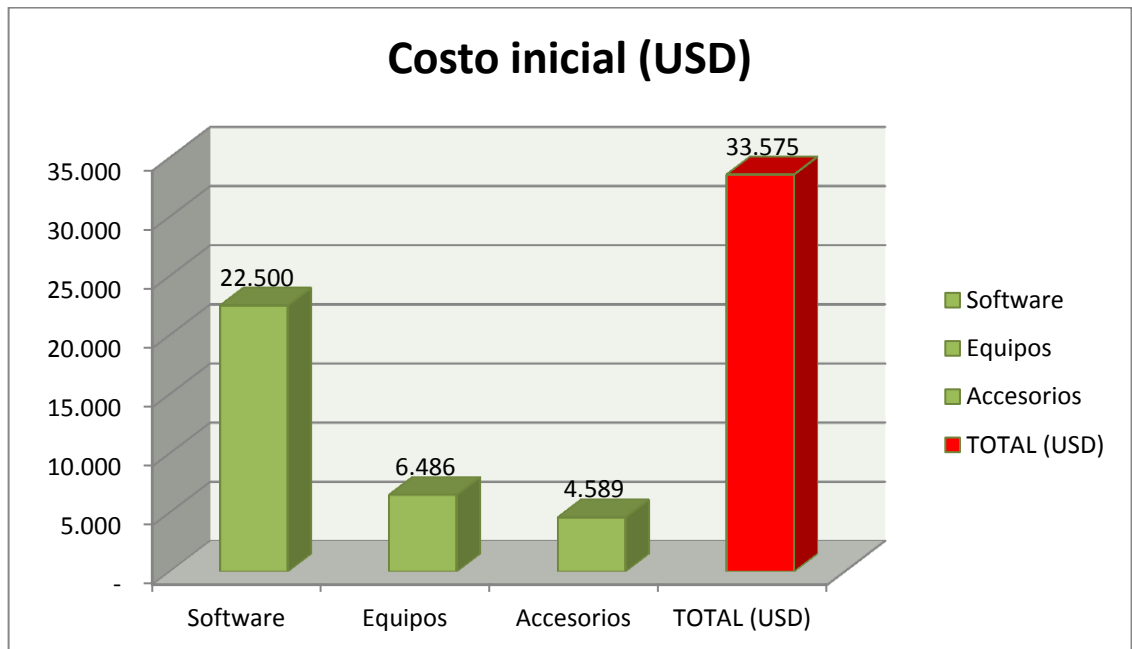
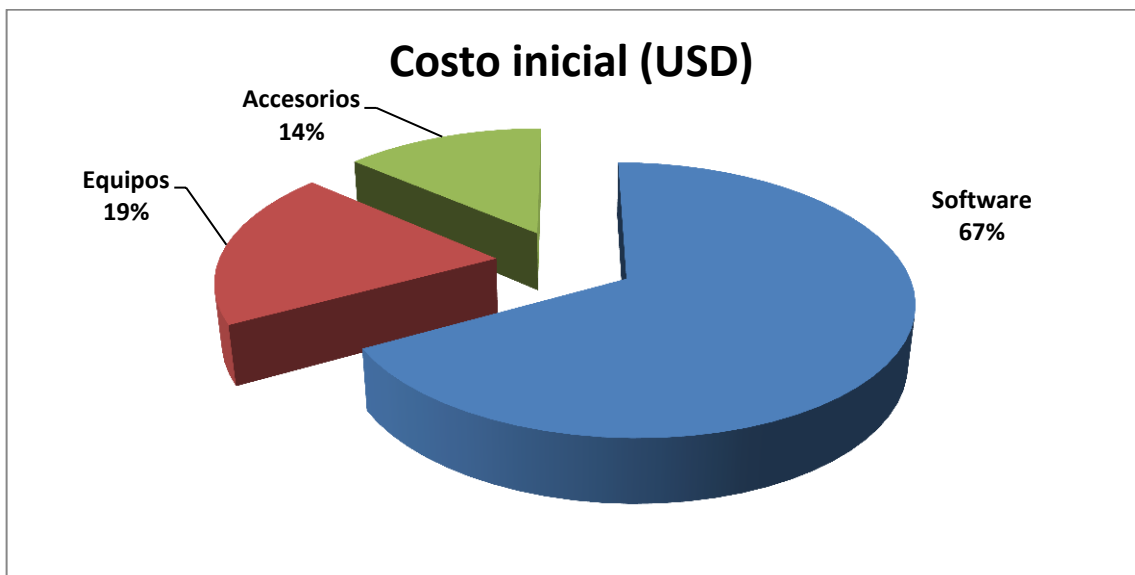


Figura 26: Porcentaje de implementación del monitoreo en línea



8.2 ANÁLISIS DE COSTOS PARA MONITOREO EN RUTA.

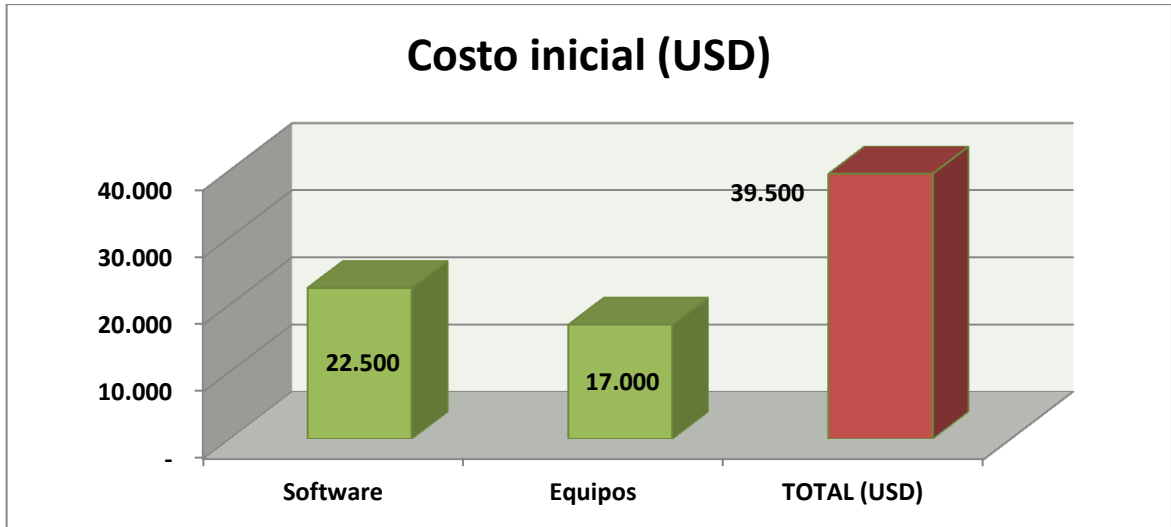
Para implementar el sistema de monitoreo en ruta es indispensable definir un programa de mantenimiento que especifique cuáles van a ser los equipos a monitorear, tales como bombas, motores eléctricos, sopladores, compresores, que especifique frecuencias de medición y valores de alarma para cada máquina. En cuanto a inversión inicial es necesario adquirir el equipo portátil y el software, cuyos costos se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 2: Listado de precios 2013 (OML ingeniería)

| Equipos | Descripción | Cantidad | Precio ext. (USD) | Tipo |
|---------------------|--|----------|-------------------|----------|
| 144 1-DYN25-Z-2C | Dynamix 2500 Data Collector | 1 | 17,000 | Equipos |
| 9309- ODDX000ENF | EMonitor (Odyssey Deluxe) Factory Unlimited | 1 | 22,500 | Software |
| TOTAL (USD) | | | 39,500 | |
| TOTAL (COP) | | | 75,050,000 | |

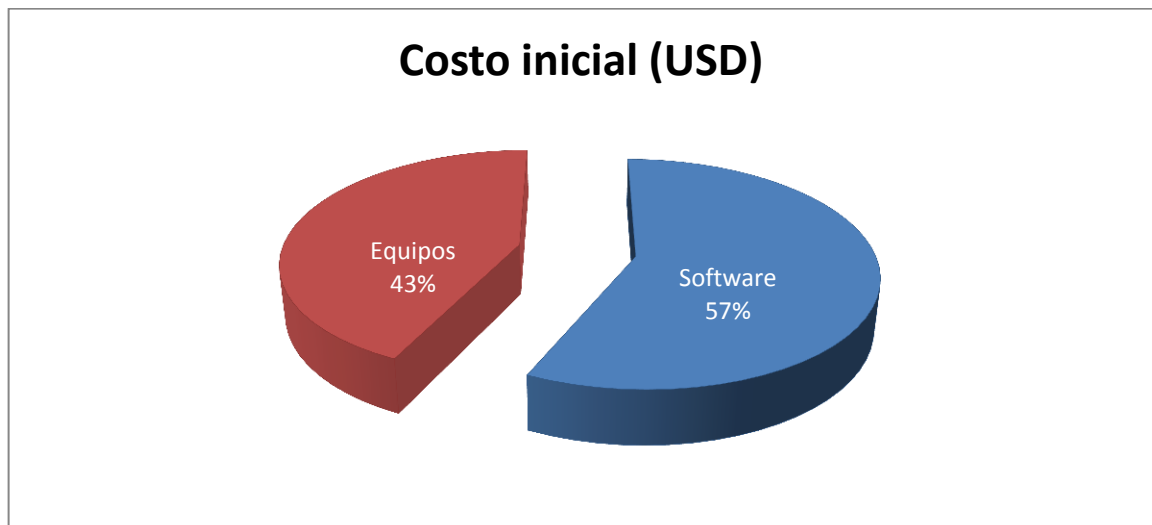
En la siguiente figura se muestra el costo comparativo del software y el equipo requerido para la implementación de un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones.

Figura 27: Costo inicial del monitoreo en ruta



La grafica anterior nos indica que el costo inicial de implementar el monitoreo en ruta es de 39.500 USD, el cual está distribuido de la siguiente manera, el software tiene un porcentaje de 57% del valor total y el costo de los equipos es de un 43%. El alto costo del software se debe a las licencias requeridas y al grado de especialidad del mismo.

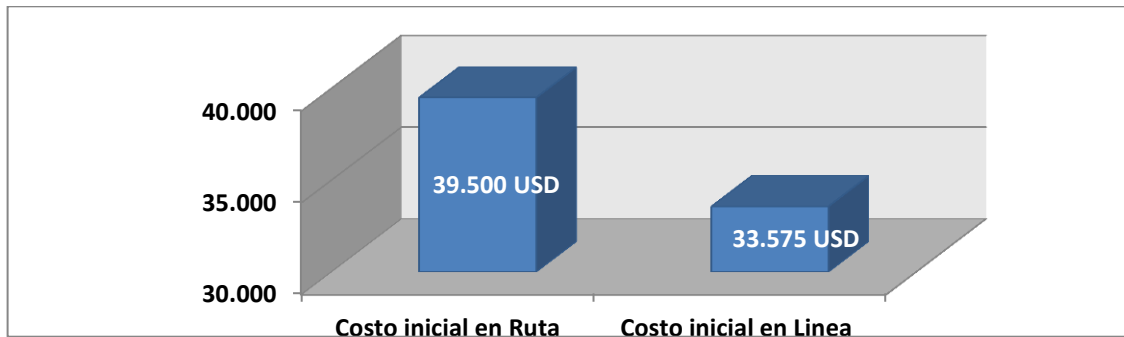
Figura 28: Porcentaje de costo del monitoreo en ruta



8.3 COMPARACION COSTO INICIAL EN RUTA VS EN LÍNEA

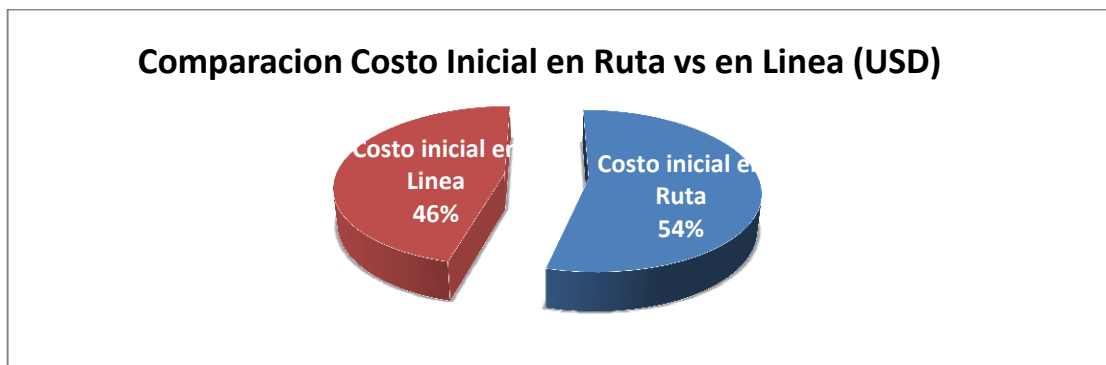
En la siguiente figura se muestra el costo comparativo del costo inicial de implementar monitoreo en ruta versus monitoreo en línea para un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones.

Figura 29: Comparación Costo Inicial en Ruta vs en Línea



La grafica anterior nos indica que el costo inicial de implementar el monitoreo en ruta es más alto que el de implementar un sistema de monitoreo en línea, debido a la gran cobertura que tiene, es decir, permite monitorear un mayor número de equipos e incrementar la confiabilidad de la planta en general. El monitoreo en ruta le suministra información valiosa sobre el estado de las máquinas a los Ingenieros de mantenimiento para la correcta toma de decisiones.

Figura 30: Comparación del costo inicial en ruta vs en línea



9 PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES EN LA EMPRESA MONÓMEROS.

El propósito de este procedimiento es establecer un soporte técnico y definir un método de desempeño para la ejecución de los trabajos de Medición de Vibraciones en la empresa Monómeros. Estas actividades se deben desarrollar bajo condiciones de eficiencia de seguridad, calidad y medio ambiente, evitando eventos que puedan ocasionar daños. Este procedimiento debe ser conocido y aplicado por el personal de la empresa Monómeros, el cual realizara trabajos en sus instalaciones.

Un preciso y constante seguimiento de las vibraciones de las máquinas proporciona un aviso previo a un fallo, lo cual puede evitar un paro repentino y disminuye los costos por cambios de elementos (partes) que todavía pueden continuar trabajando por más tiempo. Es por tanto una forma de mejorar la eficiencia de un mantenimiento preventivo. Teniendo en cuenta los altos costos por pérdida de producción, este tipo de mantenimiento puede llegar a ser de gran utilidad en las plantas.

A continuación se presenta el procedimiento que debe seguirse para la implementación adecuada de un sistema de mantenimiento predictivo por vibraciones, el cual consta de nueve pasos.



**7. RECOPIACIÓN,
REGISTRO Y
ANÁLISIS DE LAS
TENDENCIAS.**

- Se tratará de detectar un posible defecto en la máquina

**8. ANÁLISIS DE LA
CONDICIÓN DE LA
MÁQUINA**

- Se confirmará si existe realmente un fallo
- se determinarán sus causas y la evolución que pueden sufrir.

**9. CORRECCIÓN
DE FALLOS**

- Una medida de referencia con la que se compararán cada una que se tome para ver si está entre los límites de aceptabilidad.

10 INSTITUCIONES DISPONIBLES PARA ENTRENAMIENTO EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES EN LA EMPRESA MONÓMEROS

Durante esta investigación se encontraron varias empresas a nivel nacional que prestan servicio de entrenamiento de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas requerido para la implementación tanto de sistemas de monitoreo en línea como de ruta, las cuales son las mismas que se mencionaron en el capítulo de disponibilidad de equipos para la implementación: OML ingeniería, Semapi Colombia y SIPT. Estas empresas ofrecen el servicio de capacitación y entrenamiento en el uso de sus equipos como parte de los beneficios postventa. Sin embargo para entrenamiento de analistas de vibraciones el único Instituto que ofrece certificaciones a nivel internacional con sello ANSI es Vibration Institute, ubicado en Willowbrook, IL, USA.

Figura 31: Sede de Vibration Institute



Fuente: www.vi-institute.org

La misión del Instituto de la vibración es difundir información práctica sobre la evaluación de comportamiento de la maquinaria y la condición sin interés comercial. El Instituto ofrece programas que incluyen educación, capacitación,

certificación, oportunidades para el intercambio de conocimientos técnicos, información, procedimientos y datos que se ofrecen a través de reuniones, publicaciones, formación y redes. Michael Blake de Lovejoy, Inc. sintió que era necesaria una organización de científicos, ingenieros y otros profesionales que representan una amplia gama de industrias a las cuales les resulta útil compartir información sobre medición y análisis de vibración.

10.1 RESEÑA HISTÓRICA DEL INSTITUTO DE VIBRACION

1967 – Michael P. Blake organizó un simposio pequeño patrocinado por Lovejoy para intercambiar información sobre las técnicas que se utilizan para medir la vibración.

1972–Pat Hennessey, entonces Presidente de Lovejoy, asumió la responsabilidad y costo de la incorporación de la vibración no fines de lucro Fundación.

1973 – La fundación legalmente fue reorganizada en el *Vibration Institute*. Pat Hennessey, Mike Blake, Charlie Jackson y Ron Eshleman estaban entre la junta directiva original.

1993 - En abril de 1993 el Instituto desarrolló e implementó el examen para la categoría especialista en vibración I (actual analista de vibraciones categoría II).

1994 - En febrero de 1994 el Instituto desarrolló e implementó el examen para la categoría especialista en vibración II (actual analista de vibraciones categoría III).

1966- En junio de 1996 el Instituto desarrolló e implementó el examen para la categoría especialista en vibración III (actual analista de vibraciones Categoría IV).

2003 En enero de 2003 el Instituto hizo modificaciones los exámenes de certificación para alinear con ISO 18436-2. El Instituto desarrolló y actualmente aplica la categoría de Analista de vibraciones al examen.

2005 - En julio de 2005 el Instituto desarrolló e implementó el examen del equilibrio técnico especialista en categoría I.

2008 - En agosto de 2008 el Instituto desarrolló e implementó el examen de especialista en alineación de ejes categoría II.

2010 - En el 2010 el Instituto vibración recibe acreditación de la *American National Standards Institute* (ANSI) para el programa de certificación de Analista de vibraciones del Instituto (04 de marzo de 2010).

El Instituto ha cumplido sus metas proporcionando formación y certificación al personal de medición y análisis de vibración según procedimientos ISO/ANSI.

10.2 CURSOS DE FORMACIÓN

Los cursos de formación del *Vibration Institute* proporcionan oportunidades únicas para el estudio de principios de la vibración de una manera que va más allá de los libros de texto y proporciona aplicaciones del mundo real, estos cursos proporcionan procedimientos para agregar conocimiento práctico de las máquinas, ofrecen estudios de caso para ayudar a analizar diversos tipos de equipos; incluyen demostraciones y talleres que ilustran métodos para resolver problemas de vibración, los cuales han sido desarrollados utilizando el cuerpo de conocimientos compatibles con la norma ISO 18436-2 vibración Condición Monitoreo y diagnósticos, y cumplen los requisitos de la norma ISO 18436-3 para organismos de formación y el proceso de capacitación que define los requisitos para organismos que operan programas de entrenamiento en la condición de la máquina no invasiva, tecnologías de diagnóstico y corrección de monitorización.

Los cursos de formación del *Vibration Institute* hoy ofrecen los más altos estándares de conocimiento y competencia entre los profesionales en el campo de la vibración. Los cursos del Instituto se imparten por categorías que van de la I a la IV, para analistas de vibración que tienen amplio campo y experiencia en la industria y son los principales expertos en la industria de la vibración.

El Instituto de vibración otorga a unidades de educación continua (CEU) a los registrantes que completen exitosamente un curso de capacitación del Instituto. Uno CEU representa 10 horas de tiempo de clase y no es una marca de logro. Los cursos de capacitación, además de educación y experiencia, son parcial

preparación para la certificación examinación(s) dado el día siguiente a la finalización del curso de capacitación.

Tabla 3: Cursos recomendados como preparación parcial para los exámenes de certificación

| Categorías Análisis de Vibración | ISO 18436-2 recomienda experiencia para la elegibilidad de examen | Cursos Recomendados Como Preparación Parcial Para Los Exámenes De Certificación * ** | | | | | | |
|--|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | IVM | BVM | BMR | AVM | CVA | DMR | AVA |
| Categoría I | ≥ 6 meses | 1 | | | | | | |
| Categoría II | ≥ 18 meses | | 2 | | | | | |
| Categoría III | ≥ 3 años | | | 3 | 4 | | | |
| Categoría IV | ≥ 5 años | | | | | 5 | 6 | 7 |

* Un candidato no está obligado a tomar cursos de Instituto de vibración durante un examen de certificación, sin embargo le recomendamos tomar equivalente ISO 18436-3 compatible con clase.

** Los números muestran el orden recomendado para tomar cursos de VI.

www.vi-institute.org

10.2.1 Introducción al Análisis de Vibración en Maquinaria. (IVM).

Este curso prepara a los asistentes para realizar una variedad de maquinaria simple, con un canal de vibración y actividades de monitoreo de condición y diagnóstico, se recomienda para las personas como una introducción a las vibraciones de maquinaria y es preparación parcial para el examen de certificación de Analista de vibraciones categoría I. Los talleres y demostraciones, programadas a lo largo del curso, se utilizan para ilustrar la teoría y aplicaciones. A continuación mencionamos el contenido del curso:

Taller 1: Demostraciones de vibración y preguntas del taller

Introducción a la Maquinaria Vibraciones I, Física, unidades, propiedades, convenciones de medición, movimientos, amplitud, frecuencias, tiempo, frecuencia y dominios orbitales.

Taller 2: Definiciones, terminología, mediciones y demostraciones

Introducción a la Maquinaria Vibraciones II, Las medidas, conversiones, análisis, excitación, frecuencias naturales, resonancia y velocidad crítica.

Taller 3: Análisis de medición, Frecuencias naturales y demostraciones.

Introducción a la recopilación de datos, Observaciones físicas, sensores, frecuencia de tramos, medidas, desencadenando, montaje del sensor y ubicación, instrumentos.

Taller 4: Demostración de recogida de datos y preguntas del libro.

Introducción a la máquina conocimiento, fuentes, frecuencias, diseño y función de las máquinas. Introducción a la vibración prueba periódica y permanente monitoreo, análisis de máquina (falla y condición), pruebas de aceptación.

Taller 5: Vibración Prueba de vibración.

Introducción a la identificación de frecuencia de análisis de espectro y emparejar y procedimientos.

Taller 6: Análisis de espectro y demostraciones.

Introducción a la masa común de fallas de máquina desbalance, desalineamiento, flojedad, rodamiento de defectos y defectos eléctricos.

Taller 7: Análisis de fallas.

Introducción a criterios de severidad de vibración, procedimientos, cartas sobre las cubiertas, los ejes y cojinetes.

Taller 8: Severidad de vibración.

10.2.2 Conceptos Básicos de Vibraciones en Maquinaria (BVM).

Este curso prepara a los asistentes para realizar análisis de vibración de maquinaria básica en maquinaria industrial utilizando mediciones mono canal, con o sin señales desencadenantes, según los procedimientos establecidos y reconocidos, cubre lo básico de sensores, base de datos, configuración de colector de datos, recopilación de datos, procesamiento de señales, análisis de fallos y fundamentos del nivel de equilibrio. Es preparación parcial para el examen de certificación de analista de vibración categoría II. Los talleres y demostraciones,

programadas a lo largo del curso, se utilizan para ilustrar la teoría y aplicaciones. A continuación mencionamos el contenido del curso:

Taller 1: Vibraciones en Maquinaria.

Las vibraciones de la maquinaria básica I, período, frecuencia, amplitud, fase, medidas y conversiones. Las vibraciones de la maquinaria básica II, análisis, unidades básicas, las frecuencias naturales, frecuencias forzadas, resonancia, velocidad crítica y amortiguación.

Taller 2: Vibraciones básicas

Configuración básica de recopiladores de datos que medida de selección; vanos de frecuencia, el tiempo, la frecuencia, muestra orbitales, transductores, sondas de proximidad, acelerómetros, captadores ópticos, selección, ubicación y montaje.

Taller 3: Adquisición de Datos

Muestreo de datos, activación, selección de ventana, resolución, rango dinámico, y promedio. Técnicas de análisis básico basado en las órdenes, análisis de espectro, frecuencia directa y las bandas laterales.

Taller 4: Procesamiento de Datos

Análisis de fallos operativos, velocidad de órdenes, balance de masa, desalineamiento, holgura, distorsión, desgastes, resonancia, desgaste de los rodamientos y las historias de casos. Engranaje y Análisis de rodamiento, los métodos de medición, frecuencias, las técnicas de análisis de Motores, ventiladores, bombas y conceptos básicos de frecuencias.

Taller 5: Análisis de Fallas.

Evaluación de la condición de la máquina, las medidas, procedimientos, tablas de severidad, y los ajustes de alarma.

Taller 6: Evaluación de condiciones.

Máquina de prueba, niveles de pruebas, pruebas de impacto, las pruebas de aceptación, Monitoreo periódico, Detección, configuración de alarmas, la frecuencia de la medición, tendencias e informes, equilibrio, aspectos fundamentales del equilibrio de un solo plano.

Taller 7: Análisis de Máquina

10.2.3 Balanceo de Maquinaria Rotativas (BMR).

Este curso cubre uno y dos planos de técnicas de balanceo para rotores tanto rígidos como flexibles. Incluye tanto balanceo en campo y en taller. Se incluyen temas como Pre-balanceos de válvulas cheques, coeficientes de influencia, calidad del balanceo y tolerancias, pruebas de desbalanceo residual y historias de casos son incluidos. Es preparación parcial para los exámenes de certificación de analista de vibraciones categoría III y IV. Los talleres y demostraciones, programadas a lo largo del curso, se utilizan para ilustrar la teoría y aplicaciones. A continuación mencionamos el contenido del curso:

Taller 1: Tópicos.

Aspectos básicos de balanceo de máquinas, Propósitos , fuerza de masa desbalanceada, causas , clasificación rotor , técnicas , equipos , controles pre - equilibrio , velocidades críticas, la selección de peso prueba y las trampas.. Técnicas de Equilibrio de un solo plano, métodos de vector de cuatro carreras, velocidades críticas, sensibilidad del balanceo, retardo de fase, la selección del peso de prueba, la división de peso, los criterios y las normas.

Taller 2: Balanceo de un solo plano

Ejercicios prácticos utilizando un kit de rotor, el método de vectores, balanceo de un solo plano; registrados pueden aportar un instrumento o utilizar el equipo del Instituto.

Taller 3: Balanceo de un solo plano

Métodos de vector de cuatro carreras, velocidades críticas, sensibilidad del balanceo, retardo de fase, la selección del peso de prueba, la división de peso, criterios y normas. Técnicas de Equilibrio en dos planos, coeficiente de influencia y métodos estáticos / pareja, métodos y calculadora gráfica

Taller 4: Balanceo en dos planos

Método estático en pareja, ejercicios en clase.

Taller 5: Balanceo en dos planos

Ejercicios de clase.

Taller 6: Coeficientes de balanceo en dos planos

Ejercicios de clase: balance de Turbina y generador, procedimientos, métodos estáticos dobles , método de coeficiente de influencia , selecciones de nivel / sensor, estrategia para menos carreras, balanceo de rolo, la colocación de peso , velocidad crítica , los efectos del arco, equilibrio de fan, técnicas de equilibrio (de uno y dos planos) , ventiladores radiales , sensibilidad , balance de velocidades críticas , historias de casos, técnicas de Equilibrio, equilibrar los procedimientos de la máquina y de calibración, historias de casos, el balanceo en campo, procedimientos , estrategias y trampas.

10.2.4 Análisis de Vibración en la Maquinaria (AVM).

Este curso proporciona más discusiones en profundidad de la onda de tiempo mono canal, técnicas de análisis de fase para la evaluación de maquinaria industrial. Incluye pruebas, evaluación de la severidad de la máquina, uso de desmodulación y HFE técnicas, dinámicas básicas del rotor, ODS básica y simpleplano de balanceo. Este curso es preparación parcial para el examen de certificación de vibración Analista categoría III. Los talleres y demostraciones, programadas a lo largo del curso, se utilizan para ilustrar la teoría y aplicaciones. A continuación indicamos el contenido del curso:

Taller 1: Técnicas de análisis de vibración en Maquinaria.

Análisis de frecuencia y tiempo, uso y análisis de tiempo, análisis FFT, modulación, pulsaciones, pulsaciones, bandas laterales, la forma del espectro, las señales sincrónicas y asincrónicas, historias de casos.

Análisis de orbita y fase, análisis y medición de fase, evaluación de la órbita, las reglas de circuitos.

- Pruebas de Velocidad Crítica y Resonancia.

Diagramas de interferencia, configuración del analizador para pruebas de impacto y transitorios, procedimientos de prueba, evaluación del diagrama polar, historias de casos.

- Evaluación de Condición de Máquinas.

Criterios, niveles, acciones de mantenimiento, normas, evaluación de la banda global, forma de la onda, espectro, orbita, tiempo, ajuste de alarmas y ejemplos.

- Control básico de vibraciones.

Aislamiento, amortiguación, eliminación de resonancia, conceptos, hardware, bases y pedestales.

- **Técnicas de balanceo en Campo.**

Simple plano, tamaño, peso y ubicación, sensibilidad del balanceo, y retardo de fase.

Taller 2: Ejercicios de Balanceo

Taller 3: Corrección y Control de vibraciones.

- **Monitoreo de condiciones**

Objetivos, desarrollo de programas, monitoreo periódico y permanente, técnicas alternativas.

- **Análisis del elemento rodante.**

Técnicas analíticas, identificación de defectos en rodamientos, corrosión, fatiga, despacho, excesiva holgura, falta de lubricación, métodos de modulación y evaluación de condiciones.

- **Funcionamiento Diagnóstico velocidad**

Desbalanceo, inestabilidad subsíncrona, problemas de acoplamiento, desalineación, holgura mecánica, arco del rotor, resonancia, película de fluido en cojinetes y evaluación de la condición.

- **Bombas, Ventiladores, Sopladores y Compresores**

Bomba de impulsión / cuerpo / tuberías de vibraciones, frecuencias naturales, holguras, recirculación, cavitación, curvas de rendimiento, impulsores, ejes, cajas, bases aisladas, tuberías, conductos, la resonancia estructural y acústica.

Taller 4: Análisis de la máquina

- **Diagnóstico de motor y generador.**

Mecanismos, medición de vibración y corriente, fallas del estator y rotor, eje de rotor fracturado, variación del entrehierro y motores de velocidad variable.

- **Engranajes y reductores**

Análisis y medición, agrietado, fracturado, picaduras en dientes, evaluación del reductor.

Taller 5: Fallo y Condiciones

Ejercicios.

10.2.5 Control de Vibración Avanzada (CVA).

Este curso está dirigido a resolver problemas complejos de vibraciones transitorias y forzadas, resonancia, aislamiento y amortiguación, balanceo en campo y taller. Es preparación parcial para el examen de certificación de vibración Analista Categoría IV. Talleres y demostraciones, programadas a lo largo del curso, se utilizan para ilustrar la teoría y aplicaciones. A continuación indicamos el contenido del curso:

Taller 1: Vibraciones Transitorias.

- Vibraciones libre transitorias

Vibraciones libres amortiguada y no amortiguada, pruebas de impacto y cálculo de la frecuencia natural.

- Vibraciones forzadas

Respuesta constante y desbalanceada, análisis de amortiguación, respuesta en base al movimiento, velocidades críticas, modos, respuesta a la masa desbalanceada, arco rotor, efectos giroscópicos, efectos de torsión, el apoyo y la rigidez del rotor asimetría, rotor agrietado, histéresis y fluido atrapado. .

Taller 2: Vibraciones forzadas.

- Métodos de control de vibraciones

Aislamiento, puesta a punto, amortiguación, selección del aislante, diseño de absorción dinámica e historias de casos.

Taller 3: Control de Vibración

Taller 4: Rodamientos

- Técnicas de equilibrio estático / Pareja
- Técnicas, estrategia, pruebas transitorias, los métodos estáticos / pareja, y los límites de equilibrio.

Taller 5: Análisis de vibración avanzada, Dinámica del rotor y límites del balanceo.

10.2.6 Dinámica y Modelación Práctica De Rotores (DMR).

Este curso enseña ambos métodos tanto teórico como práctico de modelación de sistemas rotativos usando elementos rodantes. Es preparación parcial para el examen de certificación de vibración Analista Categoría IV. Los talleres y demostraciones, programadas a lo largo del curso, se utilizan para ilustrar la teoría y aplicaciones. A continuación indicamos el contenido del curso:

Taller 1: Rotor Dinámico

- Introducción a la dinámica de rotores, tipos de rotor, frecuencias naturales, modos, velocidades críticas, arco rotor, efectos giroscópicos, torque, r asimetría del rotor rígido, rotor agrietado, inestabilidades, acoplamiento cruzado aerodinámico.
- Vibraciones transitorias y forzadas como relacionadas al rotor Dinámico.

Taller 2: Revisión de Rodamientos

Fundamentos básicos de lubricación, diseño y dinámica de los rodamientos.

- **Las inestabilidades del rotor y rodamientos**

Acoplamiento cruzado aerodinámico, histéresis y la inestabilidad paramétrica.

- **Modelación del rotor y rodamiento**

Técnicas de modelación, masa discreta, modelos de rigidez, modelos de parámetros distribuidos, elementos rodantes, rigidez y amortiguación de la película de fluido, ubicación de la masa, interfaz del programa de la computadora y los ejemplos.

Taller 3: Modelación

- **Cálculos simples de ingeniería**

Rigidez, masa, coeficientes de influencia, fórmulas de frecuencias naturales, y los ejemplos.

Taller 4: Frecuencia Natural y respuesta al desbalanceo

- **Técnicas de cálculo por computador**

Aplicación de modelos a programas de computador, fuerzas y amortiguación.

Taller 5: Modelación y Computación

- Modelo de Validación de Rotor dinámico.
- Pruebas transitorias, pruebas de dos canales y aplicaciones.

- Análisis de vibración avanzada y revisión del Control de la Vibración avanzada.

10.2.7 Análisis de Vibración Avanzada (AVA).

Este curso enseña una amplia gama de técnicas de análisis vibración avanzada tales como análisis de dos canales, procesamiento de señal avanzada, frecuencias naturales, análisis modal, aislamiento y amortiguación. Es preparación parcial para el examen de certificación de vibración Analista Categoría IV. Los talleres y demostraciones, programadas a lo largo del curso, se utilizan para ilustrar la teoría y aplicaciones. A continuación indicamos el contenido del curso:

Taller 1: Procesamiento de Señales.

- **Introducción a la FFT (Transformada rápida de Fourier)**

Convertidores A/D, rango dinámico, grupos de procesos de la FFT, promedio y superposición.

- **Procesamiento de Señales**

RMS (media cuadrática), señales coherentes y no coherentes, detección de pico, suma de vectores, filtros de ruido, relación señal de ruido a señal, y los cálculos de FFT.

- **Demostración de Señal / Ruido**

Taller 2: Principios básicos de FFT (Transformada rápida de Fourier) y filtros.

- **FFT Temas**

Taller 3: Señales continua, Ventanas, Resolución

- **FFT Precisión**

Áreas de los lóbulos laterales; precisión rectangular, resolución de ventanas, orden de los espectros, corrección de la amplitud y la frecuencia localizada del recipiente.

Taller 4: Función de Ventana y Orden de los espectros

- **Pulsaciones y modulaciones**

El dominio del tiempo de las señales digitalizadas, pulsaciones, modulación AM y FM, señales portadoras suprimidas y envolventes, historias de casos.

Taller 5: Pulsaciones y modulaciones

- **Promedio de Series de tiempos**

Sintetizadores de frecuencias, promedio de una señal y ruido, promedio de dos señales, tiempo promedio de los efectos sincrónicos de los defectos y modulaciones, archivadores digitales y la FFT e historias de casos de promedios de tiempos sincrónicos.

.

Taller 6: Promedio de Series de tiempos

- **Fundamentos del canal doble.**

Métodos de prueba, funciones de transferencia, coherencia, modelos de masa resorte, pantallas reales e imaginarios, aspectos básicos de modelados y aspectos de desviación en operación.

- **Introducción a la transformada de Hilbert.**

Taller 7: Análisis del canal doble

- **Cálculo y Medición de amortiguación.**

Potencia media, Graficas reales o imaginarios, pendiente de cambios, datos de cascadas y las demostraciones.

Taller 8: Medición de la amortiguación

- **Prueba modal**

Pruebas, análisis, frecuencias naturales, amortiguación y modos.

- **Medidas estructurales**

Bombas verticales, soportes de máquinas, cables de fase, álabes de turbinas y ventiladores, resonancia axial de los motores con rodamientos.

10.2.8 Alineación De Ejes

Este curso se discutirán la importancia de la alineación de ejes, compruebe descentrado, alinear dos piezas de maquinaria utilizando indicadores de caratula y revisar todos los equipos utilizados actualmente alineación y técnicas (por ejemplo láseres y sistemas electromecánicos). Material de otros cursos sobre análisis de vibraciones y cojinetes antifricción generalmente se interrumpió para complementar el contenido y ayudar a los asistentes en la comprensión de cómo afecta a la alineación de rendimiento de maquinaria general.

Para el curso de alineamiento básico se recomienda:

- Comprensión básica de maquinaria rotativa tales como: motores, bombas, engranajes, compresores, ventiladores, etc.

- Visto a alguien hacer la alineación, ellos mismos lo han intentado o han escuchado lo que la alineación es. Todos los asistentes registrados en el curso de alineación de ejes de categoría II recibirán lo siguiente:
- Libro Básico de alineación del eje 5ª edición ISBN: 978-0-9827806-0-2.
- Hornos alineación Self Study Guide 2ª edición adicionales muestra problemas y hojas •certificado de terminación •Prepares para la alineación del eje categoría II certificación examina.

Certificados Individuales a la categoría II son personal calificado que está certificado para realizar alineaciones de maquinaria industrial utilizando el método Radial inverso y Face Rim según los procedimientos establecidos y reconocidos. Personal certificado a la categoría II: de alineación de la máquina requieren todos los conocimientos y habilidades que se enumeran en el anexo A y deberá:

- ✓ Comprender las consecuencias perjudiciales de una mala alineación de máquinas rotativas.
- ✓ Comprender los métodos no intrusivos de detección de desalineación en el funcionamiento de la maquinaria rotativa (es decir, las inspecciones visuales, análisis de vibraciones, termografía y métodos.
- ✓ Ser competente en el uso y cuidado de las herramientas de medición e instrumentos básicos (por ejemplo, galgas, indicadores de línea y láser - sistemas de detección).
- ✓ Ser capaz de identificar las condiciones excesivas de salto;
- ✓ Ser capaz de identificar y corregir problemas en los pies suaves;
- ✓ Ser capaz de identificar la cepa tubería excesiva;
- ✓ Comprender las tolerancias de alineación y desalineación cómo se mide ;
- ✓ Métodos básicos alineación aproximada
- ✓ Realizar el método radial inversa;
- ✓ Llevar a cabo el método de Face-Rim.
- ✓ Aplicar los principios básicos de modelado matemático y gráfico para la alineación.
- ✓ Determinar las correcciones de alineación eficaces usando los métodos radiales y Face -Rim inversa. Comprender los conceptos.
- ✓ Todas las máquinas son móviles.
- ✓ Existe un número infinito de soluciones para cualquier condición de desalineación.
- ✓ Restricciones a la circulación deben ser tomados en consideración.
- ✓ La forma de superponer estas restricciones en el modelo de alineación.

- ✓ La forma de llegar a una solución de alineamiento que es eficaz y no destructiva de la maquinaria.
- ✓ Mantener registros de las tareas de alineación.
- ✓ Comprender y aplicar las prácticas de seguridad.

Todos los asistentes registrados en los diferentes cursos de formación de las vibraciones recibirán lo siguiente:

- ✓ Curso power points a color.
- ✓ Apuntes de clases.
- ✓ Talleres que contiene ejemplos, problemas de taller y el cuerpo de conocimiento encuentran en ISO 18436-2 del anexo A.
- ✓ Curso de guía de estudio examen de Capacitación.
- ✓ Calculadora y una regla.
- ✓ Certificado de finalización

Todos los cursos mencionados a continuación tendrán un horario de 8:00 a.m. y terminarán a las 5:00 p.m todos los días.

Se recomienda que los asistentes revisen el cuerpo del conocimiento encontrado en la norma ISO 18436-2 del anexo A, antes del curso de capacitación que se puede encontrar en www.vi-institute.org bajo la certificación.

11 ANALISIS DE COSTOS DEL ENTRENAMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN LA EMPRESA MONÓMEROS.

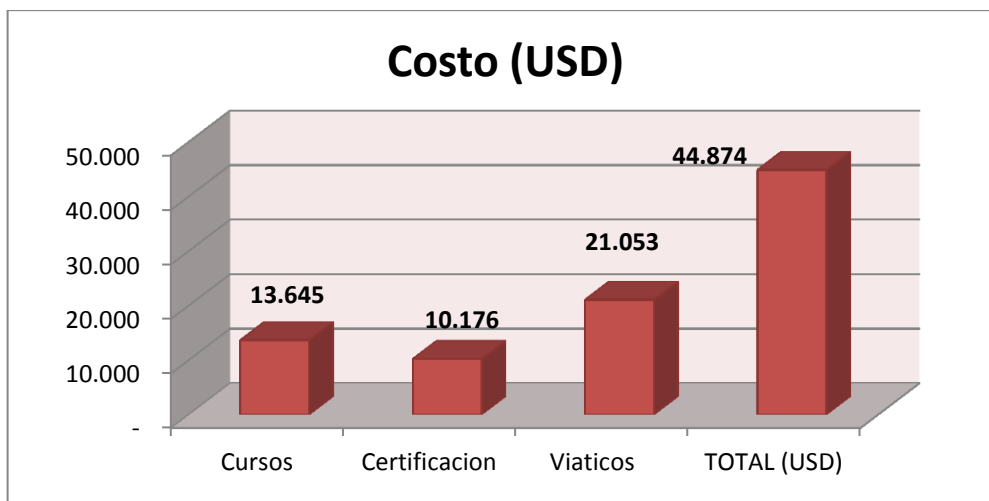
Para implementar el sistema del mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas es necesario definir los costos de entrenamientos, Certificación, viáticos (hotel, pasajes y permanencia), cuyos costos se encuentran en las siguientes tablas:

Tabla 4: Listado de precios total de la capacitación 2014 (Instituto de Vibración).

| ITEM | COSTOS (USD) | | | | | | | | |
|---------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|----------------------|
| | IVM | BVM | BMR | AVM | CVA | DMR | AVA | AE | TOTAL |
| CURSOS | 1,350 | 1,550 | 1,550 | 1,750 | 1,950 | 1,950 | 1,950 | 1,595 | 13,645 |
| CERTIFICACION | 1,375 | 1,375 | 1,625 | 1,375 | 1,376 | 1,375 | 1,375 | 300 | 10,176 |
| VIATICOS | 2,632 | 2,632 | 2,632 | 2,632 | 2,632 | 2,632 | 2,632 | 2,632 | 21,053 |
| | | | | | | | | TOTAL (USD) | USD 44,874 |
| | | | | | | | | TOTAL (COP) | \$ 85,259,900 |

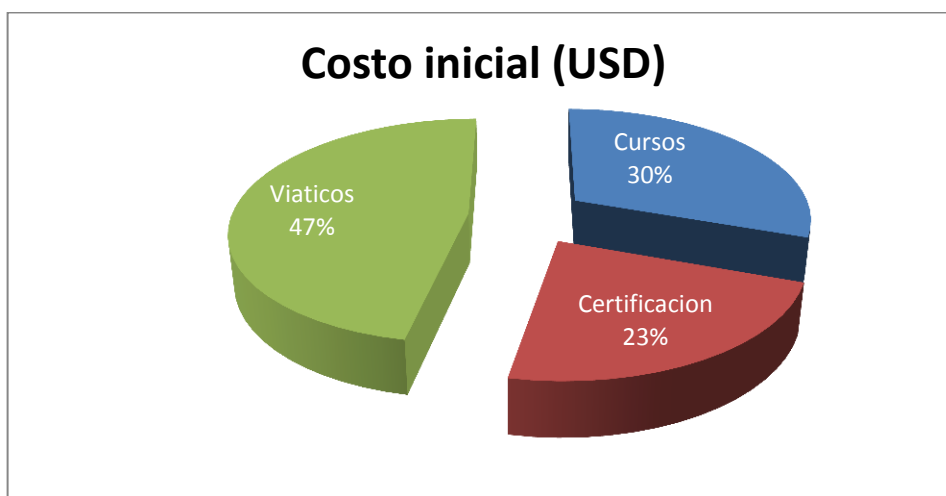
En la siguiente figura se muestra el costo comparativo de los cursos, certificación y los viáticos requerido para la implementación de un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones.

Figura 32: Análisis de costo entrenamiento



La grafica anterior nos indica que el costo total de entrenamiento es de 44.874 USD, el cual está distribuido de la siguiente manera, todos los cursos tiene un porcentaje del 30% del valor total, el costo de la certificación es de un 23% y el costo por concepto de viáticos es de un 47% del valor total del entrenamiento. El alto costo de los viáticos se debe a que es el único centro acreditado para este tipo de programas y este se encuentra por fuera del país, donde implica unos gastos adicionales como: pasajes, hoteles, taxi del hotel al lugar de entrenamiento y además este valor está incluido las 8 veces que hay que asistir a recibir la capacitación y realizar el examen de certificación.

Figura 33: Porcentaje comparativo del entrenamiento



12 COSTO TOTAL (EQUIPOS, ENTRENAMIENTO, ETC.) DE IMPLEMENTACIÓN DE ESTE SISTEMA EN LA EMPRESA MONÓMEROS.

12.1 ANÁLISIS DEL COSTOS TOTAL PARA MONITOREO EN LINEA.

En la siguiente figura se muestra el costo comparativo del software, equipos, accesorios y entrenamiento requeridos para la implementación de un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones en línea. Se puede apreciar que el costo inicial de implementar el monitoreo en línea es de 78.448 USD, el cual está distribuido de la siguiente manera, el software tiene un porcentaje de 29% del valor total, el costo de los equipos es de 8%, los accesorios un 14% y el entrenamiento tiene un porcentaje del 57%. El alto costo del entrenamiento se debe al gran cantidad de viajes que hay realizar al exterior (USA) para poder tener la certificación de la especialidad.

Figura 34: Costo total de implementación del monitoreo en línea (Incluye entrenamiento)

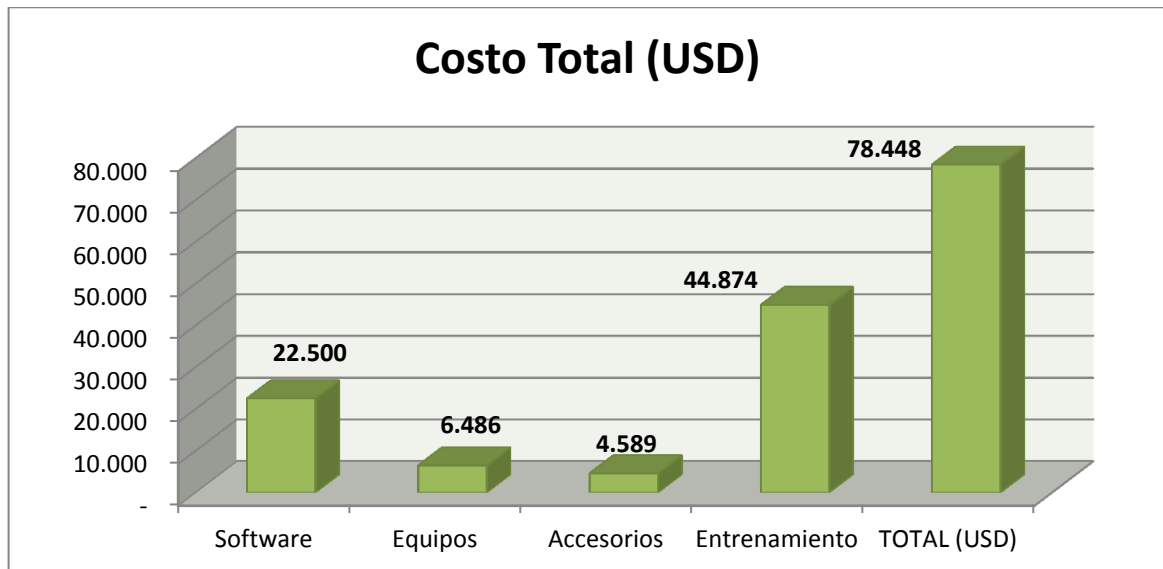
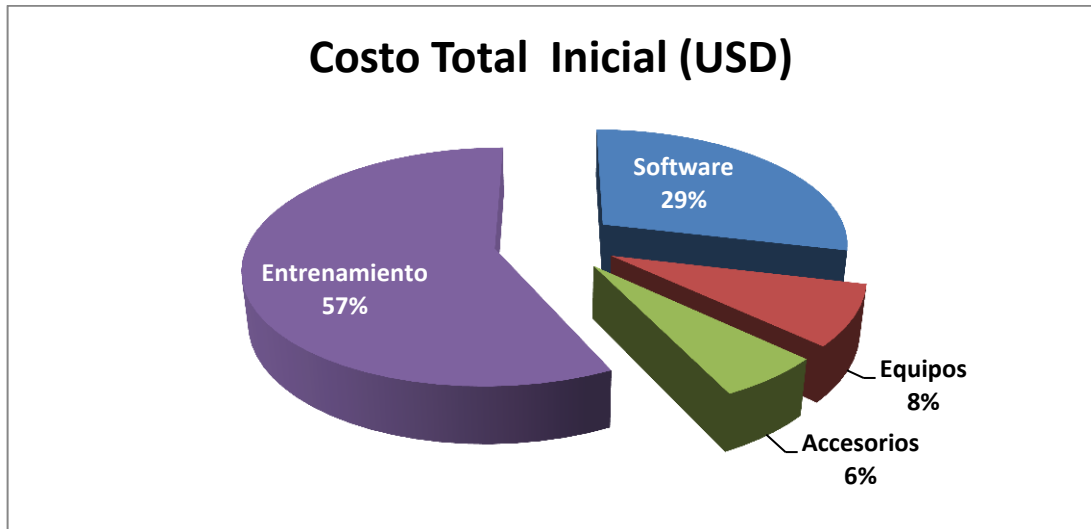


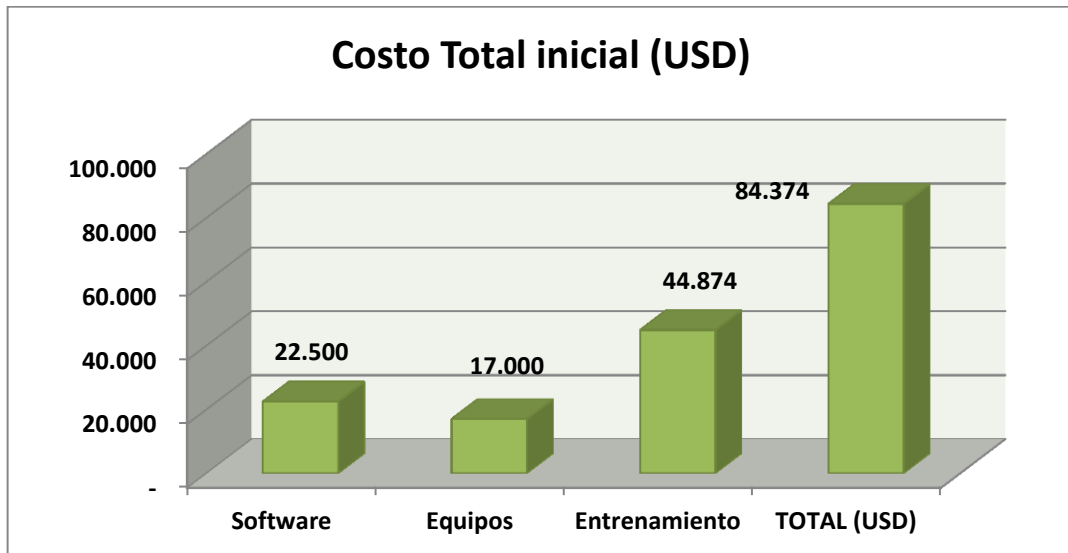
Figura 35: Comparativo del Costo total de implementación del monitoreo en línea (Incluye entrenamiento)



12.2 ANÁLISIS DEL COSTOS TOTAL PARA MONITOREO EN RUTA.

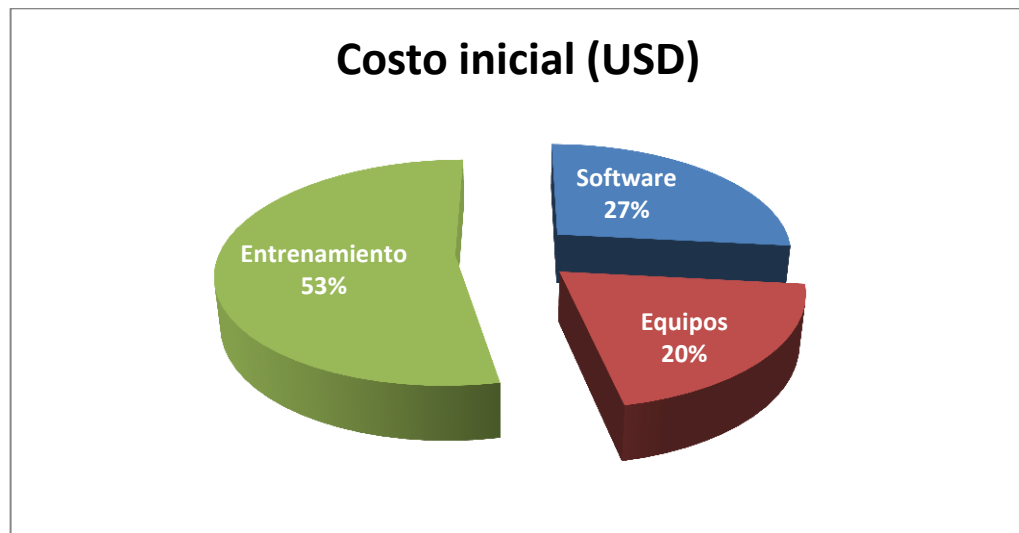
En la siguiente figura se muestra el costo comparativo del software, el equipo requerido y el costo total de entrenamiento para la implementación de un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones.

Figura 36: Costo total de implementación del monitoreo en ruta (Incluye entrenamiento)



La grafica anterior nos indica que el costo total incluyendo el entrenamiento de implementar el monitoreo en ruta es de 84.374 USD, el cual está distribuido de la siguiente manera, el software tiene un porcentaje de 27% del valor total, el costo de los equipos es de un 20% y el costo de entrenamiento es de 53%. El alto costo del entrenamiento se debe a la gran cantidad de viajes que hay realizar al exterior (USA) para poder tener la certificación de la especialidad.

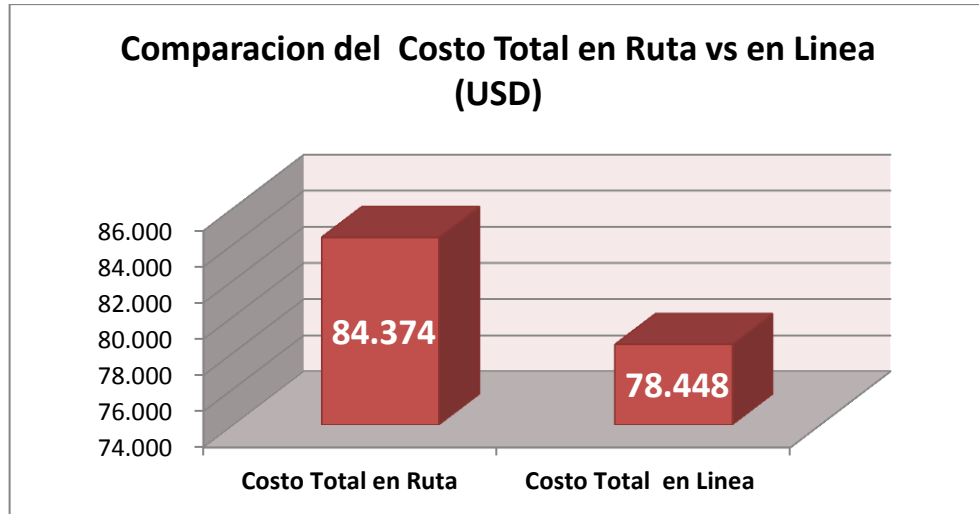
Figura 37: Comparativo del Costo total de implementación del monitoreo en ruta (Incluye entrenamiento)



12.3 COMPARACION COSTO TOTAL INICIAL EN RUTA VS EN LÍNEA.

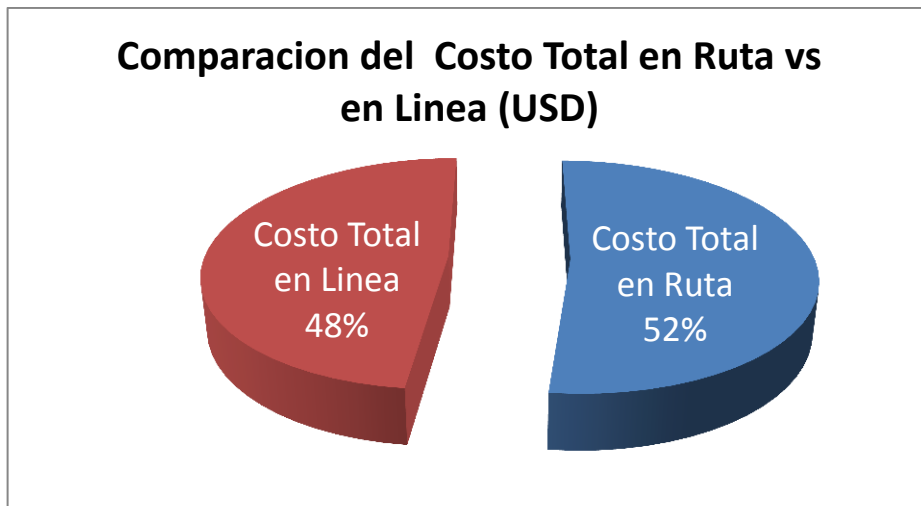
En la siguiente figura se muestra el costo comparativo del costo total inicial de implementar monitoreo en ruta Vs monitoreo en línea para un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones.

Figura 38: Comparación del Costo Total en Ruta vs en Linea



La grafica anterior nos sigue indicando que el costo total incluyendo el entrenamiento de implementar el monitoreo en ruta es más alto que el de implementar un sistema de monitoreo en línea, debido a la gran cobertura que tiene, es decir, permite monitorear un mayor número de equipos e incrementar la confiabilidad de la planta en general. El monitoreo en ruta le suministra información valiosa sobre el estado de las máquinas a los Ingenieros de mantenimiento para la correcta toma de decisiones.

Figura 39: Comparación del Costo Total en Ruta vs en Línea (Porcentaje)



13 ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO Y PRÁCTICO DEL MÉTODO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES EN LA EMPRESA MONÓMEROS.

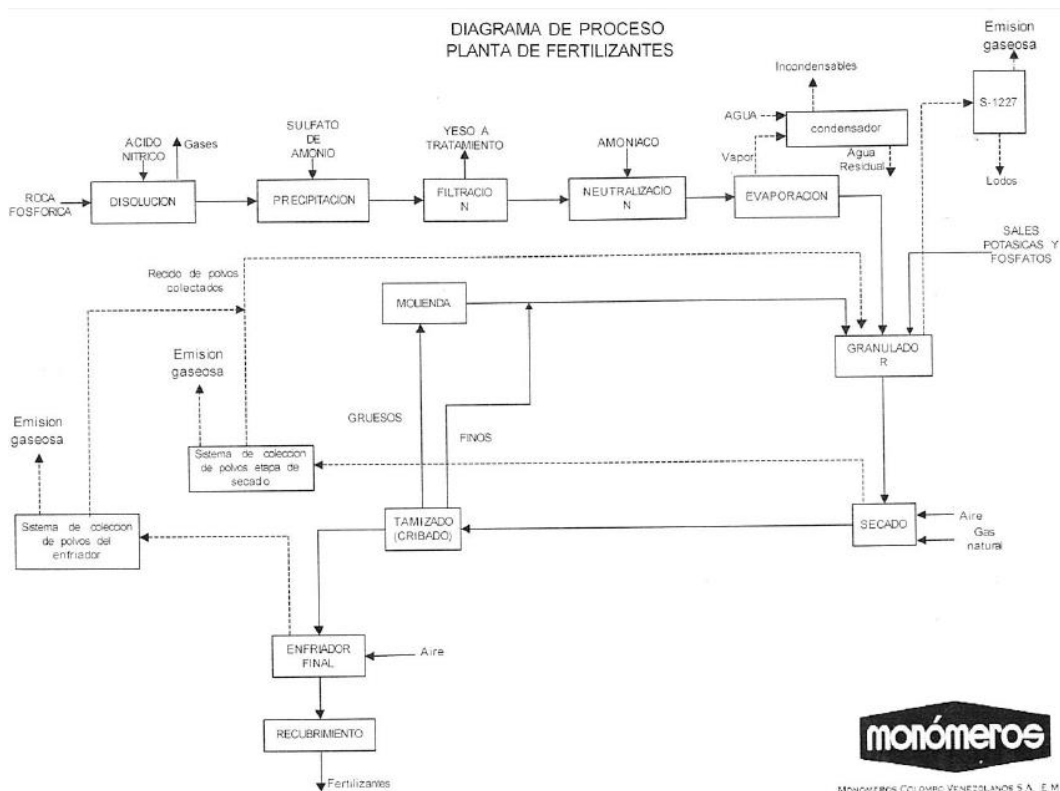
Para determinar la factibilidad de la implementación de un sistema de mantenimiento predictivo por vibraciones es necesario conocer el proceso detalladamente, identificar los equipos críticos productivos, analizar los costos iniciales de implementación versus los costos por pérdida de producción anuales y determinar por último en cuáles equipos se justifica la inversión, con el fin de optimizar los recursos de la empresa.

13.1 DESCRIPCIÓN GENERAL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA MONOMEROS.

La planta de fertilizantes produce una variedad de fertilizantes complejos granulados y mezclados, utilizando como materias principales: roca fosfórica, amoníaco, ácido nítrico, cloruro o sulfato de potasio, fosfatos de amonio, y sulfato de amonio, este último subproducto de la producción de caprolactama.

La planta de fertilizantes está dividida en dos secciones: zona húmeda y zona seca. La zona húmeda la conforman las etapas de disolución, precipitación, filtración, neutralización y evaporación; de la zona seca hacen parte las etapas de granulación, secado, tamizado, molienda, enfriamiento y recubrimiento de producto final.

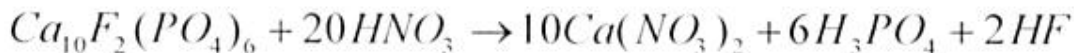
Figura 40: Diagrama de flujo Planta de fertilizantes en Monómeros



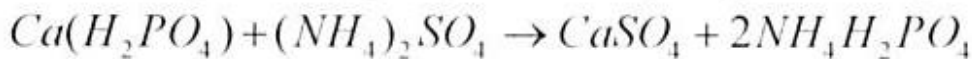
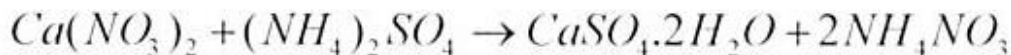
Fuente: Libro de descripción de proceso en Monómeros

13.1.1 Zona Húmeda.

Disolución: En la etapa de disolución la roca fosfórica reacciona con ácido nítrico obteniéndose principalmente una solución rica en ácido fosfórico y nitrato de calcio. La reacción principal es las siguientes:



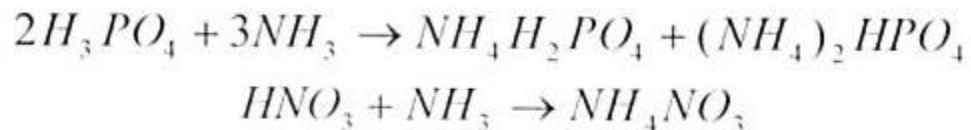
Precipitación: en la etapa precipitación, reacciona la solución proveniente de la etapa de disolución con una solución de sulfato de amonio, formándose nitrato de amonio, fosfato de amonio y un precipitado de sulfato de calcio (Yeso).



Filtración: Los productos obtenidos en la etapa precipitación se hacen pasar por un filtro en donde se separa la solución del sulfato de calcio (yeso) precipitado. La solución filtrada se envía a la etapa de neutralización y el yeso en forma de “slurry” es bombeado a la sección de tratamiento del yeso.

Neutralización: La solución filtrada, proveniente de la etapa anterior, se neutraliza con amoníaco hasta ajustar el PH y la relación nitrógeno / fosforo deseada.

Las reacciones que se producen son las siguientes:



Evaporación: La solución neutralizada es sometida a un proceso de evaporación hasta obtener un “melt” de sales concentradas con un 5 – 10% de humedad. Los vapores formados se condensan en un condensador barométrico utilizando agua clarificada, generando una corriente de agua residual que se envía al canal colector.

13.1.2 Zona Seca.

Granulación: Las sales concentradas obtenidas en las etapas de evaporación se envían a la etapa de granulación en donde entran en contacto con una fase sólida para formar los gránulos de fertilizantes. La fase solida está conformada principalmente por sales de fosfato y potasio en proporciones que varían de acuerdo con el grado que se desea producir.

Secado: El producto obtenido en la etapa de granulación es sometido a un proceso de secado con aire caliente, hasta reducir su humedad residual hasta 1.0 % máximo.

Tamizado: Posteriormente el producto seco se somete a un proceso de tamizado obteniéndose tres corrientes de producto; una corriente con producto grueso, otra con producto fino y la última con producto en especificación, es decir, con el tamaño de partículas apropiado para su venta.

Molienda: La corriente de gruesos se somete a un proceso de quebrantamiento para reducir su tamaño y junto con la corriente de finos se recicla a la etapa de granulación.

Enfriamiento y acondicionamiento del producto final: La corriente de producto en especificación se envía a la etapa de enfriamiento hasta obtener un fertilizante con temperatura adecuada para su manejo.

Posteriormente, se recubre con un talco mineral y un agente anticompactante para su posterior almacenamiento, empaque y comercialización como fertilizantes complejos granulados.

Colección De Material Particulado: Los gases calientes usados en la etapa de secado y el aire para el enfriamiento del fertilizante, se someten por separado, a un proceso de abatimiento del material particulado, en una bacteria de separadores ciclónicos, antes de su descarga a la atmosfera.

13.2 EQUIPOS CRITICOS DE LAS PLANTAS

Según la matriz de criticidad de la planta de monómeros los equipos cuya falla repentina origina una pérdida de producción son considerados altamente críticos. Estos equipos deben ser tratados con especial cuidado, sus mantenimientos preventivos deben ser cumplidos en su totalidad, cada falla debe ser analizada con la metodología RCA (análisis de causa raíz) y se debe garantizar su disponibilidad y confiabilidad.

Tabla 5: Listado de equipos críticos en la planta 12

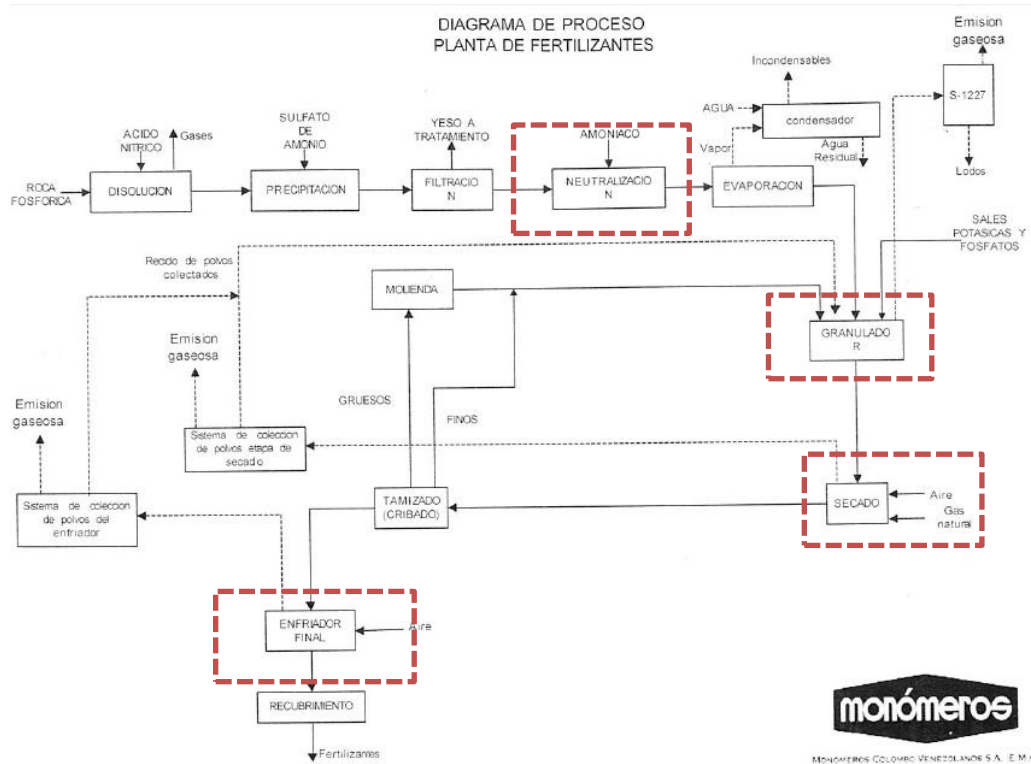
| ITEM | EQUIPO | NOMBRE | SECCION DE LA PLANTA |
|------|--------|------------------------------|----------------------|
| 1 | X1203 | Elevador a Zarandas | SECADO |
| 2 | B1206 | Extractor de Polvos | ENFRIAMIENTO |
| 3 | B1204 | Extractor de Polvos | SECADO |
| 4 | DX1212 | Tambor Enfriador de producto | ENFRIAMIENTO |
| 5 | DX1208 | Tambor Granulador | GRANULACION |

| | | | |
|---|--------|-----------------------------|----------------|
| 6 | B1212 | Soplador de gases | NEUTRALIZACION |
| 7 | DX1209 | Tambor Secador | SECADO |
| 8 | B1208 | Soplador de Aire Secundario | SECADO |
| 9 | B1209 | Soplador de Aire Primario | SECADO |

Fuente: Estudio criticidad empresa Monómeros

La sección de secado es la más crítica de la planta, cinco de los equipos críticos pertenecen a esta, cada falla no programada de uno de estos equipos origina por lo menos un (1) día de perdida de producción, por tal motivo es importante analizar la factibilidad de la implementación de un sistema de monitoreo en línea, con el fin de tener un seguimiento permanente y así poder evitar fallas no programadas.

Figura 41: Diagrama de procesos Planta 12



Fuente: Libro de descripción de proceso en Monómeros

13.3 ANALISIS DE COSTOS

En la siguiente figura se muestra el costo comparativo de la implementación de un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones en línea y en ruta versus el costo por perdida por producción. Se puede apreciar que el costo inicial de implementar el monitoreo en línea es de 78.448 USD, el costo en ruta es de 84.374 USD y el costo por perdida de producción es de 627.200 USD. El alto costo por perdida por producción se debe a que si las nueve (9) maquinas llegase a tener una parada no programada, la empresa perdería por día esa gran cantidad de dinero. Esto nos indica que si la empresa invierte en los dos monitores en línea y en ruta estaría mejorando la disponibilidad y confiabilidad de sus equipos, haciéndose más productivo y competitivo.

Figura 42: Costo comparativo de la implementación de un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones en línea y en ruta versus el costo por perdida por producción

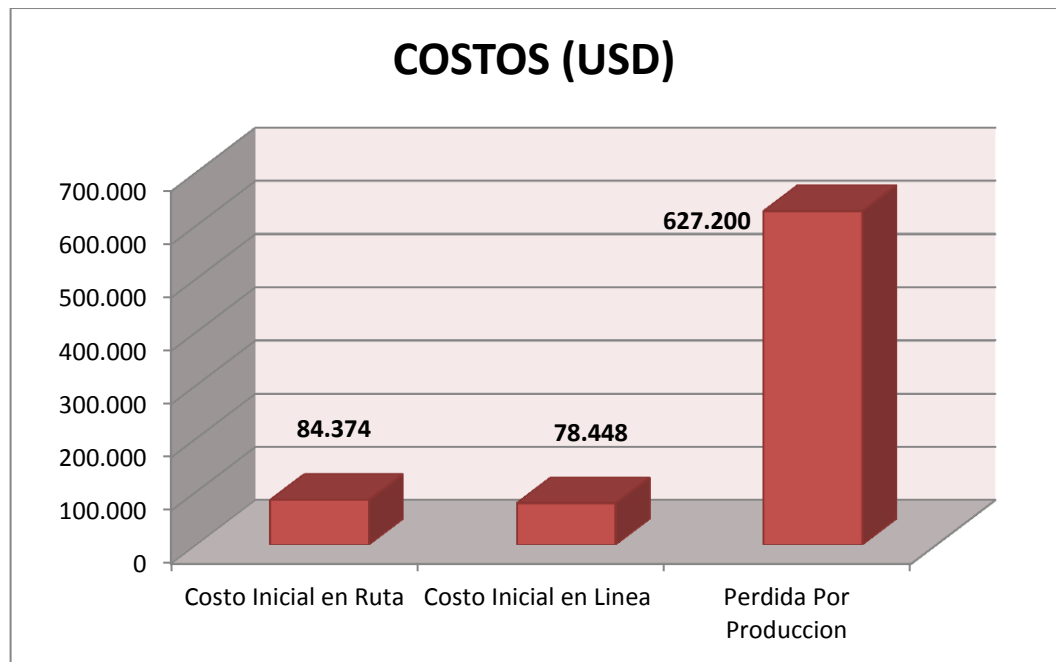
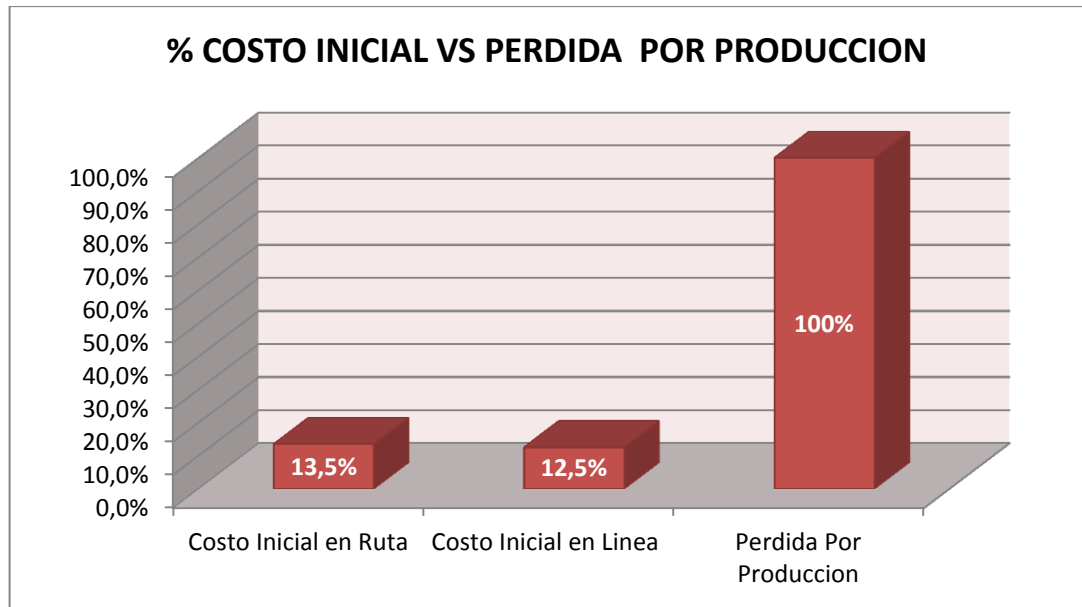


Figura 43: Porcentaje del costo inicial Vs perdida por producción



14 CONCLUSIONES

- Existen principalmente dos sistemas de monitoreo por condición por vibraciones que podrían ser implementados en la empresa Monómeros, monitoreo por condición en línea y por ruta. Para ambos sistemas se necesita una inversión inicial en equipos, software, hardware, accesorios y entrenamiento al personal.
- Dentro del país, principalmente en la ciudad de Bogotá se cuenta con empresas nacionales que representan marcas reconocidas a nivel mundial de equipos de monitoreo en línea, estas empresas tienen un amplio portafolio de equipos, prestan servicio de asesoría en el diseño e implementación de sistemas de este tipo y ofrecen garantías y servicios postventa, como valor agregado capacitan al personal en el uso de los equipos comprados. En la ciudad de Barranquilla también existen algunas empresas prestadoras de estos servicios.
- Para entrenamiento de los analistas de vibraciones existe el *Vibration Institute* ubicado en Illinois, Estados Unidos con más de 46 años de experiencia en formación y certificación de profesionales en el campo del monitoreo por condición basado en vibraciones, además cuentan con el sello ANSI, el cual garantiza que cumplen las normas ISO 18436-2.
- La implementación de un sistema de monitoreo en línea se justifica en equipos críticos, los cuales tengan una alta consecuencia de la falla, es decir, que su falla repentina o no programada ocasiona altos costos por pérdida de producción, posible daño a las personas, infraestructura o al medio ambiente.
- La implementación de un sistema de monitoreo en ruta es adecuada en equipos con mediano o bajo impacto en la producción, es decir, equipos que cuenten con stand by o spare, donde se puedan realizar mediciones

periódicas que garanticen una detección temprana de la falla. De esta manera se pueden ahorrar costos por re cambio injustificado de piezas.

- La implementación de estos sistemas de monitoreo por condición basado en vibraciones permite aumentar la confiabilidad de la planta, disminuir costos de operación y garantizar la operación continua.

15 RECOMENDACIONES

- El sistema de mantenimiento predictivo de monitoreo en línea debe ser implementado en equipos críticos como cuya falla tenga una alta consecuencia operacional y que sea necesario mantener la máxima confiabilidad a un costo óptimo. Esto permitirá hacer un seguimiento continuo y permanente a las maquinas con el fin de disminuir el tiempo por paradas no programadas.
- El sistema de mantenimiento predictivo por monitoreo en ruta debe ser implementado en equipos de mediano impacto en la producción como equipos con stand by tales como: bombas, sopladores, motores eléctricos y compresores, cuya falla no represente una salida del servicio de la planta, pero que se exista una oportunidad de ahorro en costo de mantenimiento. El programa por ruta debe establecer frecuencias, valores de alarma para el equipo
- Para un aprovechamiento máximo de esta tecnología se recomienda seguir el procedimiento de mantenimiento predictivo elaborado en este estudio para implementar un sistema por monitoreo por condición basado en vibraciones en la empresa monómeros.
- Teniendo en cuenta que los costos de inversión inicial serian recuperados en el corto plazo se debe establecer un plan de inversión en el corto y mediano plazo para la implementación de mantenimiento productivo basado en vibraciones.
- Para garantizar un correcto funcionamiento de este tipo de mantenimiento predictivo y la sostenibilidad a largo plazo, se recomienda capacitar un ingeniero analista de vibraciones y un técnico en toma de datos, esto aplica para los sistemas en ruta; o además es necesarios capacitar a los operadores de planta para la implantación en sistema en línea.

BIBLIOGRAFÍA

- PIEDRA DÍAZ, Margarita; Las Vibraciones Mecánica y su Aplicación al Mantenimiento Predictivo/ Raul Armas Cardonas; Coordinador Genaro Mosquera Castellanos – Caracas; U.C.V., Consejo de Desarrollo y Humanístico; La Habana: Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, 1999.
- BERNAL MUÑOZ, Edgar. Mantenimiento y mecánica. En: MANTENIMIENTO PREDICTIVO. Vol 3, No. 12 (Jun. 2002); 80 p. p.63 – 69.
- ROYO A, Jesús; Análisis de Vibraciones e interpretación de datos; DIDYF Universidad de Zaragoza.
- T. THOMSON. Vibration Random Data. Theory and Applications. London 1988.
- IRD. MECHANALYSIS. Technical Paper No 107. “Preventive Maintenance using Vibration Measurement Device”.
- “Sentido y alcance del mantenimiento basado en la condición”; Mantenimiento; España; No. 31; Ene-Feb, 1991.
- “Etapas del mantenimiento predictivo de averías. Medida, análisis y diagnóstico”; Mantenimiento; España; No. 36; Nov-Dic, 1989.
- Manuales sobre Mantenimiento Industrial., Escuela de Capacitación, MINBAS., 1990.