

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR

DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
TECNOLÓGICA



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

**TRABAJO PROFESIONAL  
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**QUE PRESENTA:**

**JOSÉ LUIS MARTÍNEZ CUETO**

**CON EL TEMA:**

**“DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS Y  
TÉCNICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS A  
MAQUINARIA”**

**MEDIANTE:**

**OPCIÓN X**

**(MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS**

**FEBRERO 2014**

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**



**MEMORIA RESIDENCIA PROFESIONAL.**

**“DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS Y  
TÉCNICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS A  
MAQUINARIA”.**

PRESENTA:

◆ **JOSÉ LUIS MARTÍNEZ CUETO.**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

ASESOR INTERNO:

**ING. VÍCTOR MANUEL VÁZQUEZ RAMÍREZ.**

ASESOR EXTERNO:

**ING. NICOLÁS RAMÍREZ ARMENTA.**

REVISORES:

**M.I. LORENZO MARCIANO VÁZQUEZ.**

**M.I. APOLINAR PÉREZ LÓPEZ.**

**ING. RUTILO MORALES ÁLVAREZ.**

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>2</b>
1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.2 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....	4
1.3 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA EN EL QUE SE DESARROLLO.....	4
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	5
<b>CAPITULO II: GENERALIDADES DE LA EMPRESA</b> .....	<b>6</b>
2.1 NOMBRE DE LA FABRICA.....	7
2.2 POLÍTICAS Y NORMAS.....	7
2.3 OBJETIVOS Y SERVICIOS QUE PRESTA.....	7
2.3.1 FABRICA DE ALCOHOL.....	7
2.3.2 FABRICA DE AZÚCAR.....	7
2.3.3 FABRICA DE RON.....	8
2.4 MISIÓN DE LA EMPRESA.....	8
2.5 VISIÓN DE LA EMPRESA.....	8
<b>CAPITULO III: INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES</b> .....	<b>9</b>
3.1 PRINCIPIOS BÁSICOS.....	10
3.2 TIPOS DE MATERIALES PENETRANTES COMERCIALES.....	10
3.2.1 CLASIFICACIÓN DE LA INSPECCIÓN POR PENETRANTES.....	11
3.3 MECANISMOS DE PENETRACIÓN.....	15
3.3.1 PENETRABILIDAD.....	15
3.3.2 EFICIENCIA DE ATRAPAMIENTO DE LA FALLA.....	16
3.4 REMOVEDORES Y EMULSIFICANTES.....	17
3.4.1 SOLVENTES REMOVEDORES.....	17
3.4.2 EMULSIFICADORES.....	17
3.5 REVELADORES.....	18
3.5.1 REVELADOR SECO.....	18
3.5.2 REVELADOR SUSPENDIDO EN AGUA.....	19
3.5.3 REVELADOR SOLUBLE EN AGUA.....	19
3.6 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS PENETRANTES.....	19
3.6.1 PENETRANTES FLUORESCENTES LAVABLES CON AGUA.....	19
3.6.2 PENETRANTES FLUORESCENTES POST-EMULSIFICABLE.....	20
3.6.3 PENETRANTES FLUORESCENTES REMOVIBLES CON SOLVENTE.....	21
3.6.4 PENETRANTES VISIBLES LAVABLES CON AGUA.....	22
3.6.5 PENETRANTES VISIBLES POST-EMULSIFICABLE.....	22

3.6.6 PENETRANTES VISIBLES REMOVIBLES CON SOLVENTE-----	23
3.7 DOCUMENTOS-----	23
3.7.1 CÓDIGOS, NORMAS Y ESPECIFICACIONES-----	24
3.8 EQUIPO A UTILIZAR PARA LA INSPECCIÓN DE FISURAS POR LÍQUIDOS PENETRANTES EN LA CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V.-----	26
3.9 PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL LIQUIDO PENETRANTE-----	29
3.10 FORMATO DE REPORTES-----	32
3.11 DIAGRAMA DE FLUJO-----	33
3.12 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS POR LÍQUIDOS PENETRANTES A COPLES Y BARRAS DE ACOPLAMIENTO-----	34
3.12.1 ADITAMENTO DE COPLE FUSIBLE REDUCTOR DE BAJA MOLINO 1-----	34
3.12.2 ADITAMENTO DE COPLE FUSIBLE REDUCTOR DE BAJA MOLINO 6-----	35
3.12.3 BARRA ACOPLAMIENTO MOLINO 1-----	36
3.12.4 BARRA ACOPLAMIENTO MOLINO 6-----	37
3.12.5 COPLE CUADRADO MOLINO 1 LADO MOLINOS-----	38
3.12.6 COPLE CUADRADO MOLINO 1 LADO REDUCTOR-----	39
3.12.7 COPLE CUADRADO MOLINO 6 LADO MOLINOS-----	40
3.12.8 COPLE CUADRADO MOLINO 6 LADO REDUCTOR-----	41
3.13 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE FISURAS POR LÍQUIDOS PENETRANTES EFECTUADOS A COPLES CUADRADOS, ADITAMENTO DE COPLE FUSIBLE, BARRA DE ACOPLAMIENTO DEL MOLINO 1 Y 6-----	42
<b>CAPITULO IV: ULTRASONIDO INDUSTRIAL-----</b>	<b>44</b>
4.1 PRINCIPIOS DE ULTRASONIDO-----	45
4.2 INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO-----	46
4.2.1 SISTEMA DE INSPECCIÓN ULTRASÓNICA-----	46
4.2.2 APLICACIONES-----	47
4.2.3 VENTAJAS-----	47
4.2.4 LIMITACIONES-----	48
4.3 ONDA ULTRASÓNICA-----	48
4.4 MODOS DE ONDA-----	50
4.5 PRINCIPIOS ESPECÍFICOS DE TRANSDUCTORES-----	54
4.5.1 TRANSDUCTORES DE HAZ RECTO-----	54
4.5.2 TRANSDUCTORES DE HAZ ANGULAR-----	54
4.5.3 TRANSDUCTORES DE DOBLE CRISTAL-----	55
4.5.4 SELECCIÓN DE UN TRANSDUCTOR-----	56
4.6 ACOPLANTE-----	58
4.7 TÉCNICAS DE INSPECCIÓN POR CONTACTO-----	59
4.8 VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL ULTRASONIDO-----	61
4.9 ANÁLISIS DE MEDICIÓN DE ESPESORES POR ULTRASONIDO INDUSTRIAL-----	62
4.9.1 EQUIPO A UTILIZAR PARA LA INSPECCIÓN DE ESPESORES EN CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V.-----	62

4.9.2 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE ESPESORES-----	63
4.10 DEFECTOS/ERRORES PROBLEMAS EN LA MEDICIÓN DE ESPESORES-----	67
4.11 MEDICIÓN DE ESPESORES EN COMPONENTES DE FABRICA EN CRISTALIZACIÓN (CONDENSADO DE TACHO 1 Y 2, SEPARADOR Y LÍNEAS DE CONDENSADOS DE TACHOS Y TACHOS 1 Y 2-----	69
4.11.1 CONDENSADO DE TACHO No. 1-----	69
4.11.2 CONDENSADO DE TACHO No. 2-----	70
4.11.3 SEPARADOR Y LÍNEAS DE CONDENSADO DE TACHOS-----	71
4.11.4 TACHO No. 1-----	72
4.11.5 TACHO No. 4-----	73
4.12 ANÁLISIS DE FISURAS POR ULTRASONIDO INDUSTRIAL-----	74
4.12.1 EQUIPO A UTILIZAR PARA LA DETECCIÓN DE FISURAS POR ULTRASONIDO INDUSTRIAL EN CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V.-- -----	74
4.12.2 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE FISURAS POR ULTRASONIDO INDUSTRIAL-----	74
4.13 APLICACIÓN DEL ULTRASONIDO INDUSTRIAL PARA LA DETECCIÓN DE FISURAS EN RODILLO DE TRANSMISIÓN BANDA RÁPIDA, FLECHA No. 01-07, FLECHA No. 02-07, CONDUCTOR DONELLY No. 1, CONDUCTOR DONELLY No. 2, FLECHA DE ELEVADOR DE AZÚCAR SECA---	79
4.13.1 RODILLO DE TRANSMISIÓN BANDA RÁPIDA-----	79
4.13.2 FLECHA No. 01-07-----	80
4.13.3 FLECHA No. 02-07-----	81
4.13.4 CONDUCTOR DONELLY No. 1-----	82
4.13.5 CONDUCTOR DONELLY No. 2-----	83
4.13.6 FLECHA DE ELEVADOR DE AZUCAR SECA-----	84
4.14 CONCLUSIONES OBTENIDAS DEL ANÁLISIS DE FISURAS Y MEDICIÓN DE ESPESORES CON ULTRASONIDO INDUSTRIAL-----	85
<b>CAPITULO V: ANÁLISIS DE VIBRACIONES MECÁNICAS---</b>	<b>86</b>
5.1 UNIDADES DE VIBRACIÓN-----	87
5.2 NATURALEZA FÍSICA DE LAS VIBRACIONES-----	88
5.3 MOVIMIENTO VIBRATORIO-----	89
5.4 PARÁMETROS EMPLEADOS PARA MEDIR VIBRACIONES-----	94
5.4.1 DESPLAZAMIENTO-----	94
5.4.2 VELOCIDAD-----	95
5.4.3 ACCELERACIÓN-----	95
5.5 DIAGNOSTICO DE FALLAS-----	95
5.6 TÉCNICAS DE DIAGNOSTICO DE FALLAS-----	96
5.6.1 DESBALANCE DE MASA-----	97
5.6.2 DESALINEAMIENTO-----	98
5.6.3 DESGASTE DE COJINETES Y CLARO EXCESIVO-----	99
5.6.4 RESONANCIA-----	99
5.6.5 FLOJEDAD-----	100
5.6.6 EXCENRICIDAD-----	100

---

5.6.7 DISTORSIÓN-----	100
5.7 ANÁLISIS DE VIBRACIONES A MAQUINARIA-----	103
5.7.1 EQUIPO A UTILIZAR-----	103
5.7.2 PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN DE VIBRACIONES A MAQUINARIA EN CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V.-----	104
5.7.3 RUTA DE INSPECCIÓN POR MEDIO DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN-----	110
5.7.4 GRAFICAS DE LECTURA DE VIBRACIÓN-----	111
5.7.5 FORMATO DE INSPECCIÓN POR MEDIO DEL ANÁLISIS DE VIBRACIONES-----	112
5.7.6 REPORTE DE SISTEMA EXPERTO DCX-----	113
5.7.7 ESPECTRO DE VIBRACIONES OBTENIDAS EL DCX-----	114
5.7.8 CARTA DE SEVERIDAD DE IRD-----	115
5.7.9 TABLA DE SEVERIDAD NORMA ISO 10816-----	116
5.8 ANÁLISIS DE VIBRACIONES A EQUIPOS DE RUTINA CRITICA (TURBO-BOMBA 1, JUEGO CUCHILLAS No. 1, TURBOGENERADOR No.)-----	117
5.8.1 LECTURAS DE VIBRACIÓN TURBO-BOMBA 1-----	117
5.8.2 JUEGO DE CUCHILLAS No. 1-----	118
5.8.3 TURBOGENERADOR No. 1-----	119
5.9 CONCLUSIONES OBTENIDAS DEL PROCESO DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES-----	120
<b>CONCLUSIONES GENERALES-----</b>	<b>121</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA-----</b>	<b>122</b>

---

## INTRODUCCIÓN.

Este proyecto tiene como principal objetivo la recopilación de los procedimientos empleados para el análisis de fisuras y vibraciones para efectuar una buena técnica en el uso de los mismos empleados en los distintos componentes de maquinaria utilizada en CIA. AZUCARERA LA FE, S.A. DE C.V.

El mantenimiento predictivo es una de las técnicas más modernas empleadas en empresas de competencia mundial ya que a través del mantenimiento predictivo podemos reemplazar piezas que presenten fisuras aunque estas no estén visibles para la vista humana, al utilizar métodos de detección de fisuras por ultrasonido y líquidos penetrantes.

Al llevar a cabo el análisis de detección de fisuras podemos evitar la ruptura de algún componente de la maquinaria, esto tiene como consecuencia que se eviten los paros inesperados durante la zafra permitiendo la continuidad y aprovechamiento del proceso de obtención de azúcar. Al mismo tiempo se reducen riesgos de accidentes y podemos extender la vida útil de la maquinaria.

Otra técnica importante dentro de los ensayos no destructivos, es el análisis de vibraciones mecánicas, donde a través de sofisticados instrumentos podemos medir el nivel de vibraciones que presenta la maquinaria, ayudando a detectar el problema y corregirlo. El análisis de vibraciones es un arma importante para poder detectar la maquinaria que necesite atención durante la zafra y así poder llevar a cabo la realización de los paros programados.

El análisis de espesores por ultrasonido garantiza la continuidad del proceso de fabricación, evitando que existan fugas y fisuras que pudieran ocasionar problemas en el equipo o maquinaria como consecuencia del desgaste provocado por la fricción, corrosión, cambios de temperatura y humedad.

Los ensayos no destructivos han revolucionado el mantenimiento, pudiendo predecir los malestares de la maquinaria reduciendo al mínimo los paros no programados e incrementando la utilidad operativa de las mismas, es por eso de la importancia de este proyecto ya que exhibe las ventajas, al poder implementar a través de un buen procedimiento las técnicas de ensayos no destructivos a maquinaria.

# MARCO DE REFERENCIA

1



## 1.1. Justificación del proyecto.

Es importante para CIA. AZUCARERA LA FE, S.A. DE C.V. que la continuidad del proceso de obtención de azúcar no se vea interrumpida por algún desorden mecánico que afecte a la maquinaria, si no que haya una detección temprana de anomalías para mantener la producción de azúcar y poder estabilizar el funcionamiento y proceso en la fábrica.

Al implementar los ensayos no destructivos (análisis de fisuras por líquidos penetrantes y ultrasonido, medición de espesores y análisis de vibraciones), con un procedimiento correcto garantizamos que los distintos análisis se realizaran de una manera óptima y el analizador al seguir correctamente los pasos del procedimiento podrá efectuar una buena inspección.

El dado que juega un rol muy importante, es necesario tener documentado las técnicas de implementación a través de manuales de operación para que el analizador pueda estar debidamente capacitado y tener el proceso a la mano si llegase a presentarse alguna duda durante la realización de algunos de los ensayos no destructivos implementados en el ingenio azucarero de Pujilic, Chiapas.

Este proyecto de residencia describe de forma detallada cada uno de los procedimientos y técnicas, ya que recopila toda la información y lo desglosa de forma que se pueda explicar paso a paso la realización de los ensayos no destructivos, y la experiencia adquirida durante la estancia en esta industria prepara al residente para poner en práctica los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería mecánica.

## 1.2. Objetivos generales y específicos.

Objetivos generales.

- ✚ Estudiar, aplicar y documentar las técnicas de ensayos no destructivos implementadas en CIA. AZUCARERA LA FE, S.A. DE C.V.

Objetivos específicos.

- ✚ Estudiar la literatura de cada una de las técnicas de ensayos no destructivos.
- ✚ Conocer las áreas críticas de cada uno de los componentes de las maquinarias donde se implementaran los ensayos no destructivos.
- ✚ Realizar los ensayos no destructivos con el fin de aplicar lo aprendido.
- ✚ Documentar los procedimientos y técnicas de los ensayos no destructivos.

## 1.3. Características del área en la que se desarrolló.

El proyecto se llevó a cabo en CIA. AZUCARERA LA FE, S.A. DE C.V. (Ingenio azucarero de san Francisco Pujilic) en el departamento de mantenimiento.

Las obligaciones del departamento de mantenimiento se extienden todo el año, teniendo dos etapas, la primer etapa se desarrolla durante la zafra, teniendo como objetivo la inspección por cada turno de la maquinaria, manteniendo la correcta lubricación del equipo, así como también, el análisis de vibraciones constante para garantizar el buen funcionamiento de la maquinaria, al presentar vibración excesiva se procede a la corrección del defecto. Durante los paros programados se realizan las correcciones necesarias.

La segunda etapa se extiende durante la temporada de reparación donde se realiza la recuperación de los distintos lubricantes y se reciclan los diferentes tipos de aceites utilizados en la maquinaria, centrifugándolos y filtrándolos para su reutilización. También se procede al efectuar los ensayos no destructivos (análisis de fisuras por líquidos penetrantes, análisis de fisuras por ultrasonido, medición de espesores por ultrasonidos y análisis de vibraciones).

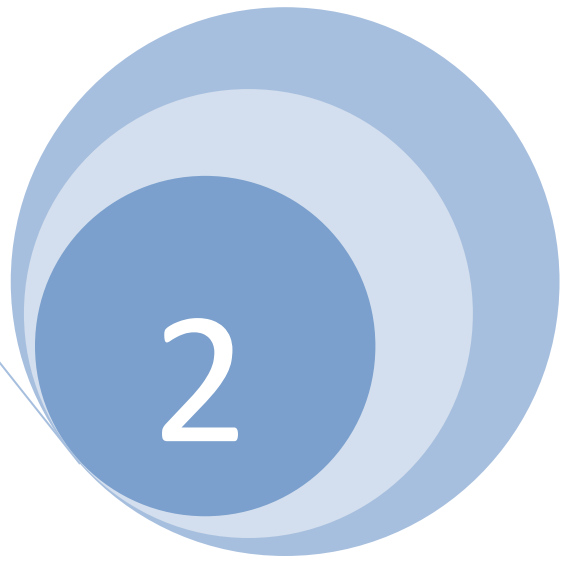
El departamento cuenta con los equipos necesarios para realizar sus actividades y con el personal adecuado y capacitado para implementar e inspeccionar cada uno de los ensayos no destructivos.

Los ensayos no destructivos fueron implementados en cada uno de las áreas de la fábrica siguiendo el orden de la reparación, debido al tamaño de los componentes de las maquinarias es imposible el traslado de los mismos.

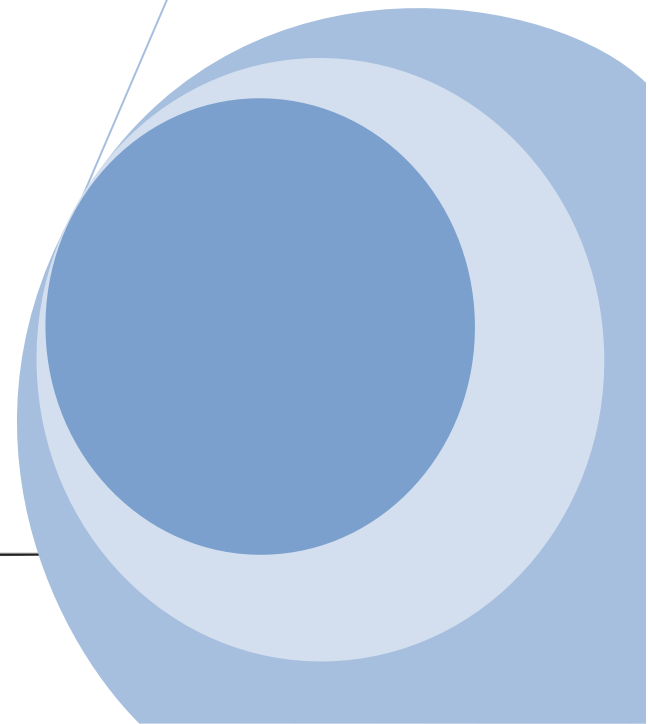
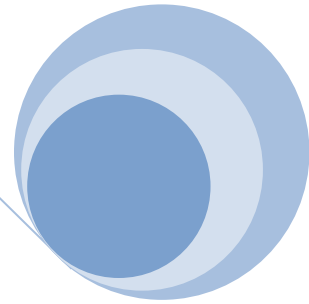
#### **1.4. Alcances y limitaciones.**

Los alcances y limitaciones propuestos se fundamentan al considerar el tiempo y la infraestructura asignada a este proyecto por eso se optó por considerar los alcances y limitaciones citados utilizando los siguientes criterios.

- a) Debido a la cantidad de componentes de las maquinarias, se realizaran los ensayos no destructivos solo a los componentes de mayor importancia.
- b) La aplicación de los líquidos penetrantes se realizará a las barra de acoplamiento, coples y coronas.
- c) La medición de espesores se realizará a todos los recipientes a presión, tanques de almacenamientos o pared de tuberías.
- d) El análisis de fisuras por ultrasonido se aplicará a ejes de transmisión (flechas).
- e) La inspección de vibraciones mecánicas se realizará a los equipos rotativos de fábrica de la ruta crítica (de acuerdo al reporte de supervisión de mantenimiento).



**CAPITULO II:  
Generalidades  
de la empresa.**



## **2.1. Nombre de la fábrica.**

CIA. AZUCARERA LA FE S.A DE C.V.

Ingenio Pujiltic, Chiapas.

## **2.2. Políticas y normas.**

La política de la empresa es producir azúcar con el compromiso de procesar toneladas de caña al menor costo y el mínimo de contaminantes al ambiente, cuidando la ecología de la región tiene normas estrictas de control de calidad en todas sus áreas como son la gerencia de campo que se le exige caña de azúcar con la madurez adecuada para brindar el mínimo de fibras y el máximo de sacarosa. De la gerencia de fábrica se espera el mínimo de tiempo perdido y máxima producción de azúcar, sin salir de los parámetros de pureza humedad y color de azúcar y del departamento de control ambiental se espera el estricto control de contaminantes de esta fábrica.

## **2.3. Objetivos y servicios que presta.**

El objetivo principal de la compañía consiste en transformar materia prima “caña de azúcar” en azúcar de buena calidad, aprovechando la miel como subproducto final del proceso para elaboración de alcohol de 96 grados y la utilización al 100% del bagazo “fibra de caña” como combustible en las calderas eliminando el consumo de combustóleo en estas.

### **2.3.1. Fábrica de Alcohol.**

Emplea la miel final residual del proceso de la elaboración de azúcar, con una capacidad productiva de 22,000 litros de alcohol al día.

### **2.3.2. Fábrica de Azúcar.**

Produce azúcar de calidad estándar blanco y cuenta con todos los servicios necesarios para su funcionamiento. Procesando de 7,500 a 8, 400 toneladas de caña al día, lo que significa una producción de 950 a 1000 toneladas de azúcar estándar al día, que es abastecido por los ejidos de la Mesilla, Soyatitan, Socoltenango y Villa las Rosas y el municipio de Venustiano Carranza.

### **2.3.3. Fábrica de Ron.**

Actualmente la Compañía produce Ron de caña de calidad que es exportada a diferentes estados de la república, obteniendo así un mejor aprovechamiento de la materia prima que es la caña.

Por lo que se puede decir que es la industria más grande en la producción de azúcar en el estado de Chiapas. Generando un gran número de empleos directos e indirectos, tanto a obras como profesionistas ya sea en el campo o en la ciudad.

### **2.4. Misión de la empresa.**

Industrializar caña y producir azúcar estándar de alta calidad al menor costo de producción siendo más eficientes, para satisfacer las necesidades de nuestros clientes, preservando el medio ambiente en un clima laboral sano, en una relación armónica con los abastecedores y promoviendo el desarrollo integral de nuestro personal e innovando a la industria azucarera, transformando la cultura gerencial en pensamientos estratégicos, además de ofrecer marcas naturales, saludables y nutritivas; cumpliendo con las expectativas de calidad y sanidad que el cliente exige.

### **2.5. Visión de la empresa.**

Llegar a ser el ingenio en el país que produzca el azúcar de mejor calidad que satisfaga los requisitos del cliente, al menor costo de producción con mayor rentabilidad, preservando el entorno ecológico aplicando las buenas prácticas de manufactura de seguridad y bienestar para nuestros trabajadores empleados y abastecedores.



3



CAPITULO III:  
INSPECCIÓN POR  
LÍQUIDOS  
PENETRANTES

### **3.1. Principios básicos.**

La inspección por líquidos penetrantes puede ser definida como un procedimiento de inspección no destructiva diseñado para detectar y exponer discontinuidades superficiales en materiales de ingeniería. En muchas ocasiones, es la primera prueba no destructiva considerada para la inspección de productos en la industria, gracias a que:

- ✚ El costo de su implementación es bastante económico.
- ✚ Puede ser realizada en una gran variedad de materiales, objetos, formas, tamaños, ubicaciones y condiciones del medio ambiente.

Sin embargo, los resultados son grandemente dependientes del factor humano. La longitud de las discontinuidades, sobre la superficie de las piezas inspeccionadas, puede ser muy exactamente determinada, pero su profundidad, a la cual se extienden por debajo de la superficie en la que están expuestas, no puede ser determinada. En estos casos, la inspección por líquidos penetrantes es críticamente de la limpieza de las superficies del material inspeccionado, la ausencia de contaminación o condiciones superficiales que puedan cerrar las aberturas superficiales, y el cuidado del técnico para asegurar una técnica adecuada y la observación de las condiciones.

### **3.2. Tipos de materiales penetrantes comerciales disponibles.**

Gracias a la proliferación de nuevos materiales para la inspección por líquidos penetrantes y a la mejora de sus características, existe gran cantidad de marcas disponibles. Inclusive, podemos hablar de penetrantes biodegradables. Los materiales penetrantes disponibles comercialmente incluyen una variedad de materiales de limpieza, penetrantes, emulsificantes, removedores, reveladores, y con ellos la posibilidad de combinar estos diferentes elementos en un sistema de inspección por líquidos penetrantes.



### 3.2.1. Clasificación de las inspecciones por penetrantes.

#### 1) Por la sensibilidad.

Básicamente, el concepto que debemos entender al comprar una marca u otra de penetrantes, es que, si hablamos de sensibilidad, todos los penetrantes son igualmente sensibles si comparamos dos penetrantes de diferentes marcas de un mismo grupo. Sin embargo, ¿Qué sensibilidad requerimos en nuestra inspección?

Esta información la proporciona nuestro procedimiento de inspección clasificado. En México, desgraciadamente no tenemos un organismo que regule o clasifique las propiedades o características de los materiales usados en las pruebas no destructivas por líquidos penetrantes. En los Estados Unidos, por ejemplo, la fuerza aérea ha establecido niveles de sensibilidad y procedimientos de prueba que garanticen que cada penetrante calificado es por lo menos tan sensible como el estándar. Esto quiere decir que el penetrante que ha sido clasificado con la sensibilidad 2, por ejemplo, puede tener una sensibilidad de 2 hasta justo abajo del 3.

A continuación se enlista a los penetrantes en grupos familiares basándose en su sensibilidad, como es considerado en especificaciones militares de los Estados Unidos.

- ✚ Grupo I – Penetrante con tinte visible removible con solvente.
- ✚ Grupo II - Penetrante con tinte visible post-emulsificable.
- ✚ Grupo III- Penetrante con tinte visible lavable con agua.
- ✚ Grupo IV- Penetrante con tinte fluorescente lavable con agua (baja sensibilidad).
- ✚ Grupo V - Penetrante con tinte fluorescente post-emulsificable (mediana sensibilidad).
- ✚ Grupo VI - Penetrante con tinte fluorescente post-emulsificable (alta sensibilidad).
- ✚ Grupo VII - Juego de penetrante con tinte fluorescente removible con solvente (consiste de penetrante Grupo VI, solvente y un revelador húmedo en suspensión no acuosa).

La sensibilidad de los Grupos I, II y III es aproximadamente la misma como para el Grupo IV. Estos niveles de sensibilidad son validos solo cuando son usados los mismos tipos de revelador.

En la tabla No. 3.1, se muestran diferentes marcas de penetrantes y su equivalencia en sensibilidad.

		TESTING						
		MET-L-CHEK	MAGNAFLUX	AUTOMATION	SHERWIN	URESCO	SISTEMS	TURCO
			Spot Chek				Flaw Finder	Dy-Chek
		Met-L-Chek	Zyglo	Chex-All	Dubl-Chek	Tracer-Tech	Fluoro Finder	Fluro-Chek
I	Penetrante	VP-31	SKL-HF & SF	DP-400	DP-40	P-300A	DD-60B	#2
	Removedor	E-59	SKC-S	C-570	DR-60	K-410E	SD-80B	#3
	Revelador	D-70	SKD-S		D-100	D-495	AD-70B	NAD
	Seco	D-72	ZP-4			D-493A		DD-3
	Húmedo	D-78	SKD-W	DW-530		D-492C		WD
IA	Penetrante	VP-301 FH	SKL-HF & SF	DP-400	DP-40	P-300A	DD-60A	Permanente
	Removedor	R-501 NF	SKC-NF	C-570	DR-01	KC-410C	SD-80	Removedor
	Revelador	D-701 NF	SKD-NF	DW-530	D-100	D-495C	AD-70	Revelador NF
II	Penetrante	VP-31	SKL-HF & SF		DP-40	P-300A	DD-60A	#2
	Emuls/Remov	E-50	SKC-W		ER-70	K-342	JD-90	LS
	Revelador	D-70	SKD-NF		D-100	D-495C	AD-70	NAD
	Seco	D-72	ZP-4		D-90	D-493A	AD-4	DD-3
	Húmedo	D-78	SKD-W		D-110	D-492C	AD-5	WD
III	Penetrante	VP-30	SKL-W		DP-50	P-303A	DD-60W	WW-1
	Revelador	D-70	SKD-NF		D-100	D-495C	AD-70	NO-ACUOSO
	Seco	D-72	ZP-4		D-90		AD-4	DD-3
	Húmedo	D-78	SKD-W		D-110		AD-5	
IV	Penetrante	FP-90	ZL-15	FPW-500	HM-2	P-131	FL-17	WP-1
	Revelador	D-70	ZP-9		D-100	D-495C	FD-33	NAD
	Seco	D-72	ZP-4	DD-535	D-90	D-493A	FD-4	DD-2
	Húmedo	D-78	ZP-5	DW-530	D-110	D-492C	FD-5	WD
V	Penetrante	FP-93(FP-91)	ZL-2A(ZL-17A)	FPE-505	FP-20	P-1488	FL-2	P-21
	Emulsificador	E-56	ZE-3	PE-520	ER-80	E-153	FE-5	E
	Revelador	D-70	ZP-9		D-100	D-495C	FD-33	NAD
	Seco	D-72	ZP-4	DD-535	D-90	D-493A	FD-4	DD-2
	Húmedo	D-78	ZP-5	DW-530	D-110	D-492C	FD-5	WD
VI	Penetrante	FP-95(FP-92)	ZL-22A(ZL-18A)		FP-30	P-1494	FL-22	P-40
	Emulsificador	E-56	ZE-3		ER-80	E-153	FE-5	E
	Revelador	D-70	ZP-9		D-100	D-495C	FD-33	NAD
	Seco	D-72	ZP-4		D-90	D-493A	FD-4	DD-2
	Húmedo	D-78	ZP-5		D-110	D-492C	FD-5	WD
VII	Penetrante	FP-95	ZL-22A		FP-30	P-9	FL-22	P
	Removedor	E-59	ZC-7		ER-80	K-410C	FC-44	R
	Revelador	D-70	ZP-9		D-100	D-495C	FD-33	NAD

## 2) Por el tipo de tinte.

El penetrante deberá ser visible después de haber entrado y, subsecuentemente, haber salido de una discontinuidad. El método más fácil para cumplir con este requisito básico es agregando un tinte al penetrante, para proporcionar un color que contraste con el fondo.

Los líquidos penetrantes y sus procedimientos correspondientes pueden ser clasificados en términos de sus tintes como sigue:

### Penetrante con tinte visible (color contrastante).

El rojo proporciona un color altamente contrastante con muchos otros colores típicos de partes metálicas. Los tintes rojos son obtenidos fácilmente en muchos matices, son económicos y fáciles de mezclar. Cuando son usados emulsificadores o removedores para remover el exceso de penetrante en la superficie, la pequeña cantidad de penetrante atrapado en las discontinuidades superficiales es diluido para que se disperse a través del revelador, para compensar esta dilución, son usados los matices más oscuros y las concentraciones más altas posibles de tinte. Los penetrantes con tinte visible más sensibles contienen un tinte rojo muy oscuro y la máxima cantidad de tinte posible que pueda ser suspendido en el vehículo del penetrante sin que se precipite. Los penetrantes con tintes visibles son normalmente iguales en sensibilidad del Grupo IV de penetrante fluorescente. Son usados normalmente con reveladores húmedos o secos. La principal ventaja de utilizar un penetrante con tinte visible es que puede ser usado con iluminación ordinaria y que puede ser aplicado con un juego pequeño portátil de inspección.

### Penetrantes con tinte fluorescente (brillantez contrastantes).

La sensibilidad total de los sistemas de penetrantes fluorescentes es influenciada por la concentración del tinte y el matiz del color, como con los penetrantes visibles. En general, los sistemas con penetrantes fluorescentes tienen más aplicaciones potenciales que los penetrantes visibles y, además, son considerados más sensibles porque pueden proporcionar una indicación con un menor volumen de penetrante. Los materiales fluorescentes absorben energía de ondas de luz en la región ultravioleta del espectro electromagnético. Esta energía es convertida y emitida como luz con diferente longitud de onda. La más comúnmente usada en pruebas no destructivas es la luz ultravioleta (UV) con longitud de onda de 365 nanómetros (10-9m), la cual, es conocida comúnmente como

“luz negra”. Los tintes penetrantes son seleccionados para que absorban energía en un rango de 350 a 400 nanómetros y emitan luz en un rango de 475 a 575 nanómetros, luz que se encuentra en el espectro visible en el rango verde a amarillo. La calidad de los tintes fluorescentes está determinada por su eficiencia para absorber luz ultravioleta y convertirla en luz visible.

### 3) Por la técnica de remoción.

Los métodos de remoción por penetrantes pueden ser clasificados por el procedimiento particular usado para remover el exceso de penetrante en la superficie de la pieza inspeccionada. Esto depende de cuál de los siguientes tipos de líquidos penetrantes sea usado:

#### A. Penetrante tipo lavable con agua o auto-emulsificación.

El penetrante es soluble en agua, por lo que el exceso es eliminado con agua.

#### B. Penetrante tipo pos-emulsificable.

Requiere una operación adicional en el proceso, la aplicación de un emulsificante después que el penetrante ha sido aplicada y el tiempo de penetración se ha cumplido. El emulsificante después que el penetrante ha sido aplicado y el tiempo de penetración se ha cumplido. El emulsificable hace al penetrante soluble en agua, de tal forma que el exceso sea removido con agua y que solo permanezca el penetrante atrapado en las discontinuidades.

#### C. Penetrante tipo removible con soluble.

Este penetrante tiene una base aceitosa, por lo que no es soluble en agua. Normalmente se usa el mismo solvente en la limpieza previa y en la remoción del exceso de penetrante. Es el más indicado para inspeccionar áreas específicas de una pieza o cuando la inspección debe ser realizada en campo.

La aplicación de un tipo de penetrante depende prácticamente de los siguientes factores:

- ✚ La condición superficial del objeto inspeccionado.
- ✚ Las características de las discontinuidades del material.
- ✚ Tiempo y lugar de la inspección.

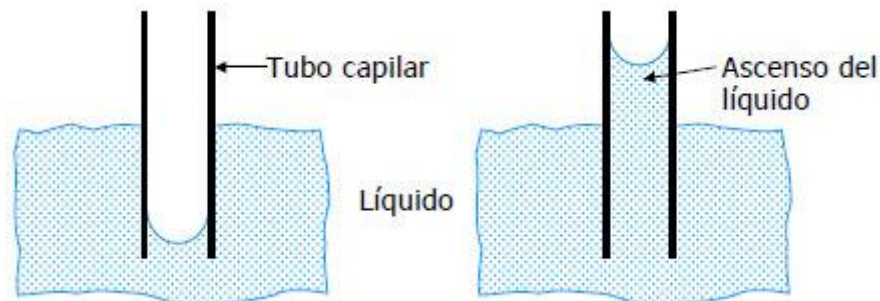
- ✚ Tamaño de la pieza inspeccionada.

### 3.3. Mecanismo de penetración.

#### 3.3.1. Penetrabilidad.

En este momento surgen dos preguntas importantes: ¿Cómo y por qué un buen penetrante entra en una abertura muy fina? Estas preguntas han sido motivo de muchas discusiones en los últimos años y, en algunos casos, la respuesta y resultado son explicaciones satisfactorias.

La penetrabilidad o capilaridad de los líquidos es una propiedad complicada que incluye muchas variables que dependen de la condición superficial y el tipo de objeto inspeccionado, el tipo de penetrante, la temperatura y la presencia o ausencia de contaminación. Es la propiedad física en la que se basa la prueba por líquidos penetrantes. La capilaridad es definida como: la propiedad que tienen los líquidos y/o descender a través de tubos capilares. (Figura No. 3.1)



**Figura No. 3.1 descenso a través de tubo capilar**

Las fuerzas que se generan por la atracción capilar son básicamente las que producen la entrada de un penetrante en una grieta; estas fuerzas hacen que un líquido suba por un tubo de diámetro pequeño. La presión capilar determinada es función de la tensión superficial y también su habilidad para mojar la superficie interior del tubo. La altura a la que sube el líquido depende del diámetro del tubo, es decir, a menor diámetro mayor será la altura. Aunque el líquido no se eleve apreciablemente en un tubo sellado debido al aire atrapado, de cualquier manera se generan presiones debidas a las fuerzas capilares. Estas presiones son tan grandes como una atmosfera o más, suficiente para levantar una

columna de agua sobre 10mts. De igual forma, estas fuerzas se ejercen sobre el aire atrapado en una grieta fina.

La tendencia a entrar en una discontinuidad se relaciona directamente con estas presiones. Para un penetrante determinado y una discontinuidad tipo grieta la presión desarrollada se expresa por la formula siguiente:

$$P = \frac{2S \cos \phi}{W}$$

En donde:

P = Presión capilar.

S = Tensión superficial del líquido.

$\phi$  = ángulo de contacto del líquido y las superficies de la grieta.

W = Ancho de la grieta.

### **3.3.2. Eficiencia de atrapamiento de la falla.**

La habilidad del penetrante para formar una indicación lo bastante grande para ser visualmente detectada es conocida como "eficiencia de atrapamiento de la falla". El tamaño de una indicación está basado en el volumen de penetrante que entra en la discontinuidad. Entre más grande sea la discontinuidad, más penetrante entrara y mas será extraído por el revelador para formar una indicación. La longitud de la discontinuidad es usualmente el componente dimensional principal de la indicación y proporciona un tamaño de objeto que es normalmente detectable por el ojo humano sin ayuda.

Aunque es deseable una alta eficiencia de atrapamiento de la falla, para detectar discontinuidades pequeñas, en ciertas discontinuidades con alta penetrabilidad pueden existir problemas, esto es porque pueden mantener una gran cantidad de penetrante que continuara sangrando posteriormente. Además, el sangrado en exceso puede cubrir o enmascarar otras discontinuidades.

## **3.4. Removedores y emulsificadores.**

### **3.4.1. Solventes removedores.**

La función principal de los solventes es remover el penetrante. El exceso de penetrante se remueve con papel absorbente o un paño limpio y los rastros de penetrante con papel absorbente o un paño limpio humedecido con solvente. Son usados solventes de grado comercial y solventes clorinados. También puede ser usado como de limpieza para remover aceite, grasa y suciedad.

Los solventes de grado comercial son altamente inflamables por lo que no deberían usarse cerca de flamas abiertas. Los solventes remueven aceites naturales de la piel, por lo que se recomienda usar guantes cuando se tenga contacto durante periodos prolongados.

### **3.4.2. Emulsificadores.**

Su función es hacer al penetrante lavable con agua. Existen dos opciones disponibles de emulsificadores:

#### **A. Emulsificadores lipofilicos.**

Son tipo de jabón líquido, base aceite, mezclados con ciertos constituyentes que les proporcionan algunas propiedades. Una de estas es el color, para que contraste con el color del penetrante y muestre todo el penetrante sobre la superficie ha sido cubierto por el emulsificador. El emulsificador debe difundirse o interactuar con el penetrante a una velocidad un poco lenta para permitir su manejo durante el proceso y proporcionar el tiempo necesario para que el lavado pueda ser controlado.

#### **B. Emulsificadores hidrofílicos.**

Son esencialmente agentes tenso-activos o detergentes. La palabra “hidrofílico” significa afecto al agua o soluble en agua. Estos emulsificadores tienen una tolerancia infinita al agua, y son suministrados como concentrados que deben ser mezclados con agua para obtener la dilución deseada. Para diferentes aplicaciones son usados diferentes niveles de disolución, por ejemplo, para tanques de inmersión se encuentran en un rango típico de 65% a 90% de agua, y para aplicaciones por aspersión es un rango de 100:1 hasta

300:1. Una ventaja del uso de emulsificadores hidrofílicos es el rango amplio de tiempos de emulsificación lo que proporciona menos dependencia en el control del tiempo.

### **3.5. Reveladores.**

La mayoría de procedimientos en la industria requieren el uso de reveladores, aunque existe la posibilidad de ahorrar costos si son utilizados. El propósito principal de un revelador es formar una indicación que pueda ser detectada a simple vista, para lo cual se realizan cuatro funciones básicas:

1. Extraer una cantidad suficiente de penetrante de la discontinuidad para formar una indicación.
2. Expandir el ancho de la indicación lo suficiente para hacerla visible.
3. Incrementar la brillantez del tinte fluorescente.
4. Incrementar el espesor de la indicación.

El primer requisito del revelador para que cumpla las cuatro funciones es su habilidad para adherirse a la superficie, y la rugosidad de la pieza influye en la adhesión del revelador.

#### **3.5.1 Revelador seco.**

Este tipo de revelador es un polvo ligero y suave, una mezcla de un tipo de talco y otros polvos, no es tóxico, es de baja densidad, y debe mantenerse seco. En piezas con superficies rugosas el revelador no necesita estar en contacto durante largos periodos de tiempo. El revelador seco proporciona una película fina y delgada, siendo una ventaja sobre los reveladores húmedos que dejan una capa continua de mayor espesor. El revelador seco limita el sangrado lateral y, con esto, el tamaño de la indicación, lo que proporciona una mejor resolución que los reveladores húmedos.



### **3.5.2 Revelador suspendido en agua.**

Normalmente es suministrado como un polvo seco que debe ser mezclado, también está disponible en mezclas preparadas. Contiene tenso-activos que ayudan a humedecer la superficie de las piezas y cubrirlas completamente. Además, contiene inhibidores de corrosión para proteger a las piezas, los tanques y el equipo para su aplicación. También, contienen un dispersante para reducir la aglomeración del polvo en suspensión.

Dos ventajas pueden ser que:

- 1) Se puede determinar visualmente si toda la superficie ha sido cubierta.
- 2) Proporciona una cubierta uniforme y continua sobre la superficie. El espesor del revelador puede ser controlado por medio de la concentración de las partículas.

### **3.5.3. Revelador soluble en agua.**

Es suministrado como un polvo cristalino que proporciona una solución clara cuando se mezcla con agua. Después que el agua se evapora el polvo vuelve a cristalizar, por lo que no contiene partículas suspendidas. Se les agrega agentes humectantes, inhibidoras de corrosión y fungicidas para evitar la generación de bacterias. Debe ser aplicado después del lavado y antes del secado, el cual, se realiza a temperaturas elevadas con aire caliente circularmente.

Dentro de las desventajas esta, que no cuenta con una base para penetrantes base aceite, por lo que su acción de revelado es solamente por acción capilar; su aplicación por inmersión puede no proporcionar una cobertura uniforme.

## **3.6. Ventajas y limitaciones de los penetrantes.**

### **3.6.1 Penetrantes fluorescentes lavables con agua.**

#### **❖ Ventajas.**

- Por la fluorescencia tiene gran visibilidad.
- Son fácilmente lavables con agua.
- Permiten la inspección en serie de grandes cantidades de piezas pequeñas.
- Permiten la inspección de superficies rugosas.

- Permiten la inspección de zonas internas, piezas ranuradas y roscadas.
- Inspección rápida y de pasos sencillos.
- Bueno para un rango amplio de discontinuidades.
- Relativamente económico.

❖ Limitaciones.

- Es el menos sensible de los penetrantes fluorescentes.
- La inspección debe llevarse a cabo en un área oscura y bajo condiciones de luz negra.
- No es confiable para detectar discontinuidades tenues o poco profundas o bien discontinuidades anchas.
- Es fácil que ocurra un sobre lavado que remueva el penetrante de las discontinuidades.
- La fluorescencia se reduce por ácidos y cromatos residuales y por superficies anodizadas.
- El penetrante en las discontinuidades está expuesto a contaminantes que contenga el agua utilizada.
- Se requiere agua suficiente.

### **3.6.2. Penetrantes fluorescentes post-emulsificable.**

❖ Ventajas.

- Por la fluorescencia tiene gran visibilidad.
- Tienen alta sensibilidad para discontinuidades muy finas.
- Permiten la detección de discontinuidades tenues o poco profundas o bien discontinuidades anchas.
- Son más sensibles que los penetrantes fluorescentes lavables con agua.
- Son fácilmente lavables con agua después de la emulsificación.
- Tienen tiempos de penetración cortos.
- Son menos afectados por contaminantes que contenga el agua utilizada.
- Pueden ser utilizados en superficies anodizadas.

❖ Limitaciones.

- La aplicación del emulsificador es un paso más, por lo que es de mayor costo que los penetrantes lavables con agua.
- La inspección debe llevarse a cabo en un área oscura y bajo condiciones de luz negra.
- En ocasiones se dificulta remover el penetrante de piezas roscadas y agujeros ciegos.
- Es difícil de usar en superficies rugosas, especialmente en fundiciones.
- Para emulsificadores hidrofílicos se requiere un lavado con agua de su aplicación.

**3.6.3. Penetrantes fluorescentes removibles con solvente.**

❖ Ventajas.

- Por la fluorescencia tienen gran visibilidad.
- Tienen la más alta sensibilidad cuando se combinan con reveladores húmedos en suspensión no acuosa.
- No requiere el uso de agua.
- Son portátiles.
- Son buenos para la inspección por muestreo.
- Tienen las mismas ventajas que los penetrantes post-emulsificables.

❖ Limitaciones.

- Para la remoción del exceso del penetrante se requiere el uso de un solvente.
- La inspección debe llevarse a cabo en un área oscura y bajo condiciones de luz negra.
- Los materiales son muy inflamables.
- Se consume tiempo en la remoción del exceso de penetrante.
- Es difícil remover el penetrante de piezas roscadas y agujeros ciegos.
- Es difícil usarse en superficies rugosas, especialmente fundiciones.

### 3.6.4. Penetrantes visibles lavables con agua.

#### ❖ Ventajas.

- Son los más rápidos y simples de todos los procesos de inspección por penetrantes.
- Son económicos.
- Son útiles para la inspección de piezas grandes.
- Permiten la inspección de superficies rugosas.
- No requiere el uso de luz negra.

#### ❖ Limitaciones.

- Son los menos sensibles de todos los procesos de inspección por líquidos penetrantes.
- Se requiere de una fuente de agua.
- Las indicaciones son menos visibles que las indicaciones de penetrantes fluorescentes.

### 3.6.5. Penetrantes visibles post-emulsificables.

#### ❖ Ventajas.

- Son más sensibles que los penetrantes visibles lavables con agua.
- Son menos afectados por contaminantes que contenga el agua utilizada.
- No requiere el uso de luz negra.

#### ❖ Limitaciones.

- La aplicación del emulsificador es un paso más, por lo que es de mayor costo que los penetrantes lavables con agua.
- Se requiere de una fuente de agua.
- Son difíciles de usar en superficies rugosas.
- Las indicaciones son menos visibles que las indicaciones de penetrantes fluorescentes,
- Los emulsificadores hidrofílicos requieren un lavado con agua antes de aplicarse, por lo que se necesita gran cantidad de agua.

### **3.6.6. Penetrantes visibles removibles con solvente.**

#### ❖ Ventajas.

- Son los más portátiles.
- Pueden usarse en campo y en sitio.
- Son simples para usar.
- Proporcionan buen contraste y sensibilidad.
- No requieren el uso de luz negra.
- No requiere el uso de agua.

#### ❖ Limitaciones.

- Los materiales son muy inflamables.
- Es un proceso costoso.
- Son difíciles de usar en superficies rugosas.
- Son usados para inspección de áreas limitadas.
- No son buenos para la detección de discontinuidades poco profundas y anchas.
- Las indicaciones son menos visibles que las indicaciones de penetrantes fluorescentes.

### **3.7. Documentos.**

Con la finalidad de que el técnico de pruebas no destructivas realice un trabajo, se requiere una gran cantidad de información en cada método específico, sin embargo, la información es similar en muchos aspectos. Cada inspección requiere algo de información única. La simple solicitud de una compañía o de personal de producción de que “el equipo o parte debe estar bien” es información insuficiente para juzgarse como buena. Es evidente que el estado de alguna parte o componente de un producto afectara la calidad total o final del mismo. Aun el técnico más experimentado no podrá determinar el estado de un producto en función de su calidad y, por lo tanto, de cómo este va a ser evaluado.

Para satisfacer esta necesidad existe una gran cantidad de documentos dependiendo, desde luego, de la aplicación específica del producto o parte en cuestión. Algunos de estos documentos pueden ser por ejemplo: códigos, estándares o normas y especificaciones. Existen un gran número de organizaciones responsables de la edición y revisión de estos documentos, por mencionar algunos: ASME (sociedad americana de

ingeniero mecánicos), AWS (sociedad americana de soldadura), API (instituto americano del petróleo), etc.

Un buen técnico de pruebas no destructivas siempre debe tener en cuenta la importancia de documentos como códigos, estándares o normas y especificaciones. Como técnico en pruebas no destructivas debe ser capaz de elaborar procedimientos e interpretar resultados de la inspección. Además, para cumplir con el objetivo y requisitos de los documentos, el técnico debe ser capaz de entender el punto de vista que dirige lo establecido en ellos y también asegura que quien realiza actividades de inspección, documentada en procedimientos, cumple con la variedad de documentos aplicables. La forma en la cual se encuentran establecidos los requisitos en los códigos, normas y especificaciones varía documento a documento.

### **3.7.1. Códigos, normas y especificaciones**

#### ❖ Códigos.

Es el documento que define los requisitos técnicos de prueba: materiales, procesos de fabricación, inspección y servicio, con los que debe cumplir una parte, componente o equipo. Ejemplos:

- Código ANSI/ASME Boiler and Pressure Vessel Code.
- Código ANSI/AWS D 1.1. Structural Welding Code.
- Código ANSI/ASME B31 Piping Code.
- Código ANSI/API 570 Piping Inspection Code.

Los códigos se aplican o se siguen de forma obligatoria solo cuando se establece en un contrato de compra-venta, o en la fabricación de una parte, componente o equipo. Estos documentos no se combinan o se sustituye entre sí. Los códigos americanos que llevan las siglas ANSI son documentos normativos nacionales oficiales en los Estados Unidos. A continuación, se menciona por ejemplo la estructura general del código ASME para recipientes a presión y calderas, así como la ubicación de los requisitos de pruebas no destructivas.

Este documento esta subdividido en dos secciones:

- 1) Para clases especificas de componentes.
- 2) Tecnología de soporte.

ASME ha establecido, como parte del código reglas y requisitos de pruebas no destructivas, la sección V que tiene aplicación similar a las normas ASTM y en ocasiones utiliza algunas de ellas como base técnica para las actividades de inspección. Ya que el código contempla varios niveles de componentes críticos.

❖ Normas (estándares).

Son documentos que establecen y definen reglas para:

- Adquirir, comprar, dimensionar o juzgar un servicio, material, parte, componente o producto.
- Establecer definiciones, símbolos, clasificaciones.

Ejemplos:

- Normas ASTM (sociedad americana para pruebas en materiales).
- Normas internacionales ISO (organización internacional de normalización).
- Normas mexicanas.

Las normas ASTM relacionadas con las pruebas no destructivas hacen énfasis de la forma en la cual debe realizarse las actividades de inspección, pero dejan a criterio de aceptación y rechazo para que sea decidido entre el comparador y el vendedor del servicio.

❖ Especificaciones.

Describen, definen y establecen:

- De forma detallada, un servicio, material o producto.
- Propiedades físicas o químicas de un material.
- La forma en la cual debe realizarse pruebas, inspecciones, etc.
- Establecen la forma de realizar la compra de un servicio, material o producto.

Tienen condiciones que deben ser establecidas por el comprador o que pueden ser aplicadas por el vendedor a su consideración. Ejemplos:

- Especificaciones API.
- Especificaciones particulares de los clientes.

### 3.8 Equipo a utilizar para la inspección de fisuras por líquidos penetrantes en la CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V.

En el área de mantenimiento del CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V. se utiliza penetrantes visibles removibles con solvente para hacer el análisis de fisuras por líquidos penetrantes, a continuación se describe el equipo a utilizar en el análisis:

- ✚ **Líquido penetrante en aerosol (PENETRANT):** este penetrante tiene una base aceitosa, por lo que no es soluble en agua, normalmente se usa el mismo solvente en la limpieza previa y en la remoción del exceso de penetrante. Es el más indicado para inspeccionar áreas específicas de una pieza o cuando la inspección debe ser realizada en campo.
  - Características del líquido penetrante: se remueve con solvente – P101S-A cumple con AMS 2644. Cumple con ASME SECCION V grado nuclear. Sin halógenos ni cloruros. Tinte color rojo visible.
- ✚ **Solventes removedores (CLEANER):** la función principal de los solventes es remover el penetrante.
  - Característica de solvente revelador: limpiador/removedor penetrante al tinte – C101-A cumple con AMS 2644. Cumple con ASME SECCION V grado nuclear. Sin halógenos ni cloruros. NO-HALOGENADO.
- ✚ **Reveladores (DEVELOPER):** el propósito principal de un revelador es formar una indicación que pueda ser detectada a simple vista, para lo cual realiza cuatro funciones básicas:



- I. Extraer una cantidad suficiente de penetrante de la discontinuidad para formar una indicación.
- II. Expandir el ancho de la indicación lo suficiente para hacerla visible.
- III. Incrementar la brillantez del tinte fluorescente.
- IV. Incrementar el espesor de la indicación.
  - Característica del revelador: revelador penetrante al tinte – D101-A cumple con AMS 2644. Cumple con ASME SECCION V grado nuclear. Sin halógenos ni cloruros. Polvo color blanco.

La tabla No. 3.2. Muestra tiempos de penetración típicos.

Material	Forma	Tipo de discontinuidad	Tiempo de penetración ( minutos )		
			Lavable con agua	Postemulsificable	Removible con solvente
Acero	Fundiciones	Porosidad	30	10	5
		Traslapes en frio	30	10	7
	Extrusiones y forjas	Traslapes	NR	10	7
		Soldaduras	Falta de fusión	60	20
	Todas	Porosidad	60	20	7
		Fracturas	30	20	7
		Fracturas x fatiga	NR	30	10
Aluminio	Fundiciones	Porosidad	5 a 10	5	3
		Traslapes en frio	5 a 10	5	3
	Extrusiones y forjas	Traslapes	NR	10	7
		Soldaduras	Falta de fusión	30	5
	Todas	Porosidad	30	5	3
		Fracturas	30	10	5
		Fracturas x fatiga	NR	30	5
Magnesio	Fundiciones	Porosidad	15	5	3
		Traslapes en frio	15	5	3
	Extrusiones y forjas	Traslapes	NR	10	7
		Soldaduras	Falta de fusión	30	10
	Todas	Porosidad	30	10	5
		Fracturas	30	10	5
		Fracturas x fatiga	NR	30	10
Latón Bronce y Plásticos	Fundiciones	Porosidad	10	5	3
		Traslapes en frio	10	5	3
	Extrusiones y forjas	Traslapes	NR	10	7
		Soldaduras	Falta de fusión	15	10
	Todas	Porosidad	15	10	3
		Fracturas	30	10	3
		Fracturas x fatiga	5 a 30	5	5
Cristales	Todas	Fracturas	5 a 30	5	5
Htas. de Carburo	Soldaduras	Falta de fusión	30	5	3
		Porosidad	30	5	3
		Fracturas	30	20	5
Titanio	Todas		NR	20 a 30	15
Todos los Metales	Todas	Esfuerzos o corrosión Intergranular	NR	240	240

NR = No recomendable

### 3.9 Procedimiento para la aplicación del líquido penetrante.

#### 1. Seguridad e higiene.

Los solventes remueven aceites naturales de la piel, por lo que se recomienda usar guantes cuando se tenga contacto durante periodos de tiempo prolongados, así como lentes de seguridad para protección de los ojos al momento de hacer la limpieza con el disco flexible tipo lija para pulidora. Una vez utilizados y finalizados los botes aspersores de líquido penetrante en aerosol (PENETRANT), Solventes removedores (CLEANER), Reveladores (DEVELOPER), deberán ser llevados al departamento de control ambiental para su confinamiento, es esencial usar cubre boca durante el tiempo de aplicación de los botes aspersores.

#### 2. Preparación y limpieza.

La prueba por líquidos penetrantes es un método de inspección para detectar discontinuidades superficiales, por lo que, cualquier contaminante (recubrimientos, grasa, suciedad, etc.) sobre la superficie de la pieza que será inspeccionada puede afectar el buen desempeño del penetrante. Para llevar a cabo la aplicación del líquido penetrante es necesario que la superficie en la cual será aplicado este totalmente limpia de todo tipo de contaminante, para ello si, la superficie contiene oxido o residuos de metales, será necesario utilizar métodos de limpieza, como lo son:

- I. Disco flexible tipo lija para pulidora.
- II. Limpieza con cepillo de alambre tipo copa (carda).
- III. Cepillo de alambre y/o lija.

#### 3. Limpieza con solventes removedores.

Si tenemos solo manchas, suciedad o grasa, bastara con el uso del **solvente removedor (CLEANER)**. Esto provocará que el área se humedezca, por lo que es esencial que las superficies de las piezas se encuentren completamente secas después de la limpieza (esto se debe a que cualquier liquido residual puede impedir la entrada del penetrante).

#### 4. Aplicación del líquido penetrante.

El líquido penetrante, se debe aplicar abundantemente sobre el área a analizar aplicando una capa uniforme. En el caso de los botes aspersores, proporcionan un método conveniente cuando es necesaria la inspección en campo. Se recomienda que el área donde se realice la inspección se encuentre bien ventilada.

#### 5. Tiempo de penetración.

El tiempo de penetración, corresponde al tiempo transcurrido desde la aplicación del penetrante hasta su remoción. El objetivo es que el penetrante llene las posibles discontinuidades en la superficie inspeccionada. Los tiempos de penetración normalmente van de 10 a 15 minutos, dependiendo del tamaño de la pieza a inspeccionar.

#### 6. Remoción del exceso de penetrante.

La remoción del exceso de penetrante es un paso crítico en el proceso de inspección, una remoción errónea puede producir malas interpretaciones o resultados incorrectos. Idealmente, todo el penetrante de la superficie deberá ser removido (incluyendo filetes, esquinas y huecos) sin que la remoción sea excesiva como para reducir o limpiar totalmente el penetrante atrapado en las discontinuidades.

#### 7. Limpieza con solventes removedores.

Se debe de limpiar el exceso de penetrante de la superficie con un trapo o paño limpio y seco, hasta que no pueda removerse más penetrante. Entonces, se humedece un trapo o paño con solvente y se limpia los rastros de penetrante de la superficie.

#### 8. Secado.

El secado después de la remoción con solvente se realiza solamente con aire o por evaporación normal.

#### 9. Aplicación del revelador.

Se deberá aplicar una capa lo suficientemente gruesa de revelador para proporcionar un fondo contrastante blanco pero no debe ser en exceso porque se pueden enmascarar o cubrir las indicaciones. Los mejores resultados se obtienen aplicando dos capas ligeras con el bote aspersor aproximadamente 30 cm (12 pulgadas) de la superficie. Debido a

que el polvo se asienta rápidamente, es muy importante mantener el revelador agitado, por lo cual, los botes aspersores se deben agitar antes y durante la aplicación.

La segunda capa se puede aplicar en dirección transversal a la primera, lo cual se considera una buena práctica. Las superficies deben estar secas antes que el revelador sea aplicado, por lo que, debe permitirse que la primera capa de revelador seque antes de aplicar la segunda capa.

#### 10. Inspección.

La inspección es una parte crítica del proceso, normalmente una grieta aparece como una indicación en forma de línea discontinua. La línea puede ser recta, irregular o dentada, ya que sigue la intersección de la grieta con la superficie. Si se encontró algún indicio de fisura se procede a elaborar el reporte correspondiente.

#### 11. Limpieza posterior.

El revelador debe ser removido tan pronto como sea posible después de la inspección, esto se debe a que algunos tipos de reveladores son más difíciles de remover conforme pasa el tiempo. El revelador que sea más difícil de remover puede ser restregado con una brocha o cepillo y detergente.

#### 12. Registro de indicaciones.

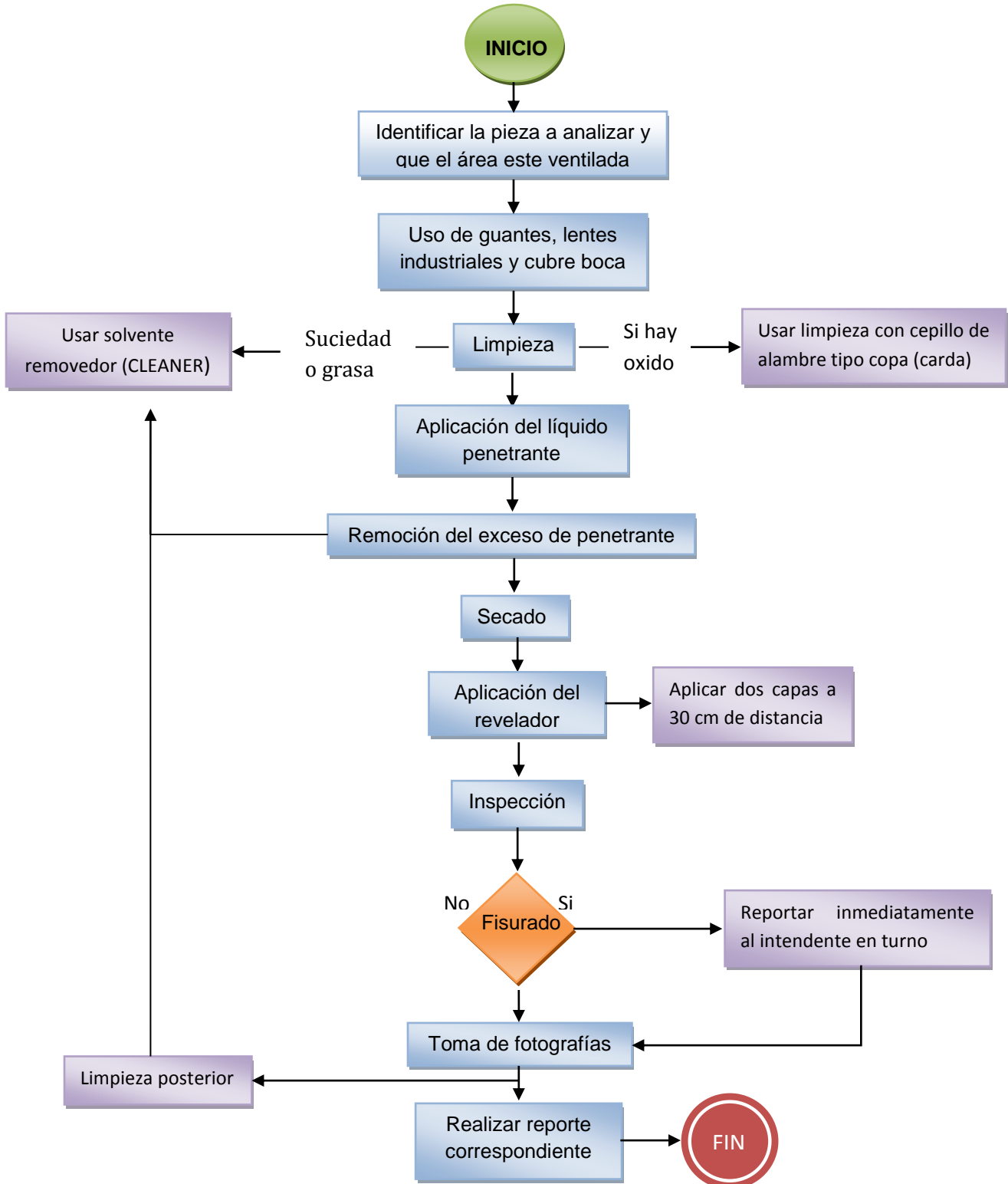
El registro de las indicaciones se realizará mediante fotografías. La fotografía proporcionara la localización y orientación de la discontinuidad en relación con las piezas, así como también su dimensión. El registro deberá ser documentado bajo el formato (**figura 3.2**) el cual será firmado por el **jefe en turno** que realizo la inspección, **superintendencia de mantenimiento**, y la superintendencia del área en el cual se encuentra la máquina.

### 3.10 Formato de reportes.

 CIA. AZUCARERA LA FE, S.A. DE C.V. INGENIO PUJILITIC. <b>INGENIERIA DE MANTENIMIENTO</b>	<b>INSPECCION DE FISURAS</b>  <b>EQUIPO:</b> CORONA POK V 161	FECHA: 28-Jul-11  PERIODO: R11								
<b>FOTOGRAFIA N°1</b> <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">LIQUIDOS PENETRANTES</th> </tr> <tr> <th>SECCION</th> <th>DICTAMEN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center; color: red;">FISURADO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">SIN FISURAS</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>ESTATUS:</b> <span style="color: red;">ALERTA</span></p>			LIQUIDOS PENETRANTES		SECCION	DICTAMEN	A	FISURADO	B	SIN FISURAS
LIQUIDOS PENETRANTES										
SECCION	DICTAMEN									
A	FISURADO									
B	SIN FISURAS									
<b>FISURA EN SECCION "A"</b> 	<b>SIN FISURA EN SECCION "B"</b> 									
<b>FOTOGRAFIA N°2</b>										
<b>FOTOGRAFIA N°3</b>										
<b>OBSERVACIONES:</b> SE REALIZO ANALISIS DE FISURAS CON LIQUIDOS PENETRANTES EN AMBAS SECCIONES DE LA CORONA, SECCION " A " Y " B ", SE ENCONTRO FISURA EN LA SECCION " A ", COMO SE MUESTRA EN LA FOTOGRAFIA No. 2.										
JEFE DE TURNO DE MANTENIMIENTO <b>ING. DAMIAN BONIFAZ DIAZ</b> <small>NOMBRE Y FIRMA</small>	SUPERINTENDENTE DE MANTENIMIENTO <b>ING. NICOLAS RAMIREZ ARMENTA</b> <small>NOMBRE Y FIRMA</small>	SUPERINTENDENTE DE MAQUINARIA Y EQUIPO <b>ING. DAVID ARRAZOLA LOPEZ</b> <small>NOMBRE Y FIRMA</small>								

Figura No. 3.2 Formato para reportes.

### 3.11. Diagrama de flujo.



### 3.12. Aplicación del análisis por líquidos penetrantes a coples y barras de acoplamiento.

#### 3.12.1 Aditamento de cople fusible reductor de baja molino 1.



Figura No. 3.3 aditamento de cople 1

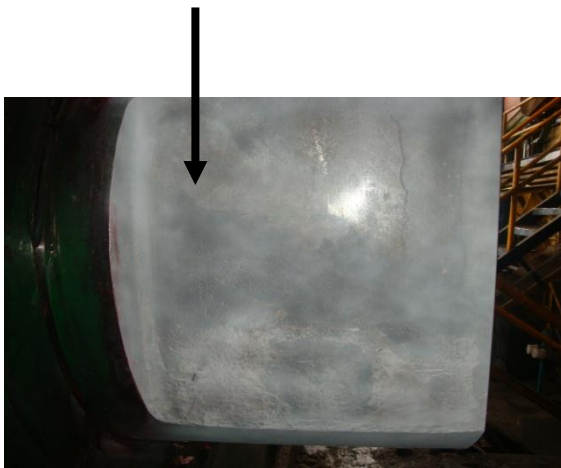


Figura No. 3.4 aditamento de cople 2



Figura No. 3.5 aditamento de cople 3

**Observaciones:** Se realizó análisis de fisuras con líquidos penetrantes en ambas secciones del cople sección “A” y “B”; encontrando indicios de desprendimiento de material en la sección “B”, como se muestra en la figura No. 3.5.



### 3.12.2 Aditamento de cople fusible reductor de baja molino 6.

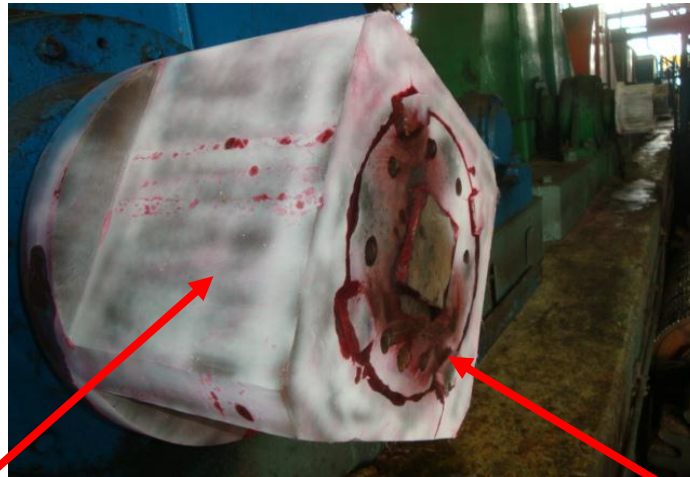


Figura No. 3.6 Aditamento de cople 1

SECCION (A)



Figura No. 3.7 aditamento de cople 2

SECCION (B)

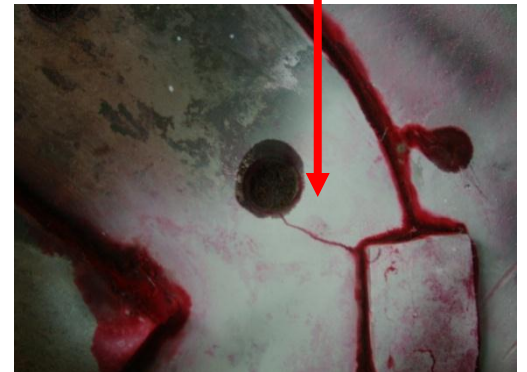


Figura No. 3.8 aditamento de cople 3

**Observaciones:** Se realizó análisis de fisuras con líquidos penetrantes en ambas secciones del cople sección "A" y "B"; se encontró fisuras en ambas secciones del aditamento sección A y sección B, como se muestran en las figura No. 3.7 y 3.8

### 3.12.3 Barra acoplamiento molino No. 1

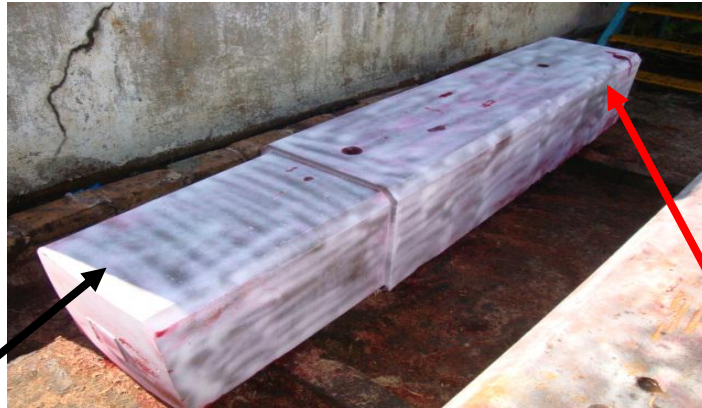


Figura No. 3.9 barra de acoplamiento 1

SECCION (A)

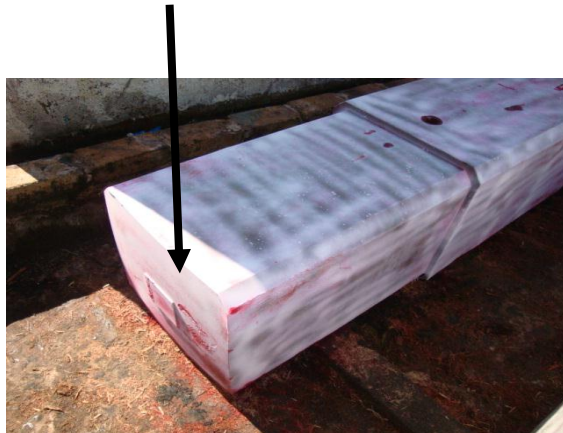


Figura No. 3.10 barra de acoplamiento 2

SECCION (B)

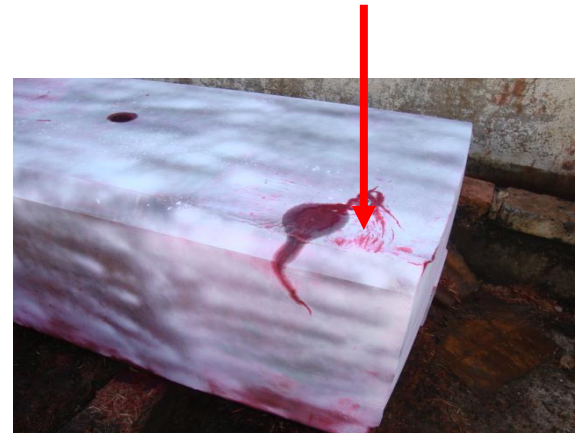


Figura No. 3.11 barra de acoplamiento 3

**Observaciones:** Se realizó análisis de fisuras en la flecha con líquidos penetrantes, se encontraron fisuras externas considerables en la sección " B ", como se muestra en la figura No.3.11.

### 3.12.4 Barra acoplamiento molino no. 6



SECCION (A)

Figura No. 3.12

barra de acoplamiento 1

SECCION (B)



Figura No. 3.13 barra de acoplamiento 2



Figura No. 3.14 barra de acoplamiento 3

**Observaciones:** Se realizó análisis de fisuras en la flecha con líquidos penetrantes, se encontraron fisuras externas en ambas secciones de la barra, como se muestra en la figura No. 3.13 y 3.14.

### 3.12.5 Cople cuadrado molino 1 lado molinos.

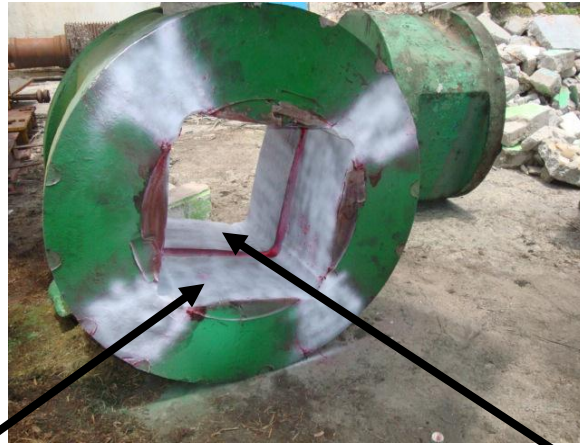


Figura No. 3.15

cople cuadrado vista 1

SECCION (A)

SECCION (B)



Figura No. 3.16 cople cuadrado vista 2

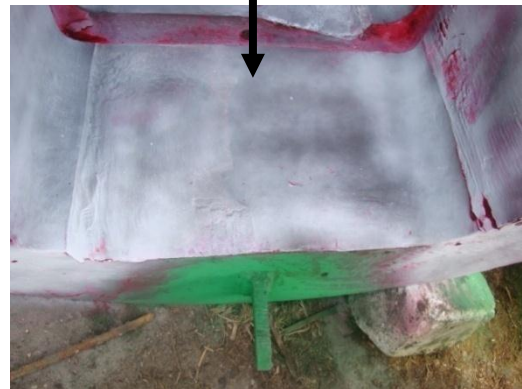


Figura No.3.17 cople cuadrado vista 3

**Observaciones:** Se realizó análisis de fisuras con líquidos penetrantes en ambas secciones del cople, sección "A" y "B", no se encontraron fisuras externas, como se muestra en las figuras No. 3.16 y 3.17

NOTA: Se observa desgaste considerable en ambas secciones marcándose con estatus de alerta.

### 3.12.6 Cople cuadrado molino 1 lado reductor.



Figura No. 3.18

cople cuadrado vista 1

SECCION (A)

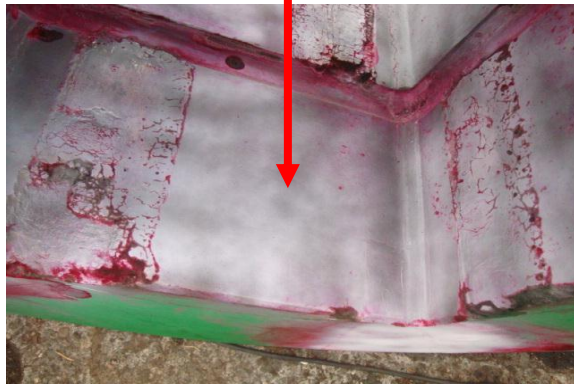


Figura No. 3.19

cople cuadrado vista 2

SECCION (B)



Figura No. 3.20 cople cuadrado vista 3

**Observaciones:** Se realizó análisis de fisuras con líquidos penetrantes en ambas secciones del cople, sección " a y b ", se encontraron fisuras externas en ambas secciones, como se muestra en las figuras No. 3.19 y 3.20.

### 3.12.7 Cople cuadrado molino 6 lado molino.

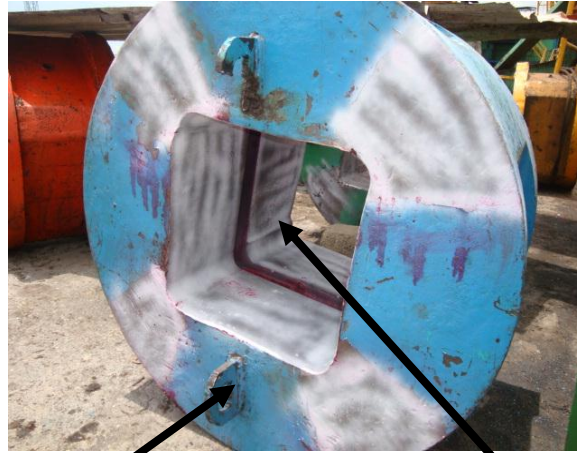


Figura No. 3.21

cople cuadrado vista 1

SECCION (A)

SECCION (B)

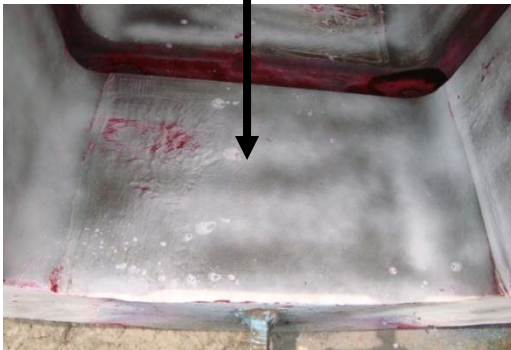


Figura No. 3.22 cople cuadrado  
vista 2



Figura No. 3.23 cople cuadrado  
vista 3

**Observaciones:** Se realizó análisis de fisuras con líquidos penetrantes en ambas secciones del cople, sección " A " y " B ", no se encontraron fisuras externas en las secciones, como se muestra en las figuras No. 3.22 y 3.23.

### 3.12.8 Cople cuadrado molino 6 lado reductor.

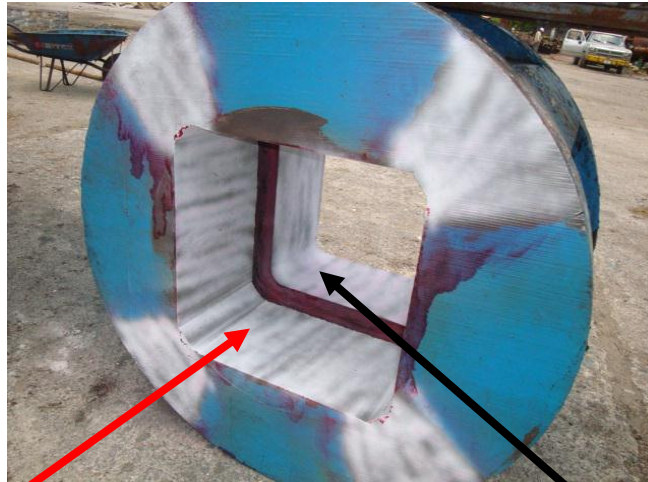


Figura No. 3.24

cople cuadrado vista 1

SECCION (A)



Figura No. 3.25 cople cuadrado vista 2

SECCION (B)

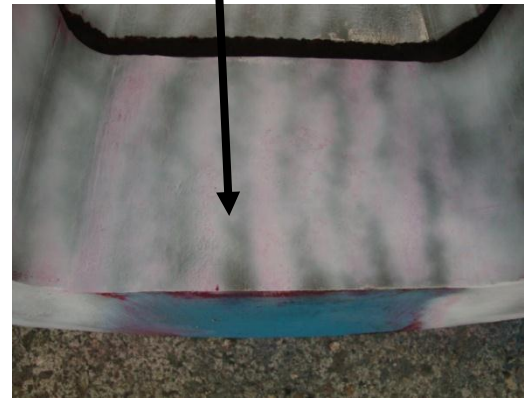


Figura No. 3.26 cople cuadrado vista 3

**Observaciones:** Se realizó análisis de fisuras con líquidos penetrantes en ambas secciones del cople, sección " a y b ", se encontraron fisuras externas en la sección " a ", como se muestra en las figura No. 3.25.

### **3.13. Conclusiones del análisis de fisuras por líquidos penetrantes efectuados a coples cuadrados, aditamento de cople fusible, barra de acoplamiento del molino 1 y 6.**

Los molinos son sumamente importantes para el proceso de la extracción de la azúcar, se encuentra en el principio del proceso ya que es el lugar donde la caña es triturada para extraerle el jugo, los molinos constan de grandes masas de varias toneladas de peso las cuales giran debido al movimiento angular que le transmite la turbina de vapor a través de una flecha acoplada a la maza y al reductor de velocidad.

Debido al gran esfuerzo al que están sometidos los componentes de los molinos es de prioridad la realización de análisis de fisuras por líquidos penetrantes, ya que una ruptura de alguno de los componentes implicaría no solo el paro del proceso de extracción de la azúcar, si no que implicaría un peligro para el personal de trabajo y ocasionaría un desastre laboral.

Se realizaron pruebas de líquidos penetrantes a todos los componentes de maquinaria de CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V. en sus distintas áreas, pero para efectos de este proyecto se tomaron en cuenta solo 8 componentes de suma importancia donde podemos apreciar la importancia de la aplicación de los líquidos penetrantes debido al hallazgo de fisuras en 6 componentes de los 8 que fueron analizados y pueden ser apreciadas en las fotografías del punto 3.10.

Como podemos apreciar las discontinuidades aparecen con diferentes formas, pero es el grosor de la línea de indicación que nos marca el tamaño de la grieta, en muchas ocasiones es posible visualizar la grieta mucho antes de la aplicación de los líquidos penetrantes, pero no es, si no hasta la aplicación de esta cuando podemos darnos cuenta de la profundidad de dicha grieta, en otra ocasiones no se visualiza la grieta pero después del proceso de aplicación y una vez aplicado el revelador podemos obtener la visualización de la fisura.

El analizador debe estar debidamente capacitado para no confundir su interpretación con indicaciones difusas, ya que estas las pueden ocasionar factores como; mala aplicación de los líquidos penetrantes, porosidad, soldaduras, cuñeros, etc. Es por eso que el área debe estar debidamente limpia y ser inspeccionada antes y después de la aplicación del proceso.



Por otro lado no es necesario aplicar líquidos penetrantes en toda la pieza, es por eso que el analizador debe entender el funcionamiento de la máquina de donde se obtuvo el componente a analizar ya que debe seguir la lógica del desgaste, debe utilizar su criterio de forma que pueda aplicar los líquidos penetrantes en las áreas donde se somete a mayor esfuerzo y rozamiento para posteriormente analizarse y llevar a cabo la detección de fisuras.

The page features a decorative graphic consisting of three overlapping blue circles of varying sizes, arranged vertically. The circles are composed of concentric layers of different shades of blue. Two thin, light blue lines intersect at the top left and extend diagonally across the page, framing the central text and circles.

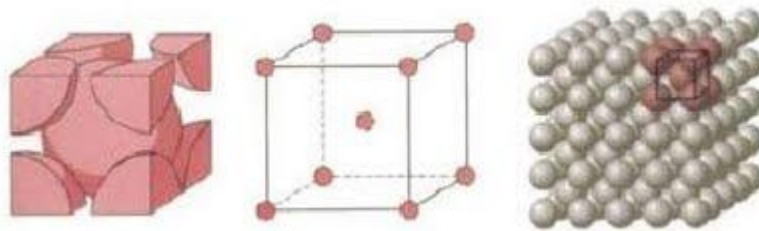
# CAPITULO IV: ULTRASONIDO INDUSTRIAL

## 4.1. Principios de ultrasonido.

El ultrasonido no se diferencia, en cuanto a sus características fundamentales, del sonido perceptible a través del oído del ser humano. Dicho con sencillez, son ondas acústicas de idéntica naturaleza que las ondas sónicas. Ahora bien, ¿Qué sucede en la materia a través de la cual se propaga el ultrasonido?

Bueno, para responder la pregunta en primer lugar vamos a suponer que la materia se compone de pequeñas partículas que se encuentran unidas entre sí por medio de fuerzas elásticas, veamos la figura No.4.1.:

Siendo así, es factible que pueda existir un movimiento de dichas partículas a partir de su composición fija. Basándose en lo anterior, si una de estas partículas se empuja, empieza a oscilar y comunica su energía a las partículas vecinas.



**Figura No. 4.1 modelo de un cuerpo elástico.**

La energía se propaga, por tanto, a través de las partículas individuales de la materia. El número de oscilaciones o vibraciones de las partículas nos indica si se trata de sonido perceptible por el oído humano o de ultrasonido.

En el sonido perceptible el número de oscilaciones se encuentra en un rango de entre 16 a 20,000 ciclos/segundos, mientras que al tratarse de ultrasonido es superior a los 20,000 ciclos/segundos. Por lo tanto, estos 20,000 ciclos/segundo son el límite entre el sonido perceptible y el ultrasonido, este valor ha sido fijado arbitrariamente.

En la inspección de materiales por ultrasonido las frecuencias son, por regla general, notablemente más elevadas y varían entre 0.5 y 25 millones de ciclos/segundos. Sin embargo, existen aplicaciones para frecuencias tan bajas como 25,000 ciclos/segundo y tan altas como 200 millones de ciclos/segundo.

Por principio, las ondas ultrasónicas pueden propagarse a través de todos los medios donde existe materia, esto es, átomos o partículas capaces de vibrar, por lo que, se considera, se propagan a través de sólidos, líquidos y gases. Por el contrario, no puede propagarse en el vacío, por no existir materia que la sustente. El movimiento que se presenta de los átomos es extremadamente pequeño, al desplazamiento máximo de un átomo desde su posición original se le conoce como amplitud. La prueba por ultrasonido emplea esfuerzos de baja amplitud los cuales no afectan permanentemente a los materiales.

## **4.2. Inspección por ultrasonido.**

La inspección ultrasónica actualmente se realiza por el método básico en el cual:

“el ultrasonido se transmite y se propaga dentro de una pieza hasta que es reflejado; el ultrasonido reflejado regresa a un receptor proporcionándole información acerca de su recorrido; la información proporcionada se basa en la cantidad de energía reflejada del ultrasonido y en la distancia recorrida por el ultrasonido”.

El principio físico en el que se basa la inspección por ultrasonido es el hecho de que los materiales diferentes presentan diferentes “impedancias acústicas”.

### **4.2.1. Sistema de inspección ultrasónica.**

Cuando se lleva a cabo una inspección por ultrasonido industrial, tanto para la detección de fallas como para medición de espesores, se requiere del uso de un sistema de inspección ultrasónica, que consiste de los componentes básicos siguientes:

- ✚ Un generador de la señal eléctrica, un instrumento ultrasónico.
- ✚ Un conductor de señal eléctrica, un cable coaxial.
- ✚ El accesorio que convierte la señal eléctrica en mecánica y/o viceversa, un transductor ultrasónico.
- ✚ Un medio para transferir la energía acústica a la pieza y viceversa, el acoplante acústico.
- ✚ La pieza inspeccionada.

### **4.2.2. Aplicaciones.**

Ya que la inspección ultrasónica se basa en un fenómeno mecánico, se puede adaptar para que pueda determinarse la integridad estructural de los materiales de ingeniería.

Se utiliza en el control de calidad e inspección de materiales, en diferentes ramas de la industria.

Sus principales aplicaciones consisten en:

1. Detección y caracterización de discontinuidades.
2. Medición de espesores, extensión y grado de corrosión.
3. Determinación de características físicas, tales como: estructura metalúrgica, tamaño de grano y constantes elásticas.
4. Definir características de enlaces.
5. Evaluación de la influencia de variables de proceso en el material.

### **4.2.3. Ventajas.**

Las principales ventajas de la inspección por ultrasonido son:

- ✚ Un gran poder de penetración, lo que permite la inspección de grandes espesores.
- ✚ Gran sensibilidad, lo que permite la detección de discontinuidades extremadamente pequeñas.
- ✚ Gran exactitud al determinar la posición, estimar el tamaño, caracterizar orientación y forma de discontinuidades.
- ✚ Se necesita una sola superficie de acceso.
- ✚ La interpretación de los resultados es inmediata.
- ✚ No existe peligro o riesgo en la operación de los equipos.
- ✚ Los equipos son portátiles.
- ✚ Su aplicación no afecta en operaciones posteriores.
- ✚ Los equipos actuales proporcionan la capacidad de almacenar información en memoria, la cual puede ser procesada digitalmente por una computadora.

#### 4.2.4. Limitaciones.

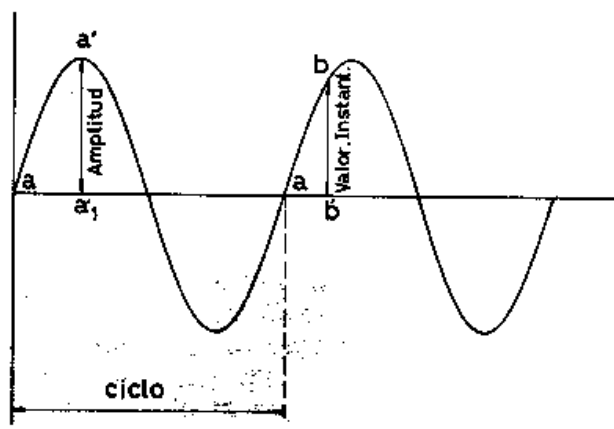
Las limitaciones del método de la inspección por ultrasonido incluyen lo siguiente:

- ✚ La operación del equipo y la interpretación de los resultados requiere técnicos experimentados.
- ✚ Se requiere gran conocimiento técnico para el desarrollo de los procedimientos de inspección.
- ✚ La inspección se torna difícil en superficies rugosas o partes de forma irregular, en piezas pequeñas o muy delgadas.
- ✚ Discontinuidades sub-superficiales pueden no ser detectadas.
- ✚ Es necesario el uso de un material acoplante.
- ✚ Son necesarios patrones de referencia, para la calibración del equipo y caracterización de discontinuidades.

#### 4.3. Onda ultrasónica.

Como sabemos, la propagación del ultrasonido está caracterizada por vibraciones mecánicas periódicas, las cuales son comúnmente representadas por “movimientos ondulatorios” (ondas sinusoidales).

Del movimiento ondulatorio, debe mencionarse que cuenta con varias características de importancia, dentro de los cuales encontramos:



**Figura No. 4.2 Ciclo de vibración.**

❖ Ciclo.

Puede ser definido como: “el movimiento completo de la onda”, o también como “el movimiento completo de la partícula”.

❖ Longitud de onda.

Se puede definir como: “la distancia requerida para completar un ciclo”; o “la distancia desde un punto dado en un ciclo al mismo punto en el siguiente ciclo”.

❖ Frecuencia.

Se define como: “el número total de ciclos completos que pasan por un punto por unidad de tiempo”, normalmente un segundo. En ultrasonido se utilizan las unidades conocidas como Hertz (Hz), que tienen la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ Hertz} = 1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo/segundo}$$

❖ Velocidad acústica.

En ultrasonido se define como: “la distancia total de viaje por unidad de tiempo”.

La velocidad acústica está determinada principalmente por: el modulo de elasticidad del material y su densidad. La velocidad es afectada, en segunda instancia, por la temperatura del material y el modo de onda. Por definición, la velocidad es independiente de la frecuencia.

La velocidad acústica puede conocerse por diferentes medios, por ejemplo, por cálculos haciendo uso de una serie de formulas específicas para ello, de tablas, y muy exactamente con los instrumentos ultrasónicos actualmente utilizados.

En la inspección por ultrasonido, la velocidad acústica es de gran importancia práctica puesto que los instrumentos ultrasónicos deben calibrarse considerando el valor de la misma para el material que será inspeccionado, esto se debe a que una sola calibración con un valor de velocidad no puede ser utilizado para una variedad de materiales diferentes, ya que es una constante del material.

#### 4.4. Modos de onda.

Como se ha mencionado, la energía ultrasónica se propaga en un material por medio de la vibración de sus partículas, se trasmite de un átomo a otro.

La dirección en la que vibran las partículas con respecto a la dirección en la que se propaga la onda ultrasónica hace posible la existencia de varios tipos de onda. Los modos de vibración o de onda son:

- ✚ Ondas longitudinales o de compresión.
- ✚ Ondas de corte o transversales.
- ✚ Ondas superficiales.
- ✚ Ondas lamb o de placa.

En la inspección por ultrasonido, los modos de onda más frecuentes utilizados son: las ondas longitudinales y de corte.

- ❖ Ondas longitudinales.

La característica principal de estas ondas es que provocan que las partículas vibren en dirección paralela con respecto a la dirección de propagación de la onda ultrasónica. También son llamadas “ondas de compresión”, ya que existen zonas donde los planos de las partículas se encuentran extremadamente cercanos entre sí, y también existen zonas dilatadas donde los planos de las partículas están muy separados. La distancia entre dos zonas de compresión o dos zonas de dilatación sucesivas corresponde a la longitud de onda.

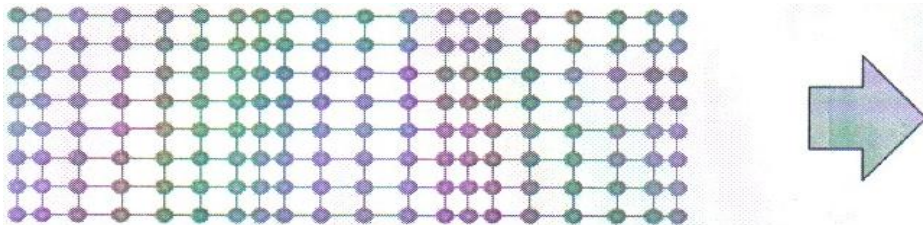
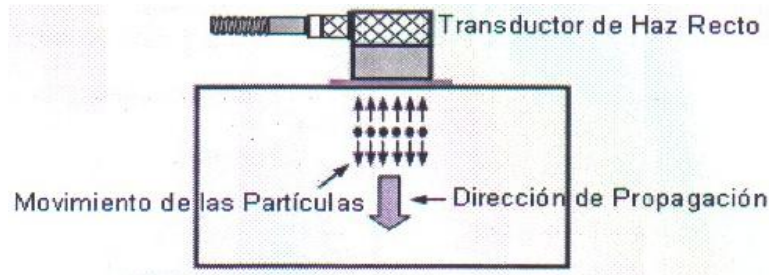


Figura No. 4.3 onda longitudinal.



Es el único modo de onda que puede propagarse a través de sólidos, líquidos. Cuando se utiliza este modo de vibración en la inspección por ultrasonido, se identifica comúnmente con el termino de "haz recto", ver siguiente figura.

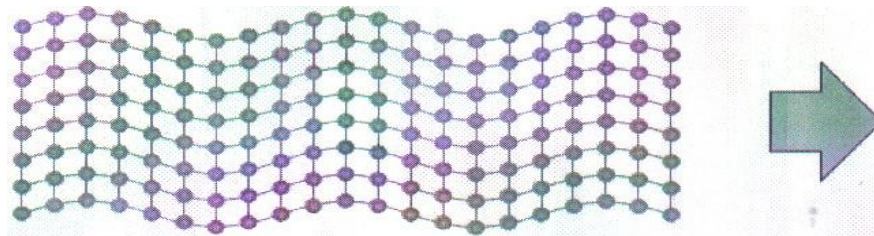


**Figura No. 4.4 Haz recto.**

❖ Ondas de corte.

Las ondas de corte están caracterizadas porque las partículas vibran en dirección perpendicular con respecto a la dirección de propagación de la onda ultrasónica.

Los planos de las partículas se encuentran a la misma distancia entre sí, pero se desplazan lateralmente alcanzando posiciones máximas y mínimas. La distancia entre dos posiciones mínimas o dos máximas sucesivas es constante y corresponde a la longitud de onda. Son conocidas como "ondas transversales".

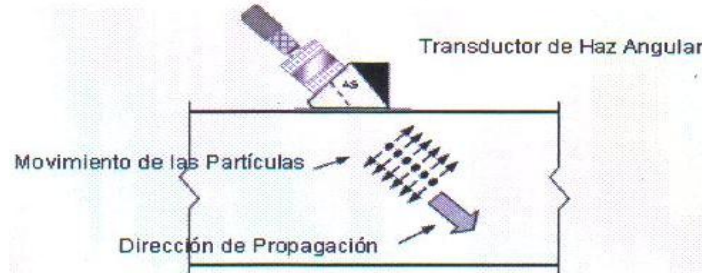


**Figura No. 4.5 Onda de corte.**

Otra característica, también importante y que debe tenerse presente durante las inspecciones por ultrasonido, es el que su velocidad es de aproximadamente la mitad de la velocidad de las ondas longitudinales para un mismo material. Solo se pueden propagar en sólidos.

Las ondas de corte son introducidas en la pieza utilizando; un transductor de haz angular, en el método por contacto, o inclinando el transductor, en el método de inmersión.

El transductor de haz angular consiste de un accesorio transductor montado sobre una zapata de plástico, para que la onda ultrasónica entre a la pieza a un cierto Angulo, en la inspección por ultrasonido, se identifica comúnmente con el término de “Haz angular”.

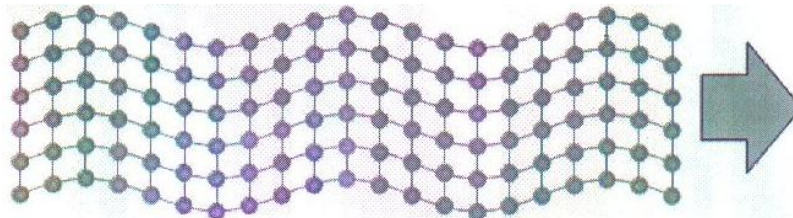


**Figura No. 4.6 Haz angular.**

❖ Ondas superficiales.

Las ondas superficiales originan que las partículas de la superficie o cercanas a ella vibren en forma elíptica. En cierto modo se asemejan a las olas del agua.

Su energía decae rápidamente por debajo de la superficie hasta que, a una profundidad de aproximadamente una longitud de onda, las partículas prácticamente se encuentran en reposo.



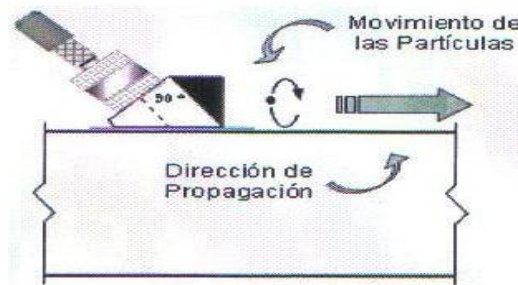
**Figura No. 4.7 onda superficial.**

Su velocidad es aproximadamente el 90% de la velocidad de las ondas de corte, y se propagan únicamente a través del borde o superficie libre de sólidos.

Las ondas de superficie son adecuadas para detectar fallas superficiales, por ejemplo, grietas; también pueden ser usadas para detectar discontinuidades ligeramente por debajo de la superficie.

Pueden viajar sobre las superficies curvas y su reflexión ocurre en esquinas agudas, zonas donde se encuentre grasa, aceite y otros líquidos.

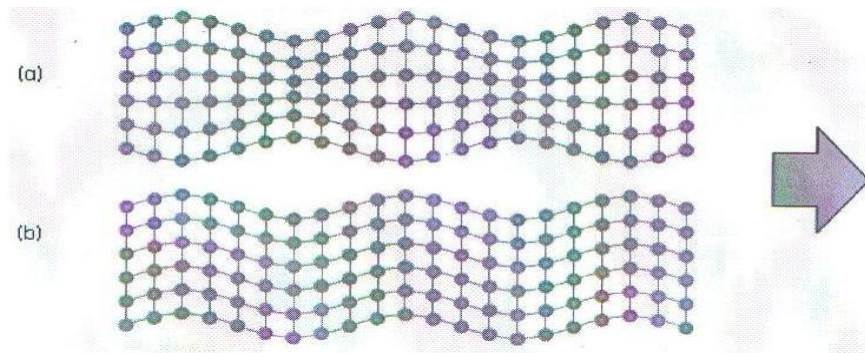
En este caso, el accesorio transductor se inclina hasta que la onda resultante sea del modo superficial.



**Figura No. 4.8 onda superficial.**

❖ Ondas de lamb.

Ocurren cuando ondas ultrasónicas viajan a lo largo de piezas con espesores menores a una longitud de onda (placas y/o láminas). Existen dos clases generalmente de ondas de lamb o de placa ondas simétricas y asimétricas.



**Figura No. 4.9 a) simétrica y b) asimétrica.**

La velocidad de estas ondas es dependiente del espesor de la placa, del tipo de material, de la frecuencia, y del tipo de onda.

## 4.5. Principios específicos de transductores.

### 4.5.1. Transductores de Haz recto.

Contienen un solo elemento activo que genera ondas longitudinales. Es el transductor frecuentemente utilizado por considerarse el más versátil en la detección de fallas. Debido a que es utilizado en contacto directo con la pieza superficie de contacto, en general, es de una materia altamente resistente al desgaste.

Aplicaciones.

- ✚ Detección de fallas con Haz recto.
- ✚ Medición de espesores.
- ✚ Detección y dimensionamiento de laminaciones.
- ✚ Caracterización de materiales y medición de la velocidad del sonido.
- ✚ Inspección de placas, billets, barras, forjas, fundiciones, extrusiones y una variedad de otros materiales metálicos y componente no metálicos.



Figura No. 4.10 transductores de haz recto.

### 4.5.2. Transductores de haz angular.

Estos transductores utilizan los principios de refracción y conversión de modo para producir ondas transversales refractadas en la pieza inspeccionada.

Utilizan una zapata normalmente fabricada de una resina para que el ultrasonido viaje de forma inclinada, con lo que al ser reflejado por la superficie posterior mejor la habilidad de detección de discontinuidades con una orientación que no es paralela a la superficie de entrada.



**Figura No. 4.11**      **transductor de haz angular.**

Aplicaciones.

- ✚ Inspección de uniones soldadas.
- ✚ Detección y dimensionamiento de grietas.
- ✚ Inspección de sistemas de tuberías, tubos, forjas, fundiciones y componentes estructurales.
- ✚ Transductores de alto amortiguamiento pueden ser utilizados en técnicas de difracción de tiempo de vuelo.

Se encuentran disponibles en una variedad de diseños, por ejemplo: con zapatas intercambiables o integradas, zapatas para materiales a alta temperatura y zapatas de ángulos estándar para ondas transversales en acero a 30°, 45°, 60° y 70°.

### **4.5.3. Transductores de doble cristal (duales).**

Estos transductores cuentan con dos elementos activos en una misma carcasa, montados sobre líneas de retardo y ligeramente inclinados y se encuentran separadas por una barrera acústica. Un elemento actúa como transmisor de ondas longitudinales y otro como receptor.



**Figura No. 4.11**      **Transductor de doble cristal.**

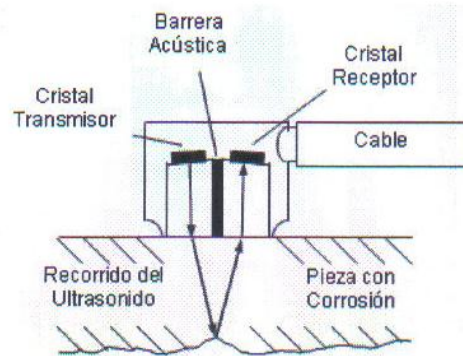
Ventajas.

- ✚ Se elimina el disparo principal mejorando la resolución cercana.

- ✚ El diseño del haz inclinado proporciona un pseudo-foco que los hace más sensibles a ecos de reflectores de forma irregular tales como corrosión o picaduras.
- ✚ No se requiere el uso de líneas de retardo extras para aplicaciones de altas temperaturas.
- ✚ Buen acoplamiento sobre superficies curvas o rugosas.
- ✚ Reduce el ruido en materiales de grano grueso o de gran dispersión.
- ✚ Ideal para aplicaciones a bajas temperaturas.

Aplicaciones.

- ✚ Medición del espesor remanente de pared.
- ✚ Monitoreo de corrosión/erosión.
- ✚ Inspección de soldadura de recubrimiento y determinar buena o mala adherencia.
- ✚ Detección de discontinuidades, inclusive en espesores delgados.



**Figura No. 4.12 Transductor dual.**

#### **4.5.4. Selección de un transductor.**

El transductor es un componente crítico del sistema de inspección, aun estando involucrados factores como: las características del instrumento, los parámetros de calibración, las propiedades del material y las condiciones de acoplamiento, que también juegan un papel importante en la funcionalidad del sistema.

La primera consideración es la selección adecuada de la frecuencia. Usualmente, es preferible inspeccionar a la frecuencia más baja con la cual se pueda detectar un tamaño mínimo y un tipo de discontinuidad específico, consistentemente.

Debido a variaciones en la estructura interna de los materiales, es imposible seleccionar la frecuencia óptima sin contar con experiencia o sin realizar alguna práctica.

En general, aceros de grano fino son inspeccionados con frecuencias de 2.25 a 5.0 MHz, y para detectar discontinuidades pequeñas se selecciona hasta 10 MHz. Por otro lado, fundiciones de acero de medio carbón son generalmente inspeccionadas con frecuencias de 1 a 5 MHz. Por último, fundiciones de acero de alto carbón pueden requerir el uso de una frecuencia baja, tal como 0.5 MHz.

Basándose en el grado de amortiguamiento, el transductor es seleccionado para resaltar ya sea la sensibilidad o la resolución del sistema, por ejemplo:

- ❖ Un sistema de inspección con buena sensibilidad tiene la habilidad de detectar discontinuidades pequeñas a una distancia dada dentro del material, en muchos casos donde se requiere una buena sensibilidad son seleccionados transductores de bajo amortiguamiento por ejemplo del tipo Accusacan S.
- ❖ Un sistema con buena resolución tiene la habilidad de producir, separar y distinguir dos o más indicaciones de reflectores cercanos entre si, en profundidad y posición. En aplicaciones donde se requiere una buena resolución axial o en distancia es común seleccionar transductores de alto amortiguamiento, por ejemplo el Videoscan. Un alto grado de amortiguamiento, como sabemos, ayuda al tiempo de recuperación del transductor y le permite al sistema resolver reflectores cercanos a la interface de entrada. Además, son la mejor selección en inspecciones donde se requiere mejorar la relación señal-ruido en materiales que producen atenuación o dispersión del ultrasonido.

La configuración específica del transductor también tiene un gran impacto en la funcionalidad del sistema, esta consideración se aplica por ejemplo en la selección de transductores ya sea focalizado o con superficies que resiste al desgaste. Por último la selección adecuada del diámetro del transductor.

## 4.6. Acoplante.

Para realizar una inspección por ultrasonido en forma satisfactoria es necesario que exista la transmisión de las ondas ultrasónicas desde el transductor a la pieza de prueba, para lograrlo, se recurre al uso de un medio líquido o semilíquido que sirve como puente, este medio es conocido como acoplante.

Como sabemos, el aire es un transmisor muy pobre de las ondas ultrasónicas. Ya que la diferencia de impedancias acústicas entre él y la mayoría de sólidos es muy grande, una capa muy delgada de aire evita severamente la transmisión de las ondas ultrasónicas. Basándose en lo anterior, el objetivo principal del uso de acoplante es eliminar el aire atrapado en el espacio entre las superficies del transductor y de la pieza inspeccionada; además, sirve como lubricante para reducir la fricción entre las superficies de ambos con lo que reduce el desgaste del transductor y se facilita su desplazamiento sobre la superficie de la pieza.

Los materiales utilizados como acoplantes podrían contar con una serie de características deseables, dentro de las que se incluyen a:

- ✚ Humectabilidad, que ayuda al acoplante a mojar las superficies del transductor y de la pieza.
- ✚ Viscosidad, apropiada para que el acoplante permanezca sobre la superficie de la pieza y no escurra fácilmente.
- ✚ Costo, lo más bajo para que sea de fácil adquisición.
- ✚ Remoción, que sea fácilmente aplicado y principalmente para eliminar un grado adecuado los residuos.
- ✚ No corrosivos, que no reaccione con el material inspeccionado y evitar con esto que ciertos materiales que son susceptibles a corrosión o agrietamiento, sean afectados por la presencia de contaminantes.
- ✚ No tóxico, para evitar que el personal técnico sufra de intoxicación por su manejo.
- ✚ Impedancia acústica, que sea similar a la de los diferentes materiales, para que sea transmitida la mayor energía posible de la onda ultrasónica.

Para realizar la inspección por el método de contacto, los materiales comúnmente usados como acoplantes, incluyen:



Aceites con varios grados de viscosidad, glicerina, pastas especiales, goma de celulosa, agua, grasa, y en algunas aplicaciones especializadas se ha llega a utilizar laminas de elastómeros.

#### **4.7. Técnicas de inspección por contacto.**

##### 1) Técnica con haz recto.

La técnica de haz recto es realizada proyectando a la pieza de prueba con un haz longitudinal normal a la superficie.

Esta técnica incluye el método de inspección por transmisión en el cual dos transductores son empleados uno como receptor y otro como emisor. Cuando una discontinuidad interrumpe el haz, causa una reducción en la señal recibida.

##### 2) Técnica de haz angular.

Los transductores angulares consisten, generalmente, de un solo cristal que genera ondas longitudinales, montado sobre una zapata de plástico, inclinando a un ángulo determinado para producir una onda refractada apropiada para diferentes necesidades.

En función del ángulo de incidencia, en la pieza inspeccionada pueden producir ondas transversales, longitudinales o superficiales.

Son utilizadas membranas de plástico removibles, comúnmente identificadas como zapatas, entre el transductor y el material de prueba, para evitar el desgaste del transductor y obtener un mejor acoplamiento con superficies excesivamente rugosas.

##### 3) Técnica con onda superficial.

Es una aplicación y adaptación especial de la técnica por haz angular y que da como resultado la propagación de ondas de superficie. Como sabemos, este tipo de ondas son usadas principalmente para la detección de discontinuidades en la superficie o que se localicen a aproximadamente media longitud de onda de profundidad.

##### 4) Técnica con transductores duales.

Esta técnica proporciona un método para incrementar la resolución (especialmente en la superficie). En el método de contacto, el elemento doble permite que la función del cristal

receptor se encuentre electrónica y acústicamente aislado de los efectos del pulso de excitación. El cristal receptor se encuentra en un estado permanente de reposo y puede responder a una señal reflejada de una discontinuidad cercana a la superficie de prueba.

5) Técnica con transductores con línea de retardo.

En la aplicación de esta técnica los transductores cuentan con una zapata o línea de retardo y se tiene como aplicación primaria la medición de espesores, aunque pueden ser usadas para la detección de discontinuidades en piezas de prueba con superficies que no sean paralelas.

## 4.8. Velocidad de propagación del ultrasonido.

Tabla No. 4.1

Velocidad de propagación del ultrasonido En una variedad de materiales.		
Material	V (in/ $\mu$ s)	V (m/s)
cloruro de polivinilo, (PVC duro)	0.094	2395
Cobre	0.183	4660
Diamante	0.709	18000
Estaño	0.131	3320
Glicerina	0.076	1920
hierro fundido (despacio)	0.138	3500
hierro fundido (rápido)	0.22	5600
Inconel	0.229	5820
latón naval	0.174	4430
Molibdeno	0.246	6250
nailon (rápido)	0.102	2600
níquel puro	0.222	5630
oxido de hierro (magnetita)	0.232	5890
Plomo	0.085	2160
poliamida (despacio)	0.087	2200
Poliestireno	0.092	2340
polietileno de baja densidad (PEBD)	0.082	2080
polietileno de alta densidad (PEAD)	0.097	2460
resina acrílica (Perspex)	0.107	2730
resina lucite	0.106	2680
Silicio	0.379	9620
silicona	0.058	1485
titanio Ti 150 <sup>a</sup>	0.24	5180
Tungsteno	0.204	5180
Zinc	0.164	4170

## 4.9. Análisis de medición de espesores por ultrasonido industrial.

### 4.9.1. Equipo a utilizar para la medición de espesores en CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V.

I. **Instrumento ultrasónico medidor de espesores modelo DM5E:** usa transductores tipo dual (doble cristal), que sirve para medir el espesor de pared de materiales con corrosión y de materiales difíciles de penetrar, con la ventaja de adquirir el acceso por un solo lado de la pared.

- ✚ Características generales: Tiene incorporado un rango amplio de funciones, que incluye la captura del espesor Mínimo y Máximo, la generación del barrido “B” alarmas y un modo diferencial de espesores, el cual permite la comparación instantánea entre los espesores que están siendo medidos y el espesor nominal, y además cuenta con el modo de operación DUAL MULTI, el cual es usado para la medición de espesores a través de recubrimientos, sin necesidad de removerlos.

- Partes del equipo.

El equipo básico está constituido por:

- ✚ Instrumento Ultrasónico Medidor de Espesores Modelo DM5E.
- ✚ Transductor dual.
- ✚ 2 baterías tamaño “AA”.
- ✚ Maletín de plástico para transportación.
- ✚ Botella de acoplante (gel).
- ✚ CD con software de actualización.
- ✚ Manual de operación en español.
- ✚ Tarjeta de instrucciones.
- ✚ Certificado de conformidad.

II. **Mototool (DEWALT):** El equipo de color amarillo y negro, la parrilla de admisión de aire “D”, la formación de pirámides en el mango, la configuración de la caja de herramientas y la formación de rombos en la superficie de la herramienta.

- Características generales: 120V CA/CC, 5ª, 60 Hz. Potencia máxima de salida de 485 watts (0.65 HP).

 Piedra montada A4.

#### **4.9.2. Procedimiento para la medición de espesores.**

1. Configuración inicial del instrumentó (**DM5E**).

Antes de realizar la medición de espesores, el instrumento debe ser ajustado adecuadamente, para asegurar que la pantalla, los parámetros ultrasónicos y el modo de medición, coinciden con la configuración deseada.

2. Calibración del **DM5E**.

Antes de usar el **Instrumento Ultrasónico Medidor de Espesores Modelo DM5E** debe ser calibrado, usando uno o más bloques de calibración con espesor o espesores conocidos, por ejemplo un bloque de 4 o 5 pasos (escaleras).

3. Preparación para la toma de medición.

Una vez que tenemos identificado el equipo y material (**tabla No. 4.1**) a inspeccionar, se debe marcar los puntos que se someterán a limpieza para posteriormente realizar la medición de espesores, estos puntos deben ser marcados arbitrariamente por el jefe en turno, ya que el considerara los lugares adecuados para realizar las mediciones de espesores en todo el área del componente.

4. Limpieza para la toma de mediciones de espesores.

La limpieza de los puntos seleccionados y marcados, se debe realizar con la herramienta **Mototool** y **Piedra montada A4**, esto con el objetivo de dejar libre de toda impureza que pudiera afectar la medición de espesores.

5. Tomas de mediciones con el **DM5E**.

Después de completar el proceso de configuración inicial y calibración del **Instrumento Ultrasónico Medidor de Espesores Modelo DM5E** y de haber realizado la preparación y limpieza del componente, se debe seguir el procedimiento a continuación para la toma de mediciones:

- ✚ Aplique un poco de acoplante (gel) sobre la superficie de contacto del transductor o sobre la superficie del componente que será inspeccionado.
- ✚ Acople el transductor sobre la superficie del componente que será inspeccionado. El transductor debe sujetarse firmemente, del cuerpo del propio transductor, y debe acoplarse de tal forma que se presione en forma moderada contra la superficie del componente inspeccionado.
- ✚ Obtenga el valor del espesor de pared que está siendo medido, de la lectura mostrada en la pantalla del instrumento. Encontrándose la función MANTENER LECT. (READING HOLD) activada, mientras el transductor se mantenga acoplado los números de la pantalla aparecerán llenos, y cuando el transductor sea desacoplado los números aparecerán como vacíos.

## 6. Inspección.

El inspector debe tener conocimiento del espesor nominal del componente, para tomar un criterio al realizar la medición de espesores y comparar el espesor nominal y la medida adquirida. El encargado del área de donde se inspecciono el componente deberá tener conocimiento de todos los resultados de la medición de espesores.

## 7. Registro de Indicaciones.

El registro deberá ser documentado bajo el siguiente formato (**Figura No. 4.13**) el cual será firmado por el **jefe en turno** que realizo la inspección, **superintendencia de mantenimiento**, y la superintendencia del área en el cual se encuentra la máquina.

7.1. Formato para registro de indicaciones

 CIA AZUCARERA LA FFAE S.A DE C.V. INGENIERIA DE MANTENIMIENTO		<b>REPORTE DE ESPESORES</b> <b>EQUIPO: TANQUE PETROLEO No.1</b>				FECHA: 27-Jul-11 PERIODO: R 11												
PUNTO No.	1ER ANILLO				2DO ANILLO		3ER ANILLO		4TO ANILLO		PUNTO No.	TECHO		PUNTO No.	TECHO			
	ESP. NOM. 0.500				ESP. NOM. 0.500		ESP. NOM. 0.375		ESP. NOM. 0.250			ESP. NOM. 0.250			ESP. NOM. 0.250			
	PUNTO INFERIOR		PUNTO MEDIO		PUNTO SUPERIOR		PUNTO INFERIOR		PUNTO INFERIOR			PUNTO SUPERIOR			PUNTO SUPERIOR			
	PULG.	DESG. (%)	PULG.	DESG. (%)	PULG.	DESG. (%)	PULG.	DESG. (%)	PULG.	DESG. (%)		PULG.	DESG. (%)		PULG.	DESG. (%)		
1	0.395	21	0.435	13	0.389	22	0.369	26	0.173	54	0.225	10	1	0.135	46	27	0.102	59
2	0.425	15	0.433	13	0.421	16	0.370	26	0.166	56	0.222	11	2	0.192	23	28	0.169	32
3	0.416	17	0.421	16	0.415	17	0.369	26	0.278	26	0.226	10	3	0.170	32	29	0.181	28
4	0.415	17	0.419	16	0.416	17	0.342	32	0.269	28	0.231	8	4	0.165	34	30	0.153	39
5	0.415	17	0.422	16	0.427	15	0.340	32	0.269	28	0.224	10	5	0.185	26	31	0.158	37
6	0.424	15	0.418	16	0.408	18	0.364	27	0.265	29	0.239	4	6	0.112	55	32	0.186	26
7	0.424	15	0.427	15	0.410	18	0.364	27	0.250	33	0.238	5	7	0.117	53	33	0.157	37
8	0.420	16	0.420	16	0.435	13	0.363	27	0.220	41	0.238	5	8	0.169	32	34	0.179	28
9	0.367	27	0.400	20	0.437	13	0.368	26	0.260	31	0.223	11	9	0.208	17	35	0.187	25
10	0.417	17	0.373	25	0.386	23	0.364	27	0.234	38	0.222	11	10	0.187	25	36	0.200	20
11	0.411	18	0.391	22	0.374	25	0.356	29	0.243	35	0.233	7	11	0.193	23	37	0.162	35
12	0.398	20	0.370	26	0.388	22	0.370	26	0.260	31	0.227	9	12	0.163	35	38	0.170	32
13	0.378	24	0.408	18	0.370	26	0.366	27	0.265	29	0.227	9	13	0.145	42	39	0.150	40
14	0.416	17	0.415	17	0.413	17	0.372	26	0.252	33	0.230	8	14	0.163	35	40	0.270	0
15	0.410	18	0.398	20	0.410	18	0.376	25	0.244	35	0.228	9	15	0.209	16	41	0.282	0
												16	0.213	15	42	0.264	0	
												17	0.237	5	43	0.142	43	
												18	0.117	53	44	0.156	38	
												19	0.185	26	45	0.202	19	
												20	0.181	28	46	0.191	24	
												21	0.185	26	47	0.194	22	
												22	0.139	44	48	0.165	34	
												23	0.180	28	49	0.144	42	
												24	0.184	26	50	0.153	39	
												25	0.183	27	51	0.159	36	
												26	0.100	60	52	0.154	38	
												27			53	0.193	23	
												28						
												29						
												30						
												31						
												32						
												33						
												34						
												35						
												36						
												37						
												38						
												39						
												40						
												41						
												42						
												43						
												44						
												45						
												46						
												47						
												48						
												49						
												50						
												51						
												52						
												53						
<b>OBSERVACIONES</b> Los puntos fueron tomados con referencia a la valvula de descarga del tanque, se enumero en direccion al sentido opuesto al movimiento de las manecillas del reloj. <b>PUNTOS EN ROJO SE APROXIMAN O SOBREPASAN EL 50% DE DESGASTE</b>																		
JEFE DE TURNO DE MANTENIMIENTO <b>ING. LUIS ANTONIO PÉREZ GARCÍA</b> NOMBRE Y FIRMA					SUPERINTENDENTE DE MANTENIMIENTO <b>ING. NICOLAS RAMÍREZ ARMENTA</b> NOMBRE Y FIRMA					SUPERINTENDENTE DE CALDERAS <b>ING. JORGE DAVID CABRERA HERNÁNDEZ</b> NOMBRE Y FIRMA								

Figura No. 4.13 formato para el registro de indicaciones.



## 4.10. Defectos/errores y problemas en la medición de espesores.

### 1. Fallas en el acoplamiento.

Existen varias condiciones de la superficie de acoplamiento del transductor y de la superficie del componente, que pueden provocar que no se obtenga una lectura adecuada, como son:

- Desgaste no uniforme.
- Superficie de acoplamiento del transductor dañada.
- Pintura mal adherida.
- La presencia de suciedad, oxido, corrosión o cascarilla en la superficie del componente inspeccionado.

### 2. Errores en el **DM5E**.

Si tiene motivos para creer que no es posible realizar un manejo seguro del DM5E, desconecte el instrumento y asegúrelo para evitar una reconexión no intencionada. Extraiga la batería si fuera necesario. No se podrá manejar de forma segura si el instrumento muestra las siguientes condiciones:

- Daños visibles.
- No funciona perfectamente.
- Ha estado almacenado de forma prolongada bajo condiciones adversas tales como temperaturas y/o especialmente humedad ambiental elevada o en condiciones ambientales corrosivas.
- Ha estado sometido a fuertes presiones durante su transporte.

### 3. Duplicado de mediciones.

Bajo ciertas condiciones, los instrumentos ultrasónicos medidores de espesores pueden mostrar valores de espesores que corresponden al doble (o en ciertos casos, al triple) del espesor real del material que está siendo medido. Este efecto, se conoce como “duplicación”, puede ocurrir cuando se miden espesores de pared que se encuentran por debajo del espesor mínimo del rango especificado del transductor. Si el transductor empleado está desgastado, la duplicación puede producirse con espesores mayores al espesor mínimo del rango especificado.

### 4.11. Medición de espesores en componentes de fabrica en cristalización (condesado de tacho No. 1 y 2, separador y líneas de condesados de tachos y tacho No.1 y 4).

#### 4.11.1 Condesado de tacho No. 1.

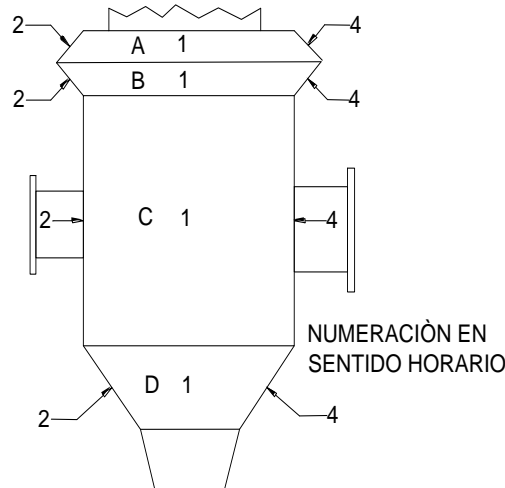


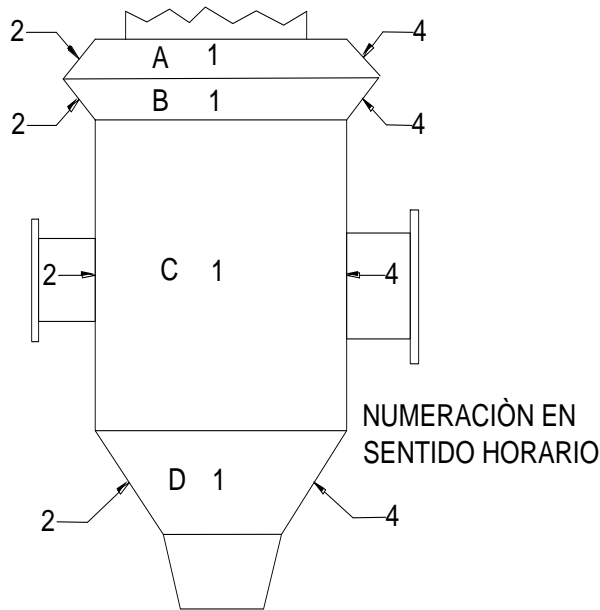
Figura No. 4.14 esquema condesado de tacho 1.

PUNTO N°	SECCIÓN A		SECCIÓN B		SECCIÓN C	
	ESP. NOM.	DESG.%	ESP. NOM.	DESG.%	ESP. NOM.	DESG.%
1	0.478	4	0.475	5	0.582	7
2	0.476	5	0.435	13	0.621	1
3	0.485	3	0.460	8	0.612	2
4	0.476	5	0.466	7	0.620	1

PUNTO N°	SECCIÓN D	
	ESP. NOM.	DESG.%
1	0.509	19
2	0.588	6
3	0.549	12
4	0.594	5

**Observaciones:** el espesor nominal de 0.500 in es el mismo para las secciones A, B, y C. En la sección D es espesor es de 0.625in, el desgaste en cada uno de los puntos de las diferentes secciones es mínimo por lo que la condición del condesado de tacho 1 se presenta como buena.

**4.11.2. Condensado de tacho No. 2.**



**Figura No. 4.15 esquema condensado de tacho 2.**

PUNTO N°	SECCIÓN A		SECCIÓN B		SECCIÓN C	
	ESP. NOM.	.500	ESP. NOM.	.500	ESP. NOM.	0.500
	PULG.	DESG.%	PULG.	DESG.%	PULG.	DESG.%
1	0.391	22	0.408	18	0.333	33
2	0.367	27	0.356	29	0.361	28
3	0.404	19	0.369	26	0.419	16
4	0.375	25	0.398	20	0.337	33

PUNTO N°	SECCIÓN D	
	ESP. NOM.	0.625
	PULG.	DESG.%
1	0.261	58
2	0.470	25
3	0.457	27
4	0.476	24

**Observaciones:** el espesor nominal de 0.500 in es el mismo para las secciones A, B, y C. En la sección D es espesor es de 0.625 in, el desgaste es mayor en comparación al condensado de tacho No.1, y en el punto 1 de la sección D se presenta el mayor desgaste, pero para considerarse en estado de alerta se necesita tener un desgaste menor al 50% por lo que se considera en estado de regular.

### 4.11.3. Separador y línea de condensados de tachos.

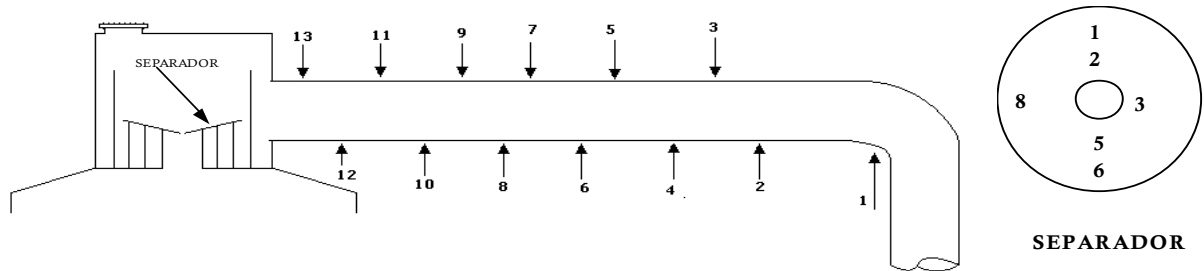


Figura No. 4.16 esquema separador y línea de condensados de tachos .

PUNTO N°	TACHO 5		TACHO 6		TACHO 7		TACHO 8	
	ESPEJOR NOMINAL	0.375	ESPEJOR NOMINAL	0.375	ESPEJOR NOMINAL	0.375	ESPEJOR NOMINAL	0.375
	PULG.	DESG(%).	PULG.	DESG(%).	PULG.	DESG(%).	PULG.	DESG(%).
<b>SEPARADOR</b>								
1	0.212	58	0.101	80	0.196	61	0.231	54
2	0.166	67	0.116	77	0.144	71	0.248	50
3	0.178	64	0.105	79	0.222	56	0.196	61
4	0.160	68	0.118	76	0.188	62	0.218	56
5	0.239	52	0.128	74	0.233	53	0.178	64
6	0.274	45	0.103	79	0.189	62	0.225	55
7	0.255	49	0.112	78	0.240	52	0.236	53
8	0.264	47	0.110	78	0.144	71	0.227	55
9	0.269	46	0.102	80	0.192	62	0.265	47
PUNTO N°	TACHO 5		TACHO 6		TACHO 7		TACHO 8	
	ESPEJOR NOMINAL	0.500	ESPEJOR NOMINAL	0.500	ESPEJOR NOMINAL	0.500	ESPEJOR NOMINAL	0.500
	PULG.	DESG(%).	PULG.	DESG(%).	PULG.	DESG(%).	PULG.	DESG(%).
<b>TUBERIA</b>								
1	0.404	19	0.287	43	0.198	60	0.253	49
2	0.402	20	0.294	41	0.220	56	0.282	44
3	0.426	15	0.274	45	0.250	50	0.243	51
4	0.405	19	0.304	39	0.348	30	0.255	49
5	0.474	5	0.252	50	0.345	31	0.262	48
6	0.410	18	0.293	41	0.323	35	0.262	48
7	0.457	9	0.297	41	0.346	31	0.260	48
8	0.411	18	0.265	47	0.349	30	0.238	52
9	0.456	9	0.325	35	0.326	35	0.260	48
10	0.437	13	0.274	45	0.272	46	0.228	54
11	0.414	17	0.316	37	0.316	37	0.326	35
13	0.356	29	0.265	47	0.332	34	0.334	33
14	0.346	31	0.346	31	0.342	32	0.350	30

**Observaciones:** los puntos marcados con color rojo presentan desgaste mayor o igual a 50%, por lo que se concluye que el mayor desgaste se obtuvo en el separador de los tachos 5,6,7 y 8.

### 4.11.4. Tacho No. 1.

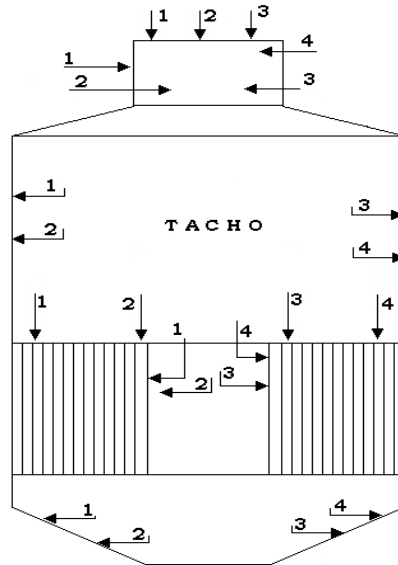


Figura No. 4.17 esquema tacho 1.

PUNTO N°	ENVOLVENTE CUPULA				TECHO DE CUPULA				ENVOLVENTE			
	ESP. NOM.	0.500			ESP. NOM.	0.500			ESP. NOM.	0.625		
	PULG.	DESG.(%)			PULG.	DESG.(%)			PULG.	DESG.(%)		
1	0.411	18			0.423	15			0.498	20		
2	0.403	19			0.445	11			0.487	22		
3	0.433	13			0.448	10			0.483	23		
4	0.427	15			0.440	12			0.491	21		
5	0.429	14			0.436	13			0.495	21		
PUNTO N°	ESPEJO SUPERIOR				TUBO CENTRAL				ESPEJO INFERIOR			
	ESP. NOM.	1.250			ESP. NOM.	0.625			ESP. NOM.	1.250		
	PULG.	DESG.(%)			PULG.	DESG.(%)			PULG.	DESG.(%)		
1	1.182	5			0.596	5			1.125	10		
2	1.194	4			0.583	7			1.076	14		
3	1.176	6			0.578	8			1.106	12		
4	1.220	2			0.589	6			1.113	11		
5	1.180	6			0.576	8			1.120	10		
PUNTO N°	FONDO				ANILLO INFERIOR				TECHO TACHO			
	ESP. NOM.	0.625			ESP. NOM.	0.625			ESP. NOM.	0.500		
	PULG.	DESG.(%)			PULG.	DESG.(%)			PULG.	DESG.(%)		
1	0.481	23			0.430	31			0.331	34		
2	0.487	22			0.422	32			0.354	29		
3	0.469	25			0.418	33			0.350	30		
4	0.489	22			0.446	29			0.365	27		
5	0.472	24			0.435	30			0.361	28		
6	0.485	22							0.348	30		
7	0.463	26							0.354	29		

**Observaciones:** Se tomo como punto de referencia el registro hombre del tacho. Se número en dirección del sentido horario, el punto 1 está alineado con el registro hombre.

### 4.11.5. Tacho No. 4.

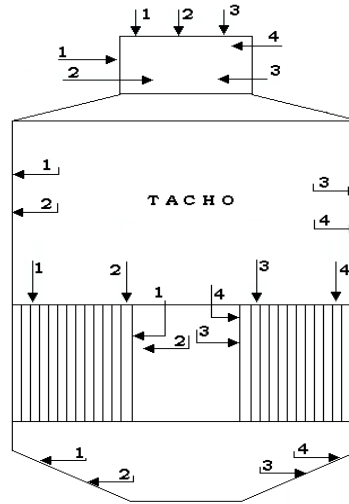


Figura No. 4.18 esquema tacho 4.

PUNTO N°	ENVOLVENTE CUPULA		TECHO DE CUPULA		ENVOLVENTE	
	ESP. NOM.	0.500	ESP. NOM.	0.500	ESP. NOM.	0.625
	PULG.	DESG.(%)	PULG.	DESG.(%)	PULG.	DESG.(%)
1	0.198	60	0.507	0	0.503	20
2	0.186	63	0.506	0	0.498	20
3	0.190	62	0.502	0	0.500	20
4	0.164	67	0.507	0	0.456	27
5	0.207	59	0.510	0	0.487	22
PUNTO N°	ESPEJO SUPERIOR		TUBO CENTRAL		ESPEJO INFERIOR	
	ESP. NOM.	1.250	ESP. NOM.	0.625	ESP. NOM.	1.250
	PULG.	DESG.(%)	PULG.	DESG.(%)	PULG.	DESG.(%)
1	0.914	27	0.497	20	0.846	32
2	0.899	28	0.538	14	0.842	33
3	0.903	28	0.515	18	0.881	30
4	0.887	29	0.498	20	0.857	31
5	0.882	29	0.466	25	0.894	28
PUNTO N°	FONDO		ANILLO INFERIOR		TECHO TACHO	
	ESP. NOM.	0.625	ESP. NOM.	0.625	ESP. NOM.	0.625
	PULG.	DESG.(%)	PULG.	DESG.(%)	PULG.	DESG.(%)
1	0.585	6	0.467	25	0.357	43
2	0.485	22	0.454	27	0.346	45
3	0.602	4	0.465	26	0.322	48
4	0.505	19	0.467	25	0.335	46
5	0.593	5	0.474	24	0.341	45
6	0.594	5	0.477	24	0.343	45
7	0.593	5	0.482	23	0.348	44
8	0.486	22	0.466	25	0.363	42

**Observaciones:** Se tomo como punto de referencia el registro hombre del tacho. Se enumero en dirección del sentido horario, el punto 1 está alineado con el registro hombre. Los puntos marcados con rojo son lo que se aproximan o tienen desgaste mayor al 50 %

## 4.12. Análisis de fisuras por ultrasonido industrial.








### 4.12.1 Equipo a utilizar para la detección de fisuras por ultrasonido industrial en CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V.

#### I. EQUIPO.

##### Detector de defectos por ultrasonidos EPOCH XT:

Es un detector de defectos por ultrasonidos portátil de avanzada, que cuenta con numerosas funciones estándares de medición, incluyendo un emisor de ondas cuadradas ajustable, filtros digitales de banda estrecha y de banda ancha seleccionables, una gama de ganancias de 0 a 110 dB, las funciones de memoria y de mantenimiento de picos y una frecuencia de repetición de impulsos (PRF) ajustable.

##### ➤ Partes del equipo.

-  Instrumento Ultrasonido Detector de Fisuras Interiores EPOCH TX.
-  Conectores BNC o conectores LEMO.
-  Palpadores.
-  Alimentación por corriente alterna/Alimentación por baterías.
-  Maletín de plástico para transportar.
-  Botella de acoplante (gel).
-  Manual de operación.

### **4.12.2 Procedimiento para el análisis de fisuras con ultrasonido industrial.**

#### **1. Configuración inicial del instrumentó (EPOCH XT).**

Se recomienda efectuar un procedimiento de verificación y de configuración de base antes de iniciar la calibración real.

#### **2. Calibración del EPOCH XT.**

Antes de iniciar el análisis de fisuras por ultrasonido es necesario llevar a cabo la calibración del instrumento con el bloque de calibración, esto dependerá de qué tipo de palpador se utilizara para el análisis, si será con un palpador dual o con un palpador angular.

#### **3. Ajustes previos al análisis de fisuras con el EPOCH XT.**


Una vez identificado el equipo y material, se debe llevar a cabo el ajuste previo al equipo ultrasónico **EPOCH XT**, para realizar el análisis de fisuras, se tomaran las siguientes consideraciones; si se desconoce la velocidad del material véase el **Figura No. 4.1** y modifique la velocidad pulse [**VEL**], defina la distancia de la flecha y ajuste el valor con las teclas de función del rango pulse [**RANGE**], el jefe en turno deberá tomar consideraciones para modificar la ganancia pulse [**GAIN**].

- ✚ Si usted utiliza un palpador angular, siga las recomendaciones en 3 y ajuste el ángulo del palpador pulse [**ANGLE**].



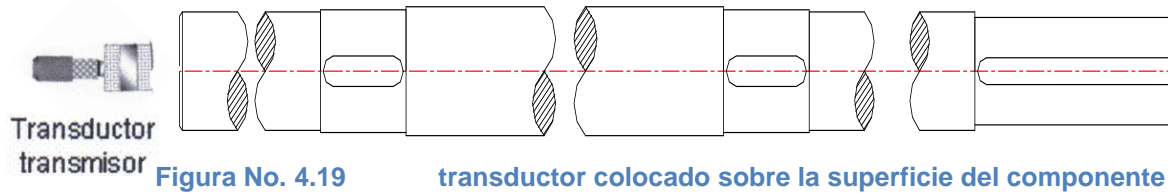
#### 4. Preparación y limpieza.

El método de inspección por ultrasonido para detectar fisuras requiere de una superficie limpia para colocar el palpador y así tomar un buen análisis de fisuras, por lo que, cualquier contaminante (recubrimientos, manchas, suciedad, etc.) sobre la superficie de la pieza que será inspeccionada puede afectar el procedimiento, por eso es necesario que la superficie con la cual hará contacto el palpador esté limpia de todo contaminante, para ello, si la superficie contiene oxido o residuos de metales, será necesario utilizar métodos de limpieza, como lo son:

- I. Disco flexible tipo lija para pulidora.
  - II. Limpieza con cepillo de alambre tipo copa (carda).
  - III. Cepillo de alambre y/o lija.
-  Contacto y acoplamiento con transductor (**PALPADOR DUAL O PALPADOR ANGULAR**).

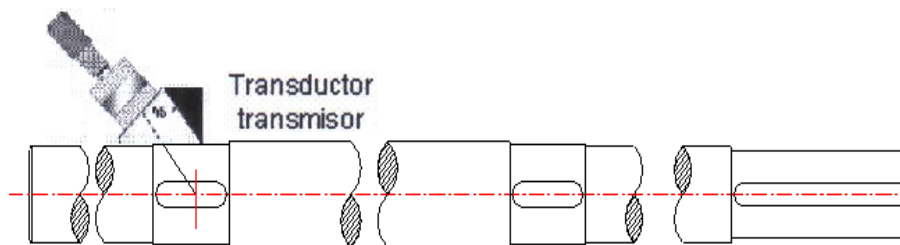
Después de completar el proceso de configuración inicial y calibración del **Detector de defectos por ultrasonidos EPOCH XT**, se debe limpiar la superficie con un trapo o paño limpio y seco, para realizar una inspección por ultrasonido en forma satisfactoria es necesario que exista la transmisión de las ondas ultrasónicas desde el transductor a la pieza, para lograrlo se recurre al uso de acoplante (gel), se debe seguir el procedimiento a continuación para el contacto del transductor con la pieza:

- I. Aplique un poco de acoplante (gel) sobre la superficie de contacto del transductor (**PALPADOR DUAL**) o sobre la superficie de la cara del componente que será inspeccionado siga ejemplo (Figura 4.19).



**Figura No. 4.19** transductor colocado sobre la superficie del componente

- II. Si usted utiliza un **PALPADOR ANGULAR** aplique un poco de acoplante (gel) sobre la superficie del palpador posteriormente coloque la zapata (45°, 60° y 70°), después coloque acoplante en la superficie de la zapata o sobre la superficie del componente que será inspeccionado siga ejemplo con palpador a 45° (Figura 4.20).



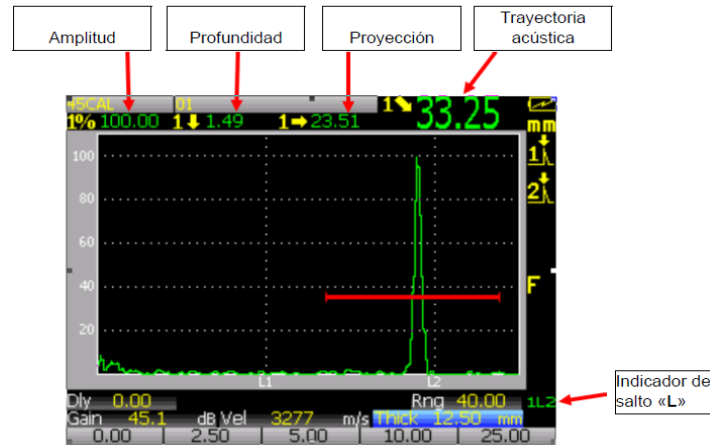
**Figura No. 4.20** ejemplo de transductor colocado a un ángulo.

- ✚ Acople el transductor sobre la superficie del componente que será inspeccionado. El transductor debe sujetarse firmemente, del cuerpo del propio transductor, y debe acoplarse de tal forma que se presione en forma moderada contra la superficie del componente inspeccionado.

6. Inspección.

Durante la inspección con **PALPADOR DUAL** o **ANGULAR**, la pantalla mostrara datos como amplitud, profundidad, proyección y trayectoria acústica (Figura 4.21). Datos que el analizador debe tomar en cuenta para la lectura de la gráfica, el analizador debe mover el puerto [GATE] para colocarlo en los picos que la gráfica mostrara y poder ver la longitud del eco obtenido correspondiente a la rpp (respuesta a la pared posterior) y así decidir mediante la inspección de la gráfica si el elemento esta fisurado, el encargado del área de

donde se inspecciono el componente deberá tener conocimiento de todos los resultados del análisis de fisuras.



**Figura No. 4.21** datos mostrados en pantalla.

7. Registro de indicaciones.

El registro deberá ser documentado bajo el siguiente formato el cual será firmado por el **jefe en turno** que realizo la inspección, **superintendencia de mantenimiento**, y la superintendencia del área en el cual se encuentra la máquina.

7.1. Formato de reportes.

INGENIO PUJILICO.		LONGITUD DE FLECHA: 200 PULG.		AREA:		MOLINOS			
INGENIERIA DE MANTENIMIENTO		FLECHA N.: 35		INSPECCION 100%:		ESTADO: OK <input type="checkbox"/> ALERTA <input checked="" type="checkbox"/>			
TIPO DE ANALISIS:		LIQUIDOS PENETRANTES METODOS: EPOXY		SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
<b>POSICION</b>		<b>ULTRASONIDO Y CONDICIONES GENERALES</b>				<b>DICTAMEN</b>			
SI CABRO (ASIENTO DEL COPLER)		<p>SE REALIZO INSPECCION DE FISURAS CON EQUIPO DE ULTRASONIDO UTILIZANDO TRANSDUCTOR DE HAZ RECTO DE 5 MHZ, CON VELOCIDAD DE 232 IN/US Y CON SENSIBILIDAD DE 42 DECIBLES, HABIENDOSE ENCONTRADO INDICACION DE FISURAS EN LAS CUATRO ESQUINAS DEL CUADRADO DE LADO TRANSMISION A UNA LONGITUD DE 16.3, 8.7 Y 11.3 PULGADAS, CON DIAMETROS ENTRE 2.5 Y 3 PULG. (COMO SE MUESTRA EN EL DIBUJO) Y DE LADO LIBRE SE OBSERVA UN ECO DE POSIBLE FUNDICION INAPROPIADA, SOLO SE CHECO EN ALGUNOS PUNTOS DE LADO LIBRE POR PRESENTAR RUGOSIDAD.</p>				LIQUIDOS PENETRANTES			
SI ASIENTO DE LA CORONA						PUNTO		LI: LADO MOTRIZ	
SI HUBO (EXTREMO MOTRIZ)						1		LL: LADO LIBRE	
SI ASIENTO DE LA CAMISA						2		SIN FISURA APARENTE	
SI HUBO (EXTREMO EXTERIOR)						3		SIN FISURA APARENTE	
SI ESPIGA		4		SIN FISURA APARENTE					
		<p>SE REALIZO ANALISIS DE FISURAS CON LIQUIDO PENETRANTE NO SE OBSERVA FISURA EXTERNA COMO SE MUESTRA EN LA FOTOGRAFIA.</p>							
<p>INTENDENTE DE TURNO DE MANTENIMIENTO  <b>ING. DANIEL DOMÍNGUEZ DIAZ</b>          BOMBE Y FIRMA</p>		<p>SE ECO CORRESPONDIENTE A FISURA DE LA FLECHA A 113 PULG.</p>				<p>SUPERINTENDENTE DE MAQUINARIA Y EQUIPO.  <b>ING. DAVID ABRIL LOPEZ</b>          BOMBE Y FIRMA</p>			
<p>INTENDENTE DE TURNO DE MANTENIMIENTO  <b>ING. NICOLAS RAMIREZ ARRIETA</b>          BOMBE Y FIRMA</p>						<p>SUPERINTENDENTE DE MANTENIMIENTO  <b>ING. NICOLAS RAMIREZ ARRIETA</b>          BOMBE Y FIRMA</p>			

Figura No. 4.22 formato de reporte.

### 4.13. Aplicación del ultrasonido industrial para la detección de fisuras en rodillo transmisión banda rápida, flecha No. 01-07, flecha No. 02-07, conductor donelly No.1, conductor donelly no.2, flecha de elevador de azúcar seca.

#### 4.13.1. Rodillo transmisión de la banda rápida.



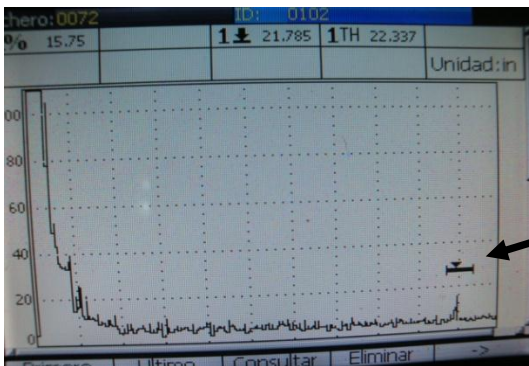
Figura No. 4.23 rodillo de transmisión de la banda rápida

LONGITUD DE ESPIGA: LL: 20.3 LT: 22.3 PULG



SE REALIZO ANALISIS DE FISURAS CON LIQUIDOS PENETRANTES NO SE OBSERVA FISURA EXTERNA COMO SE MUESTRA EN LA FOTOGRAFIA.

Figura No. 4.24 vista de lado 1

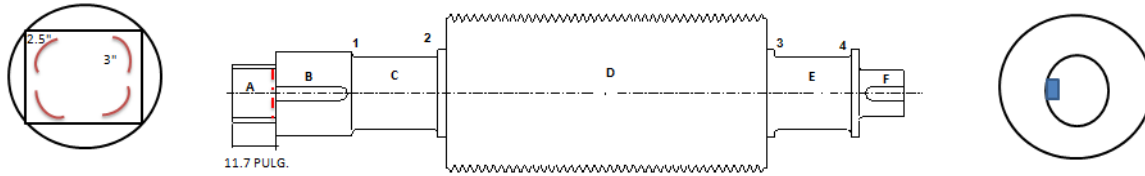


ECO CORRESPONDIENTE A RPP ( RESPUESTA A LA PARED POSTERIOR ).

Figura No. 4.25 eco correspondiente a la RPP.

**Observaciones:** Se inspecciono espigas en toda su longitud, utilizando transductor de haz recto con 90 decibeles y velocidad de penetración de .232 in/us, no se encontraron indicios de posibles indicaciones.

**4.13.2. Flecha No. 01-07.**



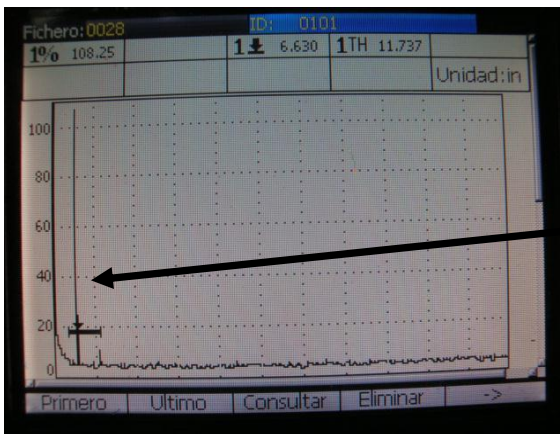
**Figura No. 4.26 flecha 01-07**

**LONGITUD DE FLECHA: 210 PULG.**



**SE REALIZO ANALISIS DE FISURAS CON LIQUIDOS PENETRANTES NO SE OBSERVA FISURA EXTERNA COMO SE MUESTRA EN LA FOTOGRAFIA.**

**Figura No. 4.27 prueba de líquido penetrante en el eje**



**ECO CORRESPONDIENTE A FISURA DE LA FLECHA A 11.7 PULG.**

**Figura No. 4.28 eco correspondiente a la RPP.**

**Observaciones:** Se inspecciono en toda su longitud, utilizando transductor de haz recto con 84 decibeles, habiendose encontrado fisura a una long. de 11.7 pulg. en casi todo el cuadrado de acoplamiento de la maza con una profundidad de 2.5 pulg. y las fisuras tienen un diámetro de 2 a 3 pulg.

### 4.13.3. Flecha No. 02-07.

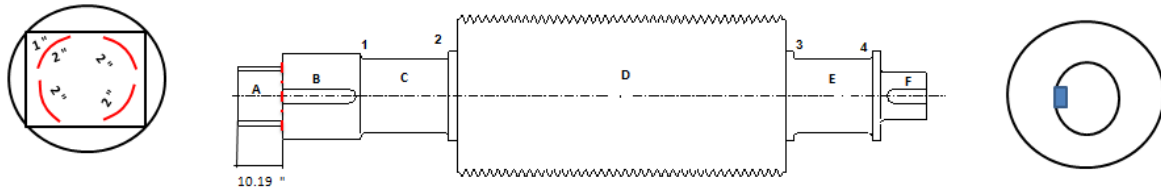
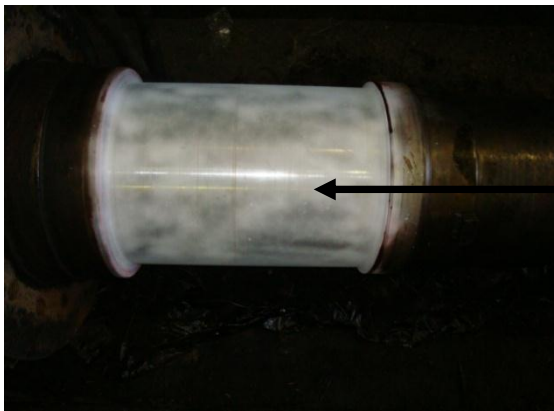


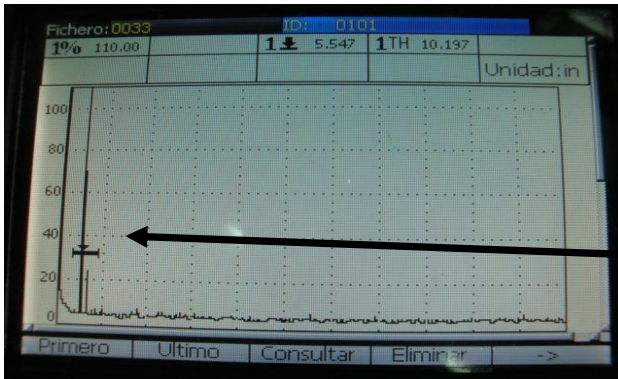
Figura No. 4.29 flecha 02-07

LONGITUD DE FLECHA: 200 PULG.



SE REALIZO ANALISIS DE FISURAS CON LIQUIDOS PENETRANTES NO SE OBSERVA FISURA EXTERNA COMO SE MUESTRA EN LA FOTOGRAFIA.

Figura No. 4.30 flecha 02-07 prueba de líquido penetrante



ECO CORRESPONDIENTE A FISURA DE LA FLECHA A 10.19 PULG.

Figura No. 4.31 eco correspondiente a la RPP.

**Observaciones:** Se inspeccionó en toda su longitud, utilizando transductor de haz recto de 5 MHz, con velocidad de .232 in/us y con 84 decibeles, habiéndose encontrado fisuras a una Long. De 10.19 pulg, en las cuatro esquinas del cuadrado de acoplamiento, con una longitud de 2 pulg, a una profundidad de 1 pulg. En casi todas las fisuras, como se muestra en la figura. Se checo ambas caras de la maza.

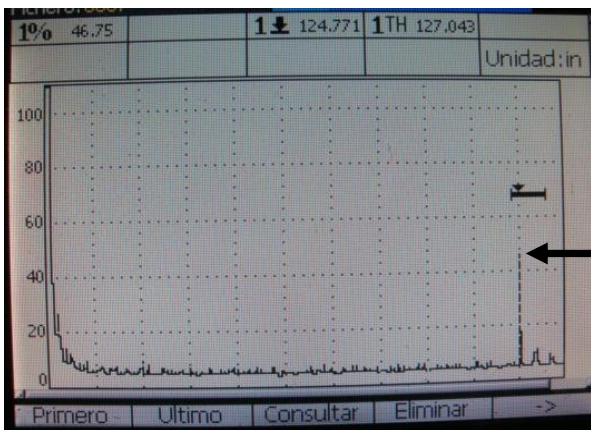
### 4.13.4. Conductor donelly No.1.



**Figura No. 4.32 donelly No. 1**  
**LONGITUD DE: 127 PULG.**



**Figura No. 4.33 donelly No. 1 con líquidos penetrantes.**



SE REALIZO ANALISIS DE FISURAS EN LA FLECHA CON LIQUIDOS PENETRANTES, NO SE ENCONTRO INDICIO DE FISURAS EXTERNAS.

ECO CORRESPONDIENTE A LA RPP. ( RESPUESTA A LA PARED POSTERIOR ).

**Figura No. 4.34 eco correspondiente a la RPP.**

**Observaciones:** Flecha inspeccionada en toda su longitud, por ambos lados con equipo de ultrasonido, utilizando transductor de haz recto de 5 MHz, con velocidad de penetración del material de .232 in/us y sensibilidad de 90 decibeles. Se observa eco correspondiente a la rpp (respuesta a la pared posterior), por lo tanto no se observó indicio de fisuras.



### 4.13.5. Conductor donelly No.2.

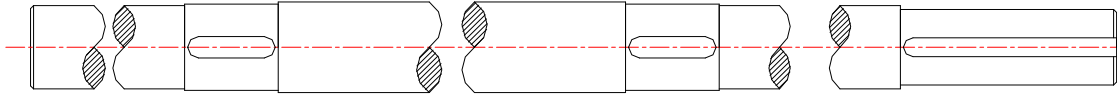
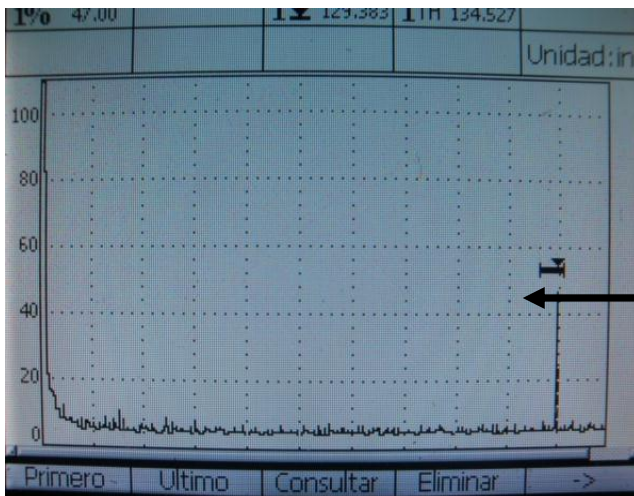


Figura No. 4.35 Donelly No. 2

LONGITUD DE: 135 PULG.



Figura No. 4.36 donelly No. 2 con líquidos penetrantes.



SE REALIZO ANALISIS DE FISURAS EN LA FLECHA CON LIQUIDOS PENETRANTES, NO SE ENCONTRO INDICIO DE FISURAS EXTERNAS.

ECO CORRESPONDIENTE A LA RPP. ( RESPUESTA A LA PARED POSTERIOR ).

Figura No. 4.37 eco correspondiente a la RPP

**Observaciones:** Flecha inspeccionada en toda su longitud, por ambos lados con equipo de ultrasonido, utilizando transductor de haz recto de 5 MHz, con velocidad de penetración del material de .232 in/us y sensibilidad de 90 decibeles. Se observa eco correspondiente a la rpp (respuesta a la pared posterior), por lo tanto no se observó indicio de fisuras.

### 4.13.6. Flecha de elevador de azúcar seca.

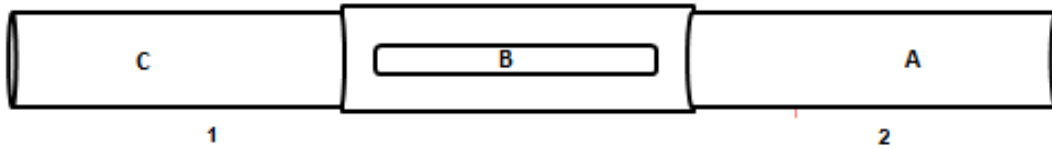
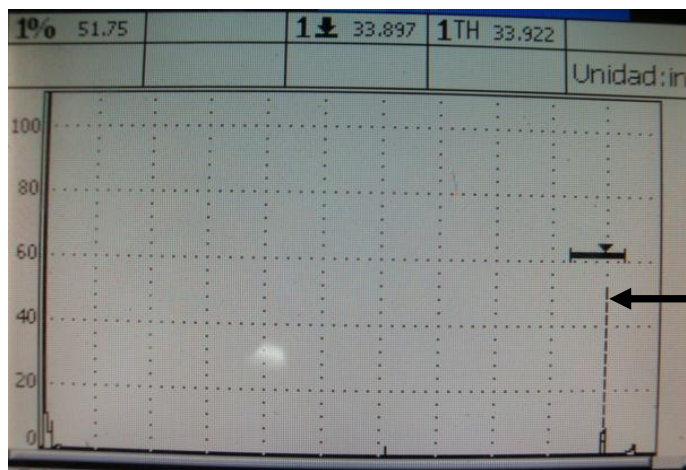


Figura No. 4.38 flecha de elevador de azúcar

LONGITUD DE: 34 PULG.



ECO CORRESPONDIENTE A LA RPP. ( RESPUESTA A LA PARED POSTERIOR ).

Figura No. 4.39 eco correspondiente a RPP

**Observaciones:** Flecha inspeccionada en toda su longitud por ambos lados de la flecha, con equipo de ultrasonido, utilizando transductor de haz recto de 5 MHz, con velocidad de penetración del material de .232 in/us y sensibilidad de 90 decibeles. Se observa eco correspondiente a la rpp (respuesta a la pared posterior), por lo tanto no se observó indicio de posible fisura interna.

#### **4.14. Conclusiones obtenidas a partir del análisis de fisuras y medición de espesores con ultrasonido industrial.**

El uso de ultrasonido industrial en CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V. es de gran importancia ya que como podemos observar detecta en el caso de la medición de espesores, las áreas en las que hay mayor desgaste, al detectar estas áreas se pueden corregir antes de que se presente la ruptura.


En el caso de los tachos y en las líneas de condensados de tachos, son recipientes y líneas de vapor que manejan altas presiones de vapor, por lo tanto presentan altos desgastes y con la ayuda de él ultrasonido industrial se puede hacer una detección temprana previniendo la ruptura de estos recipientes.

Al detectarse un desgaste considerable se procede a tomar una muestra del objeto señalado en el área señalada para corroborar la medición a fin de que no se presente ninguna duda del desgaste, una vez corroborado el desgaste se procede a la reparación ya sea sustituyendo por completo la pieza o reforzando el área desgastada.

Por otro lado, el ultrasonido industrial nos ayuda a la detección temprana de fisuras internas, ya que estas no son visibles para el hombre, este análisis se realiza a piezas sometidas a esfuerzo angular debido a que son elementos destinados a transmitir el movimiento de rotación en el equipo.

La detección de fisuras internas es de suma importancia ya que de esta depende del cambio del componente analizado dependiendo del estado de la pieza, se analiza si la pieza se puede reparar o si continua operando, para complementar el dictamen del analista se combina el ultrasonido industrial con los líquidos penetrantes.

El ultrasonido industrial juega un papel importante dentro del plan de mantenimiento ya que garantiza la continuidad operativa del ingenio de Pujiltic, haciendo que esta sea constante, evitando los paros repentinos que afectan directamente la producción de azúcar así como el daño a la infraestructura del ingenio azucarero de Pujiltic y en el peor de los casos pudiera ocasionar un accidente laboral de gran impacto.



**CAPITULO V:  
ANÁLISIS DE  
VIBRACIONES  
MECÁNICAS**

## 5.1 unidades de vibración.

Las unidades básicas utilizadas en este libro para describir las fuerzas de vibración y su movimiento son:

**TABLA 5.1 Unidades básicas de vibración.**

Parametro		Sistema internacional	Sistema imperial ingles
Amplitud de vibracion	desplazamiento	micrometro pico a pico ( $\mu\text{m P-P}$ )	milesimas de pulgada pico a pico (mils P-P)
	velocidad	milímetros/segundo cero a pico rms (mm/s 0-P o rms)	pulgadas por segundo cero a pico o rms (ips 0-P o rms)
	aceleracion	metros/segundos al cuadrado cero a pico (m/s <sup>2</sup> 0-P)	g's pico a rms (1 g= 386.1 in/s <sup>2</sup> )
	masa	kilogramos (kg)	libras masa (lbm)
	fuerza	newtons (N)	libras fuerza (lbf)
	frecuencia	ciclos por minuto (cpm) ciclos por segundo o Hertz (cps o Hz) radianes por segundo (rad/s)	ciclos por minutos (cpm) ciclos por segundo o Hertz (cps o Hz) radianes por segundo (rad/s)
	fase o desplazamiento angular	grados o radianes (° o rad)	grados o radianes (° o rad)
	velocidad de rotacion	revoluciones por minuto (rpm)	revoluciones por minuto (rpm)

Equivalencias:

$$1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ g} = 386.1 \text{ in/s}^2 = 32.2 \text{ ft/s}^2 = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ mil} = 0.001 \text{ in} = 25.4 \mu\text{m}$$

$$\text{Ips} = \text{inches per second} = \text{in/s (pulgadas/segundo)}$$

$$\text{Rms} = \text{root mean square (valor cuadrático medio)}$$

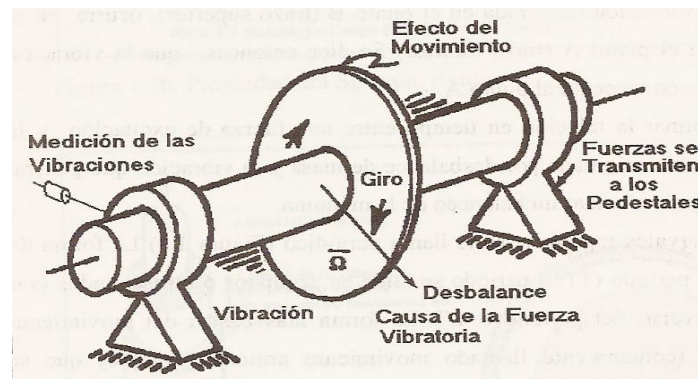
Una revolución del eje o un período de vibración es igual a  $360^\circ$

$$1 \text{ radián} = 180^\circ / \pi = 57.2957^\circ \approx 57.3^\circ$$

## 5.2. Naturaleza física de las vibraciones.

Las máquinas y estructuras vibran en respuesta a una o más fuerzas pulsantes comúnmente llamadas fuerzas de excitación. Como ejemplo, podemos mencionar el desbalance de masa o las fuerzas originadas por desalineamiento. El proceso es de causa y efecto (Figura 5.1). La magnitud de la vibración no depende solamente de la fuerza sino también de las propiedades del sistema, ambas pueden depender de la velocidad de la máquina. Las propiedades del sistema son: masa, rigidez y amortiguamiento.

La masa, es el peso dividido entre la constante gravitacional (ver figura 5.2 a). La rigidez depende de la elasticidad de los materiales del sistema y se expresa como el cociente de la fuerza por unidad de deflexión (N/m, lbf/in). La rigidez se determina aplicando una fuerza (en N o lbf) a una estructura mientras se mide su deflexión (ver figura 5.2b). El amortiguamiento, es la medida de la habilidad de un sistema para disipar energía vibratoria. El amortiguamiento es proporcional ya sea al desplazamiento, en caso de estructuras, o a la velocidad, en caso de amortiguadores tales como los empleados por los automóviles y cojinetes de película de aceite o cojinetes hidrodinámicos (ver figura 5.2c).



**Figura 5.1 Naturaleza de la vibración de una máquina, Causa y Efecto.**

La causa de la vibración es usualmente gobernada por varios factores tales como: la operación para la cual la máquina ha sido diseñada en un proceso; tolerancias de manufactura e instalación y defectos de los componentes de la máquina debidas a manufactura y a desgaste. Las vibraciones pueden ser utilizadas para identificar defectos que se originan por diseños defectuosos, fallas de instalación y desgaste.

### 5.3. Movimiento Vibratorio.

Existen tres características fundamentales de la vibración son: frecuencia, amplitud y fase.

La frecuencia se define por el número de ciclos o eventos por unidad de tiempo. Se expresa en ciclos por segundo o Hertz (cps o Hz), en ciclos por minuto (cmp), u órdenes de la velocidad de operación si la vibración es inducida por una fuerza a la velocidad de giro. La velocidad de operación de una máquina, así como sus velocidades críticas, se expresa en revoluciones por minuto (rpm).

El período (T) se obtiene de la forma de onda (amplitud vs tiempo, figura 5.3) y es el recíproco de la frecuencia ( $T = 1/f$ ). El período se define como el tiempo requerido para contemplar un ciclo de vibración.

La amplitud (A) es el valor máximo de la vibración en una cierta localidad de la máquina.

La fase es la diferencia angular medida en grados o radianes entre vibraciones de la misma frecuencia (figura 5.4). Esta diferencia angular también puede medirse en unidades de tiempo. En la figura 5.4 se observa que el pico de la vibración registrada en el punto B (trazo superior), ocurre en el tiempo, antes que el pico registrado en el punto A (trazo inferior). Se dice entonces, que la vibración registrada en el punto B está adelantada con respecto al punto A.

La fase puede usarse para determinar la relación en tiempo entre una fuerza de excitación y la vibración que causa; por ejemplo, la fuerza originada por desbalance de masa y la vibración que genera.

Esta relación angular puede emplearse para efectuar un balanceo de la máquina.

Al movimiento que se repite a intervalos regulares, se le llama periódico (Figura 5.3). La forma de onda senoidal de la figura 5.3 tiene un período (T). El período se mide en segundos o milisegundos (s o ms)<sup>1</sup>. La frecuencia (f) es igual al inverso del período o  $1/T$ . La forma es más básica del movimiento periódico es el movimiento senoidal (comúnmente llamado movimiento armónico simple) que se representa por una senoide (Figura 5.3).

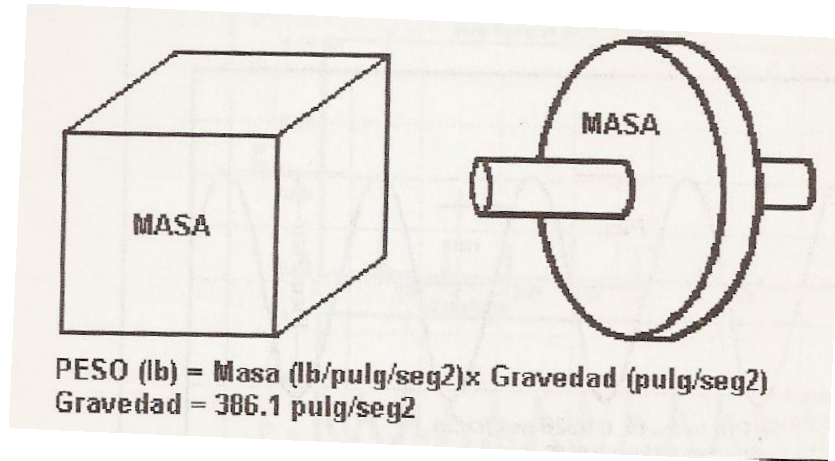


Figura 5.2 a Propiedad del Sistema: masa.

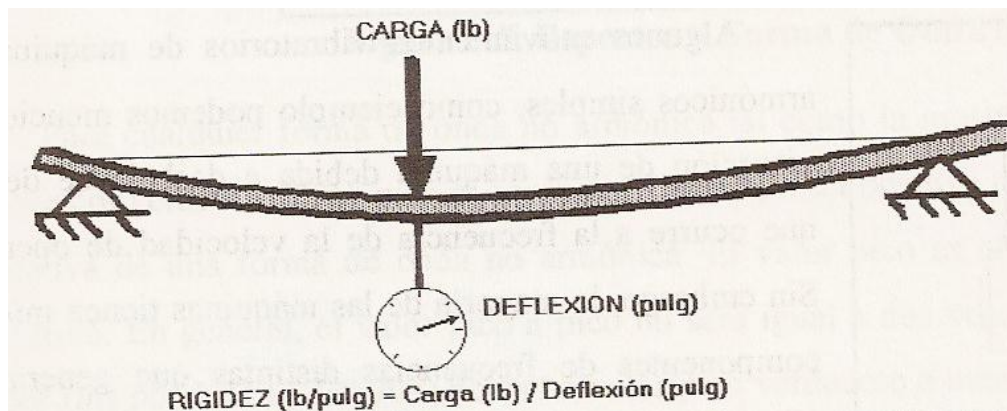


Figura 5.2 b Propiedad del Sistema: rigidez.

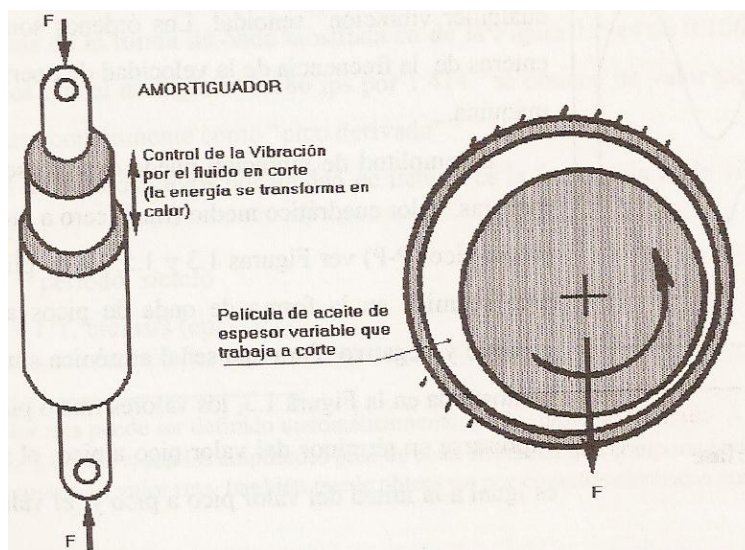
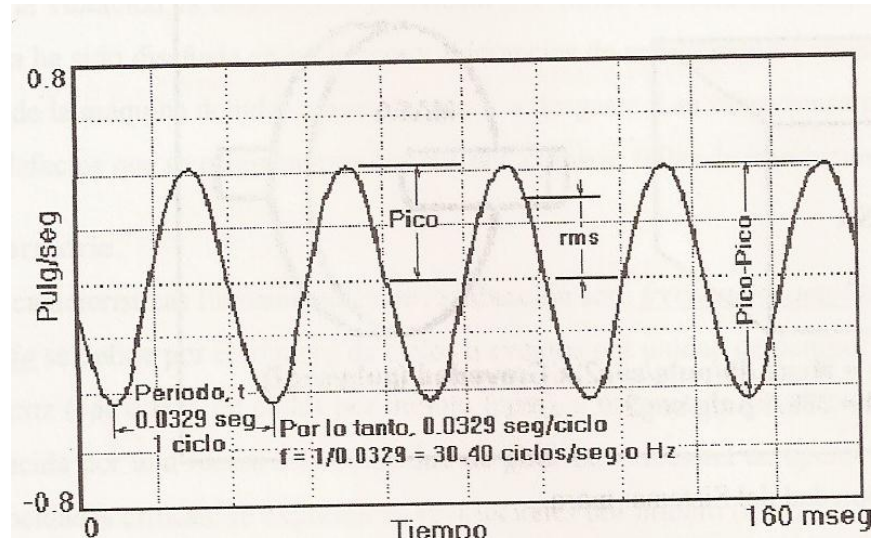
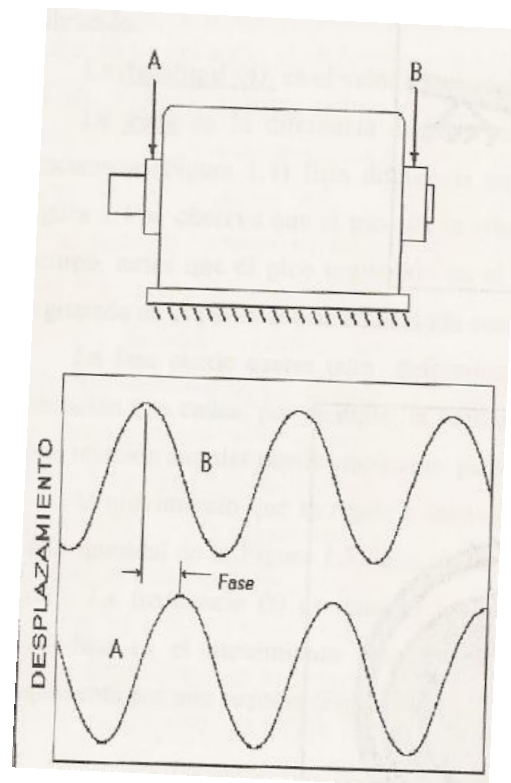


Figura 5.2 c Propiedad del Sistema: Amortiguamiento





**Figura 5.3 Vibración Armónica de un Rotor.**



**Figura 5.4. Medición del ángulo de fase.**

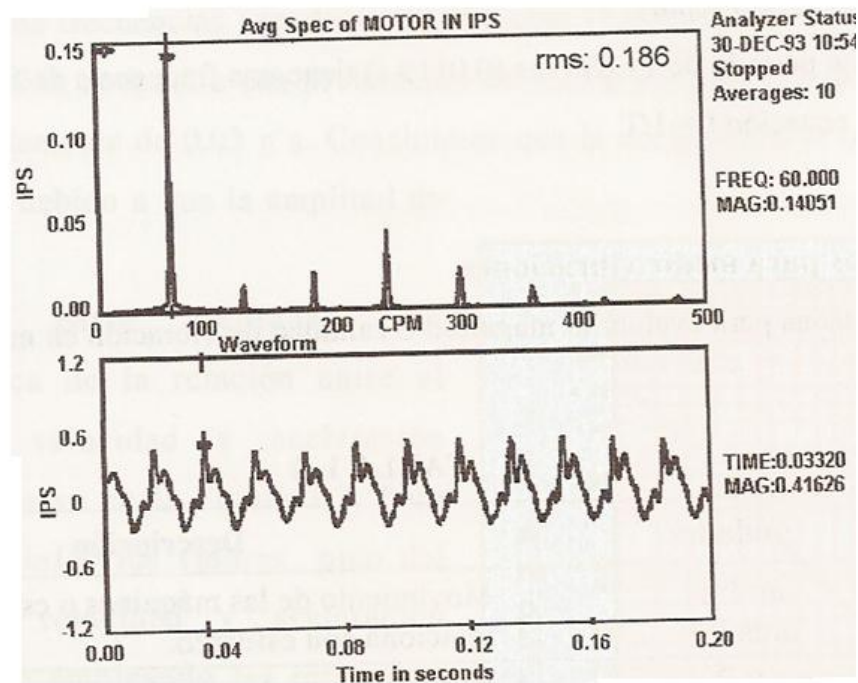
Algunos movimientos vibratorios de máquinas son armónicos simples, como ejemplo podemos mencionar la vibración de una máquina debida a desbalance de masa que ocurre a la frecuencia de la velocidad de operación.

Sin embargo, la mayoría de las máquinas tiene múltiples componentes de frecuencias distintas que genera una vibración no armónica aunque si periódica, tal como la mostrada en la figura 5.5

Los armónicos son múltiplos enteros (1, 2, 3,4...) de cualquier vibración senoidal. Los órdenes son múltiplos enteros de la frecuencia de la velocidad de operación de la máquina.

La amplitud de vibración puede expresarse de varias maneras: valor cuadrático medio (rms), cero a pico (0-P) y pico a pico (P-P) ver figura 5.3 y 5.5. La amplitud pico a pico se mide en la forma de onda de picos adyacentes positivo y negativo. Para una señal armónica simple como la mostrada en la figura 5.3, los valores rms o pico pueden expresarse en términos del valor pico a pico; el valor pico es igual a la mitad del valor pico a pico y, el valor rms es igual a 0.707 el valor pico.

Figura 1.4 Medición del ángulo de fase.



**Figura 5.5 Espectro y Forma de Onda de un Motor.**

Para cualquier forma de onda no armónica tal como la mostrada en la figura 5.5, el valor rms no puede convertirse a valor pico ni viceversa. La amplitud positiva normalmente no es igual a la amplitud negativa de una forma de onda no armónica. El valor pico es el valor más grande, ya sea positivo o negativo. En general, el valor pico a pico no será igual a

dos veces el valor pico. La multiplicación del valor rms por 1.414 ( $1/\sqrt{0.707}$ ) no es un valor pico verdadero a menos que la vibración sea armónica, esto es, que la vibración sea una sola frecuencia. Muchos instrumentos despliegan el valor pico como 1.414 veces el valor rms. Esto no es un valor pico verdadero y a menos que la forma de onda sea senoidal.

Notemos que el valor rms se relaciona con la energía de la vibración<sup>1</sup>, en una máquina. Por ejemplo, el valor más de la forma de onda mostrada en la figura 5.5 es de 0.186 ips y el valor pico es 0.416 ips.

Notemos que al multiplicar 0.186 ips por 1.414 se obtiene un valor pico igual a de 0.263 ips. Este pico se conoce comúnmente como “pico derivado”.

El número de ciclos por unidad de tiempo es la frecuencia de la vibración y es igual al inverso del período.

$T = \text{período, s/ciclo.}$

$f = 1/T, \text{ ciclos/s (cps).}$

$N = 60 \times f, \text{ ciclos /minuto (cpm)}$

La vibración con un período de 11.899 ms (0.0119 s) tiene una frecuencia de 84.04 Hz o 5,042 cpm de acuerdo a la simple ecuación  $f = 1/T$ .

## 5.4. Parámetros empleados para medir vibraciones.

Las medidas empleadas para evaluar la magnitud o cantidad de vibración en maquinaria se muestran la Tabla 5.2.

**TABLA 5.2 medidas para evaluar la cantidad de vibraciones.**

Medida	Unidades	Descripción
Desplazamiento	um P-P mils P-P	Movimiento de las máquinas o estructuras, se relaciona con esfuerzo.
Velocidad	mm/s 0-P o rms; ips-0-P o rms	Rapidez de cambio de desplazamiento, se relaciona con fatiga.
Aceleración	m/s <sup>2</sup> 0P o rms; g's 0-P o rms	Está relacionado con las fuerzas presentes en las componentes de las máquinas.

### 5.4.1 Desplazamiento.

Es la medida dominante a bajas frecuencias y se relaciona con el esfuerzo en miembros estructurales flexibles. Se expresa en um P-P debido a que, generalmente, los desplazamientos de las máquinas no armónicos y los picos positivos tienen magnitud distinta a los picos negativos. El desplazamiento se usa para medir vibraciones de baja frecuencia (inferior a 1200 cpm o 20 Hz) sobre las cubiertas de los cojinetes y en estructuras. El desplazamiento también se emplea comúnmente para medir el desplazamiento relativo de un eje y de su cojinete o entre la carcasa de la máquina y el eje. En este caso, se usa la frecuencia de velocidad de operación y a órdenes de ésta El desplazamiento para una velocidad de 0.2 ips a 600 cpm (10 Hz) es igual a 6.4 mils P-P, mientras que para 60,000 cpm (1,000 Hz) es igual a 0.064 mils P-P. Es por lo tanto difícil

medir el desplazamiento a altas frecuencias debido a las bajas amplitudes de la vibración en relación con el "ruido" de la señal.

#### **5.4.2. Velocidad.**

Es la rapidez del cambio del desplazamiento con respecto al tiempo. Depende tanto del desplazamiento como de la frecuencia y está relacionada con la fatiga del material. Mientras más alto sea el desplazamiento y/o la frecuencia de la vibración, mayor es la severidad de vibración de una máquina en determinada localidad. La velocidad se emplea para evaluar la condición de las máquinas en un rango de frecuencia de 600 a 60,000 cpm (10 a 1000 Hz).

#### **5.4.3. Aceleración.**

Es la medida dominante a altas frecuencias es proporcional a la fuerza sobre una componente de una máquina, tal como un engrane y es empleada para evaluar la condición de la máquina cuando las frecuencias exceden a 60,000 cpm (1,000 Hz).

### **5.5. Diagnóstico de fallas.**

Las frecuencias medidas en las tapas de los cojinetes y ejes de una máquina se emplean para realizar un diagnóstico de falla. Estas vibraciones están causadas (excitadas) por fuerzas vibratorias (excitaciones). En general, la frecuencia de la vibración medida es la misma que la de la fuerza que causa la vibración. Las fuerzas se originan por el desgaste de la máquina, fallas en la instalación y diseño. A veces, las fuerzas impulsivas excitan frecuencias naturales, las cuales son propiedades del sistema y típicamente no cambian con la velocidad de operación. Sin embargo, en máquinas con cojinetes de película de aceite, las frecuencias naturales pueden alternarse por la velocidad de operación.

La facilidad con la que una falla puede ser identificada de datos de prueba de buena calidad es directamente proporcional a la información disponible sobre el diseño de la máquina y los mecanismos que el hacen funcionar, especialmente cuando las mismas frecuencias se emplean para identificar diferentes fallas, por ejemplo, desbalance de masa, flojedad y desalineamiento.

La velocidad de operación de la máquina es la frecuencia de referencia para las técnicas de diagnósticos. Otras frecuencias están ya sea relacionadas con la velocidad de

operación o bien no están relacionadas. Un múltiplo de la velocidad de operación (orden) implica que la vibración se manifiesta como resultado de la operación de la máquina. Otras frecuencias, como las obtenidas de las fallas de rodamientos de elementos rodantes, no son órdenes de la velocidad de operación y están relacionadas asincrónicamente. Este es, son una fracción de la velocidad de operación.

## 5.6 Técnicas de diagnóstico de fallas.

Las técnicas básicas (Tabla 5.3.) usadas para efectuar un diagnóstico de falla utilizan la forma de onda, órbitas, espectros y ángulo de fase. Las frecuencias que se adquieren a partir de sensores de desplazamiento que observan el eje y los transductores que se montan sobre la carcasa, se relacionan a frecuencias conocidas de la máquina. La forma y frecuencias de la forma de onda órbitas, proveen una visión de las características físicas del movimiento del eje y la carcasa. El ángulo de fase muestra la relación entre las vibraciones medidas en varias localidades o puntos de la máquina: a esto se llama fase relativa. La fase también provee información acerca de la relación en tiempo entre la vibración de una localidad de la máquina y una referencia fija al eje o a la carcasa: a esto se le denomina fase absoluta. El espectro es un diagrama de amplitud contra de frecuencia de actividad vibratoria en una localidad específica de la máquina.

**Tabla 5.3. Técnicas de Diagnóstico para Maquinaria Rotatoria.**

Técnica	Uso	Descripción	Instrumentos
Análisis de forma de onda	Modulación, pulsos, fase, señales truncadas, pulsos espurios.	Amplitud vs tiempo	Osciloscopio analógico y digital Analizador FFT
Análisis de órbita	Movimiento del eje, rotación subsíncrona (remolino de aceite)	Desplazamiento relativo de cojinetes del rotor en dirección XY	Filtro de vectores digital, osciloscopio.
Análisis de fase	Relación entre fuerzas de excitación y movimiento, relación fasorial entre dos o más señales de vibración.	Tiempo relativo entre la fuerza y las señales de vibración o, entre dos o más señales de vibración.	Lámpara estroboscópica, filtro de vectores digital, osciloscopio analógico o digital, analizador FFT con capacidad de despliegue de parte real o imaginaria.
Análisis de espectros	Frecuencias de excitación, frecuencias naturales, bandas laterales, pulsaciones, subarmónicas, suma y resta de frecuencias.	Amplitud vs frecuencia.	Analizador FFT, colector electrónico de datos.

### 5.6.1. Desbalance de masa

El desbalance de masa ocurre cuando el centro geométrico (centro del eje) y el centro de masa de un rotor no coinciden. El desbalance es una falla que se manifiesta a una vez por revolución —es decir, ocurre a la frecuencia de la velocidad de giro del rotor (Figura 5.6). A veces es difícil distinguirlo del desalineamiento. Sin embargo, el desbalance causa una fuerza rotatoria; la fuerza de desalineamiento es direccional.

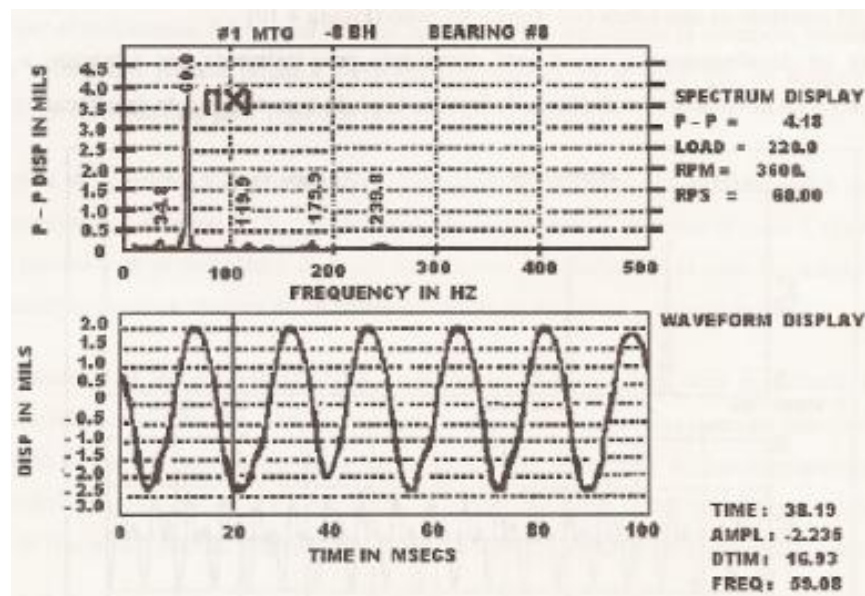


Figura 5.6. Desbalance de masa de un motor.

El desbalance de masa tiene un ángulo de fase fijo con respecto a una marca de referencia en el eje. El espectro contiene órdenes de frecuencia superior de baja amplitud. A diferencia de las condiciones normales cuando los movimientos son sinusoidales, el comportamiento no lineal de un cojinete o pedestal en la presencia de desbalance de masa excesivo, pueden ocasionar movimientos truncados que introducen vibraciones de orden mayor (por ejemplo, 2x, 3x) con amplitudes inferiores a la velocidad de operación. Debido al diseño de las máquinas, la vibración horizontal normalmente será mayor que la medida en dirección vertical. Otro factor que afecta la magnitud relativa de las componentes horizontales y verticales en la proximidad de la velocidad de operación, o uno de sus órdenes, a una frecuencia natural. La componente axial de la vibración es normalmente pequeña, sin embargo, una componente a la velocidad de operación como

resultado de desbalance de masa puede producir movimientos del pedestal en el cojinete axial, dependiendo del diseño de la máquina.

### 5.6.2. Desalineamiento

El desalineamiento es un rotor redundantemente soportado, esto es, un rotor con tres o más cojinetes radialmente cargados, causa una precarga rotatoria en los cojinetes, eje y en los coples externos a la frecuencia del eje. La magnitud de la vibración resultante, depende de la rigidez radial de los componentes (cojinetes, ejes, sellos, coples) en el sistema. El desalineamiento severo puede causar un comportamiento no lineal del cojinete, en una o dos direcciones, dependiendo de la asimetría en el cojinete, de la rigidez del pedestal y de la cimentación. El comportamiento no lineal causa formas de onda truncadas y/o componentes de segundo y más alto orden generados no linealmente (Figura 5.7). La amplitud de la componente de segundo orden en casos de desalineamiento severo, pueden exceder la de la primer orden. El resultado es una órbita con figura del ocho (Figura 5.6).

La órbita para un desalineamiento menor está compuesta principalmente por vibración a 1X. La vibración alta a 1X en la vibración axial (fuera de fase) es también un síntoma de desalineamiento.

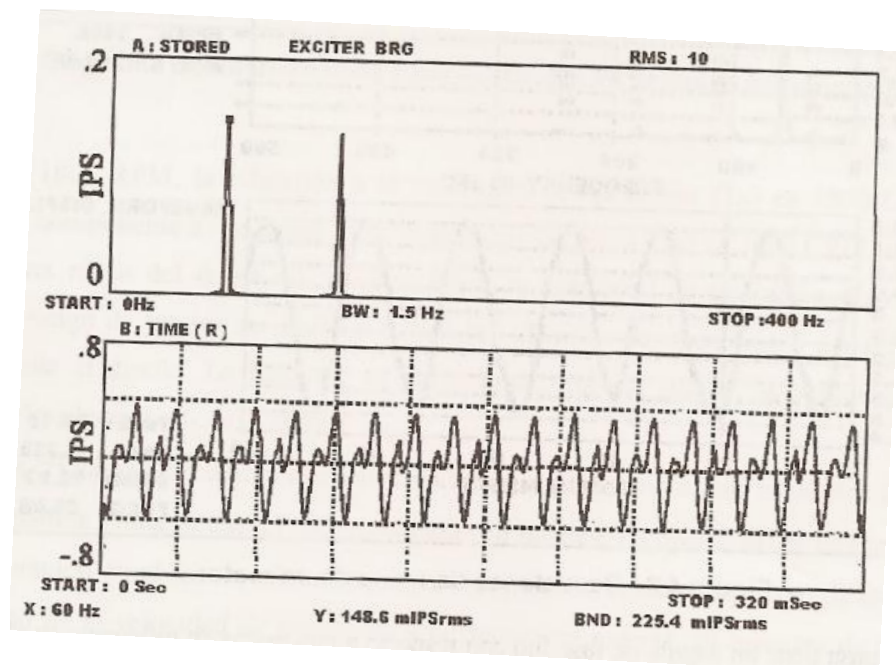


Figura 5.7 Desalineamiento de un excitar a un generador.



### **5.6.3. Desgaste de cojinetes y claro excesivo**

El desgaste o el claro excesivo con cojinetes pueden producir una componente de vibración a 1X con un ángulo de fase estable o inestable (Figura 5.9). A pesar de que los datos pueden indicar desbalance de masa, los intentos para balancear el rotor fracasarán. Los pesos de prueba causarán atípicos de un balanceo válido en magnitud y ángulo de fase.

### **5.6.4. Resonancia**

Las frecuencias naturales excitadas por fuerzas tales como desbalance de masa y sus órdenes amplifican la vibración. Este mecanismo se llama resonancia y ocurre en una estructura el grado de amplificación depende de las magnitudes de la fuerza y del amortiguamiento así como de la proximidad de la frecuencia de excitación a la frecuencia natural o la frecuencia excitadora (velocidad del eje) o la frecuencia natural (depende del diseño) debe ser cambiada para resolver el problema.

### **5.6.5. Flojedad**

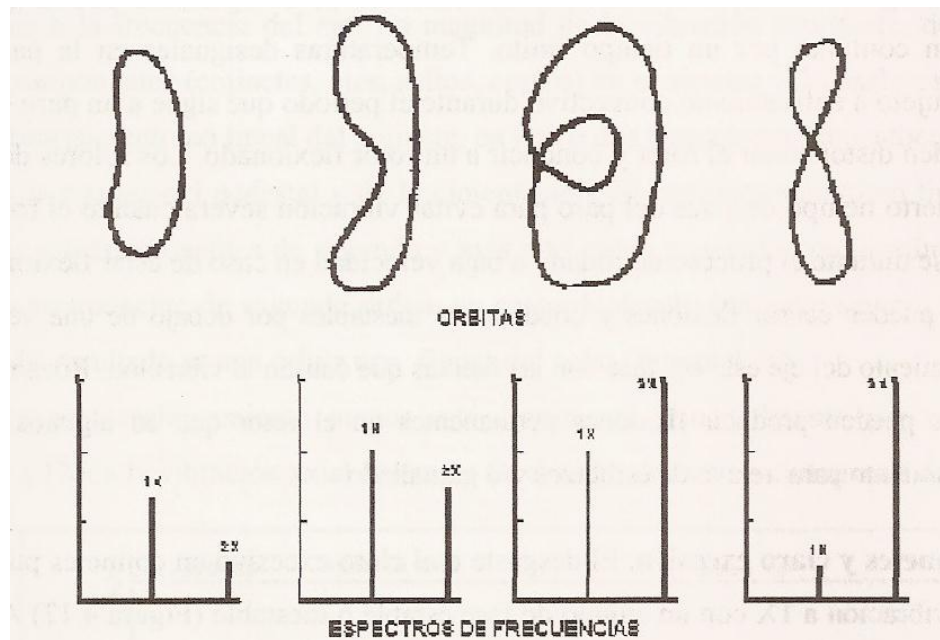
Los componentes mecánicos flojos causan impactos que pueden identificarse en los espectros como vibración a 1X más órdenes (Tabla 5.3). La forma en cómo se soporta una máquina puede causar vibración a  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{3}$  o  $\frac{1}{2}$  orden. Los órdenes cercanos a frecuencias naturales tienen la magnitud mayor porque las fuerzas se amplifican por la resonancia. La Figura 5.11 muestra a la vibración del soporte en un cojinete flojo de un pedestal de un ventilador.

### **5.6.6. Excentricidad**

La excentricidad de un componente rotatorio mecánico produce vibración a la velocidad de operación a pesar de que la unidad está balanceada (Figura 5.12). La excentricidad de poleas (bandas) y catarinas (cadenas) pueden causar variaciones cíclicas en tensión (estira-afloja) por cada revolución del eje. El desbalance de masa debe eliminarse como una causa, o al excentricidad debe medirse físicamente (indicador de carátula) para diagnosticar el problema correctamente.

### 5.6.7. Distorsión

La distorsión de la carcasa de una máquina puede causar precarga interna de los cojinetes. El resultado es una vibración a la velocidad de operación. La distorsión de cajas de engranes como resultado de pie suave causa vibración a la frecuencia de engranaje. La distorsión de carcasas de motor genera vibración a dos veces la frecuencia en línea.



**Figura 5.8 Desalineamiento y cople amarrado.**

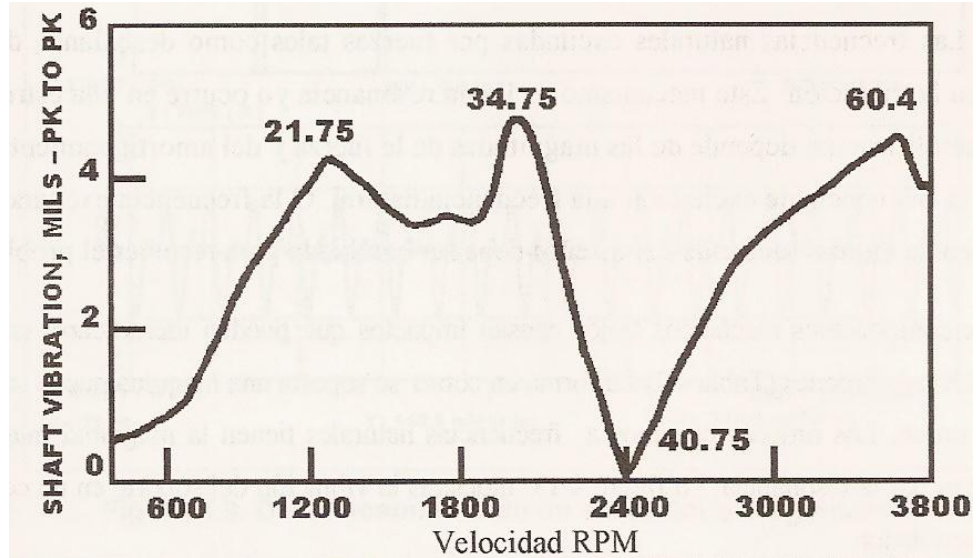


Figura 5.9 Eje flexionado de un turbina de 200 MW inducido por un descenso con falta de lubricación.

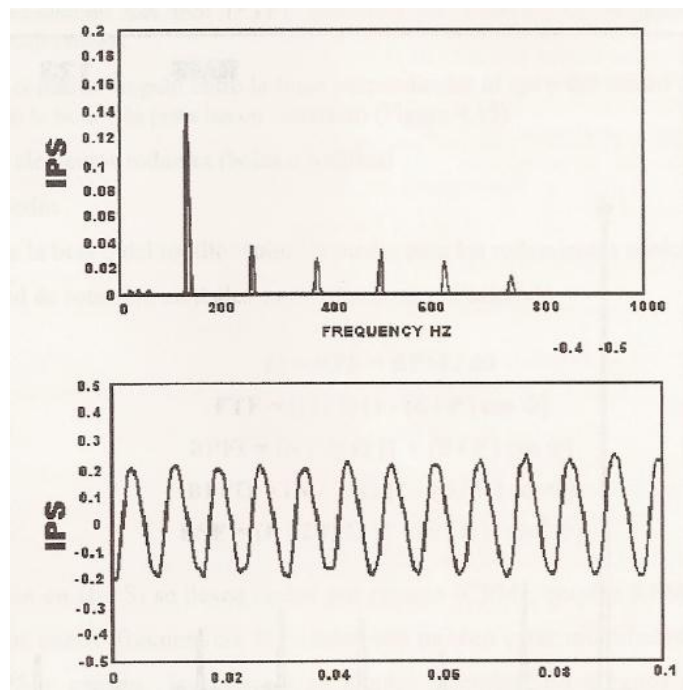


Figura 5.10 Claro excesivo en el cojinete lado gobernador de una turbina de vapor de 9 MW.

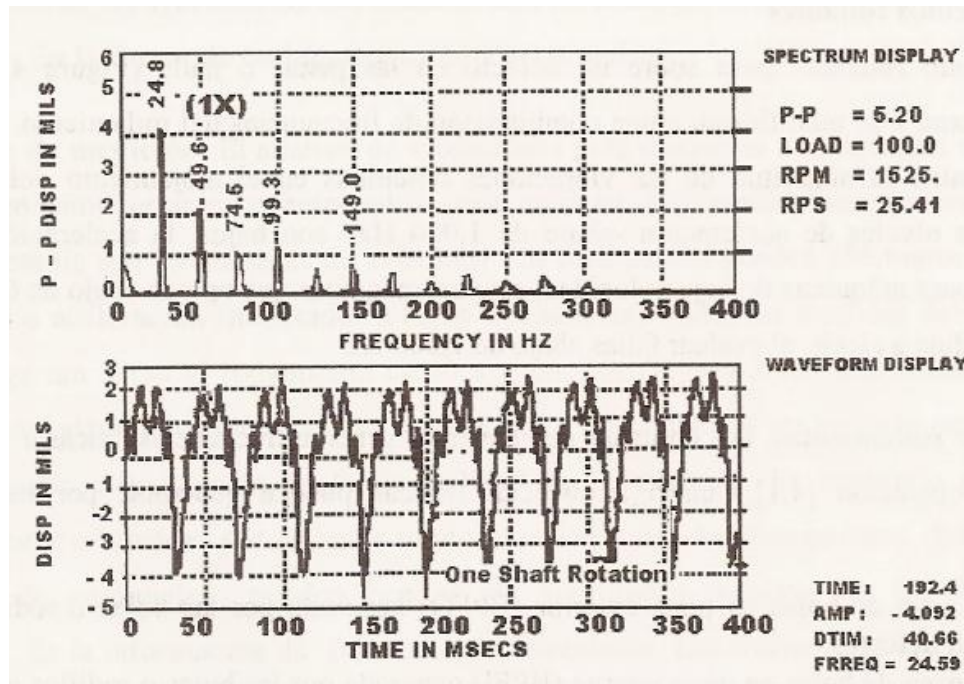


Figura 5.11 Flojedad de un cojinete un ventilador.

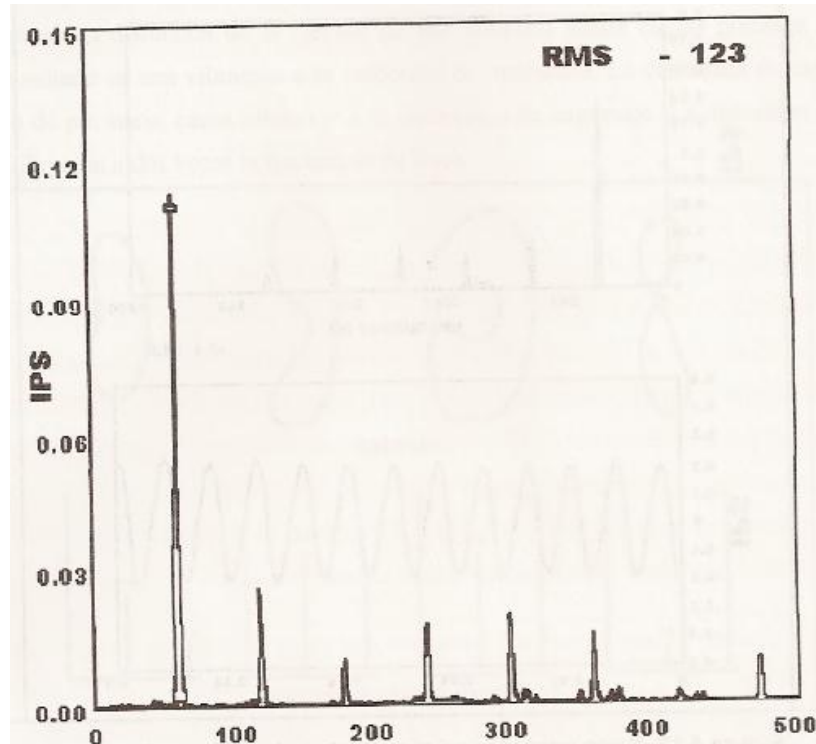


Figura 5.12 Excentricidad del eje de una bomba de lubricación.

## 5.7. Análisis de vibraciones a maquinaria.

### 5.7.1 Equipo a utilizar.

✚ Analizador Colector AZIMA DLI DCX.

✚ Analizador CSI 1910.

### **5.7.2 Procedimiento para la inspección de vibraciones a maquinaria en CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V.**

#### 1. Identificación de ruta de inspección.

Se coleccionarán los datos de vibración de los equipos indicados en la **“Ruta de inspección por medio de análisis de vibraciones”**, tal como se muestra en el formato (figura 5.15).

Este formato se actualizara en forma mensual.

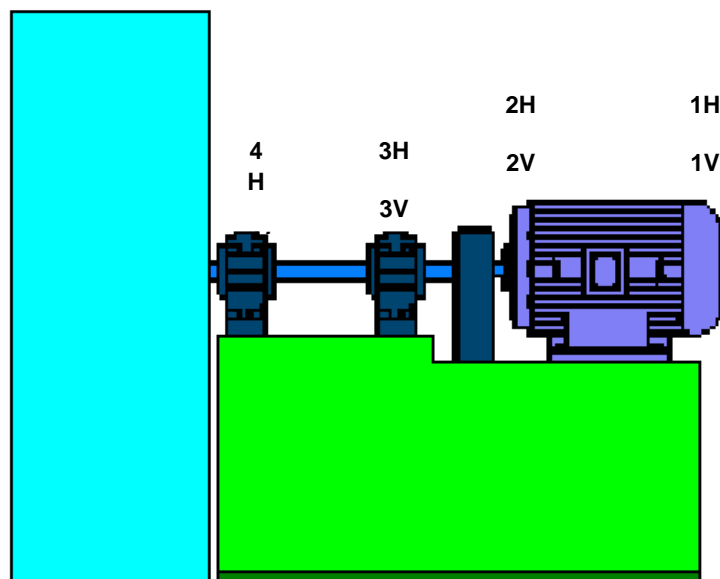
#### 2. Procedimiento para coleccionar datos con el DLI DCX.

Para la coleccion de datos en los equipos rotativos críticos se utilizará el equipo Analizador Colector DLI DCX. De acuerdo al procedimiento siguiente:

- A. Se consideran equipos rotativos críticos a: Primer y Segundo Juegos de Cuchillas, Desfibradora, Turbinas y reductores de los Molinos; las Turbo bombas de calderas, los Turbo generadores de la planta de fuerza, así como todos los ventiladores del departamento de Calderas.
- B. Previo a la coleccion de datos se deben verificar visualmente las condiciones del equipo a monitorear, buscando detectar cualquier anomalía, ruido o fuga que pudiera ser indicativo de alguna falla.
- C. Se deben extremar las precauciones, ya que el monitoreo de vibraciones se efectúa con el equipo en operación, colocando el sensor en puntos cercanos a los acoplamientos (coples, poleas, bandas), y a los ejes en movimiento a alta velocidad.
- D. Se encenderá el equipo analizador DLI DCX y se procederá al monitoreo colocando el sensor de vibración en los puntos de apoyo

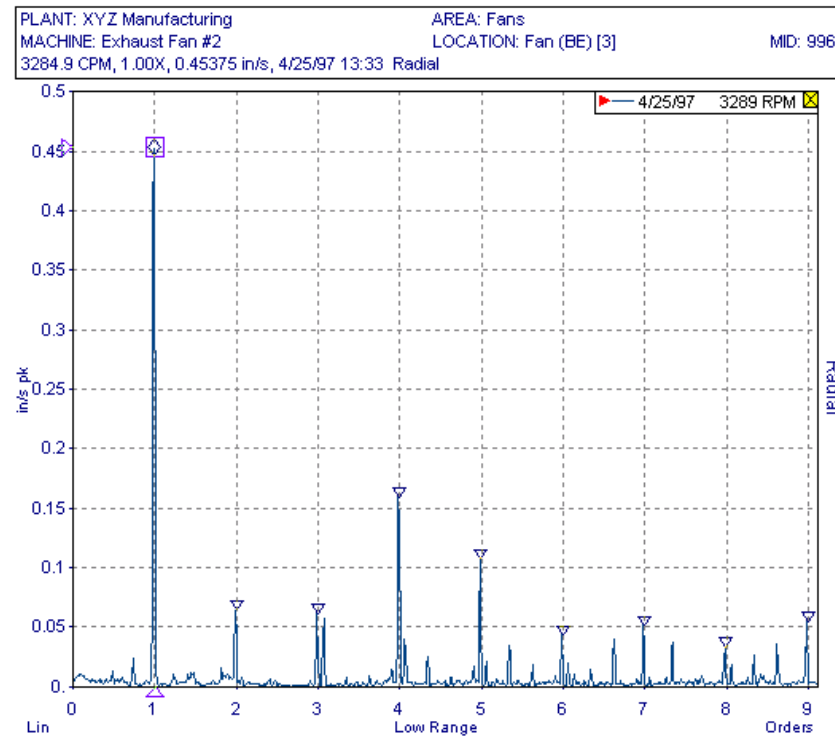
(chumaceras) del equipo, y siguiendo la secuencia del equipo motriz al accionado.

- E. Para la colección de datos se utilizará el sensor Triaxial, ya sea con fijación por tornillo en donde se tengan bases para monitoreo sujetas a los equipos, o con fijación por base magnética.
  
- F. Se tomará 1 lectura en cada punto de medición. El sensor Triaxial colectara los datos de las direcciones Horizontal (Tangencial), Vertical (Radial) y Axial. Tomando el orden de medición desde el extremo libre de la máquina motriz hacia la máquina accionada, tal como se observa en la Figura 5.13.



**FIG. 5.13. DISPOSICIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN EN EQUIPOS**

- G. Conforme se tome cada lectura, se obtendrá el espectro de vibración correspondiente (Fig. 5.14), el cual se grabará automáticamente en el equipo analizador, hasta completar el número de puntos de medición del equipo inspeccionado.



**FIG. 5.14. ESPECTRO OBTENIDO DE LA MEDICIÓN**

- H. Al concluir las mediciones en todos los puntos del equipo inspeccionado, el analizador DLI DCX generará en forma automática el **Diagnóstico del Sistema Experto** acerca de la condición del equipo (figura 5.18).
- I. Al monitorear el siguiente equipo rotativo crítico de la rutina se seguirán los puntos B al H.
- J. Una vez completada la rutina se procederá a analizar los datos almacenados en la memoria del analizador, tanto el diagnóstico del sistema experto como los espectros y graficas de cascada.



### 3. Colección de datos con el equipo analizador CSI 1910.

Para la colección de datos en los equipos rotativos NO considerados críticos se utilizará el equipo Analizador CSI 1910. De acuerdo al procedimiento siguiente:

- A. Previo a la colección de datos se deben verificar visualmente las condiciones del equipo a monitorear, así como seguir las precauciones necesarias.
- B. Se encenderá el equipo analizador CSI 1910 y se procederá al monitoreo colocando el sensor de vibración en los puntos de apoyo (chumaceras) del equipo, y siguiendo la secuencia del equipo motriz al accionado.
- C. Se tomarán 3 lecturas en cada punto de medición en el orden Horizontal, Vertical y Axial. Tomando el orden de medición desde el extremo libre de la máquina motriz hacia la máquina accionada.
- D. Al monitorear el siguiente equipo de la rutina se seguirán los puntos A al C.
- E. La lectura de vibración con amplitud más alta obtenida con el analizador CSI 1910 en cada punto se capturará en el formato “**Gráfica de Lecturas de Vibración**” (figura 5.16) correspondiente al equipo monitoreado, para graficar la tendencia de vibración a lo largo del tiempo, en la cual se hallan indicados los niveles máximos permitidos para el equipo en cuestión.

#### 4. Estándares internacionales.

Los niveles de vibración (tanto de alarma como máximos permitidos) para cada equipo rotativo son determinados y evaluados mediante el uso de los siguientes estándares internacionales:

**A. CARTA DE SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN DE IRD MECHANALYSIS** (figura 5.20).

**B. TABLA DE SEVERIDAD PARA VARIAS CLASES DE MÁQUINAS SEGÚN ISO 10816** (figura 5.21).

#### 5. Lecturas estables.

Si las lecturas obtenidas del monitoreo conservan una tendencia estable ó sin llegar a niveles de vibración máximos se considera al equipo en buenas condiciones y se continuará con el monitoreo según la rutina correspondiente.

#### 6. Lecturas con nivel máximo.

En caso de que las lecturas superen el nivel máximo permitido o se presente alguna desviación importante en la tendencia, se informará al superintendente del área. Para este fin se utilizará el formato de la figura 5.16 ó el Reporte de Diagnóstico emitido por el sistema Experto del Analizador DLI DCX (figura 5.18).

#### 6.1. Información adicional para complementar informe.

Como información adicional (opcional) al diagnóstico se podrá apoyar el informe con el formato de la figura 5.17, impresiones de los espectros (figura 5.19), para emitir un diagnóstico acertado de la problemática del equipo.

#### 7. Frecuencia de monitoreo.

Dependiendo de la severidad de la vibración, se determinará si el equipo amerita un cambio en la frecuencia de monitoreo, que puede ser diario, cada turno u otro intervalo de tiempo.

##### 7.1. Incremento de vibración en el equipo.

Si las lecturas de vibración continúan elevándose se informará al superintendente del área, a fin de programar el equipo para su intervención, la cual dependerá de la severidad de la vibración.

##### 7.2. Recepción técnica de equipo.

Una vez que se haya intervenido el equipo, se procederá a monitorear nuevamente, efectuando la “Recepción Técnica de Equipo”.

#### 8. Respaldo de información.

Los diagnósticos emitidos por el Sistema Experto del Analizador DLI DCX, así como todos los espectros colectados se encuentran en el historial de la base de datos del mismo analizador, y se respaldarán al final de la zafra. De igual forma, los reportes y gráficas impresos se archivarán en los expedientes correspondientes.

### 5.7.3 Ruta de inspección por medio de análisis de vibraciones.

 C.A. AZUCARERA LA FE S.A DE C.V. INGENIO PUJILITIC. LF-FOR-MTO-01-17		<b>RUTINA DE INSPECCIÓN POR MEDIO DE VIBRACIONES</b>				MES: FEBRERO																												
						ZAFRA: 2009/2010																												
						RUTINA: C/3 DIAS																												
CODIGO	EQUIPO	DPTO.	JOB	M	FEBRERO																													
					D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
0119	JUEGO DE CUCHILLAS No. 1	01	0119-3D	P	█																													
				R																														
0120	JUEGO DE CUCHILLAS No. 2	01	0120-3D	P	█																													
				R																														
0121	DEFIBRADOR ZANINI DEDINI	01	0121-3D	P	█																													
				R																														
0201	TURBINA Y REDUCTORES MOLINO N° 1	02	0201-3D	P	█																													
				R																														
0202	TURBINA Y REDUCTORES MOLINO N° 2	02	0202-3D	P	█																													
				R																														
0203	TURBINED. Y REDUCTORES MOLINO N° 3	02	0203-3D	P	█																													
				R																														
0204	TURBINA Y REDUCTORES MOLINO N° 4	02	0204-3D	P	█																													
				R																														
0205	TURBINED. Y REDUCTORES MOLINO N° 5	02	0205-3D	P	█																													
				R																														
0206	TURBINA Y REDUCTORES MOLINO N° 6	02	0206-3D	P	█																													
				R																														
030103	VENT. TIRO INDUCIDO CALDERA No. 1	03	030103-3D	P	█																													
				R																														
030107	VENT. TIRO FORZADO CALDERA No. 1	03	030107-3D	P	█																													
				R																														
030109	VENT. AIRE SECUNDARIO CALDERA No. 1	03	030109-3D	P	█																													
				R																														
030108	VENT. DISTRIBUIDOR BAGAZO CALD. 1	03	030108-3D	P	█																													
				R																														
	VENT. TIRO INDUCIDO CALDERA NUEVA	03	3D	P	█																													
				R																														
	VENT. TIRO FORZADO CALDERA NUEVA	03	3D	P	█																													
				R																														
	VENT. AIRE SECUNDARIO CALDERA NUEVA	03	3D	P	█																													
				R																														
	VENT. DISTRIBUIDOR BAGAZO CALDERA NUEVA	03	3D	P	█																													
				R																														
030402	VENT. TIRO INDUCIDO CALDERA No. 4	03	030402-3D	P	█																													
				R																														
030404	VENT. TIRO FORZADO CALDERA No. 4	03	030404-3D	P	█																													
				R																														
030406	VENT. AIRE SECUNDARIO CALDERA No. 4	03	030406-3D	P	█																													
				R																														
030408	VENT. DISTRIBUIDOR BAGAZO CALD. 4	03	030408-3D	P	█																													
				R																														
INSPECTOR DE VIBRACIONES	SUPTE. DE MANTENIMIENTO	SUPTE. DE MAQUINARIA		SUPTE. GENERAL DE FABRICA																														
NOMBRE Y FIRMA	<b>ING. NICOLAS RAMIREZ ARMENTA</b>	NOMBRE Y FIRMA		<b>ING. ARTURO ROSAS HERNANDEZ</b>																														
		NOMBRE Y FIRMA		NOMBRE Y FIRMA																														

Figura 5.15 ruta de inspección.

### 5.7.4 Gráfica de lecturas de vibración.

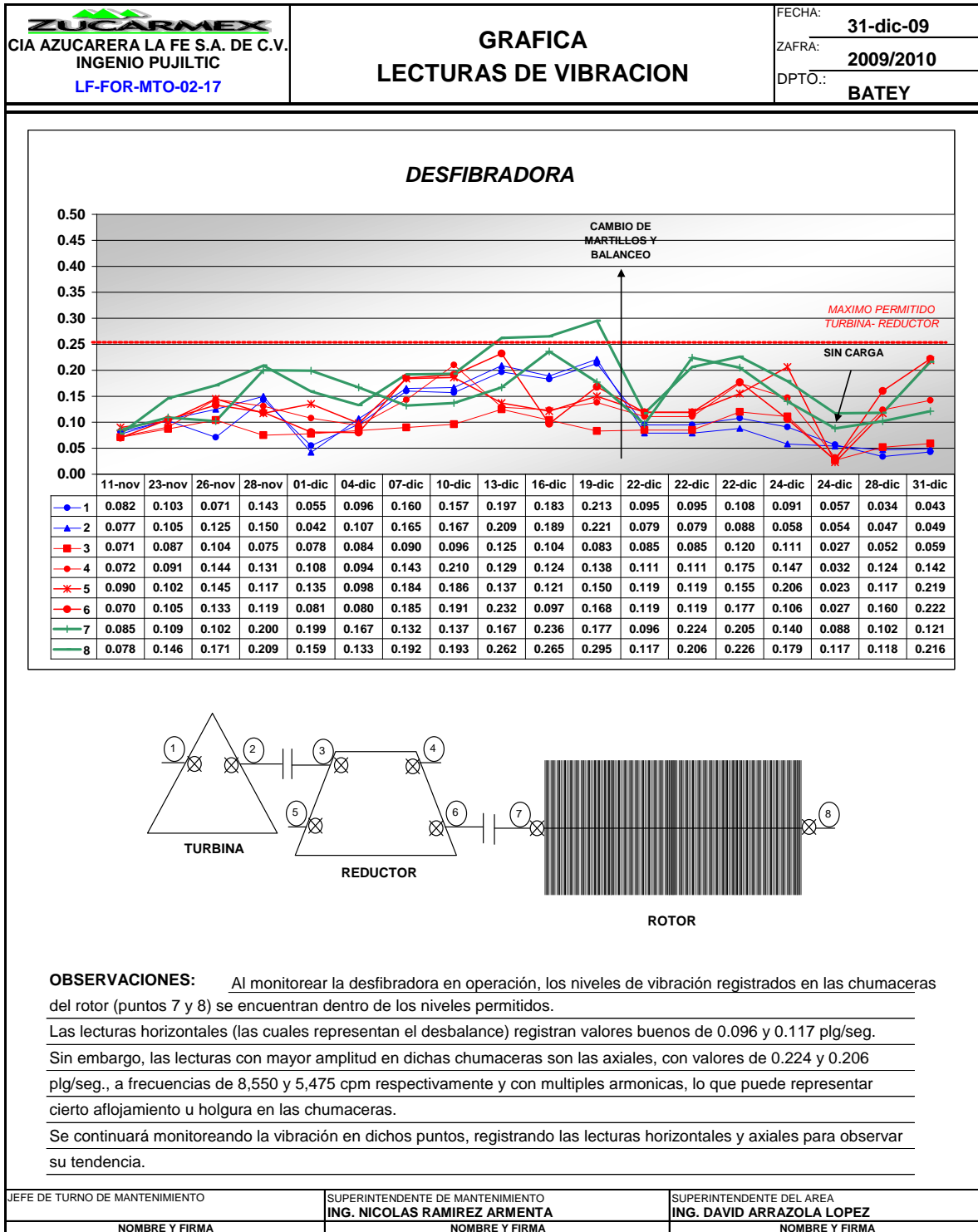


Figura. 5.16. Formato de reporte de grafica de vibraciones.

### 5.7.5 Formato de inspección por medio de análisis de vibraciones.

 CIA. AZUCARERA LA FE S.A DE C.V. INGENIO PUJILIC. INGENIERIA DE MANTENIMIENTO LF-FOR-MTO-03-17		<b>INSPECCION POR MEDIO DE ANALISIS DE VIBRACIONES</b>						FECHA: <u>27-nov-09</u>										
		<b>EQUIPO:</b> VENT. TIRO INDUCIDO CAL. No. 4				<b>RUTINA:</b> <u>3D</u>		ZAFRA: <u>2009/2010</u>										
								DPTO: <u>03</u>										
LIMITE MAX. PERM.: 0.30 IN/SEC		R.P.M. OPERACIÓN: 1786		COND. DE OPERACIÓN: CON CARGA <input checked="" type="checkbox"/> VACIO <input type="checkbox"/>		EQUIPO UTILIZADO: DATAPAC 1500 <input type="checkbox"/> CSI 1910 <input checked="" type="checkbox"/>												
<p style="text-align: center;">VENTILADOR</p>																		
MEDICION		VIBRACION FILTRADA						PICO DE ENERGIA	MEDICION		VIBRACION FILTRADA						PICO DE ENERGIA	
		DESPLAZ.		VELOCIDAD		ACELERACION					DESPLAZ.		VELOCIDAD		ACELERACION			
PUNTOS	POS.	<input type="checkbox"/> MILS <input type="checkbox"/> UM	PK-PK CPM	<input checked="" type="checkbox"/> IN/SEC <input type="checkbox"/> MM/SEC	PK CPM	g	CPM	g S E	PUNTOS	POS.	<input type="checkbox"/> MILS <input type="checkbox"/> UM	PK-PK CPM	<input checked="" type="checkbox"/> IN/SEC <input type="checkbox"/> MM/SEC	PK CPM	g	CPM	g S E	
1	H			0.322	1800	0.799	101,500	3.897	5	H								
	V			0.194	1800					V								
	A			0.102	1800					A								
2	H			0.315	1800	0.559	100,000	6.282	6	H								
	V			0.066	1800					V								
	A			0.149	1800					A								
3	H			0.118	900				7	H								
	V			0.027	900					V								
	A			0.139	900					A								
4	H			0.120	900				8	H								
	V			0.048	900					V								
	A			0.065	900					A								
OBSERVACIONES: _____ _____ _____																		
JEFE DE TURNO DE MANTENIMIENTO <b>ING. LUIS ANTONIO PEREZ GARCIA</b> <small>NOMBRE Y FIRMA</small>						SUPERINTENDENTE DE MANTENIMIENTO <b>ING. NICOLAS RAMIREZ ARMENTA</b> <small>NOMBRE Y FIRMA</small>						JEFE DE CALDERAS <b>ING. JORGE DAVID CABRERA HERNANDEZ</b> <small>NOMBRE Y FIRMA</small>						

Figura. 5.17. Formato de reporte de vibraciones.

## 5.7.6 Reporte de diagnóstico del sistema experto del DCX.

### **MOLINO 3**

MID: 12

Informe generado en: 08/01/2011 08:02 p.m.

Adquirido: 08/01/2011 07:16 p.m. 1xT = 4335 RPM 1xN = 916 RPM Promedios: 0

**Numero de Merito = 434.**

**Nivel maximo: 0.23 (4204%) in/s en 1.28x en 3T**

### **RECOMENDACIONES:**

**IMPORTANTE: INSPECCIONAR RODAMIENTOS Y CORONA EJE SALIDA REDUCTOR**

### **DIAGNOSTICOS:**

**SERIO HOLGURAS RODAMIENTO EJE SALIDA REDUCTOR O DAÑO ENGRANAJE**

**MODERADO HOLGURAS EJE ENTRADA REDUCTOR O POSIBLE DAÑO EN PINON**

### **LEYENDA POSICION:**

POSICION 1 ES: TURBINA LL

POSICION 2 ES: TURBINA LC

POSICION 3 ES: REDUCTOR IN LC

POSICION 4 ES: REDUCTOR IN LL

POSICION 5 ES: REDUCTOR OUT LL

POSICION 6 ES: REDUCTOR OUT LC

Figura 5.18. Reporte del DCX.

### 5.7.7 Espectro de vibración obtenido en el DCX.

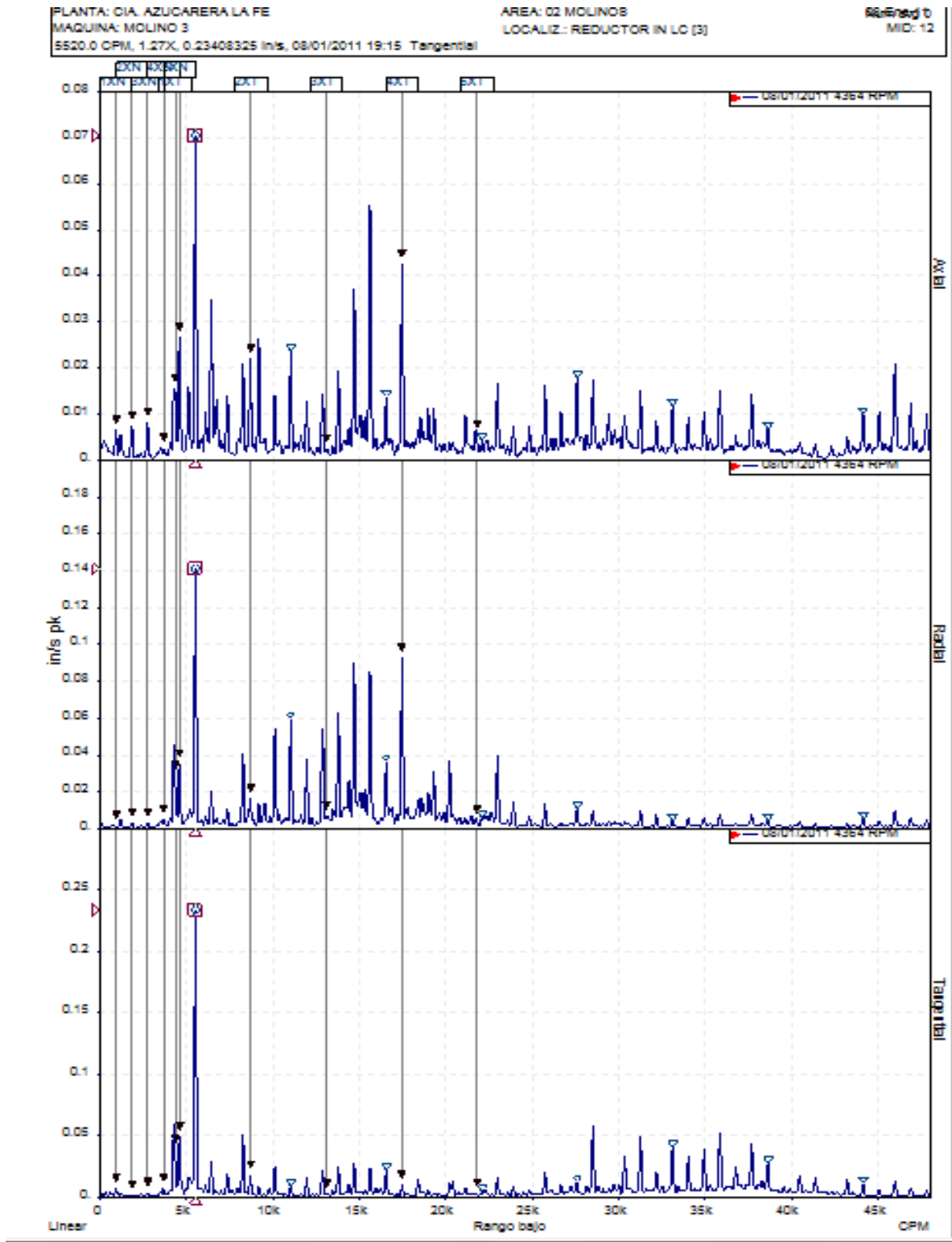
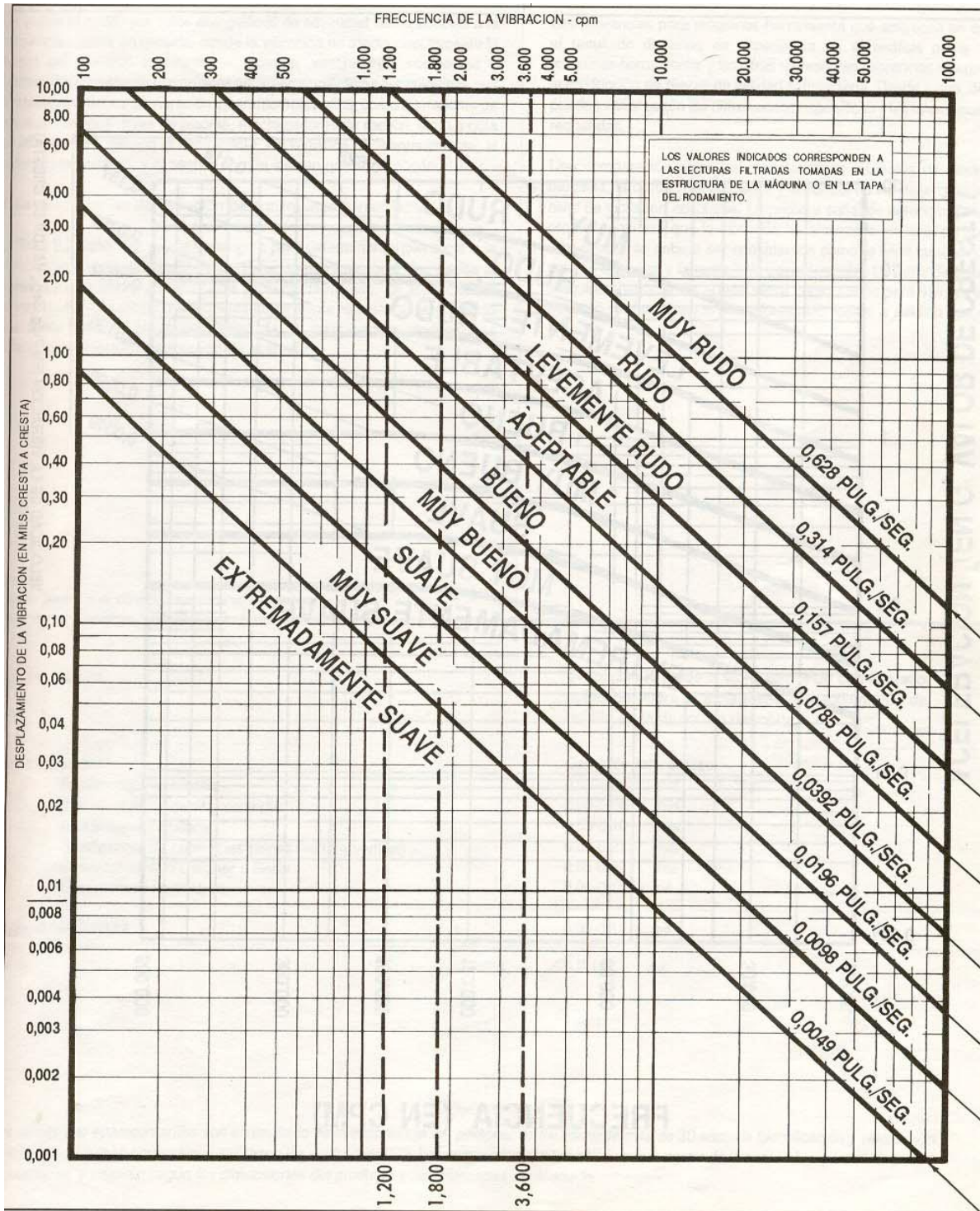


Figura 5.19. Lectura del DCX.



**5.7.8 carta de severidad de IRD.**



**Figura 5.20 Carta de severidad.**

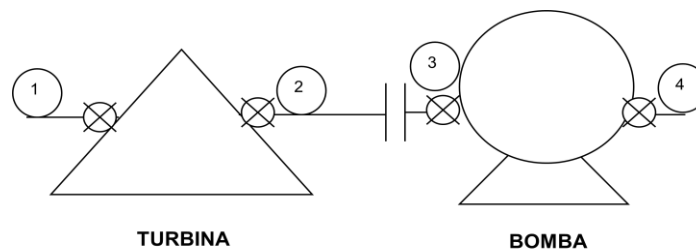
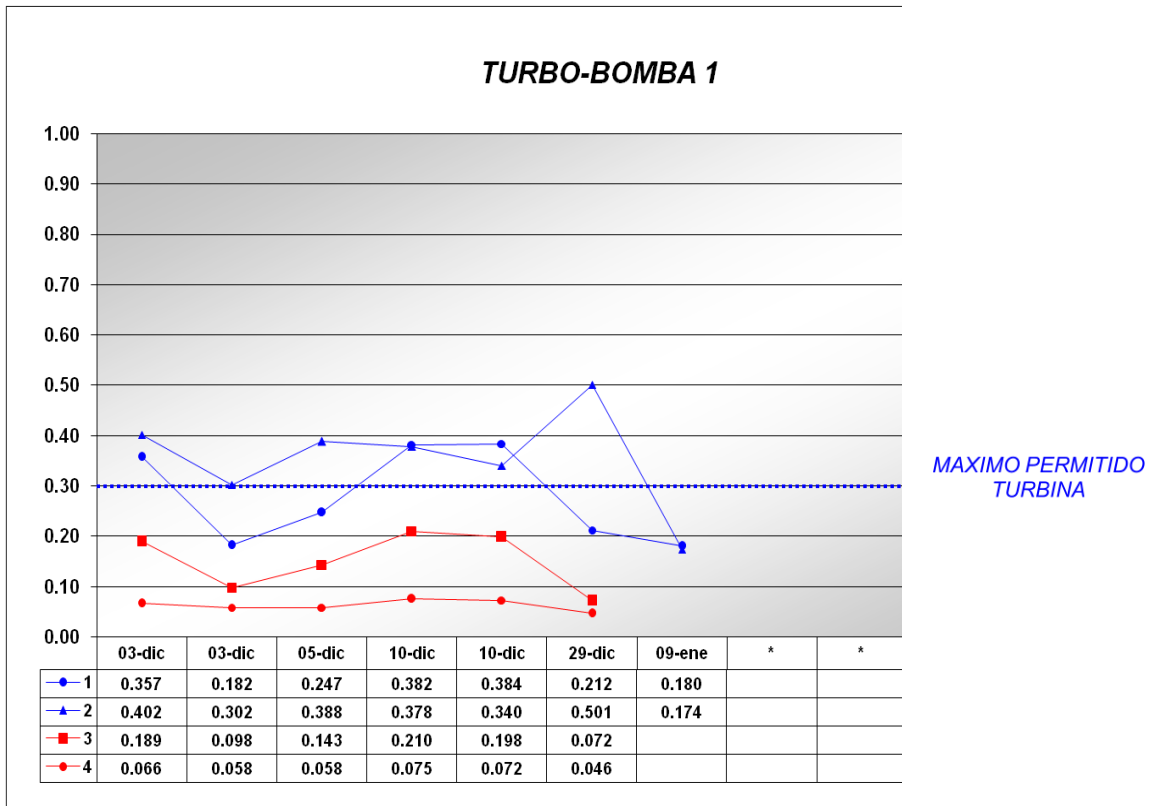
### 5.7.9 Tabla de severidad según norma ISO 10816.

<b>Vibration Severity Table for Various Classes Of Machines (ISO 10816)</b>					
English Units		Machines < 15 Kw (29 HP)	Machines between 15 and 75 KW (20 to 100 HP)	Machines < 75 Kw (100 HP)	Steam turbines, gas turbines, generators, etc.
in/sec r m s	in/sec zero-peak				
0.01	0.02	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery
0.02	0.03	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery
0.03	0.04	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery
0.04	0.06	Unrestricted Operation	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery
0.07	0.1	Unrestricted Operation	Unrestricted Operation	Newly Commissioned Machinery	Newly Commissioned Machinery
0.11	0.16	Restricted Operation	Unrestricted Operation	Unrestricted Operation	Newly Commissioned Machinery
0.18	0.25	Restricted Operation	Restricted Operation	Unrestricted Operation	Unrestricted Operation
0.28	0.4	Damage Occurs	Restricted Operation	Restricted Operation	Unrestricted Operation
0.44	0.62	Damage Occurs	Damage Occurs	Restricted Operation	Restricted Operation
0.71	1	Damage Occurs	Damage Occurs	Damage Occurs	Restricted Operation
1.1	1.56	Damage Occurs	Damage Occurs	Damage Occurs	Damage Occurs
1.77	2.51	Damage Occurs	Damage Occurs	Damage Occurs	Damage Occurs
2.8	3.95	Damage Occurs	Damage Occurs	Damage Occurs	Damage Occurs

Figura 5.21 Tabla de severidad según norma ISO.

## 5.8 Análisis de vibraciones a equipos de rutina critica (turbo-bomba 1, juego de cuchillas No.1, turbogenerador No.1).

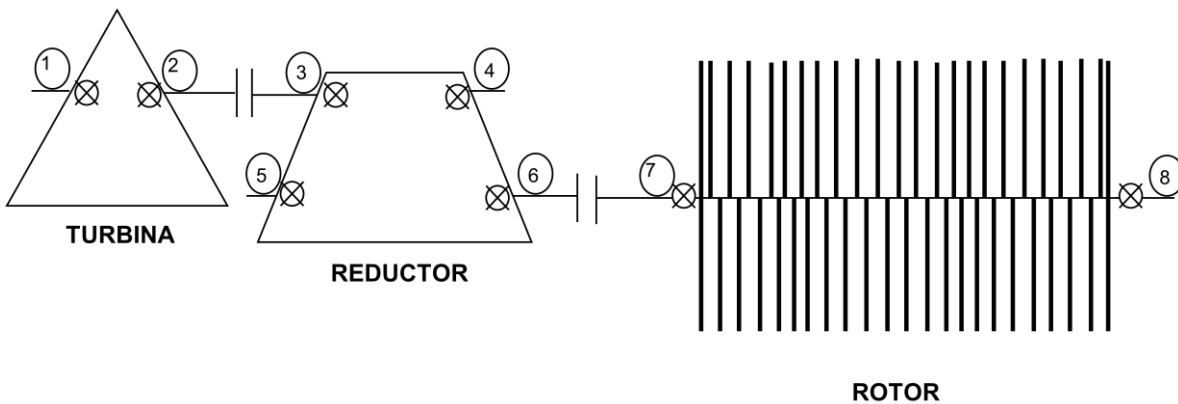
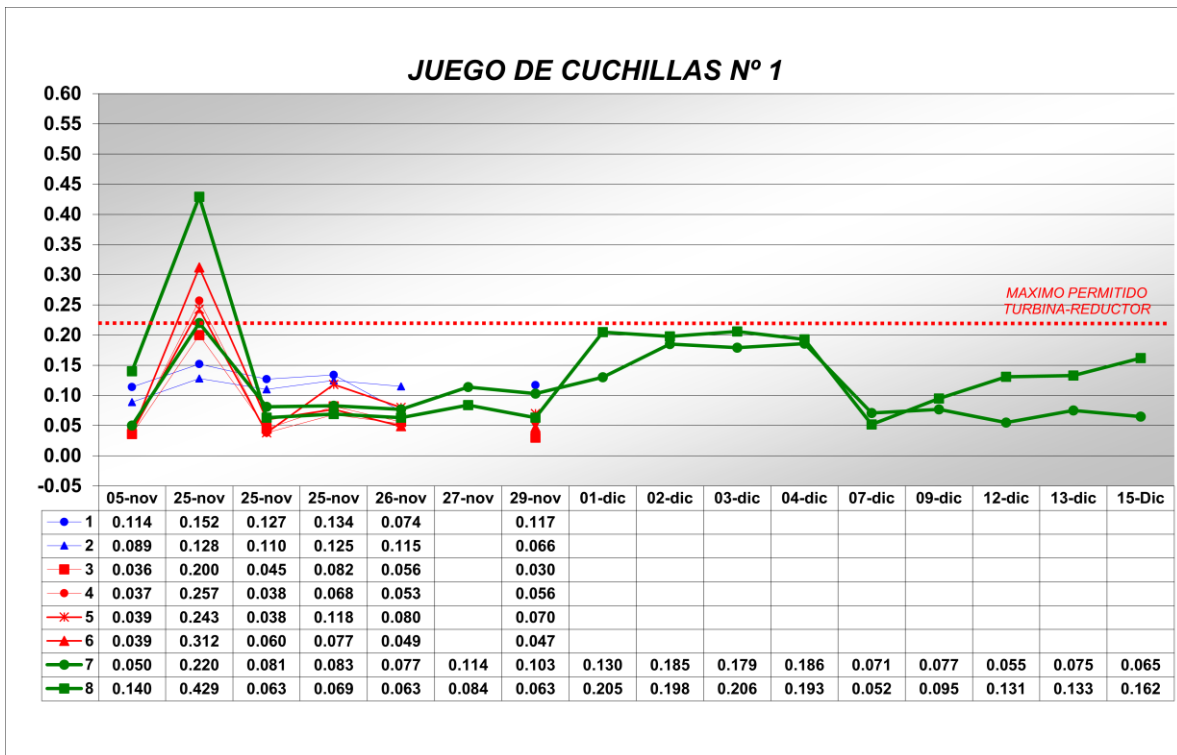
### 5.8.1 Lecturas de vibración turbo-bomba 1.



**Figura 5.22** esquema de bomba y turbina.

**Observaciones:** Niveles de vibración fuera de parámetro, se recomienda revisar rodamientos de bomba, los puntos señalados en la figura 5.22 son donde se colocó el sensor para tomar las mediciones.

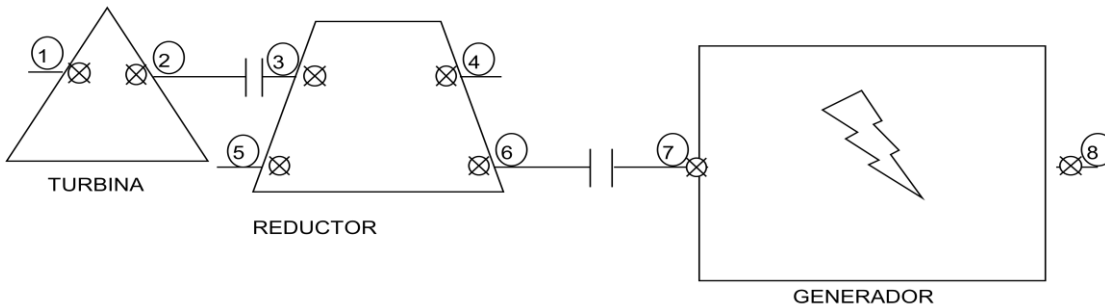
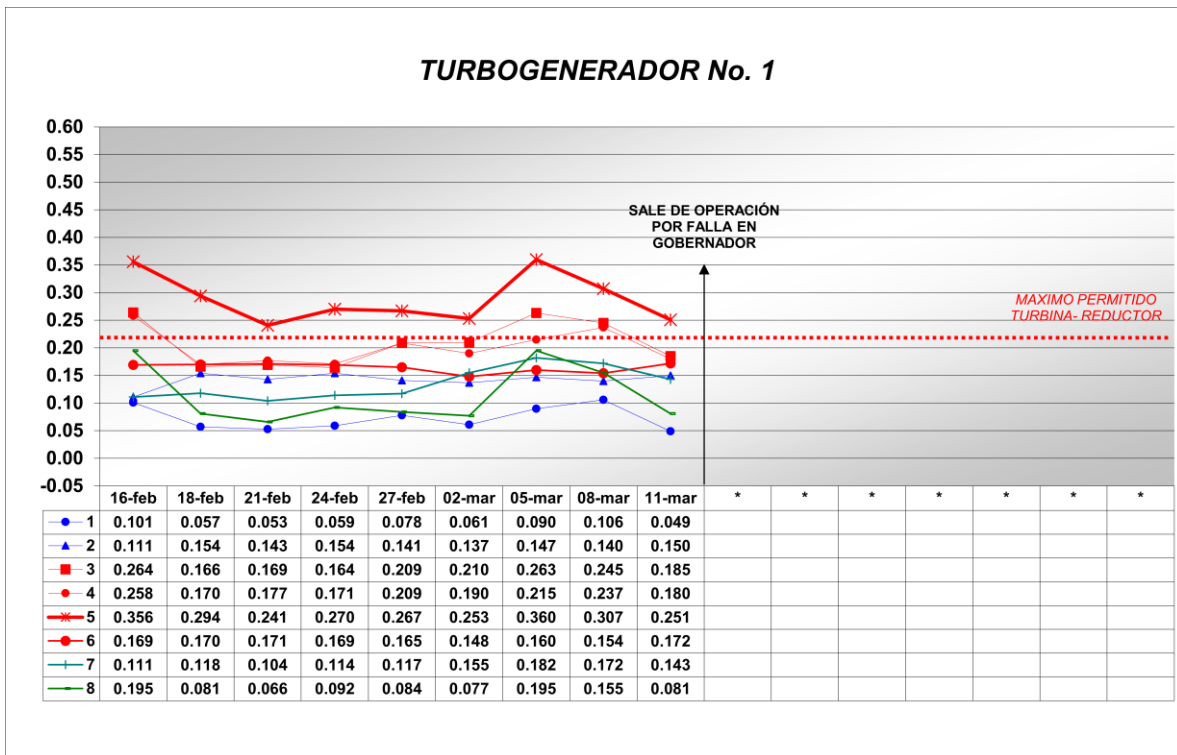
### 5.8.2 Juego de cuchillas No. 1



**Figura 5.23** esquema del juego de cuchillas No. 1

**Observaciones:** el 25 de noviembre se observó un aumento de vibración en las chumaceras del rotor en los puntos 7 y 8 de la figura 5.23

### 5.8.3 Turbogenerador No. 1.



**Figura 5.24** Esquema del turbogenerador No. 1.

**Observaciones:** se observa que las vibraciones están arriba de los parámetros permisibles de los límites de vibración, se decide parar el turbogenerador No. 1 para reparación.

## **5.9 Conclusiones obtenidas del proceso de análisis de vibraciones.**

En CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V. es muy importante en análisis de vibraciones ya que a través de las frecuencias de vibración se pueden determinar la ubicación de las fallas en una máquina, el diagnóstico de fallas principalmente se efectúa en un espectro, la forma de onda orbital y análisis de fase proporcionan información adicional para un análisis más profundo.

Los puntos que se consideran a analizar son elegidos por el analista que debe estar debidamente capacitado, los elementos rodantes son puntos clave para revisar, como tenemos un sensor Triaxial ya no es necesario colocarlo en diferentes posiciones, basta con que el analista decida ponerlo en un solo punto según su criterio.

El análisis espectral incluye identificación de órdenes de la velocidad de giro, armónicos de engranaje, cojinetes y frecuencias de paso de alabes; frecuencias no sincrónicas tal como las frecuencias de rodamientos, pulsaciones, frecuencias naturales, bandas laterales, frecuencia central y frecuencia de diferencia (suma y resta).

Las fallas de las máquinas normalmente se manifiestan a la velocidad de operación o velocidades críticas, algunas fallas pueden ser; desbalance de masa, desalineamiento, rotor flexionado, claro excesivo en cojinetes o desgaste, resonancia estructural, flojedad, excentricidad, coples amarrados y distorsión.

Los problemas comunes relacionados con las bombas se deben a un flujo inadecuado en el sistema, incluyen la recirculación, y la cavitación, la frecuencia de paso de paletas o aspas de impulsores de bombas se producen si el claro interno no está ajustado correctamente.

Los ventiladores pueden mostrar vibraciones a la frecuencia de paso de los alabes si hay problemas aerodinámicos en el diseño del conducto, ventilador o del regulador.

## **CONCLUSIONES GENERALES.**

Los ensayos no destructivos son parte del mantenimiento predictivo que es una de las técnicas más modernas empleadas en empresas de competencia mundial ya que a través del mantenimiento predictivo podemos reemplazar piezas que presenten fisuras aunque estas no estén visibles para la vista humana, al utilizar métodos de detección de fisuras por ultrasonido y líquidos penetrantes.

Se realizó pruebas de líquidos penetrantes, medición de espesores y análisis de fisuras por medio de ultrasonido industrial y medición de vibraciones, a todos los componentes de maquinaria y maquinas rotativas de CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V. en sus distintas áreas.

El uso de ultrasonido industrial en CIA. AZUCARERA LA FE S.A. DE C.V. es de gran importancia ya que como podemos observar detecta en el caso de la medición de espesores, las áreas en las que hay mayor desgaste, al detectar estas áreas se pueden corregir antes de que se presente la ruptura.

Las frecuencias de vibración se pueden determinar la ubicación de las fallas en una máquina, el diagnostico de fallas principalmente se efectúa en un espectro, la forma de onda orbita y análisis de fase proporcionan información adicional para un análisis más profundo.

## BIBLIOGRAFÍA.

- ✚ Ilog S.A. de C.V. Principios de líquidos penetrantes (programa de entrenamiento PND).
- ✚ Ilog S.A. de C.V. Ultrasonido nivel 1 (programa de entrenamiento PND).
- ✚ Ronald L. Eshleman. Vibraciones básicas de máquinas (introducción al análisis básico de maquinaria).
- ✚ James Taylor L. The vibration handbook, vibration consultants, Inc., Tampa, FL (1994).
- ✚ Ronald L. Eshleman. Balancing of rotating machinery.