

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE
MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNI”**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ TARNAWIECKI

PROMOCIÓN 1982 – I

**LIMA – PERÚ
2002**

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Ronald Cueva Pacheco por su orientación, ayuda y consejo y al Ing. Edwin Abregú Leandro, por su constante aliento. A la Sra. Yolanda Sánchez y Carlos Sánchez por su apoyo constante así como a todas las autoridades de la Facultad de Ingeniería Mecánica sin el cual no se hubiera podido llevar a cabo el presente informe de suficiencia para lograr el Título Profesional.

INDICE

Pagina

PROLOGO

CAPITULO 1.- INTRODUCCION.....	1
1.1.- Generalidades.....	1
1.2.- Objetivo.....	2
1.3.- Antecedentes.....	3
1.4.- Ubicación.....	4
1.5.- Metodología.....	4
CAPITULO 2.- FUNDAMENTO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	5
2.1.- Generalidades.....	5
2.1.1.- Definición.....	7
2.1.2.- Ventajas y Desventajas.....	7
2.1.3.- Ciclo del Mantenimiento Predictivo.....	8
2.2.- Tecnologías del Mantenimiento Predictivo.....	10
2.2.1.- Elementos Mecánicos.....	11

2.2.1.1. Equipos o Componentes Giratorios.....	11
2.2.1.2. Equipos o Componentes Fijos y/o Movimiento Deslizante.....	13
2.2.2.- Elementos Eléctricos.....	15
2.2.2.1. Equipos Eléctricos.....	15
2.2.2.2. Equipos de Control.....	18
2.3.- Técnicas de Mantenimiento Predictivo.....	19
2.3.1.- Análisis de Vibraciones / Monitoreo de Vibraciones.....	19
2.3.2.- Análisis de la Temperatura.....	41
2.3.3.- Ensayos no Destructivos.....	43
2.3.3.1. Ultrasonido.....	44
2.3.3.2. Gammagrafía Industrial.....	47
2.3.3.3. Tintes Penetrantes.....	67
2.3.3.4. Partículas Magnéticas.....	79
2.3.3.5. Corrientes Parásitas.....	89
2.3.4.- Análisis Espectrográfico de Aceite.....	91
2.3.5.- Análisis Ferrográfico de Partículas.....	92
2.3.6.- Resistencia Eléctrica.....	94
2.3.7.- Medición de Presión.....	94
2.3.8.- Análisis Acústico.....	94
2.3.9.- Análisis de Corriente.....	95
2.3.10.- Alineador Láser.....	97
CAPITULO 3.- CAMPO DE APLICACIÓN.....	99
3.1.- Aplicación Interna o Académica.....	99

3.2.- Aplicación Externa.....	110
3.2.1.- Servicios a Industrias.....	110
3.2.2.- Instituciones Superiores y Universidades.....	114

CAPITULO 4.- EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA EL EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO..... 115

4.1.- Vibrómetros y Analizadores de vibraciones.....	115
4.2.- Análisis de la Temperatura.....	117
4.3.- Ensayos no Destructivos.....	118
4.3.1.- Gammagrafia Industrial	118
4.3.2.- Ultrasonido.....	119
4.3.3.- Tintes Penetrantes	119
4.3.4.- Partículas Magnéticas	120
4.3.5.- Corrientes Parásitas	120
4.4.- Análisis Espectrográfico de Aceite	121
4.5.- Alineador Láser.....	121
4.6.- Máquina de Soldar.....	122
4.7.- Instrumentos Eléctricos.....	123

CAPITULO 5.- COSTOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO..... 124

5.1.- Costos Directos de Capital.....	124
5.1.1.- Maquinarias y Equipos.....	125
5.1.2.- Instrumentos y Herramientas.....	127
5.1.3.- Muebles y Enseres.....	130
5.1.4.- Obras Civiles.....	130
5.1.5.- Montajes de Equipos y Traslado	135

5.1.6.- Instalaciones Eléctricas y Control.....	137
5.2.- Costos Indirectos de Capital.....	137
5.2.1.- Rubros que comprende.....	137
5.2.2.- Gastos Administrativos.....	137
5.2.3.- Capital de Trabajo.....	138
5.2.4.- Imprevistos.....	138
5.3.- Costos Operativos.....	138
5.3.1.- Rubros que comprende.....	138
5.3.2.- Mano de Obra.....	138
5.3.3.- Gastos Generales.....	138
5.3.4.- Suministros y Materiales.....	139

CAPITULO 6.- CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN..... 153

6.1.- Antecedentes.....	153
6.2.- Esquema de la máquina.....	153
6.3.- Medición	154
6.4.- Establecimiento de Condiciones de Funcionamiento.....	156
6.5.- Análisis Vibracional.....	156
6.5.1.- Motor (Apoyo Externo).....	156
6.5.2.- Motor (Apoyo Lado Polea).....	156
6.5.3.- Ventilador (Apoyo Lado Polea).....	157
6.6.- Diagnóstico.....	157
6.7.- Conclusiones.....	158
6.8.- Recomendaciones.....	158

CONCLUSIONES	162
BIBLIOGRAFIA	163
PLANOS	164
APENDICE	167

PRÓLOGO

Actualmente rigen su economía en un mundo muy globalizado y competitivo, donde se usan y desarrollan tecnologías y técnicas muy modernas. El mantenimiento, como el predictivo, no puede estar ajeno a esto. Los capítulos desarrollados son:

CAPITULO 1 – INTRODUCCIÓN

Se explica el porque del tema escogido, sobre todo en la FIM, objetivo, antecedentes, ubicación y metodología.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Se mencionan las tecnologías y técnicas de mantenimiento Predictivo, realizándose el análisis de Vibraciones y el de ensayos no destructivos como Gammagrafías Industriales.

CAPÍTULO 3 – CAMPO DE APLICACIÓN

Se tiene 2 campos de aplicación, el interno o académica y el externo.

CAPÍTULO 4 – EQUIPOS DE INSTRUMENTOS PARA EL EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO.

En función del Capítulo 3, Campo de Aplicación, se describe y selecciona los equipos e instrumentos que tendrá el Laboratorio de Mantenimiento Predictivo.

CAPÍTULO 5 – COSTOS EN LA IMPLEMENTACIÓN

Se calcula en el caso de una primera etapa de implementación y de una implementación mínima.

CAPÍTULO 6 – CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN.

Se toma como ejemplo una máquina de una empresa ensambladora de camiones, se describe el procedimiento del mantenimiento, el monitoreo de datos, diagnóstico, conclusiones y recomendaciones.

Por último se muestra las Conclusiones, Bibliografía, Planos y Apéndice del trabajo.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES.

La Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería, da enseñanza superior a 1200 alumnos de antegrado dividido en cuatro especialidades como son:

Ingeniería Mecánica.

Ingeniería Mecánica - Eléctrica.

Ingeniería Naval.

Ingeniería Mecatrónica.

Cuenta además con los siguientes laboratorios:

Laboratorio de Maquinas Térmicas e Hidráulicas N° 5.

Laboratorio de Proceso de Manufactura N° 4.

Laboratorio de Automatización.

La finalidad de estos es la de brindar al estudiantado a través de los cursos de las curriculas los conocimientos prácticos de los diferentes equipos y maquinarias con los que cuentan, además de generar recursos propios a la FIM través de servicios a externos.

Se estima que el 85 % de sus egresados ejercen su especialidad en las Áreas de Mantenimiento de las diferentes empresas estatales y privadas.

Actualmente el estudiante de la FIM solo lleva un solo curso de Mantenimiento a lo largo de su carrera, donde este se desarrolla en un 95 % teórico y 5 % visitas a diferentes empresas, existiendo una carencia muy elevada en la parte practica, donde recién cuando laboran adquieren experiencia.

Como una forma de suplir dicha carencia es que se desarrolla y elabora este Informe de Suficiencia.

1.2 OBJETIVO

El objetivo de implementar el Laboratorio de Mantenimiento Predictivo en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNI es el proporcionar al estudiantado conocimientos prácticos de los cursos de Mantenimiento y afines en el uso de instrumentos y equipos, brindándoles las principales tecnologías modernas que le permitan en el futuro desenvolverse en una de las actividades mas usuales como es Mantenimiento.

Otros de los objetivos es el de suministrar servicios técnicos a terceros, como es empresas y otras instituciones educativas superiores, que ayuden a generar ingresos propios para la Facultad.

Actualmente vivimos en un mundo económico muy competitivo y globalizado, por lo que las empresas por motivos económicos prefieren contratar los servicios de terceros y prescindir de invertir en equipos que le podrían resultar costosos así como tener personal altamente calificado.

Por estos motivos que en la actualidad solo se limitan a realizar Mantenimiento Correctivo y en algunos casos Preventivo.

Esta implementación se deberá tomar como una inversión que retribuirá en el mejor nivel académico de los estudiantes, cuya recuperación será en un tiempo corto por la demanda que existe en este campo en la industria y por la confianza que puedan tener los empresarios en una institución educativa como es la Universidad Nacional de Ingeniería.

1.3 ANTECEDENTES

En la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNI no se registra ningún antecedente sobre estudio alguno para implementar un Laboratorio o Taller de Mantenimiento desde hace 20 años atrás, pues el dictado de dichos cursos esta orientado a la parte de Gestión y Organización.

1.4 UBICACIÓN

El Laboratorio estará ubicado dentro de la Facultad, en un inicio podría ser en ambientes ya existentes pero algo alejado pues como se explicará mas adelante se contaría con un equipo de gammagrafia, que por motivos de riesgo radiactivo se recomienda construir un ambiente apropiado y seguro.

1.5 METODOLOGÍA

En el informe de suficiencia se presenta la parte conceptual y teórica de Mantenimiento Predictivo, técnicas y tecnologías. A continuación se hace un estudio de demanda interna académica por cursos y externa al dar servicios a empresas e instituciones educacionales y se seleccionan los equipos e instrumentos más adecuados e idóneos para ambos fines.

Se realiza también un estudio de costos y presupuestos de la implementación del laboratorio, y al final se presenta un caso práctico de mantenimiento predictivo de una empresa Automotriz.

Al final se hace las conclusiones, recomendaciones y sugerencias del presente trabajo.

CAPITULO 2

FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

2.1 GENERALIDADES

Las nuevas tecnologías incorporadas a la producción, obligan a especializar las tareas de mantenimiento. Esto implica por una parte mayor especialización del personal de mantenimiento y por otra, la incorporación de nuevas tecnologías en la aplicación y en los materiales utilizados en estas tareas.

Desde el punto de vista de los sistemas de mantenimiento, este factor se traduce en la necesidad de aportar datos precisos para auxiliar al personal en las tareas de mantenimiento, generando ordenes de trabajo con una documentación completa (planos, diagramas eléctricos, referencias de almacén, tiempos a emplear y procedimientos a seguir).

Tradicionalmente, los sistemas de mantenimiento han recibido datos de la planta de producción de una manera totalmente manual. Estos datos pasaban a ser procesados con el objetivo final de beneficiar el nivel de la planta. Este procedimiento precisaba del flujo de información entre distintos departamentos, generando retrasos en la obtención de la información demandada, pérdidas de datos de los mismos, etc.

Actualmente, se realiza un gran esfuerzo de integración, con el fin de disponer de la información generada en planta en tiempo real. Esta información ofrece la posibilidad de la generación de ordenes de mantenimiento, en el momento preciso en el que las maquinas y sus componentes están a punto de cumplir con su media de vida útil estimada.

Esta incorporación instantánea de datos hace posible la aparición de los sistemas de mantenimiento con funcionalidad no solo correctiva, sino preventiva y predictiva

Dentro de este contexto, lo ideal sera no solo realizar el mantenimiento en forma preventiva, sino tratar de predecir posibles fallas, en base a un conjunto de factores condicionantes y a la utilización de diferentes equipos y técnicas, basadas en la experiencia profesional de sus propios técnicos.

Saber cuando va a comenzar el problema puede suponer el 90 % de la solución del mismo. Un buen sistema de mantenimiento ha de ser capaz de predecir o intuir, que componentes, piezas o maquinas del sistema de producción pueden estar

deterioradas, o bien estimar la fecha aproximada en la que se producirá una situación de mal funcionamiento.

2.1.1 DEFINICIÓN

Se basa en el monitoreo regular de las maquinas mediante equipos e instrumentos, controlando primordialmente su estado de funcionamiento. Se interviene para la reparación de la maquina cuando es absolutamente necesario.

2.1.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Se obtiene la máxima vida útil de los componentes de una maquina.

Extiende con seguridad los intervalos de reparaciones.

Minimiza el numero de trabajos de Mantenimiento correctivo y preventivo.

Ayuda a la planificación de las reparaciones.

Mejora la calidad del producto.

Aumenta la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas.

Se conoce con precisión cuando y que debe ser cambiado en la máquina.

DESVENTAJAS

Los costos de los equipos son altos.

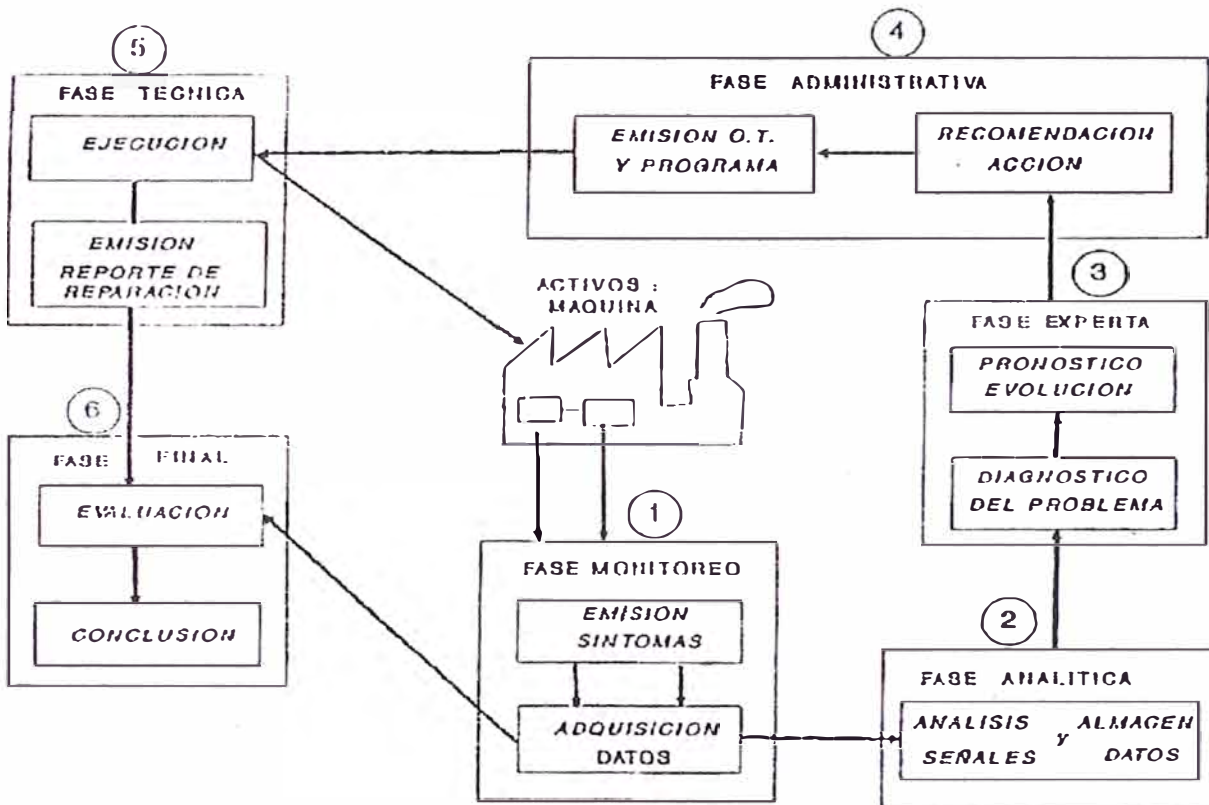
Se necesita personal profesional calificado para el manejo de los equipos.

El caso de gammagrafia requiere mucha seguridad por riesgo radiactivo.

2.1.3. CICLO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

- 1) Fase de Monitoreo.
- 2) Fase Experta
- 3) Fase Administrativa
- 4) Fase Técnica.
- 5) Fase Final.

EL CICLO PREDICTIVO INDUSTRIAL



Vibraciones m m / s

Temp.

Ruido

Amperaje

CONDICIONES NORMALES:

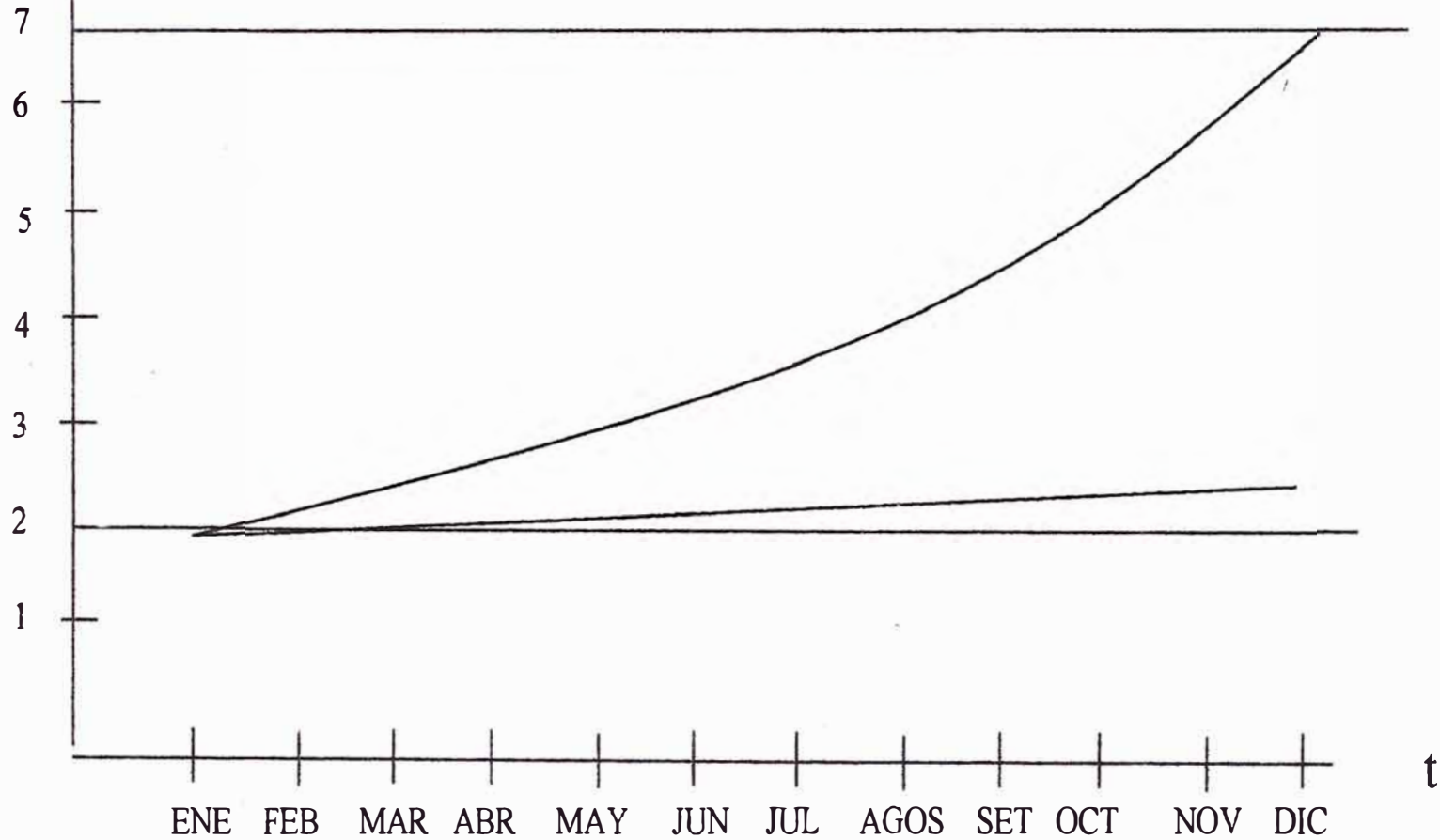
Cimentación al piso

Equipo Mov. Rotatorio Continuo

Trabajo en Temperatura Ambiente

Servicio 24 hrs al día

ANALISIS VIBRACIONAL EQUIPOS ROTATIVOS



2.2. TECNOLOGÍAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

En la industria, se encuentran una gran cantidad de equipos trabajando en forma continua, los cuales deben tener un mantenimiento adecuado. El Mantenimiento Predictivo cumple esta función empleando una gran variedad de parámetros y herramientas que están en función al equipo o parte del que se va a analizar. Por esto se dividen los elementos a analizar en mecánicos y eléctricos y si aún el campo de aplicación es muy amplio, se clasifican los elementos mecánicos en componentes giratorios y fijos, y los elementos eléctricos en equipos eléctricos en general, y equipos de control.

Cada empresa debe definir que parámetros va a analizar en cada máquina y con ello definir el equipamiento necesario para la ejecución del plan de mantenimiento predictivo. Por lo menos cada equipo debe considerar 2 parámetros con los cuales se puede determinar con precisión el problema. Por ejemplo, si analizamos solo vibraciones en un motor, cuando encontremos una vibración elevada es difícil predecir si la causa es un desalineamiento o un desbalance o una soltura mecánica. Pero si hubiéramos medido otro parámetro, adicional se podrá tomar una decisión.

2.2.1. ELEMENTOS MECÁNICOS

2.2.1.1. EQUIPOS O COMPONENTES DE MOVIMIENTO ROTACIONAL

Dentro de estos elementos encontramos a los motores, bombas, ventiladores, turbinas, generadores, engranajes, cojinetes.

Este tipo de elementos tienen un gran calentamiento y desgaste en los apoyos, y están sometidos a fuerzas considerables debido a la velocidad de giro, razón por la cual es recomendable que estos equipos cuenten con la lubricación adecuada, se encuentren perfectamente alineados, balanceados, con una buena cimentación y elementos de sujeción adecuados. Por esto las tecnologías del MPd están orientadas hacia la lubricación y la medida y/o análisis de fuerzas.

Siendo la lubricación un factor esencial en el funcionamiento de estas máquinas, su análisis puede entregar datos interesantes sobre el comportamiento de los mismos, siendo los parámetros de medición y equipos o herramientas empleadas las siguientes:

LUBRICACIÓN

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EQUIPO O HERRAMIENTA
→ Corriente dieléctrica	→ Medidor de Megger
→ Análisis espectrográfico de aceite	→ Espectrómetro
→ Análisis Ferrográfico de aceite	→ Ferrógrafo de lectura directa
→ Viscosidad	→ Viscosímetro
→ Cromatografía en fase gas	→ Cromatógrafo

Cuando un elemento gira, en función al estado en que se encuentre generará fuerzas considerables que traducen en vibración, choques, tensión , deformación en los elementos generación de ruido.

FUERZAS

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EQUIPO O HERRAMIENTA
→ Vibración <ul style="list-style-type: none"> . Desequilibrio . Alineación. 	→ Medidor de velocidad de vibraciones → Analizador de frecuencias
→ Energía de impulso sobre cojinete	→ Medidor de impulso de choque
→ Deformación	→ Medidor de deformación
→ Tensión	→ Probador de tensión de fajas
→ Emisión acústica	→ Conjunto balanceador → Estetoscopio

2.2.1.2. EQUIPOS O COMPONENTES FIJOS Y/O CON MOVIMIENTO DESLIZANTE

Dentro de estos elementos tenemos, los equipos de producción (prensas, inyectoras, etc.), las máquinas herramientas (cortadoras, plegadoras, etc.), calderos, intercambiadores de calor, trampas de vapor, etc.

Estos equipos tienden a calentarse, perder espesor o presentar defectos y están sometidos a esfuerzos y fuerzas considerables; es por esta razón que se debe centrar la inspección en los parámetros de calor, espesor y fuerzas.

La magnitud del calor puede dar un dato interesante sobre el funcionamiento de un equipo. Un calentamiento en un intercambiador, o una caldera puede indicarnos presencia de suciedad o incrustaciones que evitan la refrigeración normal y puede ocasionarla rotura por sobrecalentamiento (disminuye la resistencia del material) o puede generar otro tipo de fallas como deformaciones, agrietamientos, fatiga, fluencia lenta, etc.

Asimismo, el análisis de espesores y defectos en los materiales nos ayudan a realizar una evaluación de la estructura.

La disminución de espesor en un tanque, tubo de caldero, intercambiador, etc., pueden tener origen en problemas de corrosión. La aparición de fisuras, ampollamientos, etc., también nos indicará algún tipo de problema. En este caso, es importante determinar el espesor de material, la profundidad de la grieta, etc., para

poder evaluar la estructura y determinar si se puede trabajar sin problemas, e inclusive prever cuanto tiempo puede operar.

Como estos elementos están sometidos a fuerzas, calor y en muchos casos medios corrosivos, la microestructura de los materiales irá cambiando con lo cual cambiarán sus propiedades mecánicas, esto significa que se deformará, endurecerá, fragilizará. Por esta razón se debe analizar, si el material se ha deformado, si sus propiedades se mantienen, si el nivel de vibración es el adecuado.

Actualmente existen medios no destructivos, que permiten tomar muestras de la micro-estructura del material para analizar el estado en que se encuentra.

CALOR

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EQUIPO O HERRAMIENTA
→ Temperatura	→ Termómetro
→ Pérdida térmica	→ Pirómetro
→ Conductibilidad	→ Contadores de sensibilidad térmica
→ Fugas	→ Termografía infrarroja
	→ Medidor de ultrasonido

ESPESOR

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EQUIPO O HERRAMIENTA
→ Espesor	→ Probador ultrasónico de espesor

FUERZAS

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EQUIPO O HERRAMIENTA
→ Deformación	→ Medición de deformación
→ Esfuerzo	→ Prueba de presión
→ Impacto	→ Medición de esfuerzo/revestimiento
→ Vibración	→ Analizador de vibraciones
→ Presión	→ Prueba hidráulica
→ Vacío	→ Prueba de vacío

2.2.2. ELEMENTOS ELÉCTRICOS

Hay que diferenciar lo que es el equipo eléctrico propiamente dicho, y el sistema de control de dicho equipo. El equipo eléctrico se puede descomponer en dos partes: Equipos eléctricos y Equipos de Control.

Equipos eléctricos (de componentes pasivos: condensadores, bobinas, relés, capacitores).

Equipos electrónicos (de componentes activos: tubo de misión catódica, diodo, transistor, tiristors y triak).

2.2.2.1. EQUIPOS ELÉCTRICOS

Dentro de estos equipos tenemos los generadores, motores, capacitores, disyuntores, alimentadores de energía, etc.

Estos elementos tienden a calentarse con el funcionamiento, lo cual afecta a los equipos tanto en la resistencia del alambre y en el recubrimiento del mismo.

Al sobrepasar ciertos límites pueden traer graves consecuencias. Así mismo, pueden genera una fuerte vibración como en los generadores y motores que están en función a los parámetros vistos en los Elementos Giratorios Mecánicos. Por otro lado, los componentes eléctricos generan una potencia reactiva que debe ser controlada en forma adecuada.

Un análisis de la temperatura de los equipos, nos puede dar una idea del tipo de falla; esto puede ser por una sobrecarga lo cual no quiere decir que se esté sobrecargando de trabajo efectivo, sino, que podría estar mal alineado; que los cojinetes no tengan lubricación adecuada, los cables estén perdiendo aislamiento, mala ventilación, etc.

El único parámetro a medir es la temperatura.

CALOR

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EQUIPO O HERRAMIENTA
→ Temperatura	→ Termografía infrarroja → Termómetro → Contadores de sensibilidad térmica → Trazador de temperatura

Los equipos eléctricos generan una potencia activa y una potencia reactiva. Esta última, debe ser controlada mediante el empleo de condensadores porque en caso de

elevarse por encima de lo establecido por las empresas suministradoras de electricidad se podría ser acreedor.

Los parámetros y equipos que se emplean para medir la capacitancia son:

CAPACITANCIA

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EQUIPO O HERRAMIENTA
→ Pérdida de capacitancia	→ Prueba de sobrepotencial de Corr.Cont.
→ Voltaje	→ Voltímetro

Otro problema que se presenta es el de la resistencia eléctrica de los conductores.

Muchas veces, se pierde aislamiento, con lo cual la energía se puede descargar a tierra, lo cual es peligroso para las personas.

Así mismo, la pérdida de aislamiento puede generar un cortocircuito.

El parámetro a medir es la resistencia.

RESISTENCIA

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EQUIPO O HERRAMIENTA
→ Ohmios	→ Prueba de Megger → Medidor de protección accidental de un conductor a tierra

Los generadores y motores eléctricos son elementos giratorios, por lo cual están expuestos a vibraciones excesivas debido a desalineamiento, malos ajustes. Es importante debido a la velocidad, la frecuencia y el balanceo de los rotores.

VIBRACIÓN

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EQUIPO O HERRAMIENTA
→ Velocidad de vibración	→ Analizador devibraciones
→ Energía de choque	→ Medidor de impulso de choque

2.2.2.2. EQUIPOS DE CONTROL

Está relacionado con los elementos de mando de un equipo eléctrico, tales como dispositivos de arranque del motor, conmutadores, relés, etc.

Estos sistemas, también se mide el calor generado, la resistencia para verificar si hay pérdida de aislamiento o cortes de cables, y la condición en que se encuentren los elementos.

CALOR

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EQUIPO O HERRAMIENTA
→ Temperatura	→ Temografía infrarroja

RESISTENCIA

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	EQUIPO O HERRAMIENTA
→ Ohmios	→ Prueba de Megger

2.3. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Algunas de las técnicas empleadas en el Mantenimiento Predictivo son las siguientes:

Análisis de vibraciones / monitoreo de vibraciones.

Análisis de temperatura.

Ensayos no destructivos.

Análisis espectrográfico.

Análisis ferrográfico

Resistencia eléctrica

Medición de presión.

Análisis acústico

Análisis de corriente

2.3.1. ANÁLISIS DE VIBRACIONES / MONITOREO DE VIBRACIONES

La vibración es el movimiento de un lado a otro de partes que giran, oscilan o reciprocán respecto a su posición de descanso: siendo estas inherentes a toda máquina.

Las características de vibración son: Amplitud, frecuencia, ángulo de fase, forma de onda en el tiempo.

En la técnica predictiva indica que todo problema mecánico o eléctrico de la maquinaria tiene características propias de vibración y el incremento de su amplitud indica un desmejoramiento de la máquina.

Mediante el análisis del espectro de la vibración se puede determinar los siguientes problemas:

Desequilibrio, desalineamiento, cojinetes defectuosos, soldadura mecánica, fajas motrices averiadas, engranajes defectuosos, problemas eléctricos, etc.

La intervención a una máquina depende del nivel global de vibración, debiendo sobrepasar los niveles referenciales establecidos para tomar acciones correctivas (Norma de Severidad Vibracional ISO - 2372).

VIBROMETRO.- Es un instrumento que nos permite medir la vibración global y nos muestra un solo valor total. Con ayuda de la TABLA 1 ISO 2372 se puede determinar la severidad de vibración del equipo.

VIBRÓMETRO EXAMINER 1000



ANALIZADOR DE VIBRACIONES.- Es un instrumento que transforma la onda de tiempo de la vibración (FFT), presentando un espectro de frecuencias vs. Amplitud, esto nos permite identificar que parte del equipo está fallando. En las Tablas 2 y 3 se muestra las causas más comunes de fallas y sus características vibratoriales.

ANALIZADOR DE ESPECTROS EXAMINER 3000



La vibración es considerada el mejor parámetro de operación para juzgar las condiciones dinámicas tales como balance, estado de los rodamientos y esfuerzos aplicados a los componentes.

Muchos problemas de maquinaria se manifiestan como vibraciones. Soltura mecánicas, resonancia estructural, soltura en el anclaje, desalineamiento, flexión del rotor. Todos ellos pueden detectarse y evaluarse con el Análisis Vibracional.

La medición de la vibración total de la máquina, es un indicativo de su condición de funcionamiento, el cual se puede determinar utilizando la Norma de Severidad Vibracional ISO – 2372 .

TABLA Nº 1
ISO 2372

NORMA DE SEVERIDAD VIBRACIONAL

RMS Velocidad (mm/s)				
45	No permisible	No permisible	No Permisible	
28			Tolerable	Tolerable
18				Normal
11.2			Bueno	
7.1	Máquinas medianas de 15-75 Kw o sobre los 300 Kw con Cimentación Especial	Máquinas grandes con alta velocidad de operación, cimentación con frecuencia natural (turbo máquinas)		Máquinas grandes con alta velocidad de operación, cimentación con frecuencia natural (turbo máquinas)
4.5			Máquinas pequeñas, sobre los 15 Kw	Máquinas grandes con alta velocidad de operación, cimentación con frecuencia natural (turbo máquinas)
2.8	Bueno	Máquinas grandes con alta velocidad de operación, cimentación con frecuencia natural (turbo máquinas)		
1.8			Bueno	Máquinas grandes con alta velocidad de operación, cimentación con frecuencia natural (turbo máquinas)
1.12	Bueno	Máquinas grandes con alta velocidad de operación, cimentación con frecuencia natural (turbo máquinas)		
0.71			Bueno	Máquinas grandes con alta velocidad de operación, cimentación con frecuencia natural (turbo máquinas)
0.45	Bueno	Máquinas grandes con alta velocidad de operación, cimentación con frecuencia natural (turbo máquinas)		
0.28			Bueno	Máquinas grandes con alta velocidad de operación, cimentación con frecuencia natural (turbo máquinas)
0.18	Bueno	Máquinas grandes con alta velocidad de operación, cimentación con frecuencia natural (turbo máquinas)		

Los instrumentos trabajan de la siguiente manera:

El movimiento vibratorio es sentido por un traductor u acelerómetro, el cual transforma el movimiento en señal eléctrica, que pasa a través de un cable al procesador del instrumento, convirtiéndose en un valor digital.

Las técnicas recomiendan medir las vibraciones en distintas direcciones (horizontal, vertical, axial y de torsión) con el objeto de detectar un exceso que pueda provocar averías y se analiza las tendencias.

TABLA N° 2

FRECUENCIA EN RPM	CAUSAS MÁS PROBABLES	OTRAS CAUSAS POSIBLES Y COMENTARIOS
1 x RPM Veloc. Máquina	Desequilibrio o desbalance.	1.Chumaceras, engranajes o poleas excéntricas. 2.Eje desalineado o deformado, en caso de alta vibración axial. 3.Correas defectuosas si se trata de RPM de correa. 4.Resonancia. 5.Fuerzas recíprocas. 6.Problemas eléctricos.
2 x RPM Veloc. Máquina	Juego mecánico Excesivo.	1.Desalineación en caso de alta vibración axial. 2.Fuerzas recíprocas. 3.Resonancia. 4.Correas defectuosas si es de 2 x RPM de correa.
3 x RPM	Desalineación	De costumbre se trata de desalineación y juego axial excesivo y soldura combinados.
Menos de 1 x RPM	Movimiento giratorio Del aceite (menos de 1/2 RPM)	1.Correas de transmisión defectuosas. 2.Vibración ambiental. 3.Resonancia subarmónica. 4.Vibración que late.
Sincrónica (Frecuencia de línea AC)	Problemas Eléctricos	Los problemas eléctricos más frecuentes incluyen las barras de rotor rotas, rotor excéntrico, fases desequilibradas en sistemas polifásicos, abertura de aire desigual.
2 x Sincrónica (Frecuencia armónicamente relacionada)	Pulsaciones de torque. Engranajes defectuosos. Fuerzas aerodinámicas. Fuerzas hidráulicas. Soldura mecánica.	Problema raro a menos que se excite la resonancia. Número de dientes multiplicado por las RPM de engranaje defectuoso. Número de paletas del ventilador por las RPM. Número de aletas impulsoras por las RPM. Podrá darse a 2, 3, 4 o más armónicas de ser mucha la soldura.
Frecuencia elevada (sin relación armónica)	Cojinetes antifricción Defectuosos.	1.Vibración del cojinete puede ser inestable en cuanto a amplitud y frecuencia. 2.Cavitación recirculación y flujo turbulento provocan vibración causal de alta frecuencia. 3.Lubricación incorrecta de cojinetes de gorrón (vibración excitada por fricción). 4. Frotamiento.

TABLA N° 3

NATURALEZA DE DEFECTO	FRECUENCIA DE LA VIBRACION PERMANENTE (Hz = rpm / 60)	DIRECCION	OBSERVACIONES
Elementos giratorios desbalanceados	1 x RPM	Radial para Desbalance dinámico	Frecuente causa de vibraciones excesivas en las maquinas. Amplitud proporcional al desbalance y a las RPM
Desalineacion y eje Flexado	Normalmente: 1 x RPM Frecuentemen. 2 xRPM A veces: 3 y 4 RPM	Radial y Axial	Vibración axial y 2da armónica severa. Defecto corriente.
Elementos rotantes de los cojinetes sueltos en alojamientos.	Regímenes de impacto para los componentes singulares de los cojinetes Tambien vibraciones a frecuencias muy altas (20-60 Hz)		Niveles de impacto desiguales de vibración, a veces con choques, a regímenes de impacto.
Cojinetes de fricción sueltos en alojamientos.	Sub-armonicos de las RPM del eje, exactamente a 1/2 a 1/3 RPM	Principalmente radial	La holgura puede producirse solo a la velocidad y temperatura de trabajo (por ej. Turbomaquinas)
Giro o batido de la película de aceite en los cojinetes de fricción	Algo menor de la mitad de la velocidad del eje (40 a 50 %)	Principalmente radial	Aplicable a maquinas de alta velocidad. Fase fluctuante (turbomaquinas)
Giro de Histerisis	Velocidad critica del eje	Principalmente radial	Las vibraciones son excitadas al pasar por la velocidad critica del eje y se mantienen a velocidades mayores. A veces se pueden eliminar mejorando la fijación de los componentes del rotor.
Engranajes dañados o desgastados.	Frecuencias de encuentro entre las RPM del eje y el numero de dientes del engranaje.	Radial Y Axial	Las bandas laterales de las frecuencias de encuentro de los dientes indican modulación por ej. Excentricidad) a una frecuencia igual a la separación de las mismas. Solo puede ser detectable con análisis de bandas muy estrechas.
Holgura mecánica. Arrastre de correa defectuosa. Fuerzas y pares alternativos desequilibrados	2 x RPM 1,2,3 y 4 x RPM de la correa. 1 x RPM y/o múltiplos para desequilibrios de orden superior.	Radial Principalmente radial.	Recomendaciones adicionales: Combinar medidas de RPM y velocidad de la faja para chequear deslizamiento de la faja.
Turbulencia creciente	Frecuencias de paso y armónicos de alabes y vanos	Radial y Axial	Los niveles crecientes indican turbulencias crecientes. Recomendación para bombas: medir el pulso de choque en el cuerpo de la bomba.

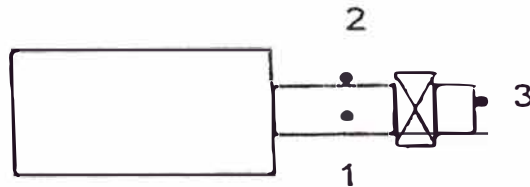
Lo que mide es la velocidad de propagación de la onda (mm/s), y la frecuencia de audición debe ser como mínimo una vez al mes.

VIBRACIÓN:

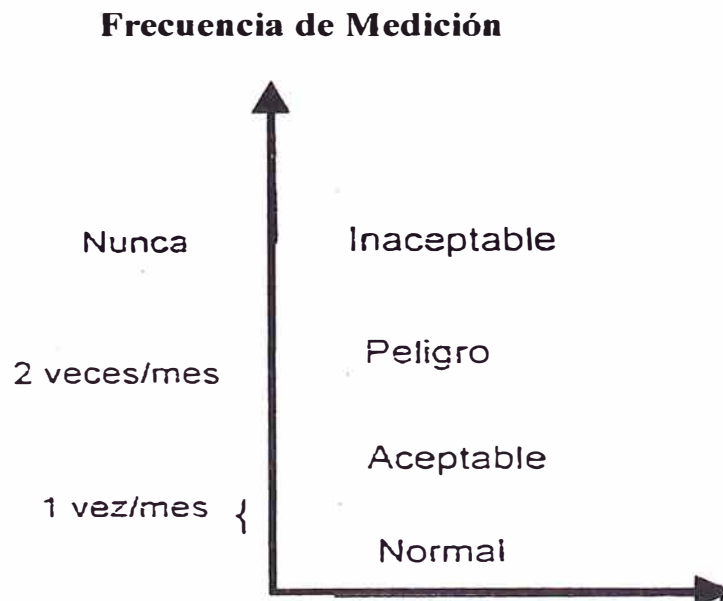
Los puntos de medición son los rodamientos o en las zonas más cercanas.

En los rotores:

- axial, radial, torsional.

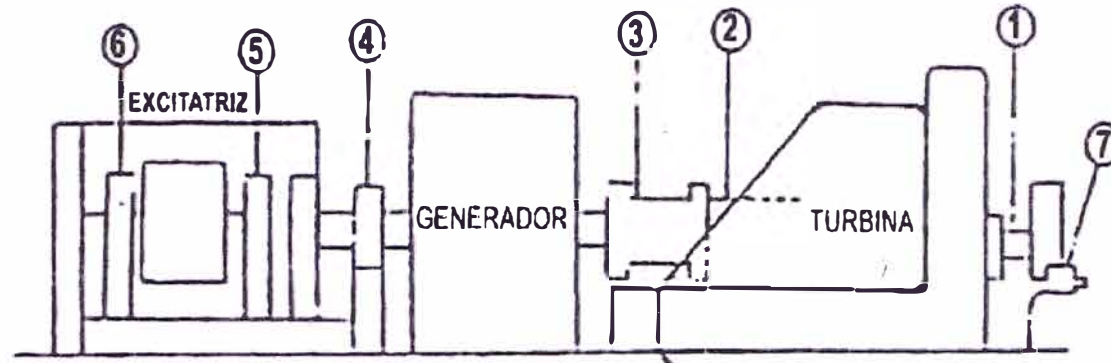


Tres puntos de medición:
 1 → Horizontal
 2 → Vertical
 3 → Axial



ANALISIS EXPERTO CON VIBROMETRO EXAMINER 1000 M
TURBO ALTERNADOR

POTENCIA : 7.000 Mw.
RPM : 3600
UNIDAD DE MEDIDA : mm/ s.
DE LA VELOCIDAD
DE VIBRACION



FECHA	1			2			3			4			5			6			7			OBSERVACIONES
	V	H	A	V	H	A	V	H	A	V	H	A	V	H	A	V	H	A	V	H	A	
03/08/93	3.73	2.57	4.88	3.16	2.06	3.77	2.45	2.44	3.46	2.66	1.96	1.46		1.49			2.00	4.21	5.91	6.71	6.66	CARGA: 6.750 Mw
27/08/93	5.50	3.06	4.91	7.43	3.07	2.79	2.28	2.33	2.85	2.19	1.99	1.55		1.33			1.93	3.62	6.95	6.79	5.74	CARGA: 6.750 Mw
08/09/93	6.13	3.05	6.45	14.2	2.85	3.65	1.20	2.69	4.27	2.40	1.31	2.78		1.65			1.54	1.02	5.95	6.45	6.26	CARGA: 6.700 Mw
01/10/93	5.56	2.72	6.80	15.2	2.17	4.04	2.11	2.64	4.01										6.71	6.20	5.55	CARGA: 6.700 Mw
03/10/93	5.75	2.87	6.76	15.5	2.18	2.13	3.14	2.65	3.87	2.50	1.52	2.50							5.50	6.09	6.55	CARGA: 6.750 Mw
06/10/93	5.12	2.85	6.22	11.6	2.54	4.26	1.71	2.66	4.09	2.09	1.21	2.54							6.10	6.53	5.34	CARGA: 6.750 Mw
08/10/93	4.51	3.10	6.22	17.4	2.55	5.40	2.21	2.60	2.75	2.14	1.32	1.92							6.25	5.65	5.65	CARGA: 6.750 Mw
09/10/93	4.89	3.06	5.95	10.6	2.52	6.40	2.05	2.51	4.05	1.94	1.33	2.15							6.01	6.75	6.37	CARGA: 4.600Mw

Después de realizada la medición, la información es convertida en formatos de análisis. El uso de la vibración de la máquina incluye la medición de:

Niveles de Vibración total.

Análisis de frecuencias de vibración.

Análisis de espectro FFT (Fast Fourier Transformation)

Análisis de señal en el dominio del tiempo.

NIVEL DE VIBRACIÓN TOTAL

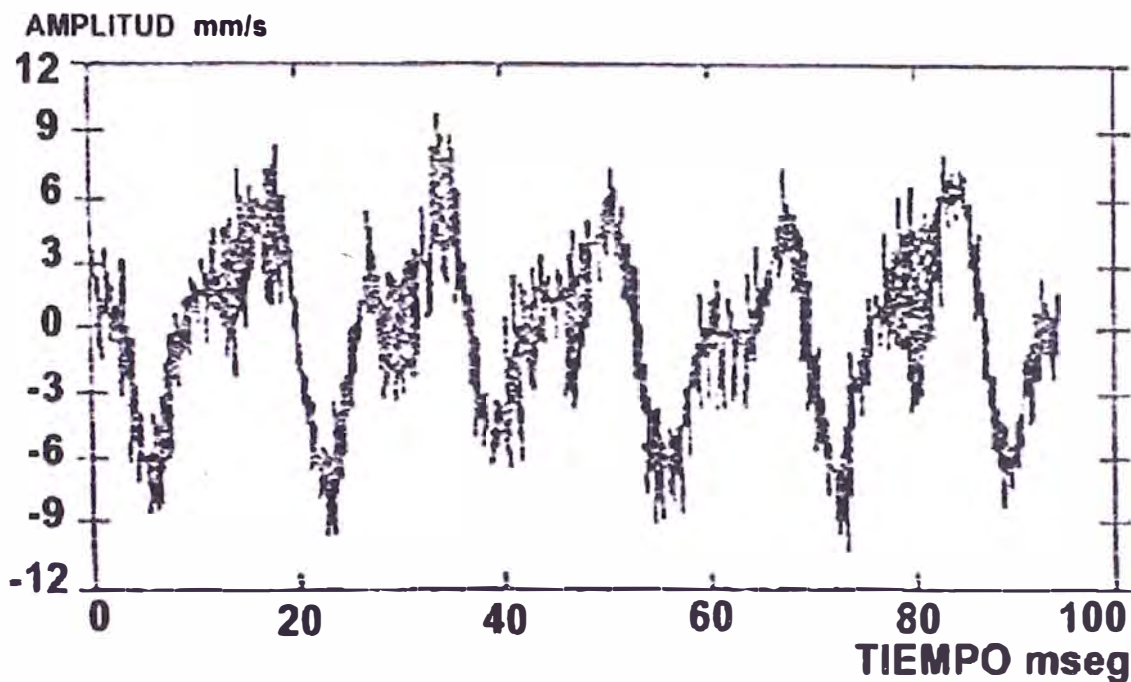
Es una medida de la energía total asociada a todas las frecuencias de vibración procedentes del punto de medición dado. En el punto donde se está midiendo hay una suma vectorial producidas en distintas partes de la máquina.

Es la técnica más rápida para evaluar el estado de un equipo, pero no mide con precisión señales de vibración de baja frecuencia en condiciones ruidosa y no indica la causa de la excesiva vibración.

Los niveles de vibración total son proyectados por las tendencias, con el fin de graficar cambios en la condición del equipo en un período de tiempo, generalmente asociado al inicio de problemas o cambios en las tendencias existentes.

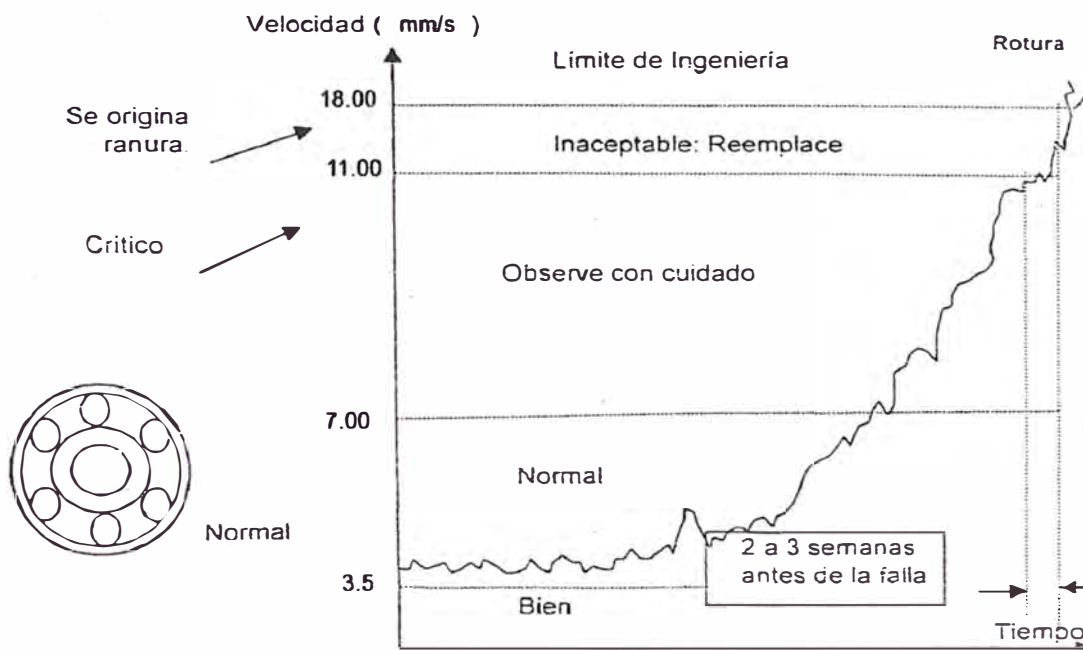
Normalmente, las fuentes de niveles de elevada vibración son: Cojinetes en mal estado, problemas de desalineamiento y desbalance.

VIBRACIÓN TOTAL – ONDA EN EL TIEMPO



La medición de la vibración total es un buen comienzo para la realización del Mantenimiento Predictivo.

NIVEL DE VIBRACIÓN TOTAL EN RODAMIENTOS



Muchos factores afectan las lecturas vibracionales:

Rigidez de la estructura de soporte

Los números mostrados en el diagrama se refieren principalmente a equipos de tamaño estándar montados rígidamente sobre base rígida. Si el equipo está montada en una base flexible, las lecturas podrá ser mayores para condiciones relativamente similar.

Lecturas horizontal vs. Lectura vertical

Algunos casos, una lectura de vibración horizontal puede ser hasta el doble del nivel de vibración en el plano vertical para un punto dado de la máquina. Los niveles mostrados en el diagrama son para lecturas tomadas en el plano vertical. Observar las tendencias de sus lecturas. Una lectura específica no es suficiente.

Frecuencia de Vibración

Los valores mostrados en el diagrama son para vibraciones medidas en el rango de 1000 a 100000 RPM (16 a 1666 Hz). Para máquinas operando a valores menores que 1000 RPM, los niveles de vibración disponibles deben ser reducidos. Por ejemplo para el rango de medida “aceptable”, para una máquina a 900 RPM puede ser entre 2.3 mm/s a 4.6 mm/s en vez de 2.5 a 5.00 mm/s. si el transductor de vibración que emplea es sensible a vibraciones sobre los 100000 RPM (1666 Hz) puede ajustar sus valores superiores disponibles.

Máquinas reciprocantes

Debido a su diseño básico, las máquinas reciprocantes, tales como bombas y compresores, normalmente tienen valores de vibración superiores a las máquinas rotativas.

Fuerzas externas

Normalmente, las máquinas no son montadas solas; en el medio del piso de una planta, usualmente hay otros equipos cerca, los cuales pueden afectar la máquina que se analiza. Tuberías conectadas, ductos y estructuras montadas transmiten vibraciones de máquina en máquina. No descontar totalmente estas fuerzas externas.

Puntos de medición

Los valores mostrados en el diagrama son para lecturas tomadas en o cerca de la chumacera, en la dirección radial. En el caso de máquinas verticales, las lecturas deberán ser tomadas en el cojinete que dé las lecturas máximas.

Condiciones de Operación

Las mediciones deberán realizarse cuando la máquina alcance su temperatura normal de operación. La máquina debe operar en su flujo y presión normal. En máquinas con cargas o velocidades variables, las mediciones se deben tomar en todas las condiciones de carga y velocidad. La lectura mayor será la más representativa.

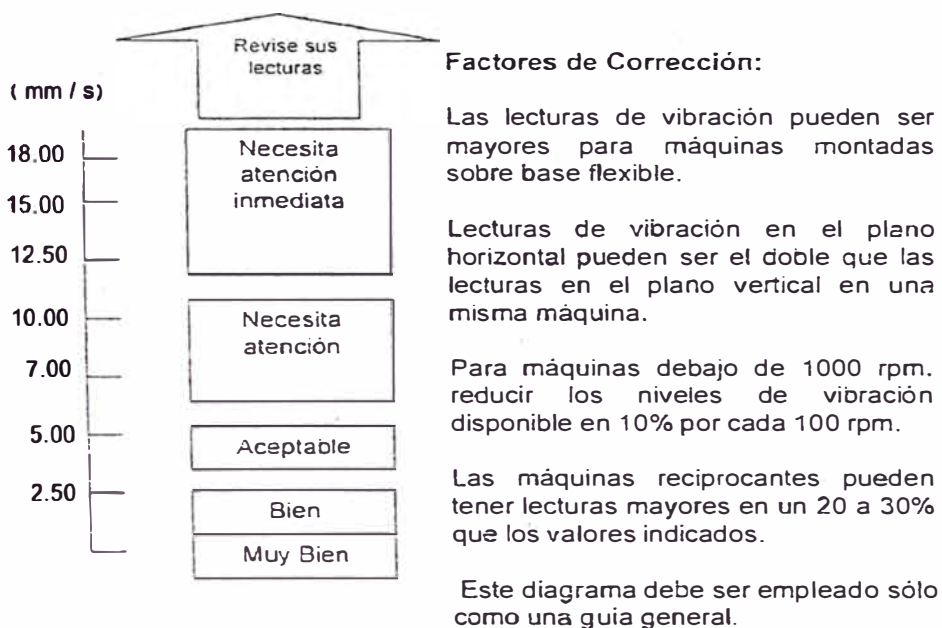
Instrumentación

Siempre se debe de emplear el mismo tipo y modelo de instrumento para poder comparar las lecturas, ya que dos instrumentos no son exactamente iguales. Cada instrumento tiene su propio rango de operación y sensibilidad a varias frecuencias de operación.

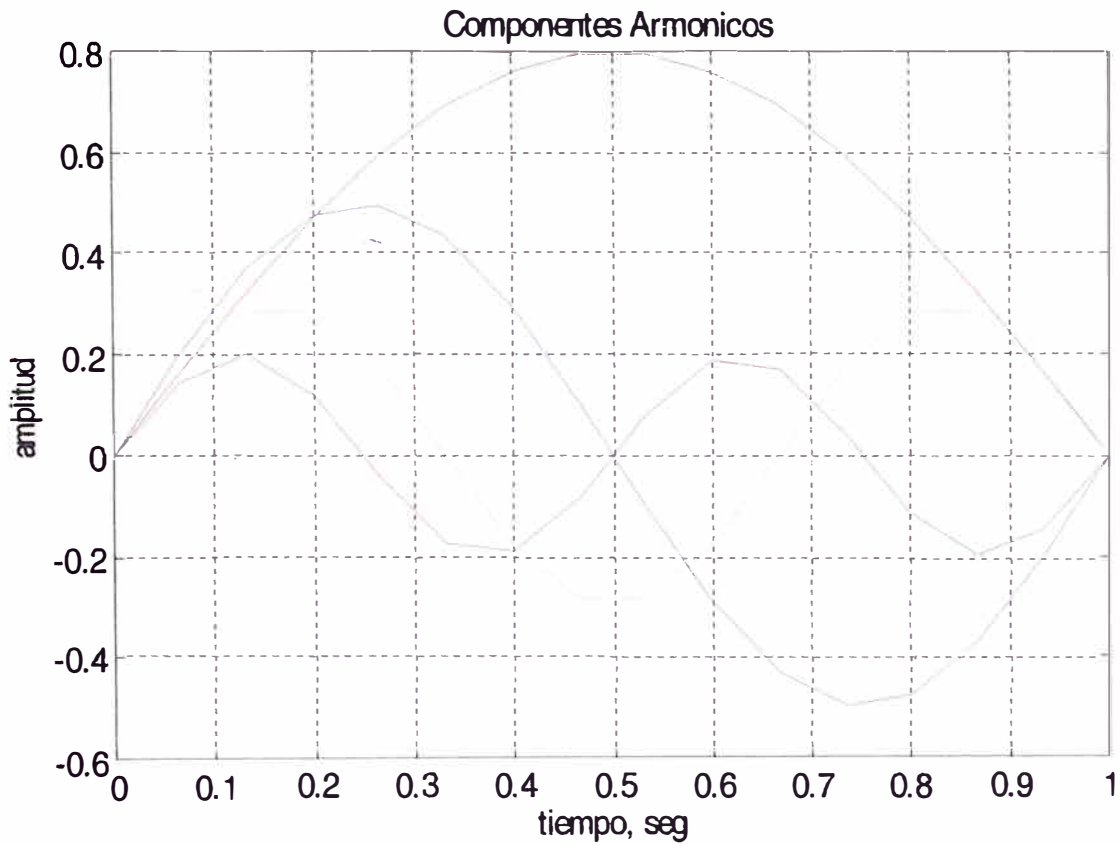
Sentido común

Emplear experiencias pasadas. Si la experiencia indica que la máquina no esta operando adecuadamente, es probable que así sea, aunque las lecturas de velocidad de vibración parezcan bien. Tomar lecturas de otros modos, desplazamiento y aceleración, y en diferentes puntos de la maquina.

Diagrama de Niveles de Vibración



ANÁLISIS ESPECTRAL FFT (FAST FOURIER TRANSFORMATION)



SERIES TRIGONOMETRICAS :

Sea una función real de variable real;

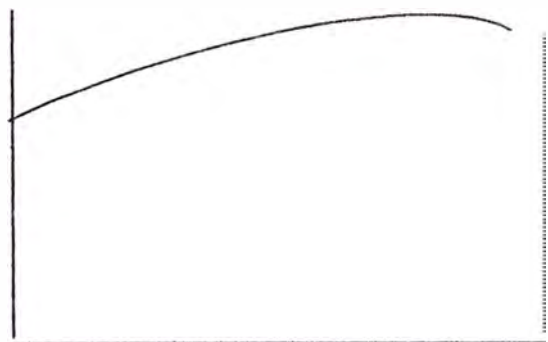
Por ejemplo :

Definida en el intervalo (0, T)

$y(t)$ puede ser :

- algebraica (polinomios)
- (t)
- Trascendente

$y(t)$



T

a).-Mediante una serie de senos.- (Asimétrica)

$$\begin{aligned}
 y(t) &= \sum_{m=1,2,3,\dots}^{\infty} a_m \operatorname{sen} \frac{m\pi}{T} t \\
 &= a_1 \operatorname{sen} \frac{\pi}{T} t + a_2 \operatorname{sen} \frac{2\pi}{T} t \\
 &+ a_3 \operatorname{sen} \frac{3\pi}{T} t + \dots \infty
 \end{aligned}$$

Siendo : T = El semiperiodo $f = \frac{1}{2T}$ Frecuencia real

Además ω = Frecuencia angular equivalente $\boxed{2\pi f = \omega}$

$$\begin{aligned}
 y(t) &= a_1 \operatorname{sen} \omega t + a_2 \operatorname{sen} 2\omega t + a_3 \operatorname{sen} 3\omega t \\
 &+ a_4 \operatorname{sen} 4\omega t \\
 &+ \dots \infty
 \end{aligned}$$

nótese que la frecuencia “ ω ” cambia en forma discreta en los componentes (armónicos de la función total $y(t)$).

$$\boxed{\omega_1 = \omega, \quad \omega_2 = 2\omega, \quad \omega_3 = 3\omega, \quad \omega_4 = 4\omega}$$

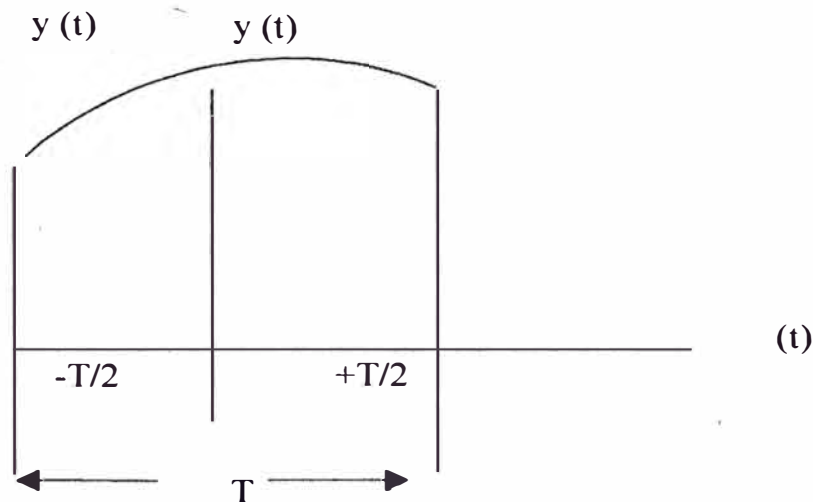
LOS COEFICIENTES DE CADA ARMONICO :

$$a_m = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) \operatorname{sen} \frac{m\pi}{T} t \, dt$$

Por ejemplo :

$$a_2 = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) \operatorname{sen} \frac{2\pi}{T} t dt$$

b) Mediante una serie de Cosenos .-



$$y(t) = \sum_{m=0,1,3,5,\dots}^{\infty} b_m \cos \frac{m\pi}{T} t$$

$$y(t) = b_0 + b_1 \cos \frac{\pi}{T} t + b_3 \cos \frac{3\pi}{T} t + b_5 \cos \frac{5\pi}{T} t + b_7 \cos \frac{7\pi}{T} t + \dots \infty$$

(armónicos)

Los coeficientes de cada armónico :

$$b_m = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} y(t) \cos \frac{m\pi}{T} t dt$$

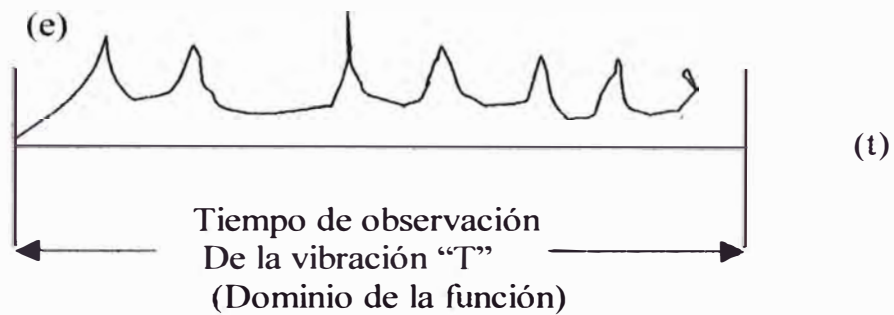
Una función que tiene una parte simétrica + otra parte asimétrica : (El caso mas general) ;

Los componentes completos serán :

$$y(t) = b_0 + \sum_{m=1,2,3,\dots,\infty} a_m \text{sen } w_m t + \sum_{m=1,3,5,7,\dots,\infty} b_m \text{cos } w_m t$$

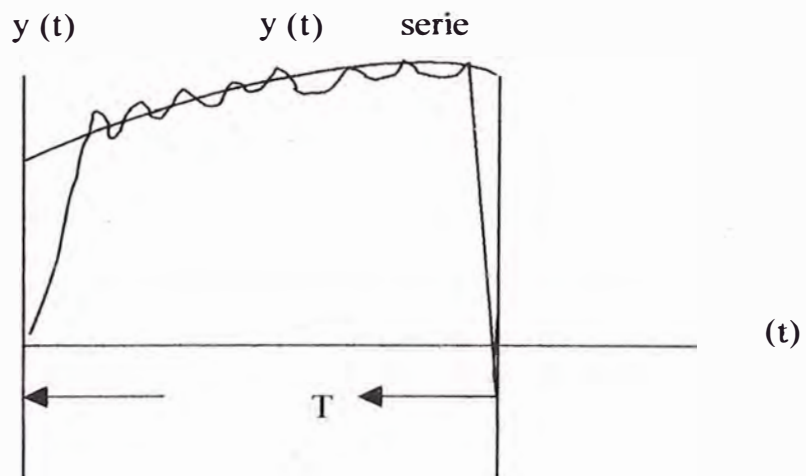
En resumen :

y (t) una función real cualquiera (periódica tal como la elongación de desplazamiento en una vibración mecánica.



$$\left[b_0 + \sum_{m=1}^{\infty} a_m \text{sen } \omega_m t + \sum_{m=1}^{\infty} b_m \text{cos } \omega_m t \right] \Rightarrow \text{serie}$$

Trigonométrica que converge a y (t) por lo tanto la serie “ copia “ a y (t)



Cuando $m \rightarrow \infty$; la “copia “ es exacta.

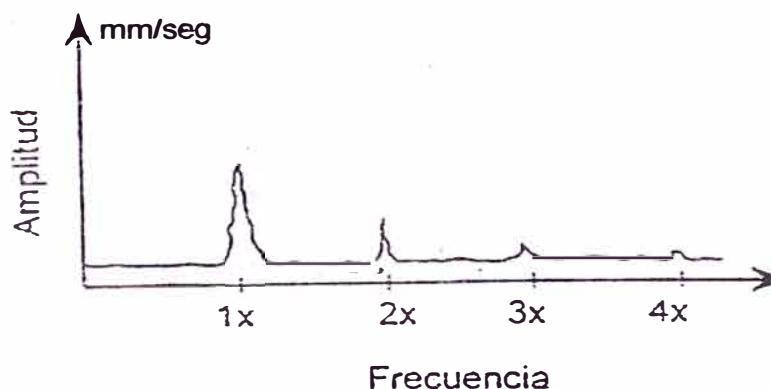
Es el método que se recomienda para analizar y resolver problemas de vibración.

Permite descomponer la vibración total en sus frecuencias componentes para poder analizarlas individualmente. La representación de la función y la elongación de la vibración es por series trigonométricas.

Esto se logra con filtros de frecuencias, ya que cada vibración tiene en general una frecuencia distinta. Dichas frecuencias se descomponen normalmente en armónicos de la frecuencia de giro de la máquina. Las señales se descomponen en componentes secuenciales con su respectiva amplitud vibracional.

El espectro FFT se muestra en gráficos que nos dan la amplitud de vibración en función de los múltiplos de la frecuencia de giro de la máquina (1x, 2x, 3x, ...), y que tienen algunas formas ya casi definidas tal como podemos ver en los siguientes gráficos.

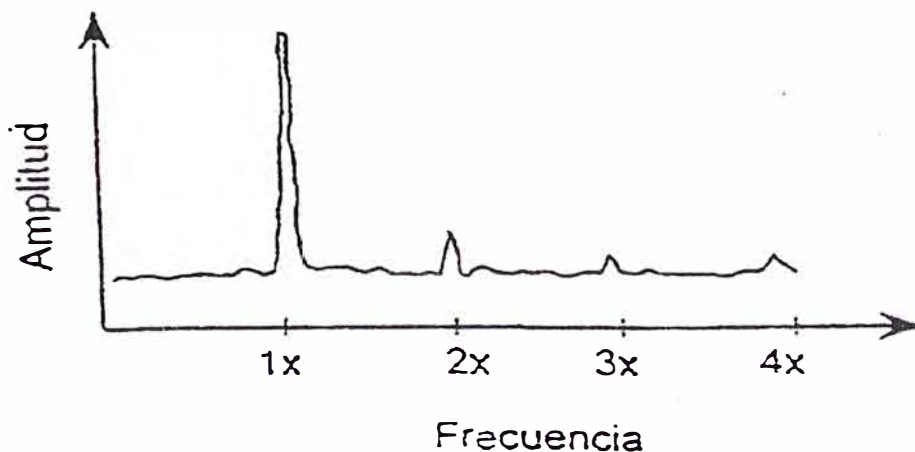
a. Condiciones Normales de Funcionamiento



El gráfico muestra un espectro FFT simple de baja frecuencia con picos a la velocidad de giro de la máquina y múltiplos (armónicos) en condiciones normales de funcionamiento como se puede apreciar en las frecuencias añadidas a $2x$, $3x$, ..., la amplitud va disminuyendo aproximadamente en $1/3$ de la amplitud a la frecuencia de giro, lo cual es un comportamiento normal.

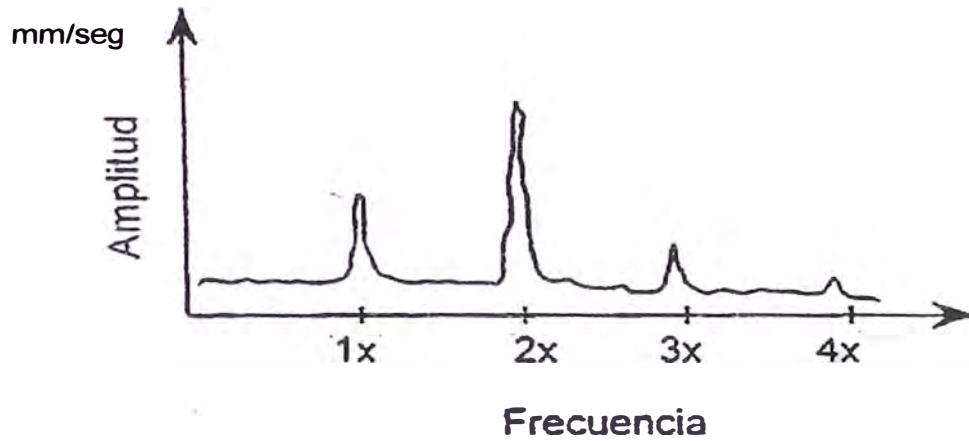
b. Desbalance o Desequilibrio

mm/seg



EL DESBALANCE O DESEQUILIBRIO casi siempre se observa como una alta amplitud a la velocidad de giro ($1 \times \text{RPM}$) y medida en dirección radial. Muchas máquinas de marcha suave muestran esta condición debido al desbalance inherente. Es necesario comparar espectros actuales con los espectros base medidos cuando la máquina estaba en buenas condiciones de balance.

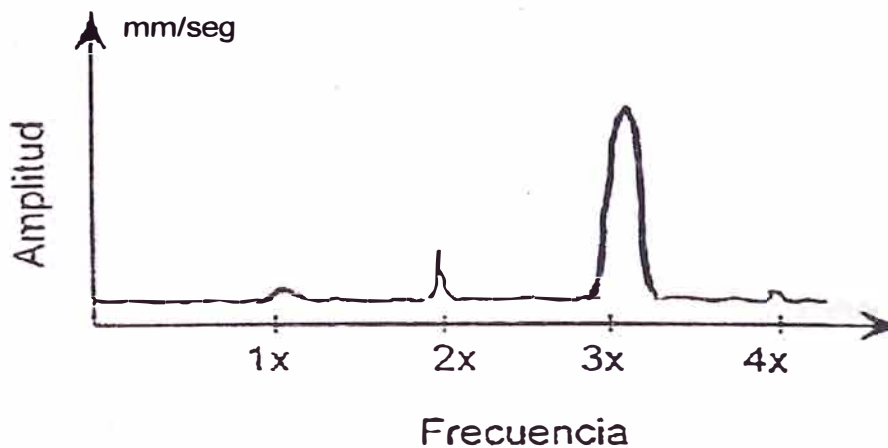
c. Soltura Mecánica



La soltura mecánica generalmente se caracteriza por una alta amplitud al doble de la velocidad de giro (2 x RPM), seguido por una cadena de armónicos.

Asimismo, antes de convertir la señal en un espectro de frecuencia, se puede obtener la onda de la vibración total en función del tiempo. El análisis de estas ondas proveen información adicional sobre el estado de la máquinas la cual no siempre es evidente en el espectro de frecuencia.

d. Desalineamiento



Dependiendo del tipo de acoplamiento, rígido o flexible, la vibración a tres veces la velocidad de giro (3 x RPM) implica DESALINEAMIENTO. Si la amplitud a tres veces la velocidad de giro (3x) es más de 75% de la amplitud a (1x), está a punto de ocurrir una falla. La condición debe ser monitoreada de cerca y corregida a la primera oportunidad.

DEFINICIÓN DE LOS ESTADOS DE LOS EQUIPOS

ESTADO BUENO (B). $V < 2 \text{ mm/s}$. Equipo típico de un buen balanceo, alineado y conservado, al que deberán realizarse chequeos periódicos.

ESTADO NORMAL (N). $V = 2-4 \text{ mm/s}$. Equipo donde se inician probables fallas mínimas, se deberá chequear periódicamente vigilando incrementos en los niveles de vibración.

ESTADO TOLERABLE (T). $V = 4-7 \text{ mm/s}$. Probables fallas que se pronostican en el equipo de manera que se pueda realizar análisis vibracional para identificar el problema. Hacer un programa para posible intervención.

ESTADO INADMISIBLE (I). $V > 7 \text{ mm/s}$. Equipo con vibración severa, potencialmente peligrosa, se debe efectuar de inmediato el análisis detallado de vibración para identificar el problema, se recomienda que estos equipos deben ser intervenidos a la brevedad posible para evitar fallas durante su operación.

2.3.2. ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA

La medición de la temperatura es un indicador muy útil de la condición o de la carga aplicada a componentes específicos tales como cojinetes de empuje. Los defectos en el rodamiento causan fricción lo que hace que la temperatura se eleve.

La instalación de sensores o termocuplas en el alojamiento del rodamiento y la medición de los cambios de temperatura en el rodamiento o en el lubricante permite detectar problemas tempranos y programar el mantenimiento antes que ocurra una falla más seria y costosa.

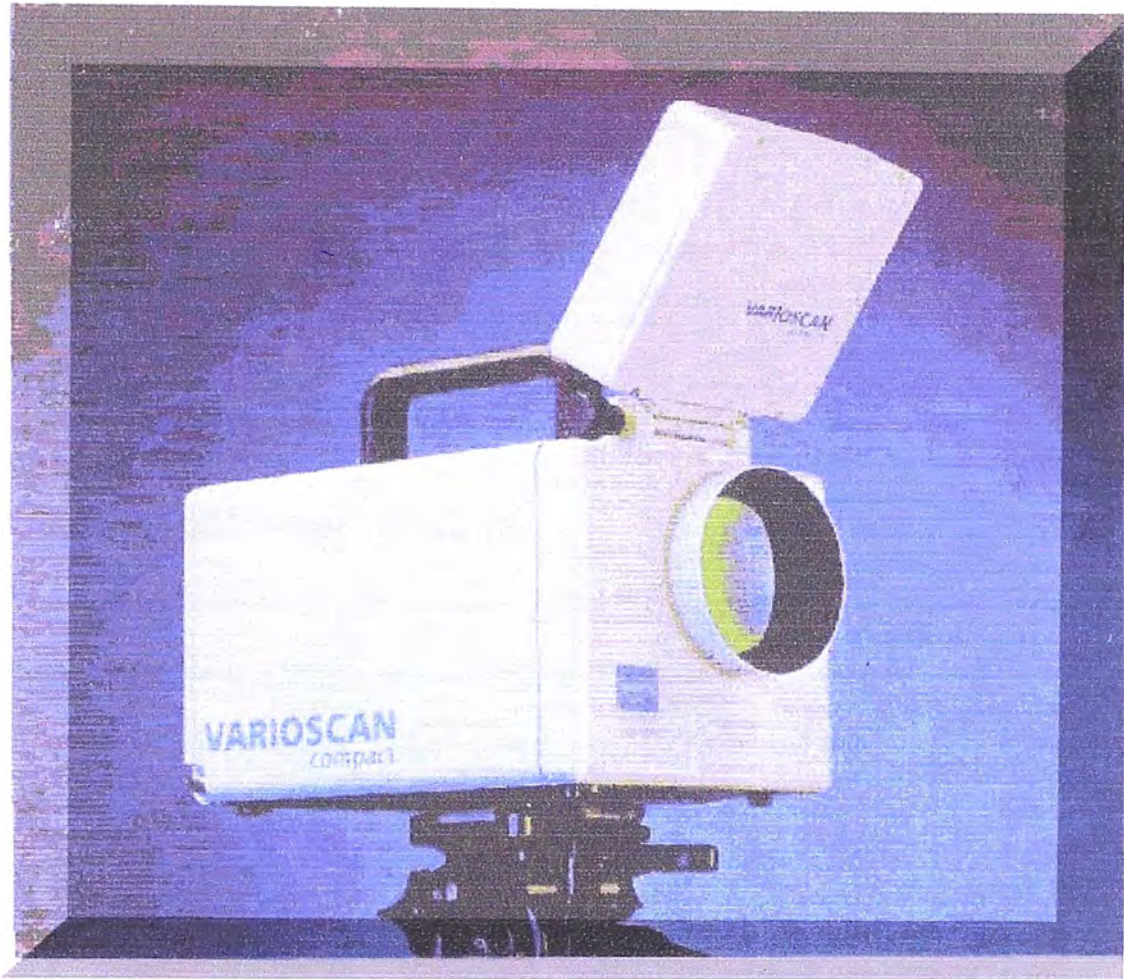
Se mide la temperatura de las superficies de las máquinas y sus componentes.

Dentro de sus usos está en los hornos rotativos, calderas, chimeneas, aislaciones, cañerías, y en componentes eléctricos como conmutadores, transformadores. Para estos análisis se emplean varios instrumentos, como son termómetros compactos de infrarrojos con visor láser, termómetro bimetalico de aire/superficie, y el más importante y moderno es la termografía infrarroja, que pasaremos a describir.

TERMOGRAFÍA INFRARROJA

La termografía es la aplicación en forma gráfica de la medición de la temperatura utilizando termómetros infrarrojos.

TERMOGRAFÍA INFRARROJA



1. PRINCIPIO

Emisión de irradiación → sensor infrarrojo → señal eléctrica

2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA TERMOGRAFÍA

- a. No requiere contacto físico con el equipo inspeccionado.
- b. Permite analizar grandes áreas en tiempos reducidos.
- c. Se obtiene un registro visual de la distribución de temperaturas.
- d. Sistema portátil y autónomo.
- e. Gran sensibilidad que permite tomar mediciones a distancia.
- f. No interrumpe el funcionamiento de la máquina a inspeccionar.

3. APLICACIONES

SECTOR ELÉCTRICO

- a. Desperfectos.
- b. Oxidación de contactos.
- c. Envejecimiento del material.
- d. Sobrecargas.

AISLAMIENTOS TÉRMICOS

- a. Detecta el estado de envejecimiento de los aislantes.
- b. Detecta las existencias de pérdidas térmicas.
- c. Permite verificar la calidad de montaje de aislamiento.

INSPECCIONES DE REFRACTARIOS

- a. Estado de refractario: desgaste, fisura y pérdidas de resistencia térmica.

2.3.3. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Sirven para detectar fallas en máquinas o componentes de ella, que sufren los inevitables deterioros originados por el tipo de servicio a que están sometidos. Se descubren desgastes, fisuras internas o externas que detectadas a tiempo, permiten efectuar el recambio necesario o la reparación de la pieza dañada antes que se produzca un desastre con consecuencias indeseables.

Con dichos ensayos, no se debe dañar el objeto en estudio.

Las fallas principales que suelen presentarse en los productos metálicos son:

Costuras, grietas, fallas superficiales, fallas subsuperficiales, defectos al interior, porosidad, etc.

Los ensayos no destructivos más utilizados son:

Ultrasonido.

Gammagrafía

Líquidos penetrantes.

Partículas magnéticas.

Corrientes parásitas.

2.3.3.1. ULTRASONIDO

Permite la detección de fallas macroscópicas en aquellos materiales que poseen conductividad acústica, medio continuo y homogéneo, tales como metales, cerámica, plásticos.

Su uso se da en el cálculo de espesores, cuando no es accesible por ambas caras. Se utiliza la diferencia de densidad para ello y se puede medir las profundidades de grietas o fisuras, también las cavidades (burbujas de aire), incrustaciones y en el caso de soldadura la escoria que ha quedado atrapado.

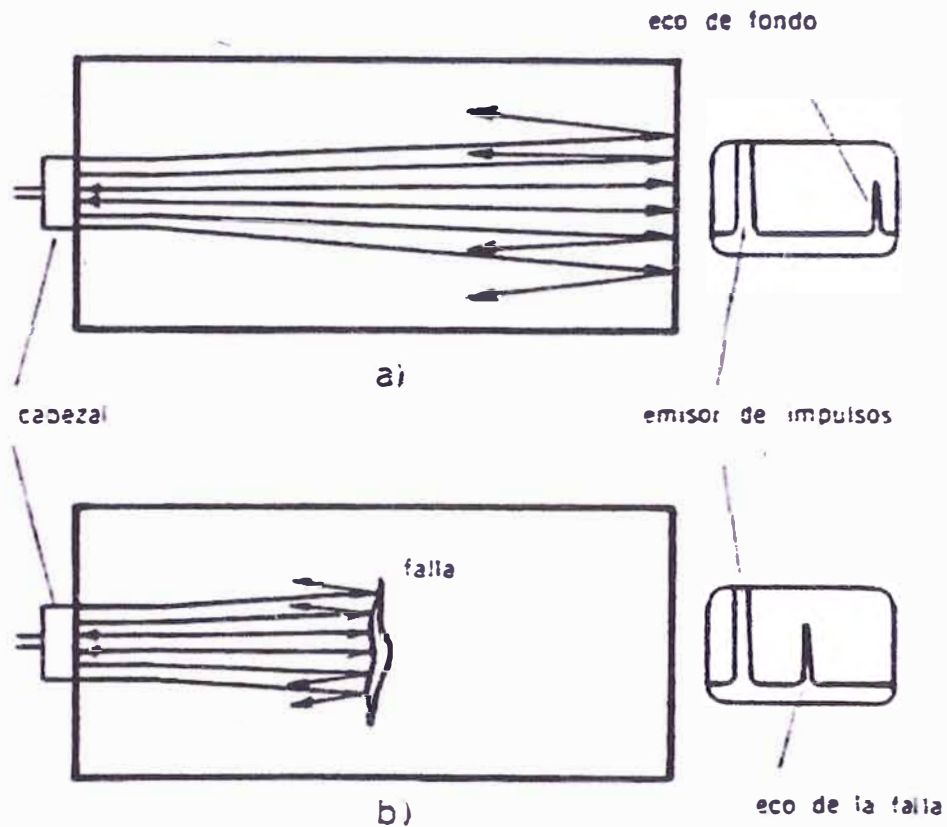
EQUIPO DE US KRAUTKRAMER BRANSON



Utiliza ondas cuya frecuencia es $f > 20$ kHz. El límite superior de dichas ondas depende de las posibilidades de emisión y de captación de las mismas. Se han producido ondas con una frecuencia de alrededor de 1000 MHz.

Se muestra un esquema (a) que se trata de un haz de sonido que atraviesa un cuerpo homogéneo de espesor d . Al llegar al fondo del cuerpo ese haz sufrirá una reflexión total.

En el esquema (b), se trata del mismo cuerpo de espesor d , en cuyo interior se encuentran una falla. Al chocar con la falla parte del haz de sonido se refleja, lo cual nos permite poner de manifiesto la existencia de la falla.



En la pieza a ensayar se coloca un cabezal o palpador, el cual se puede desempeñar indistintamente como emisor y receptor de ondas simultáneamente. Dicho cabezal se acopla a un aparato electrónico que determina el tiempo que tarda en llegar el eco de la onda ultrasónica.

Si se conoce la velocidad de propagación del sonido dentro de la pieza de ensayo, se puede determinar la distancia entre el cabezal de emisión y el sitio donde se refleja las ondas.

La medida del tiempo transcurrido entre la emisión del sonido y su recepción se realiza mediante un tubo de rayos catódicos. Dicho tiempo, a su vez, se puede transformar directamente en distancia entre el impulso emitido y su eco.

El ensayo de ultrasonido exige ciertos requisitos básicos.

La superficie de la pieza a ensayar debe estar libre de cualquier suciedad. El raspado con un cepillo metálico es suficiente.

El acoplamiento entre el palpador o cabezal y la pieza a examinar se realiza con la intercalación entre ambos de aceite de máquina, glicerina o simplemente agua con el objeto de eliminar el aire.

Se puede medir espesores de tubos de calderas, cascos de embarcaciones, etc., con una exactitud entre 1 y 3%.

2.3.3.2. GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL

INTRODUCCIÓN

La gammagrafía o radiografía industrial, utilizando radionucleidos, emisores de radiaciones gamma, representa en el momento actual un método de importancia primordial en la inspección y control industrial de estructuras y componentes metálicos. Desde el descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1885, ha sido incontable el número de veces que la radiación electromagnética de alta energía ha sido utilizada en Radiografía Industrial, método que de además de su carácter no

destrutivo, añade la ventaja de proporcionar un adecuado control de calidad, facilitando tanto la introducción de mejores técnicas de producción, como productos de calidad continuamente superada.

Los rayos gamma constituyen radiaciones electromagnéticas del mismo tipo que los rayos X. Se diferencia de estos por tener una longitud de onda menor. Mientras la longitud media de onda de los rayos X es del orden de 1-2 Å, la de los rayos gamma es de una longitud de 0.01 Å.

FUNDAMENTOS DE LA GAMMAGRAFIA

La gammagrafía Industrial es un proceso para observar la estructura de objetos opacos, análogo a la utilización médica de rayos X en Radiodiagnóstico, para observar la estructura del organismo humano.

En Gammagrafía Industrial, la radiación gamma procedente de una fuente radiactiva, atraviesa el objeto a estudiar e incide sobre una placa fotográfica, donde el flujo de radiación incidente en cada punto varía con el espesor y composición de la materia recorrida por la radiación. De esta forma, tras un cierto tiempo de exposición y revelada la película, se obtiene la gammagrafía, imagen de sombras del objeto, en la cual efectos estructurales tales como cavidades, fisuras, impurezas o cualquier otro tipo de imperfección análoga, aparecen como zonas más oscuras o más claras que el resto de la imagen. Así, de esta forma, un profesional experto, puede interpretar la

placa fotográfica determinando no solo las zonas defectivas sino también el tipo de fallo existente.

En general, el equipo de Gammagrafía se compone de las siguientes unidades:

- a) Fuente radiactiva.
- b) Contenedor blindada para el alojamiento de la fuente.
- c) Telemando, para desplazar la fuente desde su alojamiento a la posición de exposición.
- d) Película especial de rayos gamma o X.
- e) Unidad de revelado fotográfico.

EQUIPO DE GAMAGRAFÍA



A) FUENTE RADIATIVA

La principal fuente de rayos gamma proviene de la fisión de los elementos radiactivos tal por ejemplo el uranio 235, o de elementos radiactivos obtenidos artificialmente por exposición de algunos metales a una fuente radiactiva, con lo que se convierten en radioisótopos.

Los elementos radiactivos más usados en ensayos de gammagrafía son los siguientes:

Elementos Radiactivos	Período de semidesintegración (años)	Energía de los rayos (Kv)	Espesor de acero (mm)
Radio – 226	1620	0.24 – 2.20	2.5 a 10.0
Cesio – 137	37	0.66	
Cobalto – 60	5,3	1.17 – 1.33	3.5 a 18.0
Tulio – 170	127 días	0.052 – 0.084	
Iridio – 192	74 días	0.137 – 0.651	1.25 a 65.5

Conceptos Básicos:

Período de semidesintegración: Es el tiempo para que la actividad inicial del radioisótopo se reduzca a la mitad.

Exposición: La exposición se mide en ROENTGEN por hora por CURIE.

1 ROENTGEN es la exposición que produce en 1 cm³ de aire (0.01293 gr.) en condiciones normales de presión y temperatura una ionización de una unidad electrostática de cada signo.

Actividad: Se mide en CURIE = 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo.

Penetración en acero (mm)	Rayos	
	X	γ
75	280 kV	Iridio – 192
88	400 kV	Cesio – 137
125	650 kV	Radio – 226
200	2000 kV	Cobalto – 60

El radionucleido utilizado como fuente de radiación en un equipo de gammagrafía, se encuentra confinado en una cápsula de acero inoxidable cerrada herméticamente por soldadura, a fin de que mantenga su integridad, prácticamente en todas las condiciones posibles.

En la figura siguiente se muestra el aspecto de una fuente gammagráfica, juntamente con su despiece que muestra su estructura interna.



FUENTE DE IRIDIO 192

Con arreglo a la normatividad legal vigente, las fuentes gammagráficas están clasificadas como material radiactivo en forma especial, que debe reunir las condiciones de que la cápsula de la fuente no pueda ser abierta más que por métodos destructivos, y que debe resistir sin fugas de material radiactivo ni pérdida de integridad de las cápsulas, unos ensayos tipificados de caída libre, percusión, calentamiento e inmersión en agua.

La cápsula de la fuente viene fijada a uno de los extremos de un soporte, constituido por un enrollamiento metálico flexible, o por un conjunto de cilindros articulados. Este soporte lleva en el otro extremo un conector, que permite las maniobras de acople y desacople al cable propulsor, y que debe cumplir con una serie de especificaciones, en especial la resistencia a la tracción sin desengancharse hasta una fuerza de 2 KN, y la seguridad en las maniobras de conexión y desconexión. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de situaciones de emergencia surgen de fallos de este conector, y en consecuencias, en cada modelo de equipo radiográfico se incluyen calibradores y normas de comprobación tendentes en especial a poner de manifiesto posibles desgastes, que ocasionarían pérdidas de fiabilidad en el sistema de conexión.

Las características más importantes que deben poseer estas fuentes son:

1) ACTIVIDAD

La actividad o número de transformaciones nucleares por segundo, cuya unidad de medida es el CURIE, que experimenta una cierta masa de un radionucleido, es un parámetro importante a considerar en una fuente gammagráfica. Hay que tener en cuenta que el número de fotones que emite una muestra radiactiva por segundo, no coincide casi nunca con el valor de la actividad, ya que depende, además, de peculiaridades del esquema de desintegración del radionucleido.

La actividad específica, o actividad por unidad de masa del radionucleido, conviene en el caso estudiado que sea lo más elevada posible. Como se verá más

adelante desde el punto de vista de alcanzar una máxima nitidez en la gammagrafía, y de reducir al mínimo tiempo de exposición, interesa una muestra que tenga un tamaño lo más pequeño posible y a la vez una actividad específicamente suficientemente elevada.

2) PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN

El periodo o intervalo de tiempo requerido en un radionucleido para que su actividad decrezca a su mitad por desintegración, es entonces característica importante en Gammagrafía. Dependiendo del radionucleido puede ser segundos, minutos, horas, meses, hasta miles de años. La circunstancia de que la fuente gammagráfica se considere técnicamente decaída cuando su actividad decrece por debajo de un nivel mínimo, hace atractivos en principio radionucleidos de periodo largo. No obstante, hay que tener en cuenta que cuanto más largo sea el período, menor será la actividad específica, lo cual obliga a soluciones de compromiso.

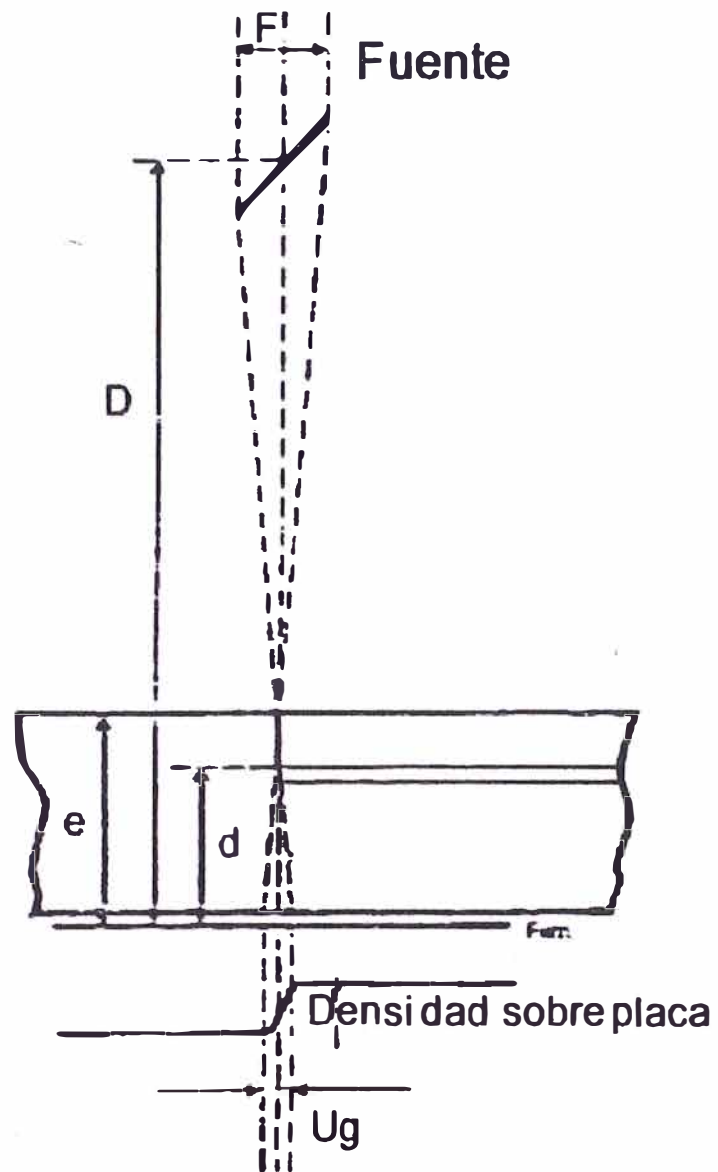
3) ESPESOR ENERGÉTICO

La emisión de radiación gamma de radionucleido forma un espectro discreto, esto es los fotones se emiten en una o varias líneas monocenergéticas, de distintas intensidades. Esta propiedad configura el poder de penetración de la radiación emitida por cada radionucleido, al incidir sobre un determinado material.

4) TAMAÑO DE LA FUENTE RADIATIVA

La imagen gammagráfica viene determinada por la atenuación variable, según la composición de cada zona del objeto, de un haz divergente de radiación gamma producida por la fuente radiactiva. Por consiguiente la información recogida en la placa fotográfica es una imagen de sombras cuyos bordes deben ser nítidos a fin de poder detectar defectos de muy pequeño volumen.

La condición deseada, de una imagen con bordes nítidos, solo puede ser alcanzada en principio, utilizando una fuente radiactiva puntual, condición imposible de realizar en la práctica. La consecuencia de esta limitación es la borrosidad geométrica, debida como se aprecia en la figura siguiente a las dimensiones finitas de la fuente.



Borrosidad Geométrica

La relación entre el tamaño de la fuente y la borrosidad geométrica viene dada por la expresión:

$$U = Fd/(D-d)$$

Donde:

U = borrosidad geométrica.

F = diámetro de la fuente.

D = distancia fuente – placa fotográfica.

d = distancia defecto – placa fotográfica

El valor máximo de U corresponde a un defecto situado a la máxima distancia de la película, muy cerca del borde del objeto opuesto a la placa. Este valor máximo viene dado por:

$$U_{\max} = Fe/(D-e)$$

Donde:

e = espesor del componente examinado.

Para el trabajo de buena calidad, se acepta generalmente que U no debe ser mayor de 0.25 mm. Esta condición se logra haciendo que D sea grande, o F pequeño; teniendo en cuenta que el aumento de la distancia fuente – placa fotográfica es un recurso no siempre utilizable, bien por carencia de espacio o por suponer un aumento intolerable del tiempo de exposición, es mejor hacer que F sea lo más pequeño posible, idealmente un punto. Sin embargo, la actividad específica de la fuente establece un tamaño mínimo para una determinada actividad. En la práctica, los diámetros efectivos de las fuentes se encuentran entre 0.5 mm y 6 mm.

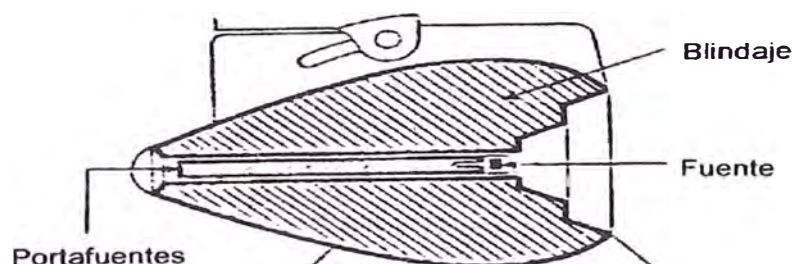
B) CONTENEDOR BLINDADO PARA EL ALOJAMIENTO DE LA FUENTE

Estos componentes de las cámaras gammagráficas tienen la misión de alojar a la fuente radiactiva y el soporte de la fuente, en una zona rodeada de un blindaje suficientemente efectivo, para permitir el manejo del contenedor por el operador.

Existen tres tipos de contenedores actualmente en uso.

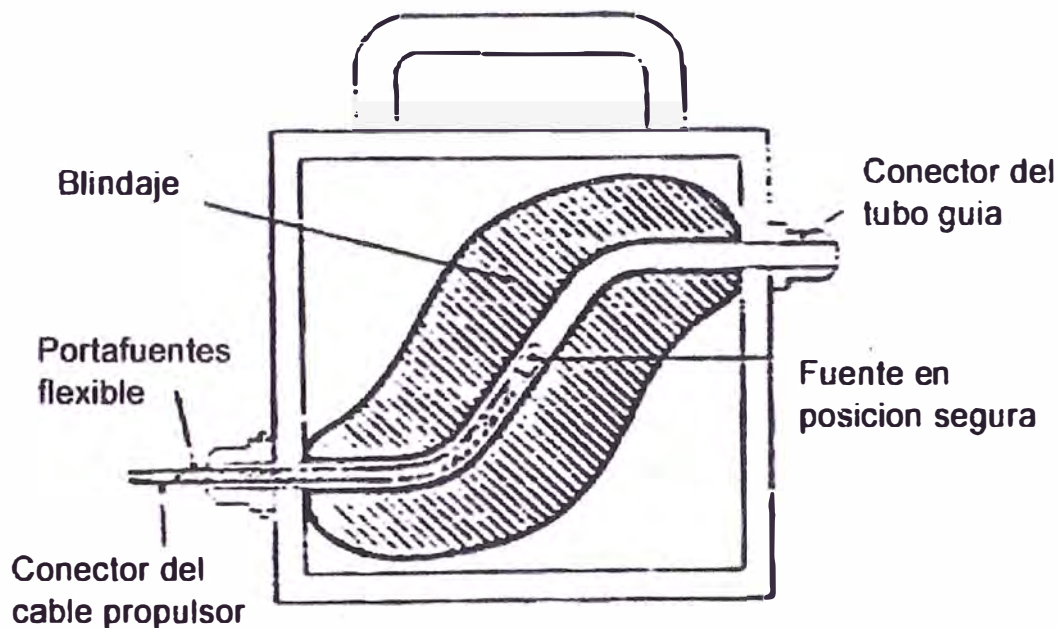
En los del primer tipo, las cámaras de haz o direccionales, la fuente radiactiva bien permanece en posición fija, o se mueve en el interior del blindaje, gobernándose se escape de la radiación con un obturador. En el segundo tipo, la cámara panorámica, la fuente emergente del contenedor es conducida a través de un tubo guía flexible, hasta el foco de exposición. Finalmente en el tercer tipo, o cámara de antorcha, la fuente que va montada en el interior del blindaje puede ser extraída manualmente y conducida como una “antorcha” al punto de operación. La fuente va provista de un blindaje, que solo permite que la radiación escape hacia delante, de suerte que el operador se encuentre suficientemente protegido.

Contenedor Direccional



De obturador con la fuente en posición fija. La operación de apertura del haz se realiza en forma manual, elevándose el obturador mediante una asa para realizar la exposición.

Contenedor con cámara panorámica



El contenedor panorámico de conducto sigmoideal basan su funcionamiento en la propagación rectilínea de la radiación a partir de la fuente. En estos sistemas el canal de alojamiento de la fuente en blindaje tiene forma sinuosa, con lo cual la radiación emergente de la fuente, situada en el centro del canal, no encuentra ninguna trayectoria rectilínea hacia el exterior, libre de blindaje.

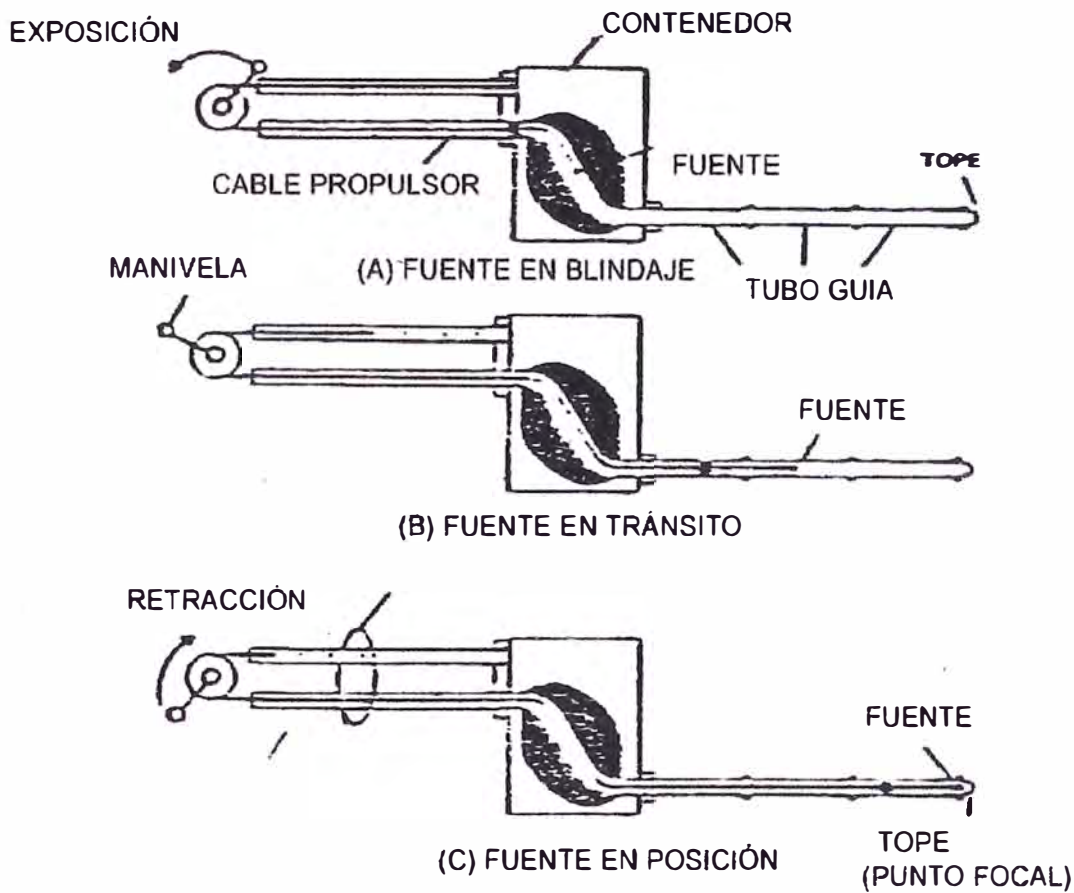
Para los efectos de blindaje, los materiales que se usan en forma predominante son plomo, wolframio, o uranio empobrecido, siendo este último de uso muy extendido, ya que permite el mismo grado de atenuación que los otros dos con un espesor menor

y por lo tanto con una asa muy inferior, aunque esta ventaja se vea disminuido por el precio elevado del uranio.

Los contenedores de gammagrafia deben reunir un cierto número de condiciones: deben ser mecánicamente fuertes, estancos al agua, venir provistos de asas para el transporte, y disponer de un sistema de bloqueo que mantenga la fuente o el obturador en posición segura.

c) TELEMANDO

En las figuras siguientes se está en posición de almacenamiento, la fuente radiactiva se encuentra en la zona segura en el centro del blindaje. Para pasar a la posición de trabajo, la fuente se desplaza a través de un tubo guía. Hasta el punto focal empujada por un cable propulsor, conectado al soporte de la fuente, y accionado por una manivela en la unidad de control. La inversión de la rotación de la manivela permite retraer la fuente a la posición de almacenamiento.

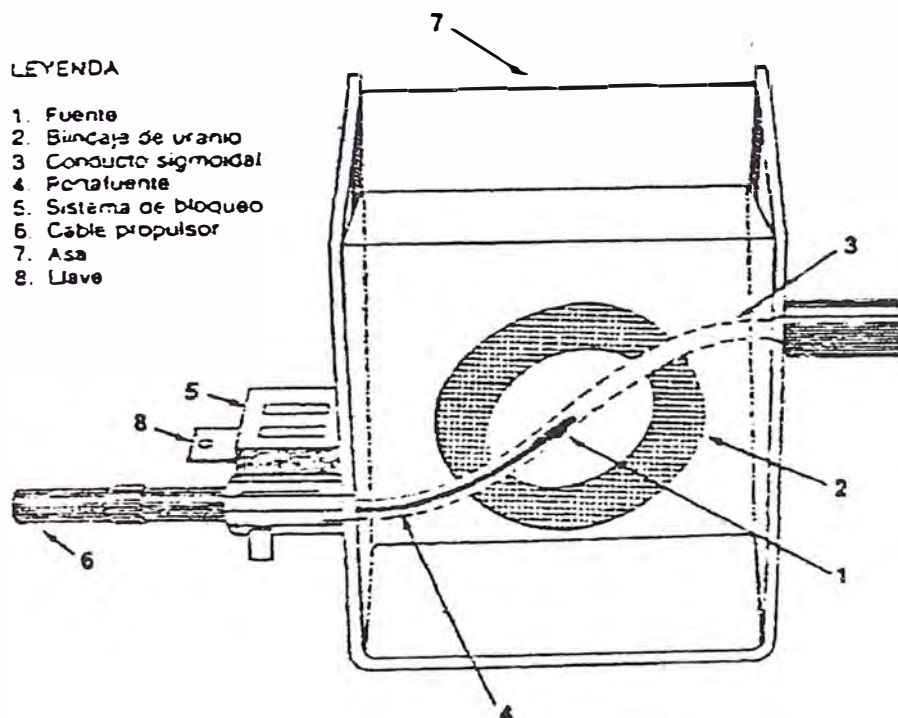


La atenuación de estos blindajes debe ser tal, que con una fuente de actividad igual a la máxima autorizada, la tasa de exposición en cualquiera de las superficies no debe superar los 200 m R/h y a un metro del contenedor, no sea mayor de 2m R/h.

El sistema descrito tiene una gran importancia, desde el punto de vista de la seguridad del operador, y debe cumplir las siguientes condiciones:

- No podrá ser desmontado fácilmente con herramientas comunes.
- No podrá ser desbloqueado con ningún utensilio o llave análoga a la propia.

- c) En posición de bloqueo, la fuente quedará completamente inmovilizada en su posición de seguridad.
- d) El sistema no debe impedir en ninguna circunstancia el retorno de la fuente al blindaje.
- e) No debe ser posible el paso a situación de bloqueo, a menos que la fuente se encuentre completamente retraída.
- f) No debe ser posible exponer la fuente, a menos que su soporte esté debidamente unido al cable propulsor.



La cámara gammagráfica descrita tiene un peso de 20 kg. y una capacidad máxima de 120 Ci de Ir 192. El hecho de que pueda ser transportada y manejada por una única persona y que no requiera energía eléctrica para su funcionamiento confiere grandes ventajas en aplicaciones industriales.

La utilización de uranio como material de blindaje, contribuye a la par a reducir el tamaño y el peso del contenedor. Aunque algunos fabricantes utilizan plomo como material de blindaje, la ventaja de su menor precio respecto al uranio queda ampliamente disminuida por el inconveniente que supone el aumento de peso y tamaño.

D) PELÍCULA Y UNIDAD DE REVELADO FOTOGRÁFICO

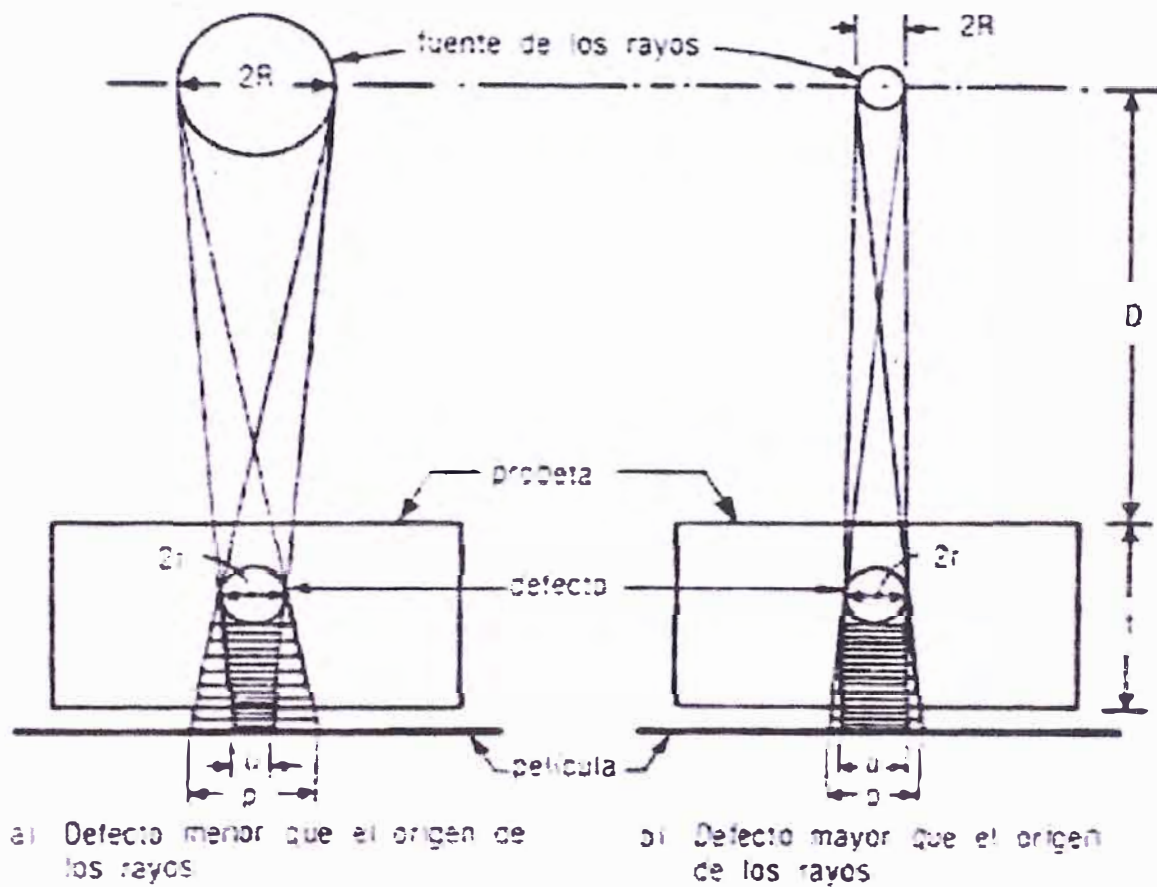
Para el Registro radiográfico de las fallas se emplean películas apropiadas de acetato de celulosa, cuyas dos caras están impregnadas con una emulsión de bromuro de plata, con el objeto de duplicar prácticamente el contraste de la imagen.

Para mejorar aun más dicho contraste se utilizan PANTALLAS REFORZADAS en contacto con cada cara de la película. Bajo la acción de las radiaciones dichas pantallas se vuelven fluorescentes, con lo cual contribuye a una mejor impresión de la película.

Cuando los objetos a radiografiar acusan diferencias en el espesor, se debe proceder con precaución especial para que en la radiografía no aparezcan zonas veladas o sobrepuestas. Para ello las partes circulares se pueden encerrar en fundas del mismo material con el objeto de conseguir uniforme.

Para obtener una radiografía aceptable es importante tener en cuenta el tamaño de la fuente de producción de los rayos gamma, puesto que de ello depende la nitidez que

puede alcanzarse. De acuerdo con la figura siguiente, es fácil ver que cuanto más pequeño es la fuente \textcircled{R} tanto mayor es la sombra u que proyecta y más angosto el anillo de penumbra ($p-u$). También es visible que cuando más cerca se halla la película de la pieza tanto más nítida es la sombra.



Al mismo resultado se puede arribar aumentando la distancia D entre la fuente de rayos gamma y la pieza examinada. Dicha distancia debe hacerse tan grande como sea posible, sin que ello implique aumentar en forma desmesurada el tiempo de exposición. Se toma en general $D/t = 7$, siendo conveniente acercarse el valor de 30.

en los equipos de rayos gamma la distancia D está gobernada por la cantidad de material radioactivo que se utilice en cada caso.

E) INTERPRETACIÓN DE UNA RADIOGRAFÍA

Las películas radiográficas constituyen los negativos una vez reveladas después de la exposición a la radiación.

Por lo tanto, las partes más oscuras de las radiografías corresponden a las partes menos duras de la pieza examinada y viceversa. La alternancia de partes oscuras y más claras son debido a:

Diferencias de espesor.

Presencia de vacíos.

Diferencias en la densidad de las partes componentes; tal es el caso, por ejemplo de las incrustaciones de metal en material plástico o la inclusión de escorias en las soldaduras.

Las aplicaciones más comunes de la radiografía en la industria metalúrgica se dan en el examen de las soldaduras o en el estudio de las piezas fundidas.

Se puede decir que el examen de las uniones soldadas, ya sea en recipientes que trabajan bajo presión, tuberías para la conducción de líquidos y gases, o en la construcción de puentes metálicos, se realiza en toda la extensión de las uniones para obtener el máximo de seguridad.

En esas uniones las fallas más frecuentes que se pueden detectar son las grietas y cavidades de gas con inclusiones o escorias.

En las fundiciones es frecuente encontrar los siguientes defectos:

Cavidades de gas y sopladuras, indicadas en la radiografía por áreas oscuras bien definidas.

Porosidades por contracción, que se manifiestan como una región oscura fibrosa e irregular.

Grietas con áreas oscuras de ancho variable.

Inclusión de arena, manchas grises o negras de textura irregular o granular.

En las fundiciones de acero las inclusiones aparecen como áreas oscuras con una delineación definida.

En las aleaciones de metales livianos las inclusiones pueden ser más densas que el metal básico, por lo que aparecen formando áreas más claras.

PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN EN GAMMAGRAFÍA

CONCEPTOS GENERALES

La acción lesiva de la radiación ionizante sobre los seres vivos ha conducido a la fijación de criterios y límites para las dosis que puedan recibir los seres humanos. Para los trabajadores expuestos profesionalmente a radiaciones ionizantes, se ha establecido el criterio de procurar que las dosis que se reciban sean las más bajas

posibles y en todo caso inferior a los límites. Estos criterios se extienden también al público en general, a fin de reducir a un mínimo las dosis que pueden recibir como consecuencia de la utilización profesional de la radioación ionizante.

El operador de la gammagrafía. Conocedor del riesgo importante que comporta el empleo de fuentes radiactivas de actividad muy elevada, debe tener ideas muy claras acerca de los problemas y soluciones que plantea la Radioprotección, tanto para sí mismo, como para el público en general.

Existen tres procedimientos para atenuar la radiación ionizantes.

- a) Tiempo mínimo de operación
- b) Distancia máxima razonable entre el operador y la fuente.
- c) Blindaje adecuado entre la fuente y el operador.

2.3.2.3. TINTES PENETRANTES

INTRODUCCIÓN

Sirven para localizar fallas con salida a la superficie, esto es cutáneas. Su observación se hace a ojo descubierto, sin recurrir a dispositivos de ninguna naturaleza, por lo cual constituyen un simple método para detectarlos. Los tintes penetrantes se pueden efectuar en piezas metálicas o no metálicas. En piezas metálicas se determinan fallas producidas por efectos de coladas, forja, laminación o

mecanización, así como aquellas fallas que aparecen en las piezas en servicios luego de un lapso transcurrido desde su puesta en funcionamiento.

Las piezas ejecutadas en material cerámico, vidrio o los llamados materiales plásticos, pueden igualmente examinarse con tintas penetrantes con el objeto de descubrir fallas en su superficie.

Entre las fallas que se pueden detectar con este procedimiento se cuentan las siguientes: grietas de la superficie, poros, rajaduras entre los empalmes costuras, solapes y falta de adhesión, por ejemplo, en las uniones soldadas.

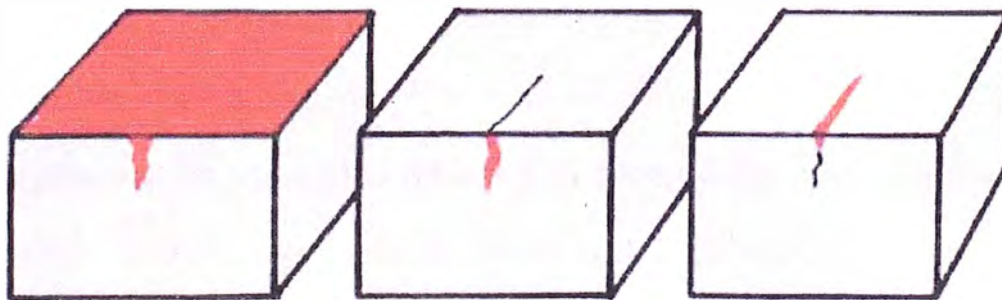
Por medio de la inspección con líquido penetrante, las grietas se revelan en líneas muy rojas sobre un fondo blanco. El proceso consiste en:

- 1) Aplicación del penetrante rojo que busca las grietas y penetra en las piezas superficiales.
- 2) Remoción del penetrante que sobra que no entró en ninguna grieta.
- 3) Rociado sobre el revelador blanco.

TINTES PENETRANTES



El revelador es un polvo suspendido en un solvente que se evapora y extrae hacia la superficie el penetrante retenido en las grietas para marcarlas en rojo sobre el fondo blanco.



1. Aplique el penetrante

2. Remueva el exceso

3. Aplique el revelador blanco y examine

OPERACIONES BÁSICAS

- 1) Limpie la superficie.
- 2) Aplique el penetrante.
- 3) Remueva el exceso de penetrante.
- 4) Aplique el revelador.
- 5) Inspeccione la superficie.

LIMPIEZA

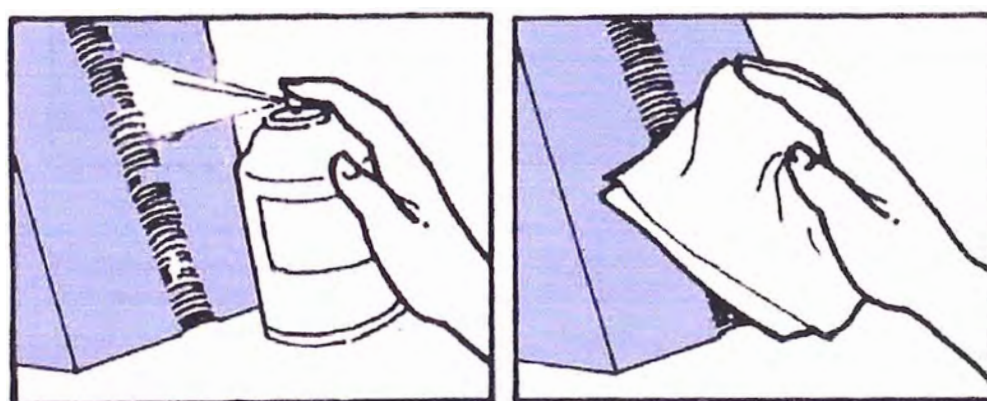
Una superficie limpia es esencial para tener éxito en el proceso con líquidos penetrantes. La superficie que se va a examinar y las áreas adyacentes deben de estar libres de contaminantes como acopladores ultrasónicos, restos de fundición, polvo de soldadura, costras, herrumbre, pintura, aceite o grasa. Las manchas de aceite o grasa obstruyen las grietas, bloqueando o retardando la entrada del penetrante. Usualmente estas manchas se quitan con limpiador/remover. Otros contaminantes como las costras, la herrumbre o la suciedad acumulada absorben el penetrante creando indicadores falsos y confusos. Para remover este tipo de manchas puede ser que se requiera cepillar con cepillos de fibra de acero. El proceso de limpieza debe ser apropiado para ambos, los contaminantes y la parte básica, y deben ajustarse a los códigos y especificaciones que se recomiendan para su aplicación.

Rociar con el spray directamente sobre la superficie, saturando el área contaminada. Dejar por unos 30 segundos para que las manchas se disuelvan totalmente. Limpiar

con toalla seca antes que se evapore el limpiador. Repetir hasta que se limpie completamente.

Después de la limpieza, dar tiempo suficiente para que el limpiador/removedor se evapore completamente de las grietas y aberturas. El tiempo de evaporación dependerá de la temperatura y humedad ambiental.

Dos tipos de limpiadores están disponibles: El solvente clorinado y el de petróleo. Ambos son volátiles y se evaporan rápidamente sin dejar residuos. Sin embargo, los solventes halogenados, por su composición, presentan ciertos riesgos y su uso debe prohibirse donde hay fuego, llamas, o superficies calentadas extremadamente por el uso de soldadura de arco.



1. *Al limpiar sature la superficie*
2. *Seque y limpie con tela o toalla seca*

APLICACIÓN DEL TINTE PENETRANTE

Rociar el penetrante en la superficie completamente limpia y seca. Dejar estar por cinco minutos o más. El penetrante deberá dejarse por más tiempo en la superficie, si se cree que hay grietas apretadas, si están cubiertas por manchas o si la base está fría (menos de 5°C), 30 minutos o más es común.

Si la temperatura de la superficie es superior a 37°C, se recomiendan períodos más cortos. Por lo menos se recomienda dejarlo por un minuto en las superficies que están a 80°C que es la máxima temperatura para el proceso convencional para la inspección con penetrante.



Cubra la superficie a examinar con penetrante rojo.

El penetrante llega a la grieta por la fuerza de capilaridad.

REMOCIÓN DEL PENETRANTE

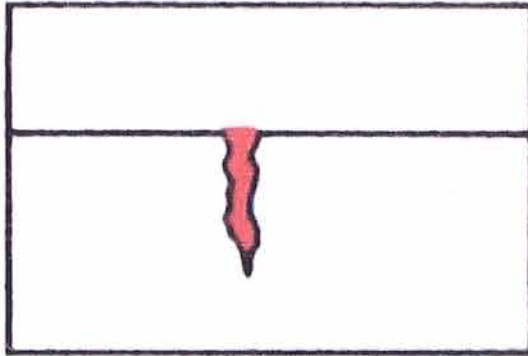
Este es un procedimiento y debe ser controlado muy de cerca para prevenir que el penetrante se diluya o perturbe la marcación de las grietas.

El penetrante se remueve de la superficie limpiando manualmente con toalla o tela. Primero limpiar con tela seca y limpiar para quitar de la superficie la mayoría del penetrante. Las superficies finas pueden ser limpiadas de esta manera sin que requieran otro tratamiento. Remover de la superficie la capa del penetrante que queda después de limpiar la superficie con toalla humedecida con el limpiador/removedor. Usar el limpiador escasamente y limpiar bien la superficie.

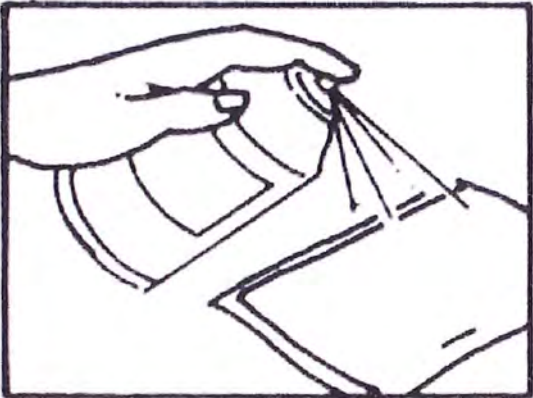
Repetir el proceso de limpiado o secado hasta que la superficie quede libre de penetrante. El penetrante lavable con agua puede removerse de la misma manera, frotando con tela o toalla humedecida con limpiador/removedor o solamente con agua. El penetrante lavable con agua se puede quitar de áreas grandes con un rociador de agua.



El penetrante se quita de la superficie frotando con tela humedecida con limpiador/removedor



La superficie se limpia pero el penetrante queda alojado en la grieta



Humedezca la tela con el spray limpiador y quite los restos rojos



Evite los excesos de limpieza. No use el spray limpiador directamente sobre la superficie para quitar el penetrante.

APLICACIÓN DEL REVELADOR

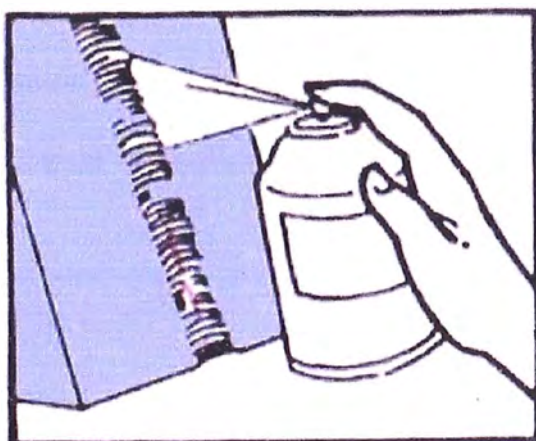
El uso de la técnica apropiada para la aplicación del revelador es esencial para definir claramente las grietas.

Antes de la aplicación, agitar bien el spray revelador para mezclar bien las partículas blancas de la suspensión. El rociador es el único método que se recomienda para

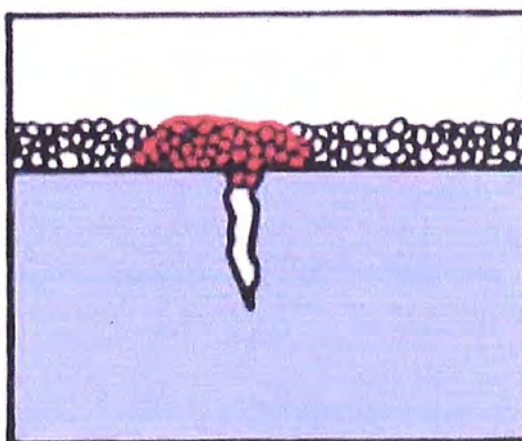
aplicar el revelador sobre la superficie. El objetivo es dejar una leve capa húmeda cuando el spray haga contacto con la superficie.

Debe estar poco húmeda para que el solvente volátil se junte con el penetrante alojado en las ranuras y el polvo blanco acelere la salida a la superficie para que pueda verse. Pero no debe humedecerse mucho porque se puede diluir el penetrante retenido en las grietas.

El exceso de humedad en la aplicación del revelador crea marcas débiles y confusas. La capa uniforme de las partículas blancas del revelador deberá ser suficiente para facilitar: 1) Un cauce de capilaridad para el penetrante, y 2) Un buen fondo blanco que contraste con el penetrante rojo que marca las grietas. Dos o tres aplicaciones leves son preferibles a una sola aplicación fuerte.



Aplique levemente el revelador 2-3 veces desde una distancia de 8 a 12 pulgadas para que humedezca al contacto.

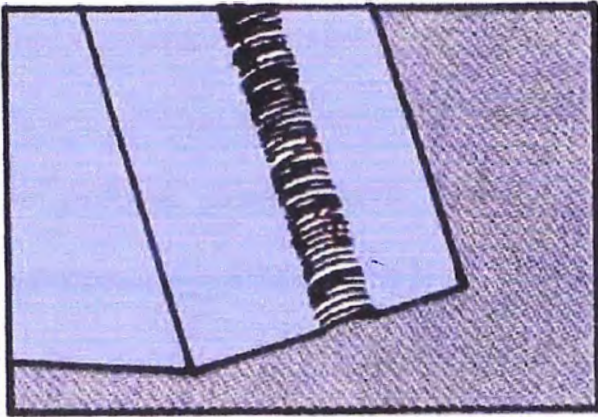


Aun una pequeña cobertura de partículas blancas del revelador, por absorción, sacará hacia la superficie, el penetrante rojo alojado en las rajaduras.

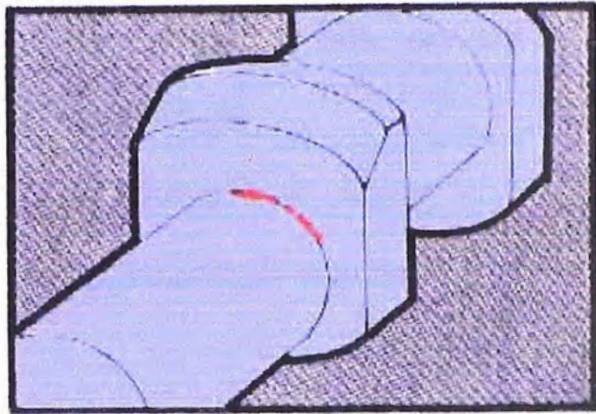
INSPECCIÓN DE LAS GRIETAS

Tan pronto se halla secado el revelador, aparecerán indicaciones de las fallas (si las hay). Sin embargo, se sugiere dar otros cinco minutos más para que las grietas definan un patrón completo, antes de hacer el examen visual final y la interpretación de las indicaciones. La necesidad de dar más tiempo para el revelado es esencial, si se sospechan rajaduras apretadas. Algún tipo de grietas sangran profusamente y el tener en control la superficie durante el revelado permite interpretar correctamente las características de las fallas.

La frecuencia del flujo, la intensidad del color y el patrón que se observa, dan al inspector la clave para interpretar el tipo de defecto. Las líneas rojas señalan grietas, empalmes o falta de fusión. Las grietas apretadas podrán aparecer como serie de puntos alineados o en curva. La porosidad se mostrará en rojos puntos dispersos. El criterio para rechazar una parte o sección lo determinan los ingenieros de diseño. No todas las fallas son causa para el rechazo. El tamaño, el lugar donde están, el tipo de indicación, tanto como la frecuencia en el uso y la carga de trabajo, influyen la decisión de los ingenieros diseñadores.



Indicación de una falla en una soldura



Indicación de grieta en una parte gastada de un cigueñal

La línea en rojo señala grieta o falta de fusión

Puntos rojos en línea curva revelan grietas apretadas

Puntos rojos dispersos señalan porosidad

PENETRANTE FLUORESCENTE

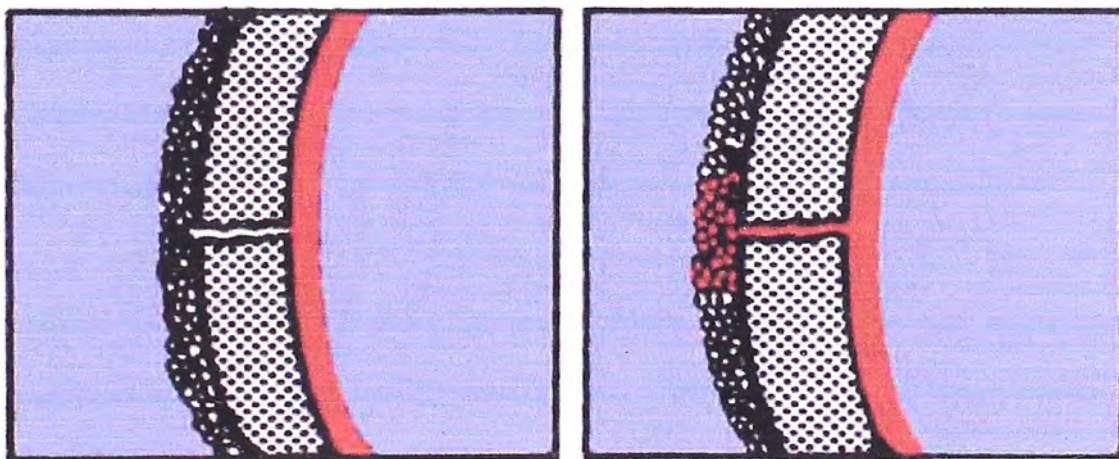
En el método de penetrante fluorescente, el paso de remoción del penetrante y el examen de la superficie se hacen en un área oscura y usando luz negra. Además, al aplicárseles la luz negra, las señales de las fallas aparecen en un color verde amarillento brillante y no como marcas rojas sobre fondo blanco. Por lo demás el método de procedimiento con penetrante fluorescente, con spray rociador, no se diferencia del método para el penetrante descrito.

Se ha complementado el procedimiento descrito permitiendo fijar y conservar el resultado obtenido, cubriendo la pieza con un barniz especial que, una vez seco, brinda una película que puede retirarse de la pieza examinada.

Dicha película puede servir también como revelador, por cuanto el líquido fluorescente al disolverse en el barniz, reproduce los defectos de la pieza.

La película que reproduce la forma, posición y magnitud de las fallas, sirven como un documento fidedigno del ensayo realizado. Puede emplearse también como negativo de una fotografía.

Con los procedimientos descritos es posible detectar fallas con menos de 0.01 mm de abertura.



Aplique levemente el revelador 2-3 veces desde una distancia de 8 a 12 pulgadas para que humedezca al contacto.

Después de mucho tiempo de permanencia el penetrante rojo se filtra por la grieta. Se ve al otro lado como una marca roja que contrasta con el fondo blanco.

2.3.3.4. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

La propiedad que tienen ciertos productos ferrosos de convertirse en imanes al ser atravesados en ciertas condiciones por una corriente eléctrica es muy útil para la detección de fallas, no solo en casos aislados, sino también como método de inspección en la industria.

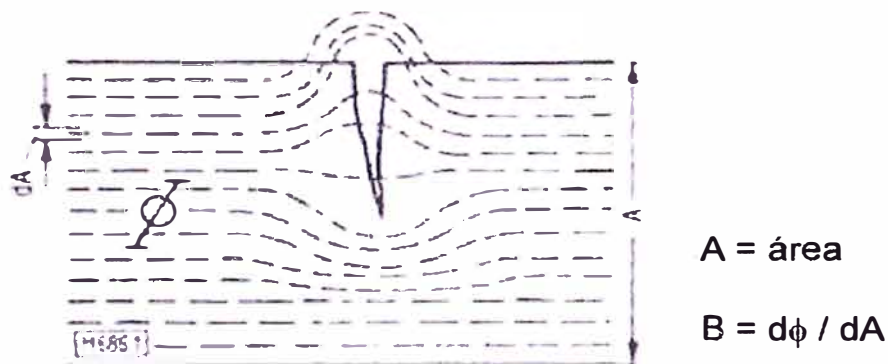
EQUIPO DE PARTICULAS MAGNETICAS



El método magnético, también llamado de las PARTÍCULAS MAGNÉTICAS, se basa en que toda partícula ferrosa susceptible de ser magnetizada al entrar en

contacto con un imán se orienta de acuerdo con su respectiva polaridad y sigue las líneas de fuerza del campo magnético.

Dichas líneas se interrumpen tan pronto como en el cuerpo principal se presenta alguna discontinuidad en forma de grieta, tanto sea esta superficial o cutánea como subsuperficial o subcutánea, en cuyas inmediaciones se producirá, además, una mayor acumulación de partículas. Las fallas deben formar un cierto ángulo con las líneas de fuerza magnética para originar un cambio en la trayectoria del flujo magnético. Dicho cambio es tanto más abrupto cuanto más se acerca dicho ángulo a 90° .



Esta propiedad es la que sirve básicamente al método de detección de fallas mediante partículas magnéticas. Si se trata de fallas superficiales, las partículas siguen el contorno de las grietas, las que resultan perfectamente delineadas. Una falla subsuperficial, en cambio, da origen a una acumulación desdibujada de las finas partículas en las inmediaciones del defecto, la que señalan pero no definen exactamente en cuanto a su configuración.

El ensayo magnético es muy utilizado en las plantas de laminación de aceros, especialmente en la detección de fallas en planchones y, en general, en las palanquillas. El objetivo es descubrir aquellas imperfecciones que durante el laminado se pueden transformar en costuras o solapes, con o sin presencia de inclusiones que luego aparecen en el producto terminado.

También el templado da lugar a la aparición de grietas, así como los procesos lentos de fragilización progresiva y las fallas originadas por fatiga, con o sin corrosión.

Las fallas superficiales son detectables sin ningún requisito. No sucede lo mismo con las fallas subsuperficiales, cuyo mayor o menor grado de definición depende de la profundidad a que se hallan ubicadas.

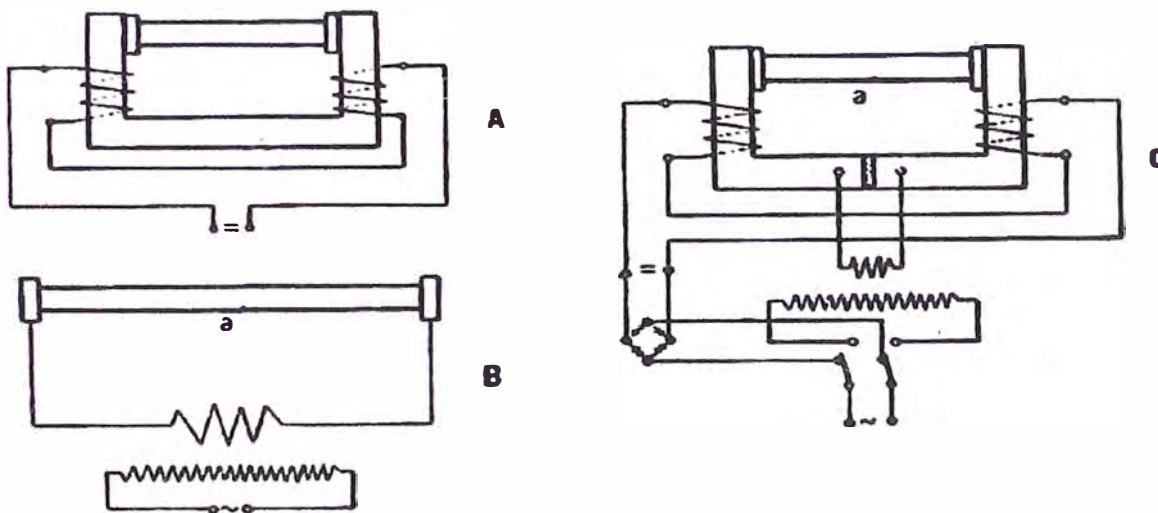
Los resultados del ensayo magnético son tanto más nítidos cuanto mayor es la permeabilidad magnética del material en estudio. Las aleaciones ligeramente magnéticas no dan imágenes muy satisfactorias. Los aceros austeníticos, que no son magnetizables, no admiten el método de las partículas magnéticas.

PROCEDIMIENTO DE MAGNETIZACIÓN

Para la magnetización de las piezas a examinar se emplea generalmente corriente continua, en cuyo caso se recurre a un rectificador de corriente cuando se dispone de corriente alterna. Sin embargo, puede emplearse también corriente alterna, la que genera un campo magnético anular en pieza cilíndricas que sirven para detectar

fisuras longitudinales. Existen instalaciones que permiten magnetizar las piezas con corriente continua para el estudio de las fallas transversales, y a continuación con corriente alterna para el caso de las grietas longitudinales.

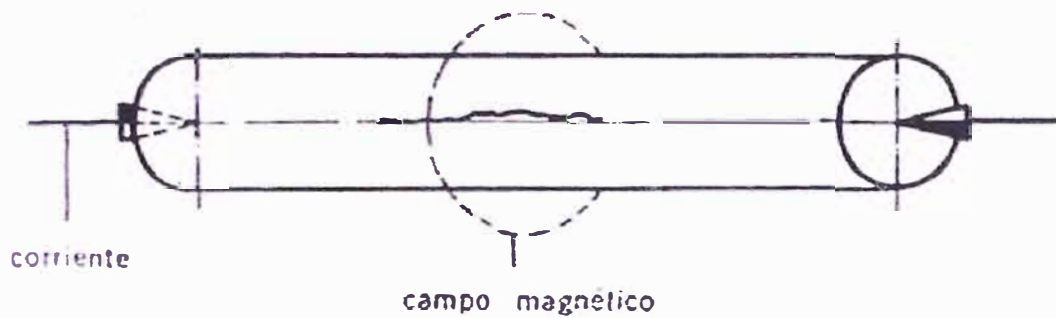
Los esquemas mostrados indican sucesivamente las tres posibilidades mencionadas.



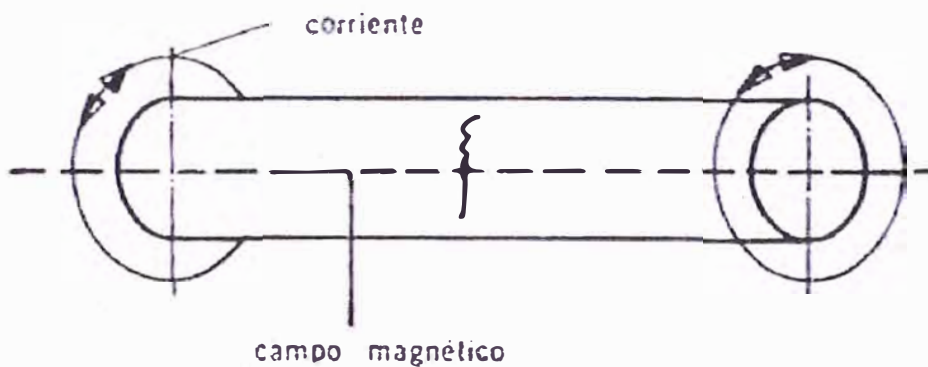
Los métodos de magnetización pueden ser residuales o continuos. En este último la corriente que induce el flujo magnético se mantiene durante todo el tiempo que dura la prueba, siendo que en el primero se hace uso del magnetismo residual mientras se aplica el polvo magnético. El uso de uno u otro de los métodos depende del tipo de material a examinar. Así, en los aceros con baja retentividad magnética, que es el caso de los aceros de bajo contenido de carbono, puede emplearse con éxito solo el método continuo de magnetización.

En cuanto al carácter del campo magnético, este puede ser circular o longitudinal.

Una corriente longitudinal que pasa por una pieza cilíndrica en la dirección de su eje produce un campo magnético circular. En este caso, como se ve en las figuras anteriores una grieta longitudinal provocaría la desviación centrípeta de las líneas de fuerza magnéticas, poniendo de manifiesto la falla.

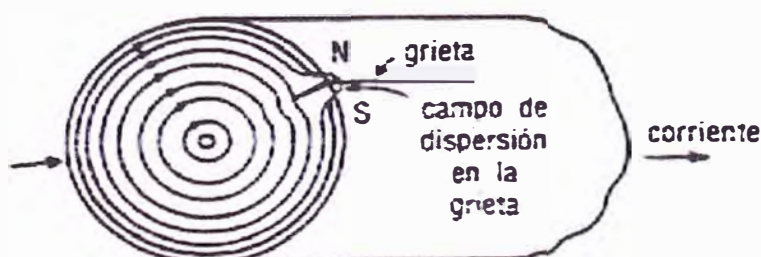


1 flujo magnético para fisuras longitudinales (por contacto)

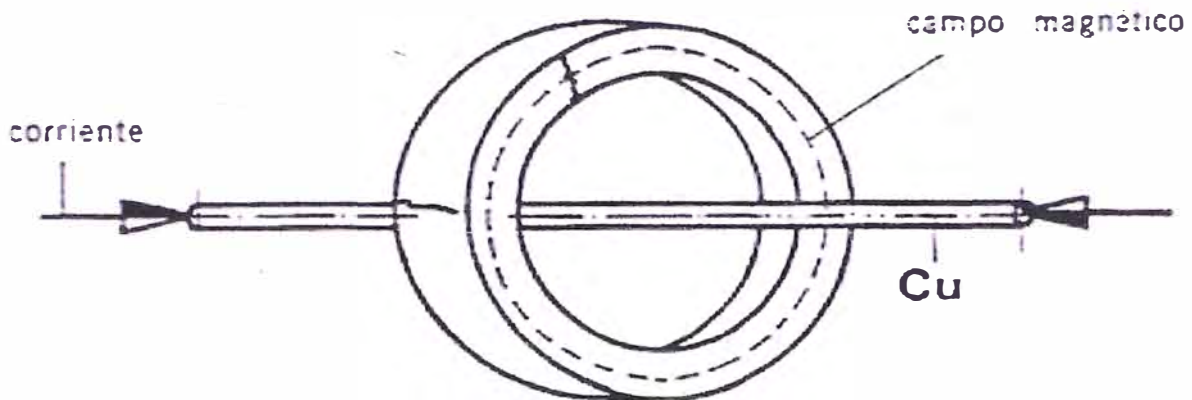


2 magnetización por bobina para fisuras transversales (sin contacto)

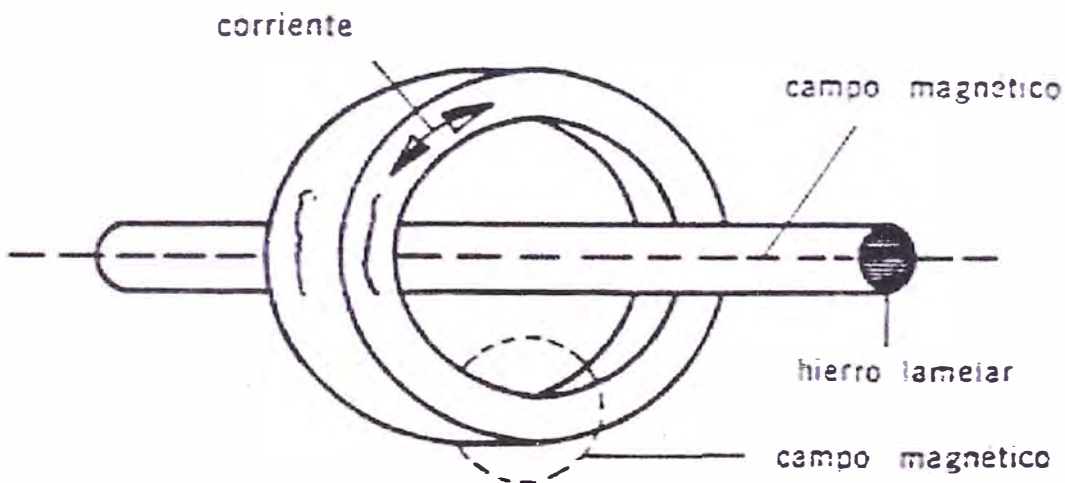
1 + **2** = magnetización directa combinada



Si la pieza cilíndrica es hueca, la corriente se debe hacer pasar por un conductor ubicado en el centro.



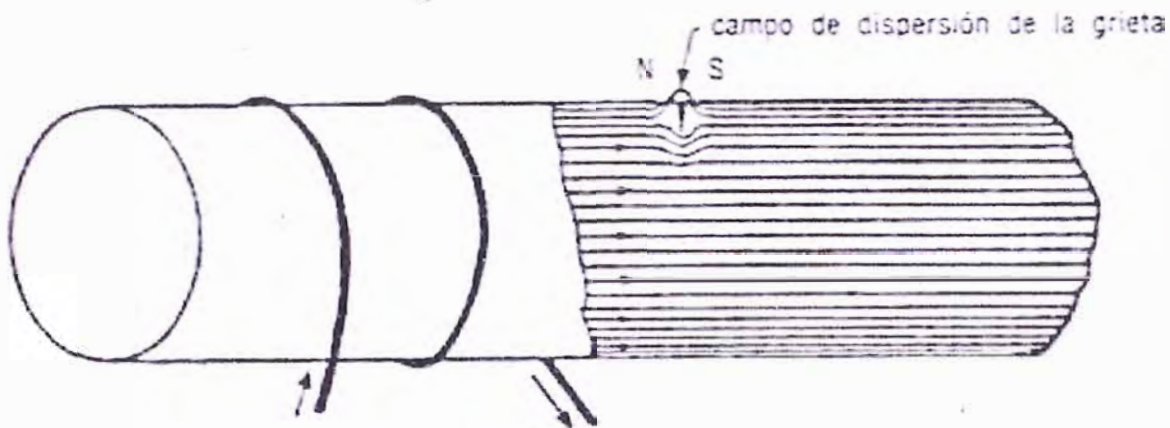
3 flujo auxiliar para fisuras radiales y axiales



4 flujo inducido para fisuras circunferenciales

3 + **4** = magnetización auxiliar combinada

La magnetización longitudinal se logra mediante un solenoide o varias vueltas de un conductor arrollado alrededor de la pieza, por el que se hace pasar la corriente. Este último procedimiento se usa en el caso de tanques, calderas y en general, piezas de gran tamaño.



Para la magnetización con corriente continua se pueden emplear las baterías de 6 voltios que proveen una corriente intensa de bajo voltaje durante un tiempo breve.

Por lo general, se usa corriente continua con una potencia de 3 kW. Con esa potencia es posible examinar una pieza de 50 x 50 x 14 cm.

La mayoría de los elementos ferrosos en uso tienen la máxima permeabilidad magnética para una intensidad de campo un poco menor que 100 oersted. Por lo tanto la intensidad óptima de magnetización está generalmente muy por debajo de ese valor para la mayor parte de los materiales.

Actualmente se fabrican equipos adaptados a cada necesidad particular. Los mismos están dotados de una completa automatización, de modo que simplifican al máximo

las tareas inherentes hasta llegar a la fase final, que es la de la observación de las fallas.

POLVO MAGNÉTICO

El polvo magnético está constituido por hierro u óxido de hierro negro magnético, cuyas partículas son de un tamaño que oscila entre un mínimo de 60 μm y un máximo de 300 μm . En la mayoría de los casos se emplean partículas cuyo tamaño está comprendido entre 130 y 200 μm .

Cuando se trata de fisuras muy finas, especialmente en materiales con poco magnetismo remanente, se debe recurrir a partículas más finas. En cambio, cuando el material a examinar tiene un elevado magnetismo remanente se pueden utilizar partículas más gruesas, con lo que se obtiene, además, un mejor contraste de la fisura.

En muchos casos las fisuras, tanto finas como gruesas, se presentan simultáneamente, por lo que es necesario utilizar un polvo magnético que contemple todas las situaciones. Por lo general, en ese caso se utiliza una mezcla formada por 20% de partículas finas y 80% de partículas gruesas.

Las partículas son de forma alargada, para obtener una orientación fácil de las mismas una vez que resulten imantadas. Las partículas de hierro metálico se revisten para evitar su oxidación y adherencia a la pieza en observación.

El polvo generalmente se provee en colores negro y rojo, empleándose aquel que más destaque sobre la superficie de la pieza examinada.

La Magnaflux Corp. prepara un polvo con un revestimiento fluorescente, que permite efectuar la inspección bajo una luz negra, con lo cual las fallas resultan marcadas por una indicación luminosa en la semioscuridad del recinto.

El polvo magnético se puede aplicar seco o húmedo. En el primer caso se lo espolvorea sobre la pieza, mientras que en el segundo el polvo está en suspensión, ya sea en agua o aceite de baja viscosidad con el agregado de un elemento que evita la sedimentación. La parte magnetizada puede sumergirse en el líquido, o bien éste se hace correr o se rocía sobre la pieza. La aplicación del polvo magnético por vía húmeda permite obtener una mayor garantía de penetración en todos los resquicios de la parte fallada.

Antes de aplicar el polvo magnético es necesario preparar las superficies a examinar para que no contengan impurezas, grasa, pintura o herrumbre, que interferirían el esquema de las partículas magnéticas.

MAGNETIZACIÓN DE LAS PIEZAS A ENSAYAR

Con respecto a la magnetización de las piezas a examinar se muestran tablas I II de la norma IR AM 125, donde se establecen las condiciones generales de los distintos procedimientos.

DESMAGNETIZACIÓN DE LAS PIEZAS ENSAYADAS

En muchos casos la pieza magnetizada para el ensayo de detección de fallas puede ser utilizada en esas condiciones, ya que ello no interfiere para su desempeño en servicio.

En otro casos, por ejemplo, donde existen brújulas en la proximidad de las piezas ensayadas con partículas magnéticas, es necesario eliminar el campo inducido, por cuanto puede ocasionar una variación del campo de ese aparato indicador.

Otras veces puede producirse la atracción de partículas de acero hacia ciertas áreas, en cuyo caso, de tratarse de partes móviles en contacto, podrían originarse un desgaste prematuro.

La desmagnetización se realiza sometiendo a la pieza a la acción de un campo magnético que invierta continuamente su dirección y que disminuya, al mismo tiempo, su resistencia.

Para ello, se emplea de preferencia una corriente alterna conectada a un solenoide abierto, en el cual se coloca la pieza a desmagnetizar, la que se va retirando lentamente a medida que la corriente sigue fluyendo.

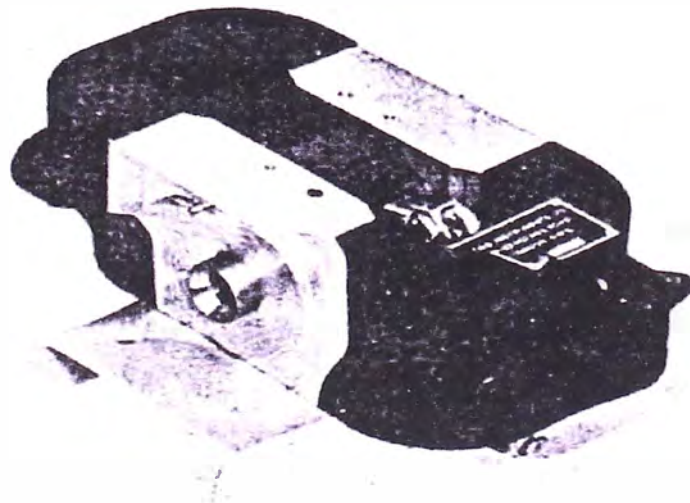
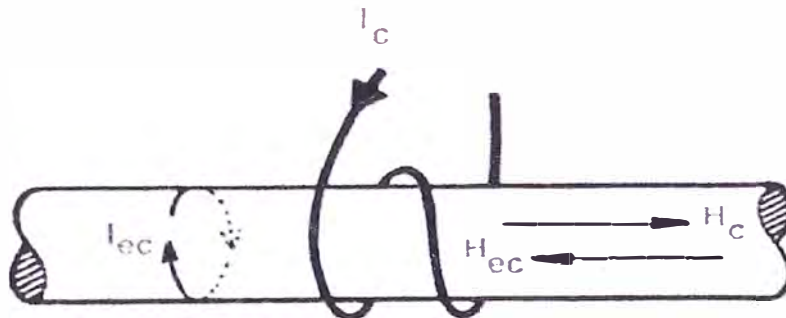
En los procesos de magnetización sin circulación de corriente conviene que el campo magnético no sea orientado paralelamente a los defectos de mayores dimensiones.

En los procesos con circulación de corriente, conviene que la dirección de corriente no sea perpendicular a los defectos de mayores dimensiones

2.3.3.5. CORRIENTES PARÁSITAS

DETECCIÓN DE FALLAS CON CORRIENTES PARÁSITAS

El empleo de las corrientes parásitas, también llamadas de Foucault, para la detección de fallas, tanto en materiales ferrosos como no ferrosos, se hace a través de un cabezal de ensayo, que contiene el enrollamiento o bobina de ensayo.



Dichas bobinas reciben la alimentación de una corriente alterna I_c de amplitud constante, que genera un campo magnético alternado H_c alrededor del arrollamiento. Siendo conductor el material a ensayar, el campo magnético alternado induce un flujo de corriente parásita I_{ec} en el material, que, a su vez, genera un campo magnético H_{ec} que tiende a oponerse al campo primario de la bobina.

La presencia de una falla modifica la corriente parásita local en el material, y esas pequeñas modificaciones en la corriente, son detectadas por el instrumento de medida. Cuando se trata de un área defectuosa, una señal indica la ubicación de la misma.

La sensibilidad del aparato para captar las fallas se puede aumentar eligiendo adecuadamente la frecuencia, la fase y el diseño de las bobinas.

Este método tiene la ventaja de que puede aplicarse a cualquier tipo de material conductor de la electricidad, independientemente de sus características magnéticas, con lo cual su campo de aplicación es mucho mayor que el de las partículas magnéticas.

Los equipos pueden proveerse también con su banda registradora automática, que permite ubicar las fallas y su envergadura, en correspondencia con las desviaciones con respecto a la línea medida del diagrama trazado sobre una bobina de papel registrador.

MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LAS GRIETAS

La medición de la profundidad de grietas o fisuras en elementos de hierro y aceros constituye un complemento del ensayo magnético para detectar fisuras.

Para ello se aplica el procedimiento de sondeo de potencial, que consiste en hacer pasar por la pieza una corriente alterna baja, de frecuencia mediana y medir dentro del trayecto del recorrido de la corriente la caída de potencial que se produce en correspondencia con la fisura.

Para dicha medición se emplean sondas especiales, con rangos de medición que van de 0 a 5 mm, 0 a 20 mm y 0 a 100 mm de profundidad de fisura. El resultado de la medición es independiente del ancho de la fisura.

2.3.4. ANÁLISIS ESPECTROGRÁFICO DE ACEITE

Permite analizar el estado del aceite y del combustible, para revisar su viscosidad, su grado de oxidación, su contaminación (agua, suciedad, partículas metálicas, lacas, etc.) y poder predecir la necesidad de un cambio de aceite.

Los instrumentos empleados usualmente son:

Viscosímetro

Espectrómetro

Kit de prueba de lubricación

ANALIZADOR ESPECTROCÓPICO DE ACEITE



CSI means **Reliability**

www.CSIneanaReliability.com

1-800-875-0000 x154

2.3.5. ANÁLISIS FERROGRÁFICO DE PARTÍCULAS

La ferrografía es el estudio y análisis de las partículas contenidas en el aceite lubricante. La composición, el tamaño y las cantidades relativas pueden registrarse, ser proyectadas en tendencias y analizadas para deducir los problemas asociados con el desgaste y la contaminación.

El análisis detecta la presencia de partículas metálicas arrasadas por el flujo lubricante y depositadas en el mismo.

Se pueden evaluar hasta 21 metales de desgaste para determinar su procedencia y con lo cual se pueden encontrar componentes desgastados, identificar diversas aleaciones de partículas de desgaste, ferrosas y no ferrosas y detectan la pieza que presenta desgaste anormal.

Algunas fuentes de metales de desgaste son las siguientes:

- | | | |
|----|-----------|---|
| a) | Acero | Cilindros, engranajes, anillos, pistones, ejes de levas, rodamientos. |
| b) | Cromo | Anillos, rodamientos. |
| c) | Cobre | Reductores, cojinetes deslizantes, platos de fricción, enfriadores de aceite, aditivos en aceite. |
| d) | Aluminio | Pistones, bocinas, bombas, sopladores, motores. |
| e) | Níquel | Válvulas. |
| f) | Plata | Cojinetes de deslizamiento, reductores. |
| g) | Manganeso | Elementos de contactos en rodillos y anillos, aditivos de gasolina. |
| h) | Molibdeno | Aditivos en algunos aceites. |

Los instrumentos que se emplean para este análisis son:

Ferrógrafo de lectura directa

Ferrógrafo analítico

FerroscoPIO

2.3.6. RESISTENCIA ELÉCTRICA

El análisis de resistencia eléctrica en un motor, es otra forma de Mantenimiento Predictivo, que realiza ensayos en el analizador de Megger y permite:

Evaluar la resistencia dieléctrica del bobinado del motor eléctrico.

Predecir el grado de limpieza del bobinado del motor eléctrico.

Verificar la existencia de cortocircuitos en los motores.

2.3.7. MEDICIÓN DE PRESIÓN

Otro tipo de análisis es la medición de la presión en calderas, tanques, intercambiadores, sistemas neumáticos, etc., advierte sobre la excesiva presión y puede parar al equipo.

Se puede usar para determinar el estado del equipo (grado de alimentación) y la limpieza necesaria, empleando manómetros, indicadores de vacío, válvulas de alivio.

2.3.8. ANÁLISIS ACÚSTICO

Las vibraciones de muy alta frecuencia transmitidas acústicamente son medidas con un sensor piezo eléctrico de alta frecuencia. El sensor es excitado por la compresión

producida por las ondas generadas debido al contacto metal con metal mecánicamente averiado.

Estas mediciones se usan para evaluar la condición total del rodamiento, así como también, para reconocer y evaluar defectos locales. Esta técnica es muy efectiva en la detección temprana de fallas en rodamientos y la falta de lubricación.

Se miden los sonidos normalmente audibles para el oído humano, con el objeto de detectar deterioros en los cojinetes y problemas similares.

Se emplea micrófono, medidores de nivel de sonido.

Al trabajar a altas frecuencias en onda corta, se pueden detectar problemas como cavitación en bombas, fugas en válvulas de compresores, pérdidas de dientes en engranajes, etc.

2.3.9. ANÁLISIS DE CORRIENTE

Con este sistema se pueden detectar anomalías en motores de inducción, mediante la lectura y análisis del espectro de corriente, tales como:

Barras rotas

Excentricidades

Al aplicar la corriente al estator, se crea un campo magnético rotatorio alrededor del rotor. Un rotor de un motor de inducción gira con el campo magnético que tiene a su alrededor, pero no consigue hacerlo a la misma velocidad, deslizando sobre el campo rotatorio y generando una corriente.

Cuando el motor gira en vacío, el deslizamiento es prácticamente nulo, siendo la corriente inducida en las barras del rotor, muy pequeña. Conforme la carga es mayor, el deslizamiento es más grande, y también la intensidad de corriente inducida en las barras del rotor.

Si una barra se rompe por el calentamiento producido por la corriente del rotor, las barras adyacentes tendrán que repartirse más intensidad de corriente, y el mayor calentamiento provocará la rotura o deformación de las mismas.

Estos problemas en rotores suelen aparecer únicamente en motores con una carga mayor que el 50% de su capacidad máxima. Muchas veces, un motor que pasa la prueba de vacío en el taller del fabricante, falla en planta cuando las condiciones de cargas son exigentes.

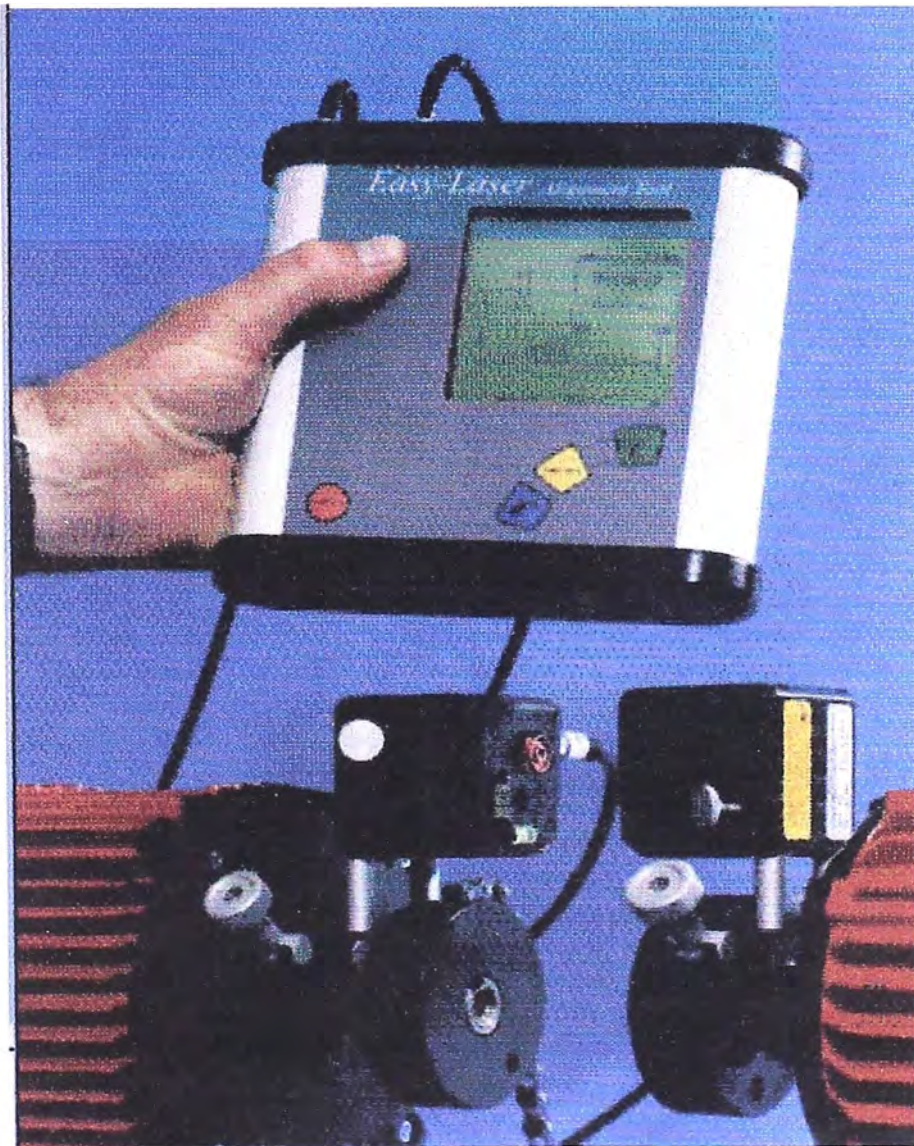
No sólo la simple pérdida de corriente en una barra produce el problema. El exceso de corriente que supone una barra rota para el resto de las barras adyacentes, caliente en exceso el rotor, lo que provoca en muchos casos desequilibrio en el rotor por deformación térmica, sobre-esfuerzos en rodamientos por las dilataciones o incluso, degradación del lubricante.

2.3.10. ALINEADOR LÁSER

Su uso se da para la alineación de ejes, muchas veces unidos por conexiones.

Se colocan sensores en ambas partes, que envían rayos láser, comunicándolo sus posiciones al equipo, el que indicará cual de las partes debe de corregirse tanto en elevación como rotación.

ALINEADOR LASER



ACCESORIOS DE ALINEADOR LASER



CAPÍTULO 3

CAMPO DE APLICACIÓN

La implementación del Laboratorio de Mantenimiento Preventivo tiene su sustento en las aplicaciones que generarían al dar servicio a los alumnos a través de las currículas de aproximadamente 10 cursos en las distintas especialidades que brinda la Facultad de Mecánica, y en los servicios que se prestarían a terceros, como son empresas u otras instituciones educativas superiores.

Este último sería una fuente de ingresos propios para la Facultad, a la vez que solventarían los costos que demandarían el servicio a la parte académica.

3.1. APLICACIÓN INTERNA O ACADÉMICA

En un Laboratorio de Mantenimiento Predictivo las técnicas empleadas son muy variadas. Estas desde análisis de vibraciones, de temperatura, espectrográfico, ferrográfico, hasta los ensayos no destructivos descritos en el Capítulo 2.

Describiendo los cursos de menor a mayor ciclos en las distintas especialidades, tenemos los siguientes:

CURSOS: Ciencia de los Materiales y Ciencia de los Materiales I

CÓDIGOS: MC112 y MC114

ALUMNOS: 127 y 106 (Período 2001-2)

En este curso los alumnos aprenden las propiedades de los materiales, máquinas para el ensayo de los materiales, ensayos mecánicos (destructivos y no destructivos).

Actualmente es sólo uno el ensayo no destructivo que practican y es tintes penetrantes. Recientemente se ha adquirido un equipo de ultrasonido, el cual todavía no se ha experimentado.

Los equipos que proveerían el Laboratorio serían los siguientes:

Gammagrafia industrial.

Partículas magnéticas

Corrientes parásitas

Ultrasonido

Tintes penetrantes

Los grupos de trabajo de los alumnos están conformados por 4 ó 5, teniendo una duración de cada experiencia las siguientes:

GAMMAGRAFÍA: De 10 a 15 minutos de irradiación y 25 minutos de revelado, totalizando 40 minutos. Considerando 233 alumnos que formarán 47 grupos, tomará 1880 minutos o 31.3 horas en un período académico. Fuente Iridio 192.

PARTÍCULAS MAGNÉTICAS: Aproximadamente 30 minutos. Considerando también 47 grupos, tomará 1410 minutos o 23.5 horas en un ciclo académico. Equipo Magnaflux. Su uso es en materiales ferrosos susceptibles de ser magnetizados.

CORRIENTES PARÁSITAS: Aproximadamente 10 minutos. Habiendo 47 grupos, se tendrá 470 minutos o 7.8 horas en un período académico. Se aplica a cualquier tipo de material conductor de la electricidad, independiente de sus características magnéticas.

ULTRASONIDO: Su duración es variable por la multiplicidad de usos que se le da. Como es determinar incrustaciones, porosidades, fisuras, en piezas fundidas, laminadas, escoria en soldadura. Se utiliza patrones de comparación. En promedio asumiremos 20 minutos, y, en 47 grupos, tomará 940 minutos o 15.7 horas en ciclo académico.

TINTES PENETRANTES: Su uso es en ejes, cigüeñales, alabes de turbinas. Su duración es de 30 minutos, considerando 47 grupos, se tendrá 1410 minutos o 23.5 horas.

CURSO	Corrosión y Técnicas de Protección
CÓDIGO	MC142
ALUMNOS	32 (Matriculados en el 2001-2)

En este curso los alumnos estudian la corrosión, cómo detectarlo y su protección, en sus diferentes formas.

El Laboratorio aportaría al curso en la detección de la corrosión midiendo espesores de tubos de calderas, de pintura, cilindros, ejes, piezas, con el siguiente equipo:

Ultrasonido

Se formarían grupos de 4 alumnos, creándose 8 grupos

ULTRASONIDO: Un tiempo aproximado de la experiencia, dependiendo de la longitud de la pieza podría ser 20 minutos. Considerando 8 grupos, estaría haciendo un total de 160 minutos, o 2.7 horas en un ciclo académico.

CURSO	Ingeniería de Mantenimiento
CÓDIGO	MC654
ALUMNOS	54 (Matriculados en el 2001-2)

El aporte de Mantenimiento Predictivo en el curso mencionado se da en el análisis de las frecuencias de vibración, desequilibrio o desalineamiento de ejes, balanceo

dinámico de elementos giratorios in situ o en el taller, análisis de temperatura, ultrasonido, tintes penetrante, gammagrafía.

Los equipos a usar:

Análisis de vibraciones y monitoreo.

Ultrasonido

Alineamiento Láser

Termografía infrarroja

Gammagrafía

Ferrografía

Los grupos de trabajo de los alumnos están conformado de 5 alumnos, creándose 11 grupos, teniendo una duración de cada experiencia las siguientes:

ANÁLISIS DE VIBRACIONES: Dependiendo de la experiencia, se determinaría los estados de los cojinetes, balanceo dinámico, cuya duración en promedio sería 45 minutos. Considerando 11 grupos, tomará 495 minutos o 8.3 horas en un ciclo académico.

ULTRASONIDO: La duración de la experiencia para detectar fisuras, porosidades. Mediciones de espesores es variada, tanto en ductos y cañerías. tomaremos un promedio de 20 minutos, considerando 11 grupos, tendremos 220 minutos o 3.7 horas durante un ciclo académico.

ALINEAMIENTO LÁSER: Su uso más general es en el alineamiento de ejes, el cual podría acarrear problemas serios. Duración estimada 60 minutos, en 11 grupos tendría 660 minutos o 11 horas durante un ciclo académico.

TERMOGRAFÍA INFRARROJA: Su uso se da tanto en elementos mecánicos como eléctricos. Permite la detección y medición a distancia de la temperatura. La duración de la experiencia se dará en cada caso, siendo ésta muy disímil. Depende en el caso de elementos eléctricos de la longitud de los cables y contactores donde su temperatura no es normal. Tiempo aproximado 15 minutos. Considerando 11 grupos se tendrá 165 minutos o 2.8 horas por ciclo académico.

GAMMAGRAFÍA: Sirve para detectar fisuras, superficiales y subsuperficiales, porosidades y escoria en soldadura. De 10 a 15 minutos de irradiación y 25 minutos de revelado, totalizando 40 minutos. Considerando 11 grupos, se tendrá un tiempo total de 440 minutos o 7.4 horas en el período académico.

FERROGRAFÍA: Se busca en los aceites, dependiendo de su uso, el desgaste que ocasionan las partes de las máquinas, y se determina los metales, donde se comparan con tablas de normas o standard internacionales valores máximos. Estos pueden ser expresados en micrones o partes por millón. El tiempo calculado en la prueba es de 30 minutos. Considerando 11 grupos, se tendría 330 minutos o 5.5 horas en un período académico.

CURSOS	Mantenimiento Automotriz y Mantenimiento y Reparación de Motores Marinos
CÓDIGO	MC665 Y MV335
ALUMNOS	7 y 5 (Matriculados en el 2001-2)

El aporte del Mantenimiento predictivo al curso mencionado es el análisis del conjunto del automotor que incluye motor, sistemas de transmisión, sistemas de suspensión, sistema de frenos, análisis de humo (opacidad) y emisiones sonoras.

Se usarían los siguientes equipos:

Análisis de aceite

Partículas magnéticas, corrientes parásitas

Ferrografía

Tintes penetrantes

Se formarían 2 grupos de alumnos:

ANÁLISIS DE ACEITE: Determina el grado de contaminación, como agua, suciedad, mezcla de combustible y otros elementos. El tiempo estimado por experiencia es de 10 minutos, y en 2 grupos tomaría 20 minutos o 0.3 horas en el ciclo académico.

PARTÍCULAS MAGNÉTICAS: Sirve para detectar fisuras en el sistema de suspensión (chasis), sistema de transmisión, sistema de frenos. El tiempo de duración de la experiencia depende del uso que se le dé, siendo un promedio de 20 minutos, y, en 2 grupos tomaría 40 minutos ó 0.7 horas en el ciclo académico.

FERROGRAFÍA: Sirve para detectar la presencia de elementos metálicos desgastados, y de qué parte provienen. Pueden ser aceros, cromo, cobre, aluminio, níquel, plata, manganeso, molibdeno. El tiempo estimado de duración sería de 1 hora, y, habiendo 2 grupos tomaría 2 horas en el ciclo académico.

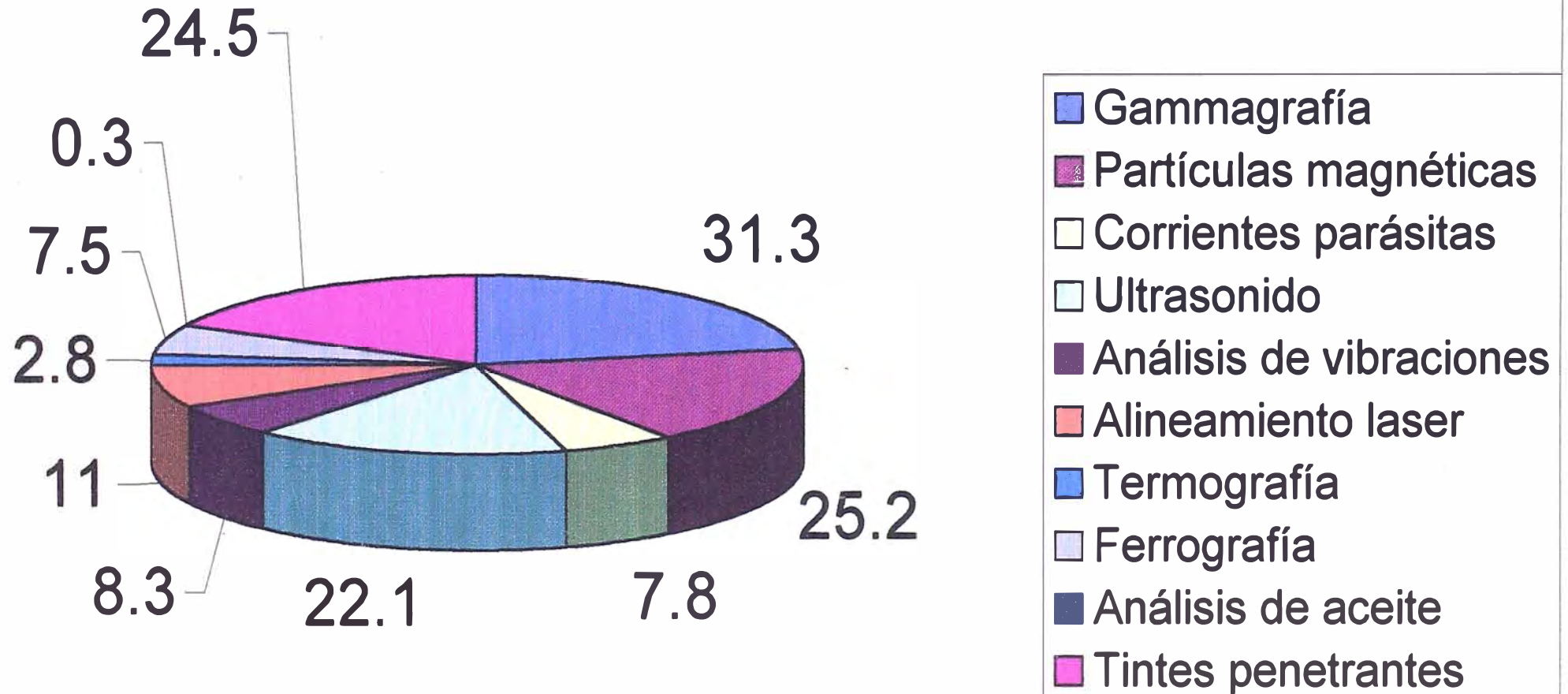
TINTES PENETRANTES: Sirve para detectar fallas en ejes, cigüeñales. Su duración es de 30 minutos por experiencia, que en 2 grupos daría 1 hora en el período académico.

RESUMEN GENERAL DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS INTERNOS POR EQUIPOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

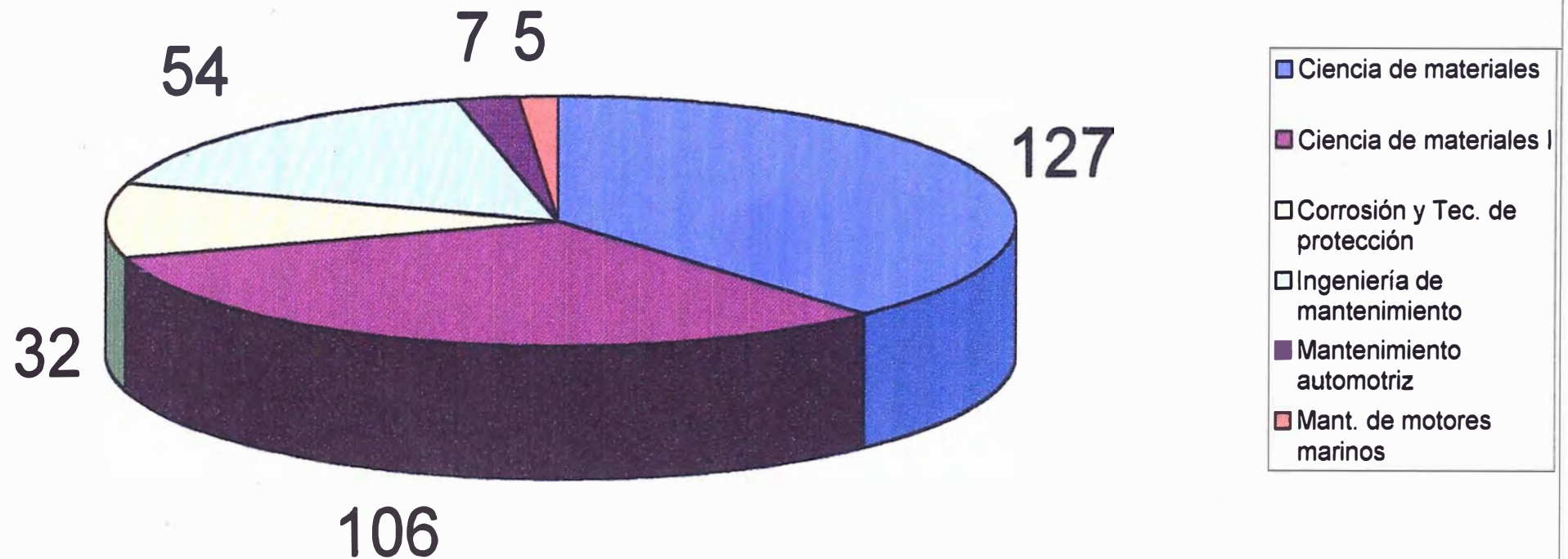
Gammagrafía	31.3 horas
Partículas magnéticas	25.2 horas
Corrientes parásitas	7.8 horas
Ultrasonido	22.1 horas
Análisis de vibraciones	8.3 horas

Alineamiento láser	11.0 horas
Termografía	2.8 horas
Ferografía	7.5 horas
Análisis de aceite	0.3 horas
Tintes de penetrantes	<u>24.5 horas</u>
	140.8 horas en el ciclo académico

DISTRIBUCION EN HORAS POR EQUIPOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR CICLO ACADEMICO



DISTRIBUCION DE ESTUDIANTES POR CURSOS EN EL 2001 - 2



3.2 APLICACION EXTERNA

El Laboratorio de Mantenimiento, como una forma de autofinanciarse y generar recursos propios para la FIM, prestara servicios a las industrias, institutos de educación superior y otras Universidades.

3.2.1 SERVICIOS A INDUSTRIAS

Como se vera en el capitulo 5, Costos de Implementación, resulta muy elevado dicho costo para que una empresa pequeña o mediana invierta en equipos y personal altamente calificado, sobre todo en la actual situación económica debido a la recesion. Es así que les conviene contratar los servicios de terceros.

Actualmente existe en el país solamente 10 empresas de este tipo que brindan mantenimiento predictivo y 58,254 industrias pequeñas, medianas y grandes, según información de la Sociedad Nacional de Industrias.

Los rubros que más aportan en las exportaciones son los de pesquería, minería y los productos no tradicionales.

a) PESQUERIA

Sus principales productos son la harina de pescado y el aceite.

El proceso empieza de la siguiente manera:

- Transporte del pescado (Bombas de hélice o transportadores de cadenas).
- Elevador de mallas. (transportadores helicoidales, motores, reductores)
- Desaguador estático.(se lleva a través de transportes helicoidales).
- Desaguador vibratorio(se usa motores, reductores y cernidor excéntrico).

- Elevador de rastras inclinada (motor, reductor).
- Poza de pescado.
- Cocina (entra vapor para la cocción).
- Prensa.
- Secador rotatorio.
- Molinos (motor, reductor)
- Transportador neumático hacia la zona de ensaque
- Faja transportadora para llevar los sacos (motor, estructuras)

Ultrasonido, ya que gran parte de la fabrica esta propenso a la corrosión, para medir espesores, pues pocas partes de la fabrica usa acero inoxidable.

Análisis vibracional, para estudiar los estados de los rodamientos.

Alineamiento láser,(en la alineación de ejes, por la gran cantidad de motores).

Tintes penetrantes (para detectar fisuras superficiales pues en un 50% las fabricas tienen mas de 30 años.

Volumen de miles de toneladas de exportación de harina de pescado (2352).

Volumen de miles de toneladas de exportación de aceite de pescado (4564).

b) MINERIA

- 1) Maquinaria para perforar (equipos neumáticos).
- 2) Maquinaria de izaje o transporte a la superficie (vagonetas, se jala con winches).
- 3) Vehículos pesados de transporte (para llevar el material a la concentradora).
- 4) Concentradora (se eleva el contenido de mineral a extraer).

Faja transportadora.

Chancadoras (de quijada o cónicas)

Molinos (de bolas y de martillo).

Celdas de lixiviación (tanques con agitadores, motores reductores). Sale en forma de lodo.

5) El mineral se envía a los camiones.

6) Transporte en vehículos pesados para llevarlo a los puertos de embarque.

Mantenimiento Predictivo se usa en el control periódico de los rodamientos a través del análisis vibracional para hacer predicciones y estas no fallen y paren la producción.

Alineamiento láser entre los distintos ejes a través de acoples.

Balanceo dinámico in situ en la concentradora.

c) INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

En las estructuras se realizan pruebas de soldadura, por ejemplo en puentes, techos de estructura metálica.

Equipos de mantenimiento predictivo.

1) Equipo de Ultrasonido (ver rechupes, burbujas de aire atrapadas, escorias).

2) Gamma grafía

3) Tintes penetrantes.

4) Partículas magnéticas.

d) INDUSTRIA METALURGICA Y SIDERURGICA.

- Calderas de vapor (para generar vacíos y hacer los lingotes).
- Laminadoras en frío y caliente (LAF y LAC).
- Extrusoras (para dar las medidas en diámetro exactas, en barras y alambres).
- Puentes grúas (motores).
- Hornos.
- Cizallas.
- Guillotina

Se usan equipos e instrumentos como analizador de vibraciones, termografía infrarroja, termocuplas, pirómetros., analizadores de sonidos, estetoscopio mecánico.

e) DISTRIBUCIÓN DE PETROLEO Y GAS.

No debe haber falla alguna de soldaduras en los procesos de instalación de tuberías y se debe de cumplir con las Normas AWS. Las tuberías están soportando grandes esfuerzos, tensiones y fricciones.

- Equipo de ultrasonido (para medir espesores por perdida debido a la fricción).
- Gamma grafía (para detectar fallas en los cordones de soldadura como porosidades, escorias, rechupes).

f) INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN PETROLERA.

Se tienen tanques de almacenamiento, hornos de destilación fraccionada, hornos de craqueo catalítico (para aprovechar lo máximo posible del petróleo hasta llegar al asfalto).

Equipos a usar de mantenimiento predictivo.

- Vibrómetros.
- Ultrasonido
- Gamma grafía.
- Pirómetros.

No se puede usar equipos de diagnostico que usen corriente alterna, solo continua.

3.2.2 INSTITUCIONES SUPERIORES Y UNIVERSIDADES

Instituciones como el Senati, Universidad del Callao, Federico Villarreal, San Marcos y de Ica no cuentan con equipos algunos en análisis vibracional , gamma grafía., termografía infrarroja, partículas magnéticas, a los cuales se pueden dar servicios vía convenios.

CAPITULO 4
EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA EL EQUIPAMIENTO
DEL LABORATORIO

En el Capitulo 3, Campo de Aplicación se describió el uso que se dará al Laboratorio, siendo esta interna y externa.

4.1.VIBROMETROS Y ANALIZADOR DE VIBRACIONES

Existen 2 tipos de vibrómetros.

El colector de datos de vibraciones manual para los estudiantes; y el colector de datos de vibraciones conectado a una computadora para la industria o empresa.

Características:

Audio

Rango de frecuencia: 10 Hz a 1 KHz

Alta resolución: 400 a 3200 líneas

Medición de vibraciones en 3 magnitudes: desplazamiento, velocidad y aceleración.

Capacitación incluida.

Software incorporado.

Garantía 1 año o más

Uso:

Medición del estado de rodamientos.

Uso de motores AC/ DC.

Bombas, cajas reductoras, compresores, ventiladores.

Oferta:

CSI 2117D1 RBM collector	US\$ 2,980 (FOB)
--------------------------	------------------

Mechanalizer Examiner 1000	US\$ 1,400 (FOB)
----------------------------	------------------

ANALIZADOR DE VIBRACIONES

Características:

Rango de frecuencia: 10 Hz a 20 KHz

Resolución: 100 – 800 líneas

Audio.

Peso liviano.

Duración de trabajo de batería : 8 a 10 horas continuas.

Análisis dinámico: espectro y forma de honda.

Balanceo dinámico

Manual de usuario.

Software incorporado.

Capacitación incluida.

Garantía : 1 año o más

Usos:

Análisis de espectro de frecuencia.

Balanceo dinámico.

Colector de datos.

Ofertas:

CSI 1910 Analizador de Espectro	US\$ 14,000 (FOB)
---------------------------------	-------------------

Mechanalizer Examiner 3000	US\$ 9,980 (FOB)
----------------------------	------------------

4.2. ANALISIS DE TEMPERATURA

TERMOGRAFIA INFRARROJA

Características:

Provea en tiempo real la imagen térmica.

Peso liviano.

Larga duración de batería.

Interfase con computadora.

Manual de instrucción.

Resolución alta a distancias mayores.

Capacitación incluida.

Garantía 1 año a más.

Uso:

Medición de temperatura a distancia.

Espectro de temperatura por colores.

Hornos, tablero de control, calderas, aislaciones.

Oferta:

SCI Raytheon Palm IR 250

US\$ 15,425 (FOB)

4.3. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

4.3.1. GAMMAGRAFIA

Características:

Contenedor de capacidad de 200 Curies.

Poco peso y maniobrable.

Espesor de metales hasta 2.5 Pulg.

Fuente de fácil adquisición.

Iridio 192.

Uso:

En cordón de soldadura para detectar porosidades, escorias, burbujas.

Detectar fallas subsuperficiales de los elementos mecánicos.

Oferta:

SPEC (fabricación americana)

US\$ 3,800 (FOB)

4.3.2. ULTRASONIDO

Características:

Peso liviano.

Fuente de alimentación eléctrica y batería.

Fácil calibración.

Medidas exactas.

Uso:

Medición de espesores.

Medición de grietas, porosidades, burbujas.

4.3.3. TINTES PENETRANTES

Características:

Fácil aplicación y adquisición.

Bajo costo.

Larga duración.

Uso:

Determinación de grietas superficiales.

Oferta:

- Sherwin – 3 spray

US\$ 45.00

4.3.4. EQUIPO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Características:

Alimentación por corriente alterna y baterías.

Polvos magnéticos fluorescentes.

Fácil adquisición.

Uso:

Detección de fisuras finas y gruesas.

Uso exclusivo en materiales ferrosos.

Oferta:

- MAGNAFLUX (existente en la FIM) US\$ 0.00

4.3.5. CORRIENTES PARÁSITAS

Características:

Peso liviano y de fácil manejo.

Alimentación corriente alterna y baterías.

Uso:

Detección de fisuras en materiales ferrosos y no ferrosos.

Oferta:

Existente en la FIM US\$ 0.00

4.4. ANÁLISIS ESPECTOGRÁFICO

Características:

Portátil.

Peso liviano.

Detectar condiciones de lubricantes.

Análisis en tiempo real.

Uso:

Índice de corrosión.

Índice contaminante.

Índice ferromagnético.

Indicador de grandes partículas ferromagnéticas.

Oferta:

OIL CSI-5100

US\$ 10,000 (FOB)

4.5. ALINEADOR LASER

Características:

Peso liviano.

Portátil y manejable.

Incluido capacitación.

Manual del usuario.

Dispositivos de análisis.

4.7. INSTRUMENTOS ELÉCTRICOS

Características:

Medición de ohmios, voltaje, capacitancia.

Medición de amperaje.

Uso:

Sistemas eléctricos y de control.

Oferta:

- MULTÍMETRO

US\$ 100.00 (FOB)

CAPITULO 5

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO

En el presente se considera los costos que demandan a la Facultad la implementación del laboratorio, desde la primera etapa y el costo mínimo necesario para empezar su funcionamiento.

Incluyen Costos de Capital y Costos Operativos:

PRIMERA ETAPA

COSTOS DE CAPITAL

5.1. COSTOS INDIRECTOS DE CAPITAL

Maquinaria y equipos

Instrumentos y Herramientas

Obras Civiles.

Montajes.

Instalaciones Eléctricas y Control.

5.1.1. MAQUINARIAS Y EQUIPOS

a) COMPUTADORA PENTIUM III

- Marca Teceme
- Modelo Teceme EP 800

Características:

- Velocidad del Procesador 800 MHz.
- Capacidad de Almacenamiento
Disco Duro 20 Gbytes
- Monitor 15" VT 401

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 795.00	03	\$ 2385.00

b) IMPRESORA INYECTORA A TINTA

- Marca Epson
- Modelo Stylus Color 670

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 170.00	01	\$ 170.00

c) MAQUINA DE SOLDAR

- Marca Lincoln
- Modelo

Características:

- Amperaje 400 A
- Arco Eléctrico

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 900.00	01	\$ 900.00

d) ULTRASONIDO

- Marca Panametric
- Modelo Model 2300

Características:

- Operación con línea C.A o con baterías
- Liviano, alta resolución.

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 0.00 (existente en Lab. 4)	01	\$ 0.00

e) GAMMAGRAFÍA

- Marca Spect
- Modelo 2 - T

Características:

- Actividad máxima 200 CURIES
- Peso : 20 Kg
- Blindaje : uranio empobrecido
- Fuente : iridio 192

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 3800.00 (sin fuente)	01	\$ 3800.00

f) PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

- Marca Magnaflux
- Modelo 2341

Características:

- Uso de polvo magnético
- Potencia a corriente alterna o batería

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 0.00 (existente en el lab.)	01	\$ 0.00

g) ALINEADOR LÁSER

Marca Easy Láser

- Modelo 8213
- Incluye entrenamiento

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 8,000.00	01	\$ 8,000.00

SUB-TOTAL \$ 15255.00

MAQUINARIAS

Y EQUIPOS

5.1.2. INSTRUMENTOS Y HERRAMIENTAS**a) VIBRÓMETRO (Colector de datos manual)**

- Marca Examiner
- Modelo 1000

Características:

- Con Audio
- Baterías: 2 alcalino "AA"
- Tiempo de operación : 20 horas continuas sin audio.
- Peso : 1.30 Kg.
- Velocidad : 0.2 mm/s a 200 mm/s.
- Rango de Frecuencia: 10 Hz a 1 KHz.
- Incluye Software y entrenamiento

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 1400.00	01	\$ 1400.00

b) VIBRÓMETRO (Se comunica con PC)

- Marca Examiner
- Modelo 1000M

Características:

- Con Audio
- Batería: 1 alcalina 9V
- Velocidad : 0 mm/s a 200 mm/s.
- Rango de Frecuencia: 10 Hz a 1 KHz.
- Incluye Software y entrenamiento
- Peso : 260 gr

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 2650.00	01	\$ 2650.00

c) ANALIZADOR DE VIBRACIONES COMPUTARIZADO

- Marca Examiner
- Modelo 3000

Características:

- Batería: Metal Niquel Hídrido
- Audio
- Tiempo de operación : Mayor a 10 horas.
- Medición de Amplitud: Aceleración, velocidad y desplazamiento.
- Resolución: 400-800 –1600 líneas de espectro.
- Incluye Software y entrenamiento.

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 9980.00	01	\$ 9980.00

d) MULTÍMETRO DIGITAL

- Marca Pluke 11

Características:

- Mide tensión.
- Mide ohmios
- Continuidad
- Capacitancias
- Rango : 0.001-600 V (voltaje) en alterna y continua.
- Baterías: 9V Duracell

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 100.00	02	\$ 200.00

e) AMPERÍMETRO DE PINZAS

- Marca BK Precisión
- Modelo 350 A

Características:

- Amperaje: 0 – 1000 Amperios en AC y CC.
- Batería: 9 V

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 100.00	01	\$ 100.00

SUB-TOTAL \$ 14,330.00

**INSTRUMENTOS
Y HERRAMIENTAS**

5.1.3. MUEBLES Y ENSERES**a) ESCRITORIO EJECUTIVO (JEFE LABORATORIO)****Características:**

- Metálico
- Dimensiones: 1.70 x 0.75 x 01.75 m.

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 180.00	01	\$ 180.00

b) ESCRITORIO SECRETARIAL CON CAJÓN**Características:**

- Metálico
- Dimensiones: 1.20 x 0.60 x 0.75 m.

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 150.00	01	\$ 150.00

c) ESCRITORIO DE 3 GAVETAS PARA TÉCNICOS**Características:**

- Metálico
- Dimensiones: 1.20 x 0.60 x 0.75 m.

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 155.00	03	\$ 465.00

d) MESA DE REUNIONES RECTANGULAR**Características:**

- Madera
- Dimensiones: 2.40 x 1.20 x 0.75 m.

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 240.00	01	\$ 240.00

e) SILLA GIRATORIA EJECUTIVO**Características:**

- Metálico

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 117.00	01	\$ 117.00

f) SILLA GIRATORIA TIPO SECRETARIA**Características:**

- Diseño Anatómico

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 55.00	01	\$ 55.00

g) SILLA GIRATORIA SIN BRAZOS (TÉCNICOS)**Características:**

- Base Metal
- Modelo Minidigitales.

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 45.00	03	\$ 135.00

h) MUEBLE DE CÓMPUTO**Características:**

- Dimensiones: 1.00 x 0.50 x 0.75 m.

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 140.00	03	\$ 420.00

i) ARMARIO METÁLICO DE 2 PUERTAS, 4 DIVISIONES**Características:**

- Modelo: Standard

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 110.00	03	\$ 330.00

j) GRENDEZA DE METAL**Características:**

- Modelo: CR-45 V

Dimensiones: 1.52 x 0.45 x 0.74 m

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 115.00	03	\$ 345.00

k) SILLA DE VISITA EN MADERA CEDRO FIJAS

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 18.00	06	\$ 108.00

**l) ARCHIVADOR 4 GAVETAS DE MADERA
CON LLAVE INTERIOR MARCO DE
METAL PARA FOLDER**

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 70.00	03	\$ 210.00

m) PIZARRA BLANCA DE ACERO**VITRIFICADO PARA PLUMÓN**

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 185.00	03	\$ 540.00

n) RELOJ DE PARED CITIZEN QK.2104 E

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 16.00	02	\$ 32.00

o) TACHO DE BASURA**Características:**

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 5.50	04	\$ 22.00

p) CORTINA EN TAPAZOL TEXTURA PESADA**INCLUYE RIELES E INSTALACIÓN****Características:**

- Dimensiones: 6.150 x 1.80

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 23.00	02	\$ 46.00

q) MESAS PARA TALLERES**Características:**

- Metálicas
- Dimensiones: 1.00 x 2.00 m

Precio al Contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 80.00	06	\$ 480.00

SUB-TOTAL \$ 3875.00

MUEBLES Y

ENSERES

5.1.4. OBRAS CIVILES

El Laboratorio de Mantenimiento estará ubicado al costado del Taller de Máquinas y Herramientas N° 4, cercano al cerro y tendrá:

Área construida: 200 m² (1 planta)

Se contempla en el futuro una segunda planta, por lo que los cimientos son para esta opción.

Se presenta:

- Plano de Ubicación del Laboratorio
- Plano de Distribución del Laboratorio.

Precio de m² de construcción: \$ 220.00

Precio de metro lineal para paredes internas,

Ventanas y puertas: \$ 30.00

Precio de m²	metros cuadrados	Sub-total
\$ 220.00	200	\$ 44,000
Precio de metro lineal	Nº de metros	Sub-total
\$ 30.00	60	\$ 1800.00
	SUB-TOTAL	\$ 45 800.00

5.1.5. MONTAJE DE EQUIPOS Y TRASLADO

Para realizar las pruebas en las maquinarias y equipos se necesitará el montaje de las mismas con el costo siguiente:

Precio montaje	Cantidad	Sub-Total
\$100.00	01	\$ 100.00

SUB-TOTAL \$ 100.00

**MONTAJE DE
EQUIPOS Y
TRASLADOS**

5.1.6. INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y CONTROL

Estabilizadores de Computadoras

Precio al contado	Cantidad	Sub-Total
\$ 15.00	03	\$ 45.00

COSTOS	\$79,405.00
---------------	--------------------

DIRECTOS DE

CAPITAL

5.2. COSTOS INDIRECTOS DE CAPITAL**5.2.2. GASTOS ADMINISTRATIVOS****a) Personal de Ventas**

1 egresado \$ 200.00 al mes.

Sueldo al mes	Meses	Sub-Total
\$ 200.00	12	\$ 2400.00

b) Fax-teléfono y otros

Precio al contado	Cantidad	Sub-total
\$ 300.00	01	\$ 300.00

SUB-TOTAL	\$ 2,700.00
------------------	--------------------

GASTOS

ADMINISTRATIVOS

5.2.3. CAPITAL DE TRABAJO

Pasajes, Útiles de escritorios	\$ 400.00
--------------------------------	------------------

5.2.4. IMPREVISTOS

10 %	\$ 300.00
------	------------------

SUB-TOTAL	\$ 3400.00
COSTOS	
INDIRECTOS	

COSTOS DIRECTOS : \$ 79,405.00

COSTOS INDIRECTOS: \$ 3400.00

TOTAL \$ 82 895.00

TOTAL DE COSTOS DE CAPITAL : \$ 82,805.00

(INCLUYE OBRAS CIVILES)

5.3. COSTOS OPERATIVOS**5.3.2. MANO DE OBRA (al año)**

	Sub-total
Pintura, gasfitería y otros	\$ 100.00

5.3.3. GASTOS GENERALES

	Sub-total
Waipe, ace, cera, escobillones, útiles de limpieza	\$ 100.00

5.3.4. SUMINISTROS Y MATERIALES

	Sub-total
- 3 Tintas penetrantes	\$ 45.00
- Polvos magnéticos	\$ 20.00
- Fuente de Iridio 192 (80 Curies)	\$ 800.00
	<hr/>
COSTO OPERATIVO	\$ 1065.00
 COSTO TOTAL = COSTO DE CAPITAL	
+ COSTO DE OPERACIÓN	\$ 83,870.00

DESGLOSE POR RUBROS**PRIMERA ETAPA****COSTOS DE CAPITAL****COSTOS DIRECTOS DE CAPITAL**

- Maquinaria y equipos	\$ 15 255.00
- Instrumentos y herramientas	\$ 14 330.00
- Muebles y enseres	\$ 3 875.00
- Obras Civiles	\$ 45 800.00
- Montaje de equipos y traslado	\$ 100.00
- Instalaciones Eléctricas y Control	\$ 45.00
	<hr/>
	\$ 79 405.00

COSTOS INDIRECTOS DE CAPITAL

-	Costos Administrativos	\$ 2700.00
-	Capital de Trabajo	\$ 400.00
-	Imprevistos	\$ 300.00
		<hr/>
		\$ 3400.00

**COSTOS DIRECTOS +
COSTOS INDIRECTOS**

COSTO DE CAPITAL = \$ 82 805.00

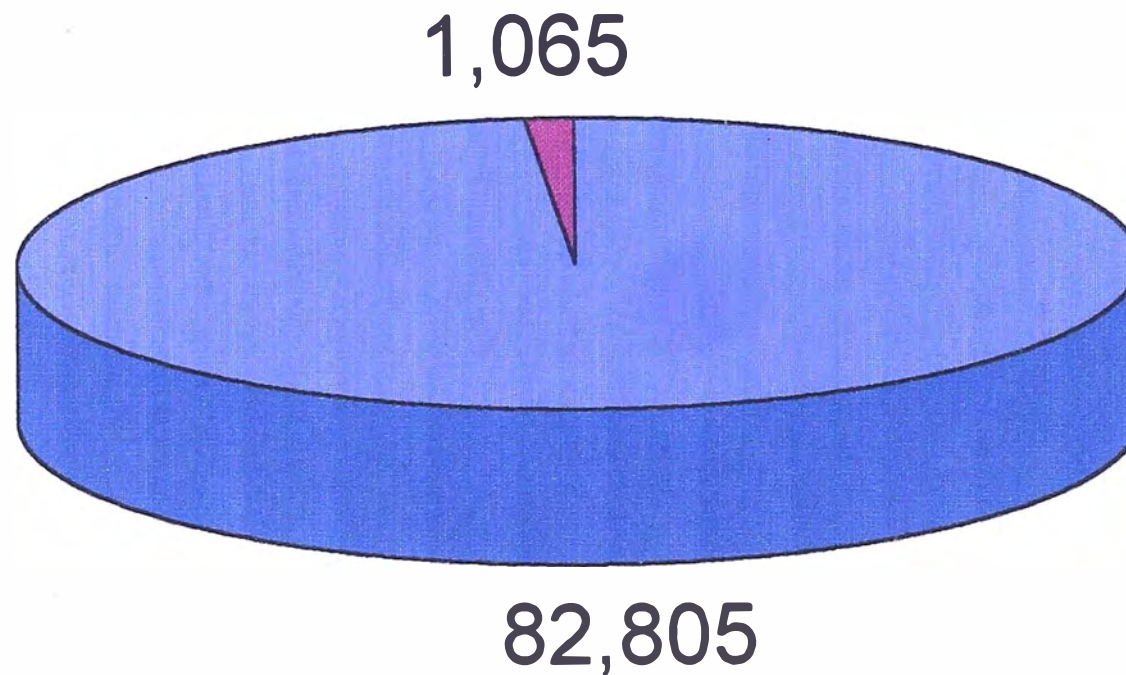
COSTOS OPERATIVOS

-	Mano de Obra	\$ 100.00
-	Gastos Generales	\$ 100.00
-	Suministros y Materiales	\$ 865.00
		<hr/>
		\$ 1065.00

**COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN
DE PRIMERA ETAPA**

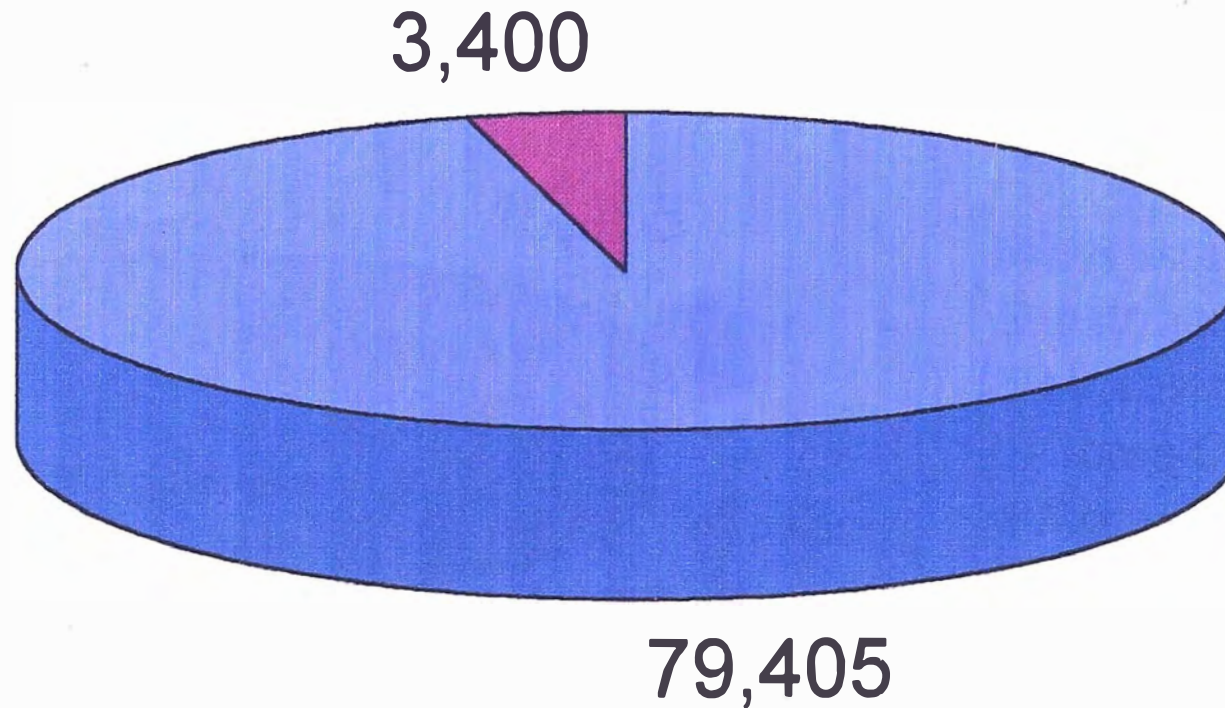
\$ 83 870.0

COSTO TOTAL EN DOLARES DE IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO PREDICTIVO - Primera Etapa (\$ 83,870)



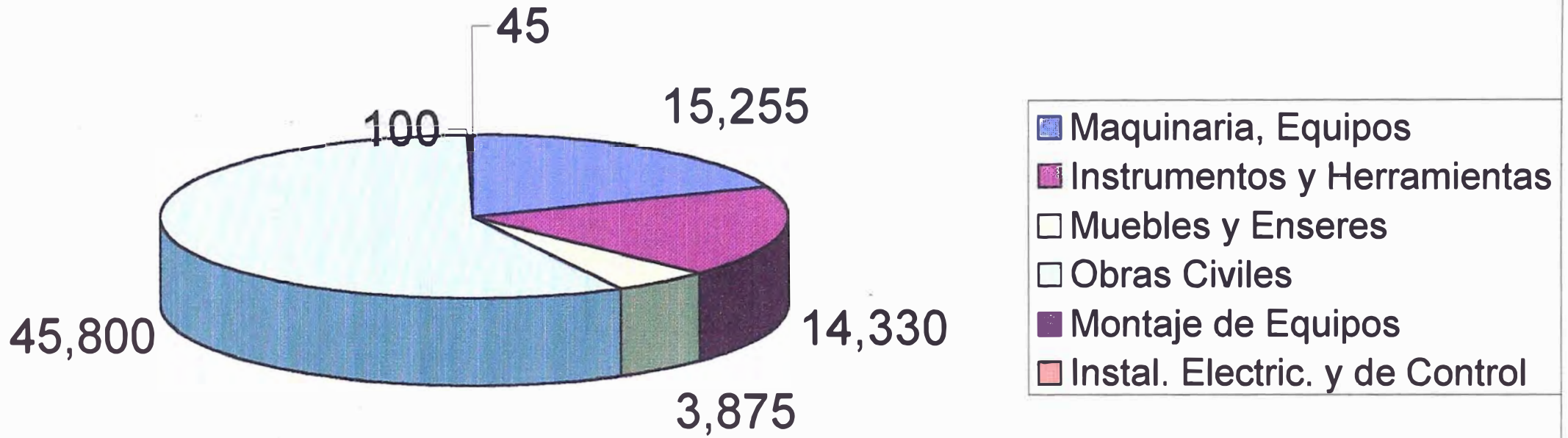
■ Costo de Capital ■ Costo Operativo

COSTO DE CAPITAL EN DOLARES - Primera Etapa (\$82,805)



■ Costos Directos ■ Costos indirectos

COSTOS DIRECTOS EN DOLARES - Primera Etapa (\$79,405)



INGRESO ECONÓMICO DEL LABORATORIO

PREDICTIVO AL MES

1. VIBRÓMETROS Y ANALIZADORES VIBRACIONALES

Desequilibrio, dealineamiento, cojinetes, soltura mecánica, Engranajes defectuosos, balanceo y reparación.

Precio promedio por trabajo	\$ 180.00
Trabajos estimados al mes	15
INGRESO: \$ 180 X 15	\$ 2700 al mes.

2. GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL

Determinación de defectos en uniones soldadas, como grietas, escorias, cavidades y en fundición.

Precio promedio por placa	\$ 7.00
Placas estimadas al mes	600
INGRESO: \$ 7.00 X 600	= \$ 4200 al mes

3. ULTRASONIDO

Detección y ubicación de defectos internos y superficiales. Porosidades, fisuras, escorias, impurezas en soldaduras y fundición.

Medición de espesores.

Precio promedio por trabajo	\$ 20.00
Trabajos estimados	20
INGRESO: \$ 20.00 X 20	\$ 400 al mes

4. ALINEAMIENTO LASER

Su uso se da en alineamiento de ejes unidos por conexiones, enviando rayos láser.

- Precio promedio		\$ 100.00
- Trabajos estimados		4
INGRESO: \$ 100.00 X 4 = \$ 400 al mes		

5. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y CORRIENTES PARASITAS

Caso de fisuras en materiales ferromagnéticos y cerámicos.

- Precio promedio por trabajo		\$ 10.00
- Placas estimadas al mes		10
INGRESO: \$ 10.00 X 10 = \$ 100 al mes		

6. TINTES PENETRANTES

Detecta fisuras superficiales en distintos materiales. Caso recipientes a presión.

- Precio promedio por trabajo.		\$ 5.00
- Placas estimadas al mes		10
INGRESO: \$ 5.00 X 10 = \$ 50 al mes		

INGRESO BRUTO: (1) + (29 + (3) + (4) + (5) + (6) = \$ 7850 al mes.

DESCUENTOS PABELLÓN CENTRAL + FIM (40%) = \$ 3140 al mes.

INGRESO CON DESCUENTOS : \$ 7850 - \$ 3140 = \$ 4710 al mes.

**EGRESOS ECONÓMICOS DEL LABORATORIO
PREDICTIVO AL MES.**

1. FUENTE DE IRIDIO 192 (IPEN)	=	\$ 320 al mes.
(Dura 2.5. meses y cuesta \$ 800)		
2. POLVOS MAGNÉTICOS	=	\$10.00 al mes.
3. TINTES PENETRANTES	=	\$ 10.00 al mes.
4. ELEMENTOS DE LIMPIEZA	=	\$ 10.00 al mes.
5. CONSUMO TELEFÓNICO	=	\$ 100.00 al mes.
6. SUELDOS PERSONAL AL MES	=	\$ 350.00 al mes.
• JEFE DE LABORATORIO		\$ 350.00
• DOS TÉCNICOS		\$ 500.00
• SECRETARIA		\$ 170.00
• UN VENDEDOR ALUMNO		\$ 100.00

EGRESO BRUTO : (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6) = **\$ 1570.00 al mes.**

INGRESO NETO: \$ 4710 - \$ 1570 = 3140 al mes.

COSTO MÍNIMO PARA EMPEZAR

COSTOS DE CAPITAL

COSTOS DIRECTOS

- **MAQUINARIAS Y EQUIPOS**

Ganmagrafia	\$ 3800.00
Alineador Láser	\$ 8000.00
Computadora e impresora	\$ 0.00

(Proporcionado por la FIM)

- **INSTRUMENTOS Y
HERRAMIENTAS**

Vibrómetro Examiner 1000	\$ 1400.00
Vibrómetro Examiner 1000M	\$ 2650.00
Analizador de Vibraciones	\$ 9980.00

- **MUEBLES Y ENSERES**

Facilitado por la FIM	\$ 0.00
-----------------------	---------

- **OBRAS CIVILES**

Se usará ambientes adecuados	\$ 0.00
------------------------------	---------

Dentro de la FIM

- **INSTALACIONES ELÉCTRICAS**

(Facilitado por la FIM)	\$ 0.00
-------------------------	---------

SUB-TOTAL	\$ 25830.00
------------------	--------------------

COSTOS

DIRECTOS

COSTOS INDIRECTOS

•	Gastos Administrativos	\$ 0.00
•	Capital de Trabajo	
	(Pasajes Alumnos)	\$ 50.00
		<hr/>
	SUB-TOTAL	\$ 50.00

**COSTOS
INDIRECTOS**

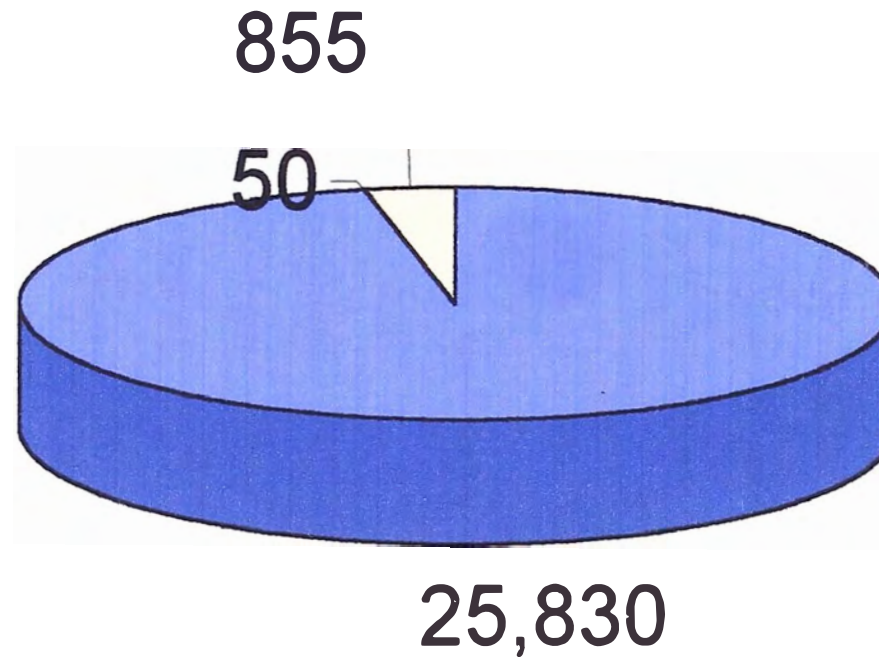
COSTOS OPERATIVOS

•	MANO DE OBRA	
	(Pintura, gasfitería dado por la FIM)	\$ 0.00
•	GASTOS GENERALES	
	(Waipe, detergente, cera dado por la FIM)	\$ 0.00
•	SUMINISTROS Y MATERIALES	
-	Tintas penetrantes	\$ 45.00
-	Polvos magnéticos	\$ 0.00
	(Prestados por LAB. N° 4)	
-	Fuente de Iridio 192	\$ 800.00
		<hr/>
	SUB-TOTAL	\$ 845.00

**COSTOS
OPERATIVOS**

**TOTAL = COSTOS DIRECTOS + COSTOS INDIRECTOS +
COSTOS OPERATIVOS = \$ 26680.00**

COSTO TOTAL MINIMO PARA LA IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO EN DOLARES (\$26,735)



Costos directos Costos indirectos Costos operativos

**INGRESOS ESPERADOS
POR LA IMPLEMENTACIÓN
DEL LABORATORIO CON COSTO MÍNIMO**

Por la inversión elevada visto en la PRIMERA ETAPA (\$ 83870.00) muchas empresas mandan a hacer su mantenimiento predictivo a terceros.

Como se apreció en el capítulo 3, CAMPO DE APLICACIÓN EXTERNA existe en la industria nacional una fuerte demanda de diagnóstico, recomendaciones y reparaciones, habiendo actualmente en el país 10 empresas que ofrecen mantenimiento predictivo.

De una encuesta realizada por la Asociación Peruana de Mantenimiento (APEMAIN) dio como resultado las siguientes cifras:

Balaneo Dinámico	– 50% de los trabajos.
Alineamiento	– 20% de los trabajos.
Ensayos no destructivos	– 20% de los trabajos.
Ensamble y montaje	– 10% de los trabajos.

PRECIO PROMEDIO AL EMPRESARIO

Medición y Diagnóstico (4 cojinetes) \$ 50.00 – 80.00
(duración del trabajo 30 minutos).

Costo de Balanceo (in Situ)	
(por ejemplo ventilador, duración 1 ½ hr.)	\$ 150.00
Costo de Soltura Mecánica	\$ 220.00
(Incluye reparación de tapa del motor, soldadura, balanceo, duración 4 ½ hr.)	
Cambio de rodajes y chumaceras	\$ 200.00
(incluye montaje y balanceo)	
Alineamiento Láser	\$ 160 – 200
(ejemplo motor y compresor 50HP)	

Se estima que el Laboratorio, según datos de empresas de mantenimiento, y considerando el reconocimiento y marketing de la UNI, se espera lo siguiente:

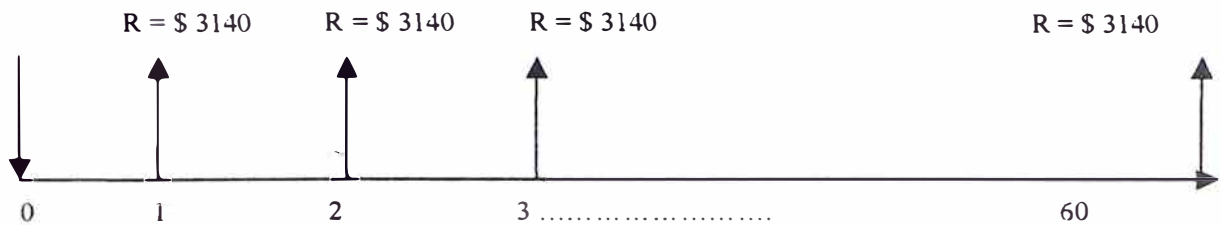
01 trabajo cada dos días, de los mencionados anteriormente, con un promedio de \$ 180.00 cada uno.

Los Ensayos no Destructivos por lo general Ganmagrafia, cuya placa se cobra 7 dólares por toma llegándose hacer hasta 20 tomas diarias.

HORIZONTE = 60 MESES

COSTO DE CAPITAL MENSUAL = 1.5%

I = \$ 83 870



CALCULO DE VAN, TIR, B/C, PERIODO DE RECUPERACIÓN

VAN = VALOR ACTUAL NETO.

$$VAN = \frac{R(1+in)^n - I}{i_m(I+i_m)^n} = -I$$

VAN = \$ 125,435

TIR = TASA INTERNA DE RETORNO \rightarrow VAN = 0

$$VAN(O) + I = \frac{R(1+in)^n - 1}{i_m(I+i_m)^n}$$

TIR = 0.037

3.7% mensual

CAPITULO 6

CASO PRACTICO DE APLICACIÓN

PLANTA: Ensambladora de Camiones

EQUIPO: Extractor de Gases Calientes.

Características Técnicas

MOTOR : 24 HP y 1745 RPM

Extractor : n = 675 RPM y 8 ASPAS

INSTRUMENTO UTILIZADO:

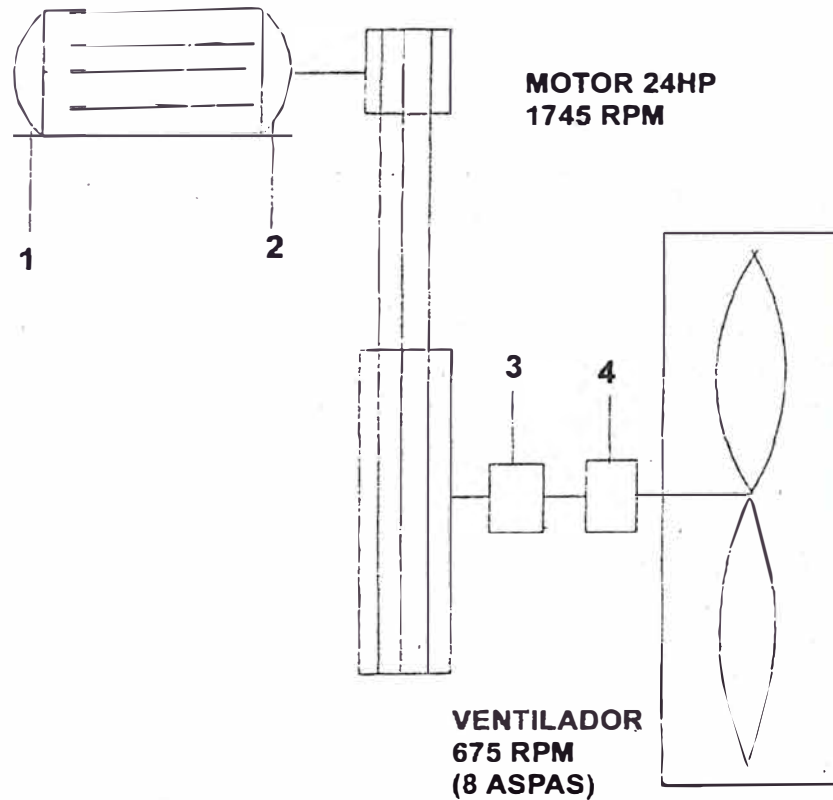
Analizador de Vibraciones Examiner 3000

6.1. ANTECEDENTES

Ante el sensible incremento de las vibraciones y la repetida falla de los rodamientos, la Jefatura de Planta solicita efectuar un análisis vibracional para determinar las causas de dicho incremento.

6.2. ESQUEMA DE LA MAQUINA (MOTOR – VENTILADOR)

VENTILADOR CENTRÍFUGO EXTRACTOR DE GASES CALIENTES



6.3. MEDICION

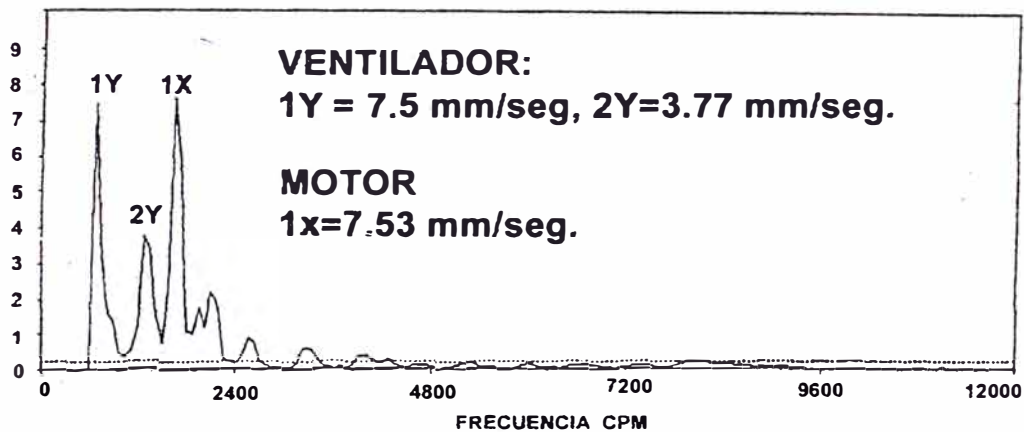
Se consideran 4 puntos de medición, 2 en el motor (punto 1 y 2), y 2 en el ventilador (puntos 3 y 4)

En cada punto se mide las direcciones de V, H y A la velocidad de vibración, la lectura de vibración más altas son 1A , 2 V , 3 H cuyos espectros se muestran en los siguientes gráficos.

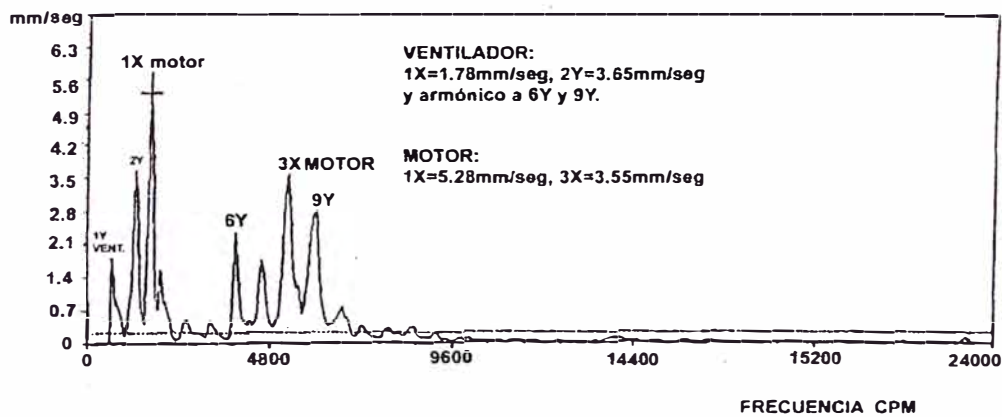
X → Motor

Y → Ventilador

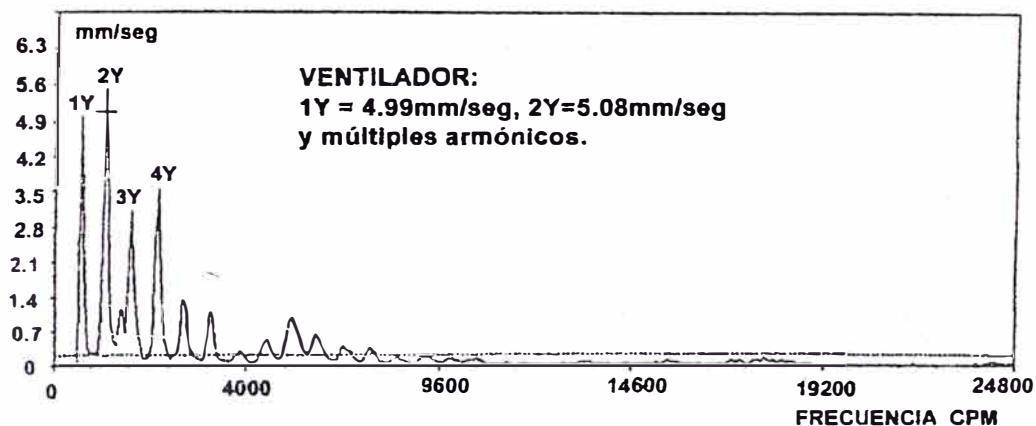
Espectro 1 A



Espectro 2 V



Espectro 3 H



6.4. ESTABLECIMIENTO DE CONDICION DE FUNCIONAMIENTO

En el punto 1 A, el equipo tiene un valor total de vibración de 12.07 mm/s que de acuerdo a la Norma de Severidad Vibracional ISO - 2372 establece que la máquina está trabajando en un nivel **NO PERMISIBLE**.

6.5. ANÁLISIS VIBRACIONAL

6.5.1. MOTOR (Apoyo Externo) – Punto 1

El espectro 1 A, muestra como valores más altos y característicos las primeras armónicas del ventilador, 1Y = 7.5 mm/s. y del motor 1X = 7.53 mm/s. Además se aprecia la segunda armónica de la frecuencia del Ventilador, 2Y = 3.77 mm/s

6.5.2. MOTOR (Apoyo Lado Polea) – Punto 2

El espectro 2 V presenta los siguientes valores correspondientes al ventilador:
1Y = 1.78 mm/s , 2Y = 3.65 mm/s, y armónico significativos a 6Y y 9Y.

Para el motor, el valor más significativo es a $1X = 5.28$ mm/s y su tercera armónica $3X = 3.55$ mm/s.

6.5.3. VENTILADOR (Apoyo lado Polea) – Punto 3

En el espectro 3H se aprecia la primera armónica del ventilador $1Y = 4.699$ mm/s, su segunda armónica $2Y = 5.08$ mm/s y armónicos significativos $3Y$ y $4Y$

6.6. DIAGNOSTICO

VENTILADOR: En el espectro 3H, el hecho de que la segunda armónica ($2Y$) es mayor que la primera ($1Y$); y la presencia de tercera armónica ($3Y$) y ($4Y$) es característico de **SOLTURA MECANICA**.

El ventilador además está desbalanceado dinámicamente, ya que tiene una primera armónica ($1Y$) de 4.99 mm/s.

MOTOR: Del análisis de los espectros 1A y 2V, concluimos que el motor está **DESBALANCEADO** ya que el primer armónico ($1X$) es preponderante y alcanza valores de 7.53 mm/s.

Además en el Apoyo 2 (lado polea)

Tenemos un valor a $3X$ de 3.55 mm/s lo cual nos indica un desalineamiento de este apoyo.

6.7. CONCLUSIONES

a) El equipo está trabajando en una condición **NO PERMISIBLE**

b) **MOTOR:**

Está desbalanceado dinámicamente y presenta además en el apoyo 2 un problema de desalineamiento por posible mal maquinado de tapa portarrodaje.

c) **VENTILADOR:**

Desbalanceado dinámicamente.

Soltura Mecánica en el apoyo 3.

6.8. RECOMENDACIONES

a) Parar el equipo al más breve plazo para evitar daños mayores, como deterioro de rodamientos, desgaste o rotura de eje, roturas de bases, etc.

b) **MOTOR:**

Corregir defecto en tapa portarrodaje 2

Alinear patas del soporte del motor.

Balancear dinámicamente rotor del motor.

c) **VENTILADOR:**

Corregir la soldadura mecánica del apoyo 3, cambiando rodamientos y chumaceras de ser necesario.

Luego, proceder a balancear dinámicamente el ventilador.

PLOTEO DEL ESPECTRO DE VIBRACIONES

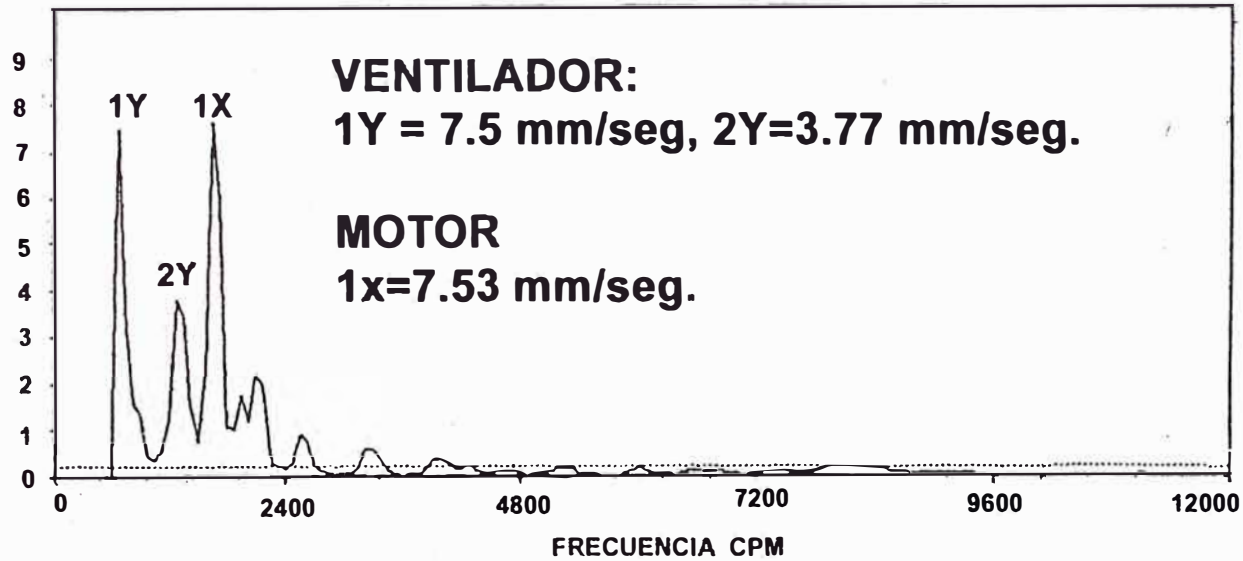
PUNTO : 1A
 LINEAS : 800
 FRECUENCIA : 1650

FECHA : 15 DIC 2001
 PROMEDIO : 8
 AMPLITUD
 MÁXIMA : 7.53

VELOCIDAD PLACA : 1745 RPM
 FRECUENCIA : 0-60,000 CPM

X → MOTOR
 Y → VENTILADOR

ESPECTRO 1A



IDENTIFICACIÓN DE PICOS DE ESPECTROS

Nº	AMPLITUD	FRECUENCIA	SINCRÓNICOS	SUBSINCRÓNICOS	NO SINCRÓNICOS
1	7.51	675.0	1X, 2X, 3X	Por debajo de 1X	Interarmónicos
2	3.71	1275.0			
3	7.53	1650.0			
4	1.70	1950.0			
5	2.21	2100.0			

PLOTEO DEL ESPECTRO DE VIBRACIONES

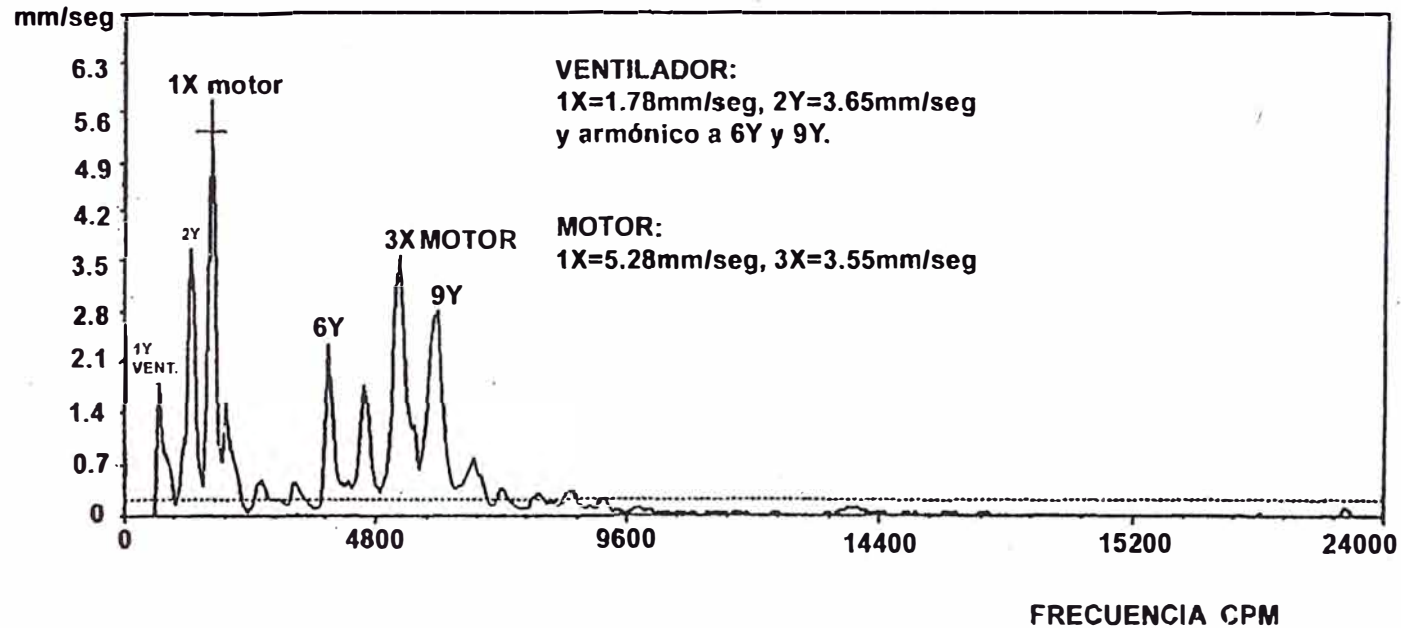
PUNTO : 2V
 LINEAS : 800
 FRECUENCIA : 1650

FECHA : 15 DIC 2001
 PROMEDIO : 8
 AMPLITUD
 MÁXIMA : 5.28

VELOCIDAD PLACA : 1745 RPM
 FRECUENCIA : 0-60,000 CPM

X → MOTOR
 Y → VENTILADOR

ESPECTRO 2V



IDENTIFICACIÓN DE PICOS DE ESPECTROS

Nº	AMPLITUD	FRECUENCIA	SINCRÓNICOS	SUBSINCRÓNICOS	NO SINCRÓNICOS
1	1.78	675.0	1X, 2X, 3X	Por debajo de 1X	Interarmónicos
2	3.64	1275.0			
3	5.28	1650.0			
4	1.51	1950.0			
5	0.47	2625.0			

PLOTEO DEL ESPECTRO DE VIBRACIONES

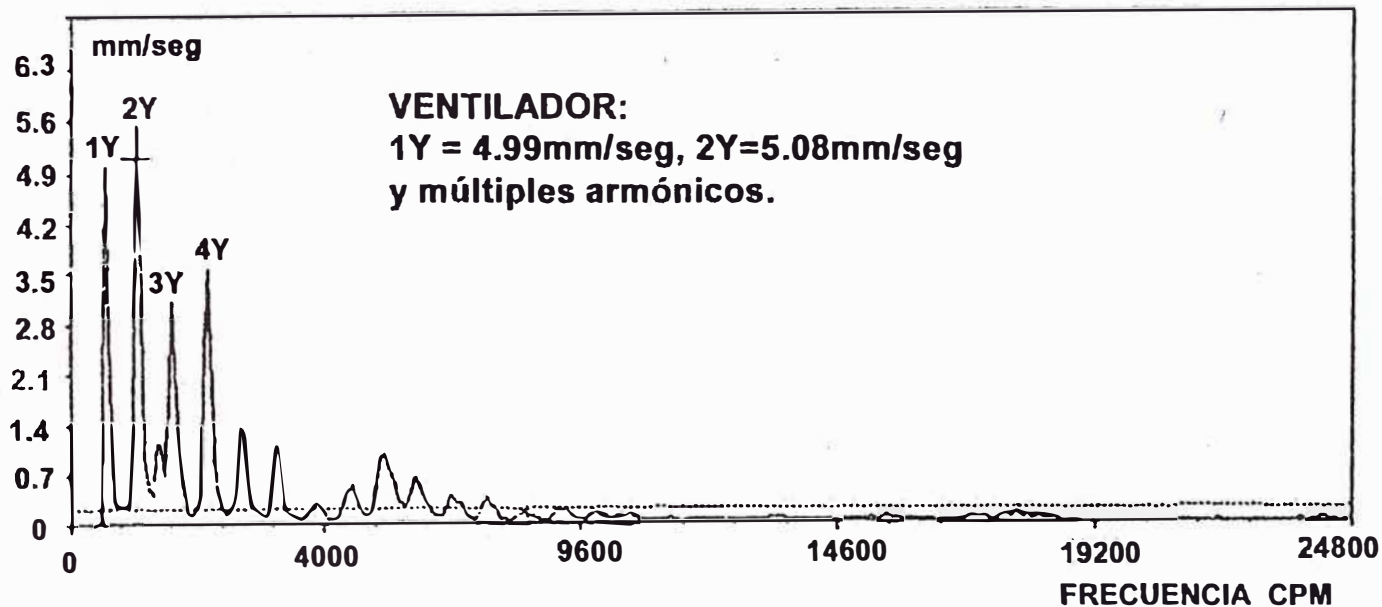
PUNTO : 3H
 LINEAS : 800
 FRECUENCIA : 1275

FECHA : 15 DIC 2001
 PROMEDIO : 8
 AMPLITUD
 MÁXIMA : 5.08

VELOCIDAD PLACA : 1745 RPM
 FRECUENCIA : 0-60,000 CPM

X → MOTOR
 Y → VENTILADOR

ESPECTRO 3H



IDENTIFICACIÓN DE PICOS DE ESPECTROS

Nº	AMPLITUD	FRECUENCIA	SINCRÓNICOS	SUBSINCRÓNICOS	NO SINCRÓNICOS
1	4.99	675.0			
2	5.08	1275.0			
3	1.14	1650.0			
4	3.13	1950.0			
5	3.55	2625.0			

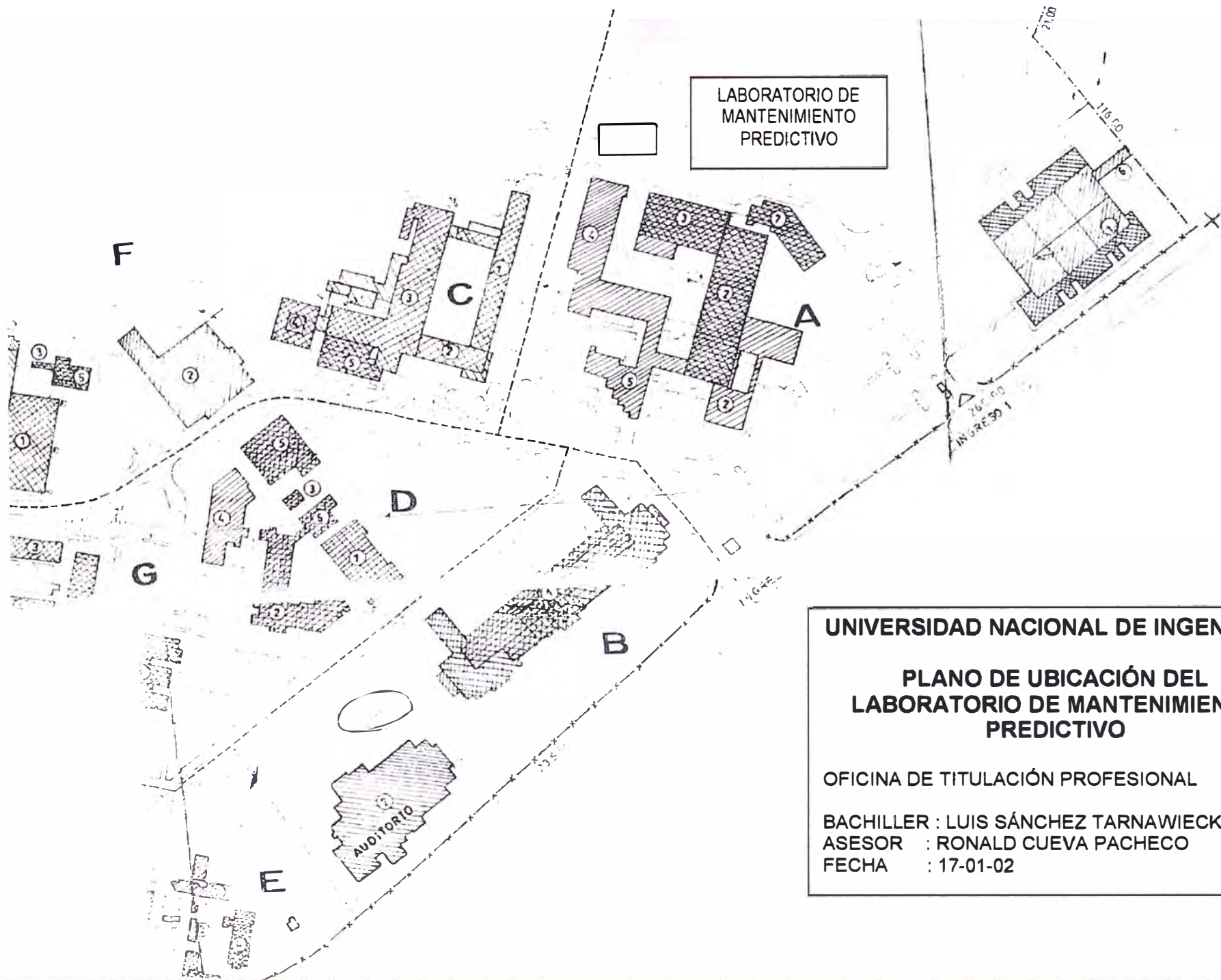
CONCLUSIONES

- 1) Con la implementación del Laboratorio se generaría recursos propios, que servirían para solventar los costos de demanda académica interna y otros gastos de la FIM.
- 2) La recuperación del costo sería en menos de 1 año para la implementación inicial.
- 3) La ventaja en la adquisición de equipos e instrumentos importados para la FIM es que no paga aranceles (FOB) teniendo una gran ventaja sobre empresas de mantenimiento predictivo privadas.
- 4) Se ampliará los conocimientos de los docentes de los 10 cursos mencionados, que se volcaría a los alumnos en forma práctica.
- 5) Se modernizaría la enseñanza hacia los estudiantes, pues la teoría se complementaría con la práctica.
- 6) Se mejoraría la imagen institucional de la UNI en el contexto externo.

BIBLIOGRAFÍA

- **SISTEMAS DE MANTENIMIENTO PLANEACIÓN Y CONTROL**
AUTORES: SALIH DUFFUAA, A. RAOUF
EDITORIAL: LIMUSA WILEY 1º EDICIÓN 2000
- **ENSAYO DE LOS MATERIALES**
AUTOR: AARÓN HELFGOT
EDITORIAL: KAPELUSZ 1979
- **SEMINARIO DE TÉCNICAS MODERNAS DE MANTENIMIENTO**
AUTOR: ING. PEDRO VARGAS GALVEZ
FACULTAD DE MECÁNICA – UNI 1996
INTRODUCCIÓN A LA GAMMAGRAFÍA – COPIAS 1994
- **METRITEK S.L. www.pruftechnik.com**
- **CSI www.compsys.com**
- **IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO,
PREDICTIVO Y PRODUCTIVO TOTAL.**
AUTOR: ING. PEDRO VARGAS GALVEZ 1995

PLANOS



LABORATORIO DE
MANTENIMIENTO
PREDICTIVO

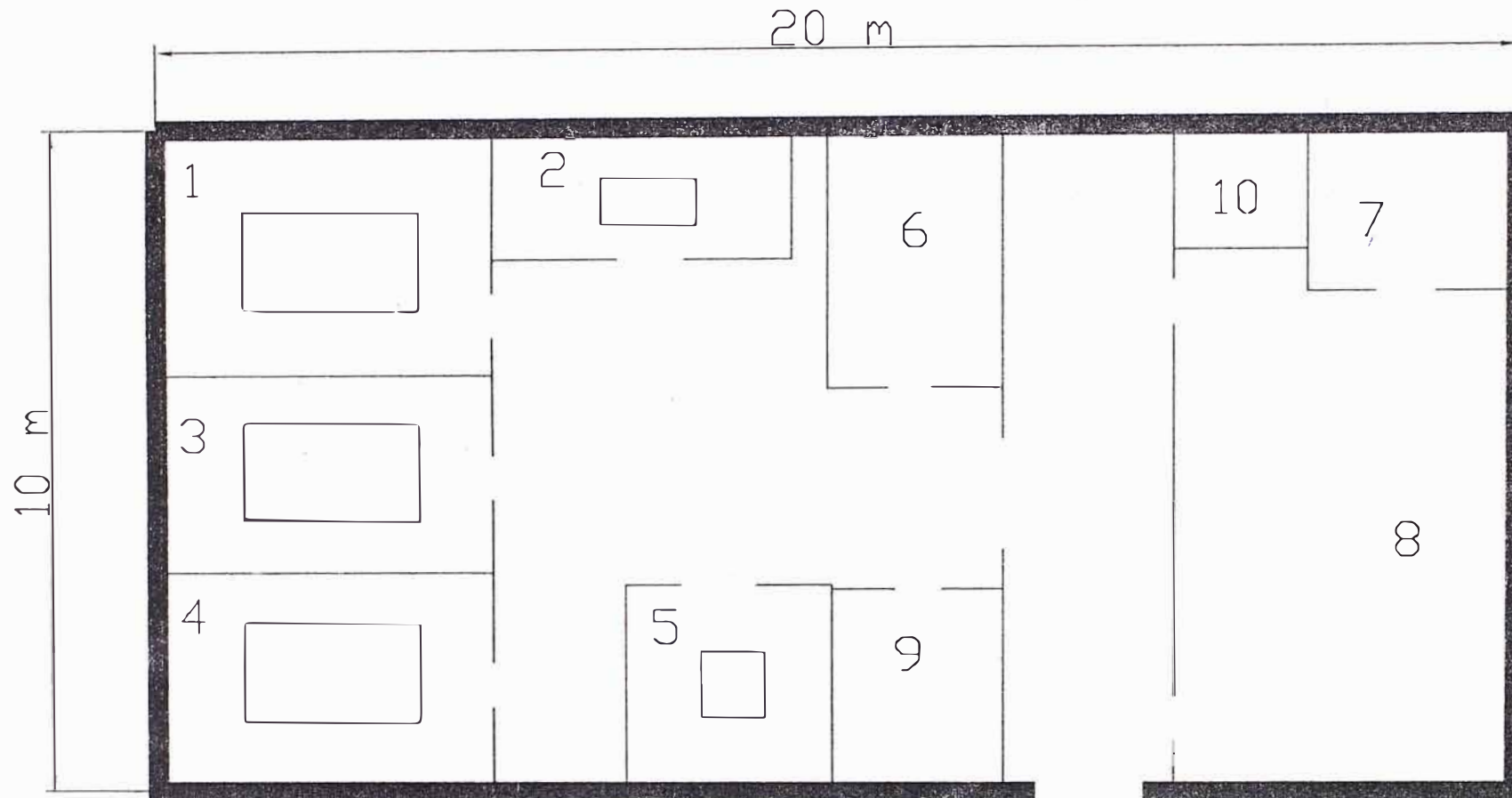
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**PLANO DE UBICACIÓN DEL
LABORATORIO DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO**

OFICINA DE TITULACIÓN PROFESIONAL

BACHILLER : LUIS SÁNCHEZ TARNAWIECKI
ASESOR : RONALD CUEVA PACHECO
FECHA : 17-01-02

DISTRIBUCION DE AMBIENTES DEL LAB. PREDICTIVO



- 1 ANALISIS VIBRACIONAL Y BALANCO DINAMICO
- 2 TERMOGRAFIA INFRARROJA
- 3 ENSAYO NO DESTRUCTIVOS 1
- 4 ENSAYO NO DESTRUCTIVOS 2
- 5 TALLER ELECTRICO

- 6 ALMACEN
- 7 JEFATURA DE LABORATORIO
- 8 ADMINISTRACION
- 9 BAÑO
- 10 BAÑO

APENDICE

HOJA DE CHEQUEO

CÓDIGO DEL EQUIPO	RESPONSABLE:								
NOMBRE DEL EQUIPO									
Escriba los casilleros de la derecha que describan la condición de los componentes mostrados en la columna de la izquierda	CORRECTO	REQUIERE LUBRICACION	REQUIERE AJUSTE	REQUIERE REEMPLAZO	REQUIERE LIMPIEZA	EXCESIVA VIBRACION	EXCESIVO CALOR	SUELTO	VER COMENTARIOS ADICIONALES
Motor Eléctrico:									
Rodamientos									
Base de fijación								X	
Temperatura	X								
Vibración									
Ruido									
Acoplamiento:									
Alineamiento									
Lubricación									
Filtro de succión:									
Limpieza									
Entrada libre									
Línea de retorno:									
Nivel de fluido bajo									
Bomba:									
Ruido									
Flujo									
Presión									
Base de fijación									
Alineamiento									
Fugas									
Válvula de Alivio:									
Presión ajustada									
Calentamiento									
Válvula direccional:									
Operación libre									
Calentamiento									
Cilindro Hidráulico:									
Fugas									
Alineamiento									
Calentamiento									
Líneas:									
Seguridad del montaje									
Doblez									
Acoplamientos sueltos									

Nota: Dependiendo del tiempo de operación, el fluido hidráulico deberá ser chequeado y analizado para prevenir desgaste del sistema.

Comentarios Adicionales:

