

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



TESIS DE GRADO

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE FALLAS EN LOS EQUIPOS DE UNA  
INDUSTRIA AZUCARERA, EN LA REPÚBLICA DE CUBA”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

ALEXANDER RODRIGO GUERRERO MADROÑO

RIOBAMBA - ECUADOR

2009

## TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
<b>I GENERALIDADES</b>	
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 INTRODUCCIÓN .....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	4
1.4 OBJETIVOS .....	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>II MARCO CONCEPTUAL Y REFERENCIAL</b>	
2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO .....	5
.1.1 GENERALIDADES .....	5
.1.2 LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO .....	5
.1.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	8
2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	10
.1.1 TÉCNICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS .....	10
.1.2 ANÁLISIS DE ACEITE .....	11
.1.3 TERMOGRAFÍA .....	12
.1.4 ANÁLISIS DE VIBRACIÓN .....	13
.1.5 MONITOREO DE MOTORES ELÉCTRICOS .....	14
.1.6 ALINEADO DE PRECISIÓN .....	15
.1.7 MONITORES DE TONELAJE .....	16
.1.8 ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS .....	16
.1.9 ENSAYO POR ULTRASONIDO .....	17
.1.10 ENSAYO RADIOGRÁFICO .....	18
.1.11 ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES .....	19
2.2 MÉTODO DE LOS CRITERIOS PONDERADOS	
ANÁLISIS DE CRITICIDAD .....	20
.1.1 CRITICIDAD .....	20
2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA TECNOLOGÍA	
DE FABRICACIÓN DEL AZÚCAR .....	23

.1.1	MANIPULACIÓN Y PREPARACIÓN DE LA	
	MATERIA PRIMA .....	.23
.1.1.1	BASCULADOR .....	.23
.1.2	PLANTA MOLEDORA .....	.23
.1.2.1	TANDEM .....	.23
.1.3	ÁREA DE GENERACIÓN DE VAPOR .....	.24
.1.4	FABRICACIÓN .....	.24
.1.4.1	PROCESO DE ALCALIZACIÓN .....	.24
.1.4.2	CALENTADORES DE JUGO ALCALIZADO .....	.25
.1.4.3	CLARIFICACIÓN .....	.25
.1.4.4	FILTRO ROTATORIO AL VACÍO .....	.25
.1.5	EVAPORACIÓN .....	.26
.1.6	CRISTALIZACIÓN .....	.26
.1.7	CENTRIFUGACIÓN .....	.26

### III EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN ACTUAL DE MANTENIMIENTO

3.1	HISTORIA DE LA EMPRESA AZUCARERA	
	“PAQUITO ROSALES” .....	.28
3.1.1	ESTADO TÉCNICO ACTUAL DE LA MAQUINARIA .....	.29
3.1.2	EQUIPOS DEL CENTRAL .....	.29
3.2	EVALUACIÓN DE CRITICIDAD POR ÁREAS .....	.35
3.3	TIPO DE MANTENIMIENTO EMPLEADO ACTUALMENTE	
	EN EL CENTRAL PAQUITO ROSALES .....	.39
	3.3.1.1 POLÍTICA DE MANTENIMIENTO DE LOS	
	CENTRALES AZUCAREROS EN CUBA .....	.39
	3.3.1.2 POLÍTICA DE MANTENIMIENTO DEL MINAZ	
	EN LA PROVINCIA DE SANTIAGO DE CUBA .....	.40
3.3.2	ZAFRA .....	.45
3.3.3	NO ZAFRA .....	.47
3.4	ANÁLISIS DE LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO .....	.48
3.4.1	ÁREA 1 “BASCULADOR” .....	.48
3.4.2	ÁREA 2 “PLANTA MOLEDORA” .....	.49

3.4.3	ÁREA 3 “GENERACIÓN DE VAPOR”	50
3.4.4	ÁREA 4 “PLANTA ELÉCTRICA”	50
3.4.5	TOTAL FALLAS POR AÑO	51
3.5	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN	52

## **IV PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

4.1	DETERMINACIÓN DE LA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	53
4.2	APLICACIÓN DE UNA TÉCNICA DE MTTO. PREDICTIVO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA “PAQUITO ROSALES”	57
4.3	PARÁMETRO DE FUNCIONAMIENTO DEL ANÁLISIS DE VIBRACIONES	58
4.3.1	PROGRAMA DE MTTO. PREDICTIVO	58
4.3.2	VIBRACIONES EN MAQUINARIAS	58
4.4	SELECCIÓN DE TRANSDUCTORES	59
4.4.1	INTRODUCCIÓN A LOS MEDIDORES DE VIBRACIÓN	59
4.4.2	TRANSDUCTORES DE PROXIMIDAD	59
4.4.3	TRANSDUCTORES DE VELOCIDAD	60
4.4.4	ACELERÓMETROS	61
4.4.5	UBICACIÓN DEL ACCELERÓMETRO PIEZOELÉCTRICO	62
4.4.5.1	FIJACIÓN DEL ACCELERÓMETRO	62
4.4.5.2	MONTAJE CON PERNO DE ACERO	62
4.4.5.3	MONTAJE CON CERA DE ABEJA	63
4.4.5.4	MONTAJE CON DISPOSITIVO MAGNÉTICO	63
4.4.5.5	EMPLEO DEL PUNTERO	63
4.4.6	DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN MAQUINARIA	64
4.4.6.1	CATEGORÍAS GENERALES	64
4.4.7	REGLAS FUNDAMENTALES PARA EL ANÁLISIS DE ESPECTROS	64
4.4.8	CATEGORIZACIÓN DE LAS MAQUINAS	66
4.4.8.1	ESTÁNDAR ISO 10816 PARTE 3	66
4.4.8.2	ESTÁNDAR ISO 10816 CLASE I	66
4.4.8.3	ESTÁNDAR ISO 10816 CLASE II	66

4.4.8.4	ESTÁNDAR ISO 10816 CLASE III...	67
4.4.8.5	ESTÁNDAR ISO 10816 CLASE IV...	67
4.5	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS...	68
4.5.1	EL ANALIZADOR DE VIBRACIONES Y	
	COLECTOR DE DATOS VIBROTEST 60...	68
4.5.2	VIBROEXPERT CM - 400...	69
4.5.3	TRANSFERENCIA DE LAS MEDICIONES	
	DESDE EL INSTRUMENTO HACIA LA PC...	70
4.5.4	SELECCIÓN DE TRANSDUCTORES...	70
4.5.5	SENTIDOS DE MEDICIÓN...	72
4.6	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	
	DE LOS MOTORES Y REDUCTORES...	73
4.6.1	MOTORES ELÉCTRICOS...	73
4.6.2	CAJAS REDUCTORAS...	74
4.6.3	GUÍA PARA LA ELECCIÓN DEL TAMAÑO	
	DE UN REDUCTOR O MOTO REDUCTOR...	75
4.6.4	MANTENIMIENTO DE REDUCTORES...	76
4.6.5	LUBRICACIÓN DE LAS TRANSMISIONES DE	
	ENGRANAJES ENCERRADOS...	77
4.6.6	LISTA DE PRINCIPALES PROBLEMAS...	77
4.7	FICHAS DE DATOS TÉCNICOS...	78
4.7.1	FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL REDUCTOR # 1...	78
4.7.2	FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL REDUCTOR # 2...	79
4.7.3	FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL REDUCTOR # 3...	80
4.7.4	FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR # 1...	81
4.7.5	FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR # 2...	82
4.7.6	FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR # 3...	83
4.8	PUNTOS DETERMINADOS PARA MEDICIÓN...	84
4.8.1	INGRESO DE RUTAS EN EL SOFTWARE	
	VIBROEXPERT CM -400...	84
4.9	DETERMINACIÓN DEL BANCO DE ESPECTROS...	86
4.9.1	BANCO DE ESPECTROS DE VIBRACIÓN DEL	
	MOTOR Y REDUCTOR DEL MOLINO N. 1...	87
4.9.2	BANCO DE ESPECTROS DE VIBRACIÓN DEL	
	MOTOR Y REDUCTOR DEL MOLINO N. 2 Y 3...	89

4.9.3	BANCO DE ESPECTROS DE VIBRACIÓN DEL MOTOR Y REDUCTOR DEL MOLINO N. 4 Y 5	93
-------	---	----

## V ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1	ANÁLISIS DE ESPECTROS	97
5.1.1	CONSIDERACIONES DEL ANÁLISIS ESPECTRAL DE LAS MÁQUINAS ROTATORIAS	97
5.2	INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS OBTENIDOS EN LOS MOTORES Y REDUCTORES DE LOS MOLINOS	98
5.3	GUÍA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	99
5.4	CREACIÓN DE REPORTES	100
5.5	DETERMINACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE DIAGNÓSTICO PREDICTIVO	101
5.5.1	AUDITORIA DE MANTENIMIENTO	101
5.5.2	INVENTARIO DE EQUIPOS Y RECABACIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA	101
5.5.3	BASE DE DATOS	101
5.5.4	DEFINIR PUNTOS DE MEDICIÓN	102
5.5.5	SELECCIÓN DEL SENSOR Y EQUIPO DE MEDICIÓN	102
5.5.6	PERIODICIDAD Y RUTAS DE MEDIDAS	102
5.5.7	MEDIDAS DE CAMPO	102
5.5.8	INFORMES DE MEDIDAS	102

## VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	CONCLUSIONES	103
6.2	RECOMENDACIONES	106

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

**LISTA DE TABLAS**

<u><b>TABLA</b></u>	<u><b>PÁGINA</b></u>
I. CRITERIOS A EVALUAR – MATRIZ DE CRITICIDAD .....	21
II. EVALUACIÓN DE CRITICIDAD ÁREA 1 .....	35
III. EVALUACIÓN DE CRITICIDAD ÁREA 2 .....	36
IV. EVALUACIÓN DE CRITICIDAD ÁREA 3 .....	37
V. EVALUACIÓN DE CRITICIDAD ÁREA 4 .....	38
VI. RESULTADO DE CRITICIDAD POR ÁREAS .....	39
VII. FALLAS x AÑO ÁREA 1 .....	48
VIII. FALLAS x AÑO ÁREA 2 .....	49
IX. FALLAS x AÑO ÁREA 3 .....	50
X. FALLAS x AÑO ÁREA 4 .....	50
XI. TOTAL FALLAS x AÑO .....	51
XII. PRINCIPALES APLICACIONES PARA LAS TÉCNICAS DE MTT O	
PREDICTIVO .....	53
XIII. TÉCNICA DE MTT O. PREDICTIVO PARA EL ÁREA 1	
“BASCULADOR” .....	54
XIV. TÉCNICA DE MTT O. PREDICTIVO PARA EL ÁREA 2	“PLANTA
MOLEDORA” .....	55
XV. TÉCNICA DE MTT O. PREDICTIVO PARA EL ÁREA 3	“GENERACIÓN DE
VAPOR” .....	56
XVI. TÉCNICA DE MTT O. PREDICTIVO PARA EL ÁREA 4	“PLANTA
ELÉCTRICA” .....	57
XVII. VALORES LÍMITES DE VIBRACIONES .....	66
XVIII. ESTÁNDARES DE CALIBRACIÓN AJUSTADOS A LA	VELOCIDAD DE
ROTACIÓN .....	69
XIX. FICHA DE DATOS TÉCNICOS REDUCTOR # 1 .....	78
XX. FICHA DE DATOS TÉCNICOS REDUCTOR # 2 .....	79
XXI. FICHA DE DATOS TÉCNICOS REDUCTOR # 3 .....	80
XXII. FICHA DE DATOS TÉCNICOS MOTOR # 1 .....	81
XXIII. FICHA DE DATOS TÉCNICOS MOTOR # 2 .....	82
XXIV. FICHA DE DATOS TÉCNICOS MOTOR # 3 .....	83

**LISTA DE FIGURAS**

<b><u>FIGURA</u></b>	<b><u>PÁGINA</u></b>
1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE AZÚCAR “PAQUITO ROSALES”...	27
2. EMPRESA AZUCARERA “PAQUITO ROSALES”...	28
3. DIAGRAMA DE PARETO FALLAS*AÑO ÁREA 1...	49
4. DIAGRAMA DE PARETO FALLAS*AÑO ÁREA 2...	49
5. DIAGRAMA DE PARETO FALLAS*AÑO ÁREA 3...	50
6. DIAGRAMA DE PARETO FALLAS*AÑO ÁREA 4...	51
7. DIAGRAMA DE PARETO TOTAL FALLAS*AÑO ÁREAS 1,2,3,4...	51
8. TRANSDUCTOR DE PROXIMIDAD...	59
9. TRANSDUCTOR DE VELOCIDAD...	60
10. TRANSDUCTOR DE ACELERACIÓN...	61
11. SENSIBILIDAD DEL ACELERÓMETRO PIEZOELÉCTRICO...	61
12. VIBROTEST 60 DEL CENTRAL PAQUITO ROSALES...	69
13. TARJETA DE ALMACENAMIENTO DE DATOS PCMCIA...	70



14. TRANSDUCTORES CON DISPOSITIVOS MAGNÉTICOS Y PUNTEROS...	71
15. CURVA CARACTERÍSTICA DE CAPACIDAD DE TRABAJO DEL TRANSDUCTOR...	71
16. UBICACIÓN DEL SENSOR DE MEDICIÓN...	72
17. MOTOR Y REDUCTOR DE LA INDUSTRIA AZUCARERA PAQUITO ROSALES...	73
18. REDUCTOR DE VELOCIDAD DE 3 PASOS...	76
19. PUNTOS DE MEDICIÓN PARA LOS MOTORES Y REDUCTORES...	84
20. PANTALLA DE DATOS Y RUTAS...	85
21. CONTROL DE RUTAS...	85
22. RUTAS DE LAS ACTIVOS A SER ANALIZADOS...	86
23. PUNTOS DE MEDICIÓN PARA CADA RUTA...	86
24. NIVEL DE VIBRACIONES PARA LOS MOTORES SEGÚN LA NORMA ISO 10816...	99

#### LISTA DE ABREVIACIONES

- **Backlash:** Juego que presentan dos elementos móviles conectados que han tenido mal montaje y presentan desgaste.
- **BCS:** Bearing Condition Spectrum (Espectro de condición de rodamiento).
- **BCU:** Bearing Condition Unite (Unidad de condición de rodamiento).
- **BPF:** Frecuencia de Paso de Aspas.
- **FFT:** Transformada Rápida de Fourier
- **FL:** Frecuencia de Línea.
- **Fn:** Frecuencia Natural.
- **GMF (Gear Mesh Frequency):** Frecuencia de Engrane.
- **KHz:** Kilo Hertz
- **MINAZ:** Ministerio del Azúcar
- **MPP:** Mantenimiento Preventivo Planificado
- **NC:** Normas Cubanas

- **PR**: Paquito Rosales
- **RCM**: M antenim iento C entrado en la Fiabilidad.
- **RMS**: Nivel ef icáz de Vibración
- **RPM**: Revoluciones por minuto que presenta la máquina.
- **RPS**: unidades de frecuencia. Equivale a 1Hz (ciclos por segundo)
- **SAH**: Im pacto en seguridad ambiente higiene
- **TPM**: M antenim iento Productivo Total.

## **LISTA DE ANEXOS**

### **ANEXOS 1**

EMPLEO DE SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

### **ANEXO 2**

CRITERIOS PROVISIONALES PARA LA VIBRACIÓN DE BANDA ANCHA EN GRUPOS ESPECÍFICOS DE MAQUINAS

### **ANEXO 3**

BITÁCORA DE FALLAS DE LAS MAQUINAS DE CADA ÁREA

### **ANEXO 4**

ESTRATEGIA DE EMPLEO DEL VIBROEXPERT CM -400

### **ANEXO 5**

TABLAS DE RESÚMENES DE DIAGNOSTICO

### **ANEXOS 6**

ACTA DE DEFENSA DE LA TESIS EN LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE DE SANTIAGO DE CUBA – CUBA

**DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico – científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

-----  
Alexander Rodrigo Guerrero Madroño

## CAPÍTULO I

### 1. GENERALIDADES

#### 1.5 ANTECEDENTES

En un clima de demanda tan variable como el actual, se crean en las empresas unas circunstancias adversas que obligan a su vez a crear técnicas avanzadas para desarrollar nuevos y atractivos productos así como a establecer nuevas organizaciones y procesos de producción apropiados que mejoren de forma importante la calidad, los tiempos de fabricación, asegurando el funcionamiento continuo y una distribución idónea de los productos.

Esta situación exige una «excelencia» en el Mantenimiento en los procesos industriales, a fin de obtener mayor disponibilidad en los sistemas de producción.

Para garantizar la más alta disponibilidad de las maquinaria se requiere de una constante inspección, es decir, el Mantenimiento predictivo; predecir una falla permite a la empresa determinar el momento adecuado para darle el Mantenimiento sin las afectaciones que podría causar una falla eventual, de tal forma que las máquinas y los procesos estén disponibles siempre que se necesiten y así lograr una producción mayor con una mejora constante de la calidad y de los costes involucrados en el proceso; todo lo cual se convierte en crecimiento económico de una empresa.

El Mantenimiento predictivo es una técnica que permite pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza en consecuencia, las empresas se ven en la necesidad de contar con un confiable análisis de tendencias o cambio de condición de sus equipos.

## 1.6 INTRODUCCIÓN

En el mundo entero se ha tomado conciencia de la importancia del Mantenimiento, aunque también es cierto que es considerado por algunos como un lastre a soportar que solo acarrea gastos que deben ser minimizados sin más. “El Mantenimiento es una rama de la ingeniería cuyo fin es el de mantener en condiciones adecuadas de disponibilidad y fiabilidad las instalaciones objeto del mismo” [1] y está condicionado por la necesaria competitividad de las empresas.

Estas aseveraciones corroboran el valor que en el orden tecnológico, económico, organizativo y socio-psicológico adquiere para la empresa una adecuada estrategia de Mantenimiento industrial, que vincule de forma armónica y racional los diferentes sistemas de Mantenimiento, ocupando un papel relevante de este enfoque el sistema de Mantenimiento predictivo, por diagnóstico o exploración.

Al mismo tiempo se considera un factor más de productividad pues si es eficaz, garantiza la calidad y disponibilidad necesarias de las instalaciones.

El Mantenimiento predictivo lo podemos definir como aquel que permite «predecir» con «precisión» la falla de un elemento de la máquina, incluso para órganos ocultos difícilmente accesibles, sin necesidad de ponerla fuera de servicio.

Esta novedosa forma de Mantenimiento tiene una significativa importancia en la industria azucarera cubana; en primer término, porque es un proceso de producción continuo de carácter bio-tecno-químico, donde los equipos deben mantenerse en óptimas condiciones de operación por largos períodos en ciertas épocas del año; y en segundo lugar, la indisponibilidad provoca considerables afectaciones a los indicadores de producción, calidad, costos y eficiencia industrial.

Las técnicas predictivas de Mantenimiento imponen, como requisito esencial para su aplicación en gran escala, la corrección previa de la máxima cantidad de defectos de explotación y Mantenimiento posibles, de forma tal que, la máquina se encuentre en las mejores condiciones antes de su aplicación.

De ahí que el éxito del uso de de dichas técnicas dependa en gran medida de la puesta en marcha de la máquina, ya sea nueva o reparada; siendo ese el mejor momento para su implantación en gran escala. [2]

En el mundo desarrollado se han implementado y perfeccionado Tecnologías Predictivas que proporcionan una serie de métodos no invasivos que permiten la evaluación de la condición mecánica de las máquinas sin desmontajes previos y sin afectar su trabajo normal ni el proceso productivo.

Entre ellas podemos mencionar: Análisis de vibraciones, control de rendimientos, control de temperaturas, análisis de aceites, control de tiempo de operación y maniobra, análisis de corrientes eléctricas, control de parámetros eléctricos, control de espesores y termografías.

En la industria cubana, se empieza a aplicar técnicas de Mantenimiento a partir de la década de los 90, encaminadas a resolver una serie de deficiencias que afectaban el proceso, provocando tiempos improductivos de las máquinas, reparaciones innecesarias e incumplimientos en la producción; posteriormente se ha venido implantando el sistema de Mantenimiento predictivo con el objetivo de alargar la vida útil de los activos y obtener resultados positivos en la provincia disminuyendo considerablemente el tiempo perdido.

Con este trabajo estamos proponiendo una **Guía de Mantenimiento Predictivo** para los equipos en la industria azucarera, como una herramienta de trabajo que nos permita introducir gradualmente las técnicas actuales de Mantenimiento a nivel mundial, y establecer los requisitos mínimos necesarios para llevarlas a cabo con éxito.

## 1.7 JUSTIFICACIÓN

El Mantenimiento predictivo tiene como objetivo el monitoreo de los equipamientos en operaciones, de forma que sea detectado cualquier síntoma de anomalía. La determinación del estado de los equipos en operación constituye una de las técnicas importantes dentro del Mantenimiento predictivo y son utilizadas para la estimación y seguimiento; en consecuencia, las empresas necesitan contar con un confiable análisis de tendencias o cambios de condición de sus equipos, es decir diagnosticar una eventual probabilidad de falla por el monitoreo de parámetros sensibles, en vez de sustituir el componente con tiempo de vida útil.

En definitiva con el presente trabajo se desarrolla una guía técnica para la aplicación de un sistema de Mantenimiento predictivo actualizado, que nos permita evitar pérdidas económicas no deseadas y muy perjudiciales para la industria.

## 1.8 OBJETIVOS

### 1.8.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar Técnicas de Mantenimiento Predictivo para determinar las Fallas en los Equipos de La Industria Azucarera Paquito Rosales de la República de Cuba.

### 1.8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar un análisis del estado técnico de los equipos.
- ✓ Seleccionar las técnicas predictivas en función de los equipos.
- ✓ Aplicar una de las técnicas de Mantenimiento predictivo.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos y determinar las causas fundamentales de fallas.
- ✓ Elaborar una guía de Mantenimiento Predictivo en base al análisis de la técnica determinada

## CAPÍTULO I

### 2. GENERALIDADES

#### 1.9 ANTECEDENTES

En un clima de demanda tan variable como el actual, se crean en las empresas unas circunstancias adversas que obligan a su vez a crear técnicas avanzadas para desarrollar nuevos y atractivos productos así como a establecer nuevas organizaciones y procesos de producción apropiados que mejoren de forma importante la calidad, los tiempos de fabricación, asegurando el funcionamiento continuo y una distribución idónea de los productos.

Esta situación exige una «excelencia» en el Mantenimiento en los procesos industriales, a fin de obtener mayor disponibilidad en los sistemas de producción.

Para garantizar la más alta disponibilidad de las maquinaria se requiere de una constante inspección, es decir, el Mantenimiento predictivo; predecir una falla permite a la empresa determinar el momento adecuado para darle el Mantenimiento sin las afectaciones que podría causar una falla eventual, de tal forma que las máquinas y los procesos estén disponibles siempre que se necesiten y así lograr una producción mayor con una mejora constante de la calidad y de los costes involucrados en el proceso; todo lo cual se convierte en crecimiento económico de una empresa.

El Mantenimiento predictivo es una técnica que permite pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza en consecuencia, las empresas se ven en la necesidad de contar con un confiable análisis de tendencias o cambio de condición de sus equipos.



## 1.10 INTRODUCCIÓN

En el mundo entero se ha tomado conciencia de la importancia del Mantenimiento, aunque también es cierto que es considerado por algunos como un lastre a soportar que solo acarrea gastos que deben ser minimizados sin más. “El Mantenimiento es una rama de la ingeniería cuyo fin es el de mantener en condiciones adecuadas de disponibilidad y fiabilidad las instalaciones objeto del mismo” [1] y está condicionado por la necesaria competitividad de las empresas.

Estas aseveraciones corroboran el valor que en el orden tecnológico, económico, organizativo y socio-psicológico adquiere para la empresa una adecuada estrategia de Mantenimiento industrial, que vincule de forma armónica y racional los diferentes sistemas de Mantenimiento, ocupando un papel relevante de este enfoque el sistema de Mantenimiento predictivo, por diagnóstico o exploración.

Al mismo tiempo se considera un factor más de productividad pues si es eficaz, garantiza la calidad y disponibilidad necesarias de las instalaciones.

El Mantenimiento predictivo lo podemos definir como aquel que permite «predecir» con «precisión» la falla de un elemento de la máquina, incluso para órganos ocultos difícilmente accesibles, sin necesidad de ponerla fuera de servicio.

Esta novedosa forma de Mantenimiento tiene una significativa importancia en la industria azucarera cubana; en primer término, porque es un proceso de producción continuo de carácter bio-tecno-químico, donde los equipos deben mantenerse en óptimas condiciones de operación por largos períodos en ciertas épocas del año; y en segundo lugar, la indisponibilidad provoca considerables afectaciones a los indicadores de producción, calidad, costos y eficiencia industrial.

Las técnicas predictivas de Mantenimiento imponen, como requisito esencial para su aplicación en gran escala, la corrección previa de la máxima cantidad de defectos de explotación y Mantenimiento posibles, de forma tal que, la máquina se encuentre en las mejores condiciones antes de su aplicación.

De ahí que el éxito del uso de de dichas técnicas dependa en gran medida de la puesta en marcha de la máquina, ya sea nueva o reparada; siendo ese el mejor momento para su implantación en gran escala. [2]

En el mundo desarrollado se han implementado y perfeccionado Tecnologías Predictivas que proporcionan una serie de métodos no invasivos que permiten la evaluación de la condición mecánica de las máquinas sin desmontajes previos y sin afectar su trabajo normal ni el proceso productivo.

Entre ellas podemos mencionar: Análisis de vibraciones, control de rendimientos, control de temperaturas, análisis de aceites, control de tiempo de operación y maniobra, análisis de corrientes eléctricas, control de parámetros eléctricos, control de espesores y termografías.

En la industria cubana, se empieza a aplicar técnicas de Mantenimiento a partir de la década de los 90, encaminadas a resolver una serie de deficiencias que afectaban el proceso, provocando tiempos improductivos de las máquinas, reparaciones innecesarias e incumplimientos en la producción; posteriormente se ha venido implantando el sistema de Mantenimiento predictivo con el objetivo de alargar la vida útil de los activos y obtener resultados positivos en la provincia disminuyendo considerablemente el tiempo perdido.

Con este trabajo estamos proponiendo una **Guía de Mantenimiento Predictivo** para los equipos en la industria azucarera, como una herramienta de trabajo que nos permita introducir gradualmente las técnicas actuales de Mantenimiento a nivel mundial, y establecer los requisitos mínimos necesarios para llevarlas a cabo con éxito.

## 1.11 JUSTIFICACIÓN

El Mantenimiento predictivo tiene como objetivo el monitoreo de los equipamientos en operaciones, de forma que sea detectado cualquier síntoma de anomalía. La determinación del estado de los equipos en operación constituye una de las técnicas importantes dentro del Mantenimiento predictivo y son utilizadas para la estimación y seguimiento; en consecuencia, las empresas necesitan contar con un confiable análisis de tendencias o cambios de condición de sus equipos, es decir diagnosticar una eventual probabilidad de falla por el monitoreo de parámetros sensibles, en vez de sustituir el componente con tiempo de vida útil.

En definitiva con el presente trabajo se desarrolla una guía técnica para la aplicación de un sistema de Mantenimiento predictivo actualizado, que nos permita evitar pérdidas económicas no deseadas y muy perjudiciales para la industria.

## 1.12 OBJETIVOS

### 1.12.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar Técnicas de Mantenimiento Predictivo para determinar las Fallas en los Equipos de La Industria Azucarera Paquito Rosales de la República de Cuba.

### 1.12.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar un análisis del estado técnico de los equipos.
- ✓ Seleccionar las técnicas predictivas en función de los equipos.
- ✓ Aplicar una de las técnicas de Mantenimiento predictivo.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos y determinar las causas fundamentales de fallas.
- ✓ Elaborar una guía de Mantenimiento Predictivo en base al análisis de la técnica determinada

## CAPÍTULO II

### 3. MARCO CONCEPTUAL Y REFERENCIAL

#### 2.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

##### 2.1.1 GENERALIDADES

La industria actual, bajo una creciente presión de la competencia, se encuentra obligada a alcanzar altos valores de producción con exigentes niveles de calidad cumpliendo con los plazos de entrega. Aquí radica, justamente, la importancia del Mantenimiento. [3]

**La finalidad del Mantenimiento entonces es conseguir el máximo nivel de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y de servicios con la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal al menor costo posible. [4]**

Lo que implica: conservar el sistema de producción y servicios funcionando con el mejor nivel de fiabilidad posible, reducir la frecuencia y gravedad de las fallas, aplicar las normas de higiene y seguridad del trabajo, minimizar la degradación del medio ambiente, controlar, y por último reducir los costos a su mínima expresión. El Mantenimiento debe seguir las líneas generales determinadas con anterioridad, de forma tal que la producción no se vea afectada por las roturas o imprevistos que pudieran surgir.

##### 2.1.2 LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO

El objetivo del Mantenimiento es conservar todos los bienes que componen los eslabones del sistema directa e indirectamente afectados a los servicios, en las mejores condiciones de funcionamiento, con un muy buen nivel de confiabilidad, calidad y al menor costo posible. Mantenimiento no sólo deberá mantener las máquinas sino también las instalaciones de: iluminación, redes de computación, sistemas de energía eléctrica, aire comprimido, agua, aire acondicionado, calles internas, pisos, depósitos, etc. [5]

Las variables del M antenim iento son:

- **Fiabilidad:** es la probabilidad de que las instalaciones, máquinas o equipos, se desempeñen satisfactoriamente sin fallar, durante un período determinado, bajo condiciones específicas.
- **Disponibilidad:** es la proporción de tiempo durante la cual un sistema o equipo estuvo en condiciones de ser usado.
- **Mantenibilidad:** es la probabilidad de que una máquina, equipo o un sistema pueda ser reparado a una condición especificada en un período de tiempo dado, en tanto su M antenim iento sea realizado de acuerdo con ciertas metodologías y recursos determinados con anterioridad.
- **Calidad:** Debemos destacar el lugar primordial que ocupa la calidad. El M antenim iento debe tratar de evitar las fallas, reestablecer el sistema lo más rápido posible, dejándolo en condiciones óptimas de operar a los niveles de producción y calidad exigida.
- **Seguridad:** está referida al personal, instalaciones, equipos, sistemas y máquinas; no puede ni debe dejársela a un costado, con miras a dar cumplimiento a demandas pactadas.
- **Costo:** La competencia nos obliga a bajar permanentemente los precios, por lo que se deben optimizar los procesos.
- **Entrega / Plazo:** El tiempo de entrega y el cumplimiento de los plazos previstos son variables que tienen también su importancia, en el M antenim iento; el tiempo es un factor preeminente. [ 6 ]

El deterioro, desde el punto de vista práctico no puede ser evitado totalmente pero si puede ir siendo compensado para contrarrestar sus efectos negativos. La actividad que evita o compensa el deterioro de los medios de producción es el M antenim iento.

Serán, por tanto, objetivos del M antenim iento:

- Reducir las paradas del equipo por desperfectos im previstos.
- Conservar la capacidad de trabajo de las m áquinas.
- Reducir las pérdidas de producción (por productos dejados de elaborar o por productos defectuosos) y consecuentem ente las pérdidas económicas.
- Contribuir al aumento de la productividad del trabajo.
- Elevar el nivel de utilización de las capacidades de producción y de servicios.

El cumplimiento de los objetivos previstos por un plan de producción implica el aseguramiento cuantitativo y cualitativo de los elementos fundamentales que participan en la actividad productiva. Quiere esto decir que sólo se logrará satisfactoriam ente el alcance de los objetivos trazados en un plan de producción si se realiza un efectivo aseguramiento de la mano de obra, los materiales y los medios de producción necesarios, especialmente mediante la adecuada aplicación de un programa de M antenim iento que pueda garantizar el aseguramiento de los medios de producción. Por tanto, el M antenim iento es un factor im portantísimo que garantiza la producción proyectada. Evidentemente el cumplimiento de los objetivos del M antenim iento debe lograrse con un criterio económico, es decir, que como resultado del M antenim iento debe lograrse una reducción de los costos generales de producción. Quiere esto señalar que podrá considerarse el funcionamiento de un equipo como eficiente desde el punto de vista económico, sólo en el caso en que las intervenciones que el mismo sufre en su funcionamiento por fallas debido a su estado técnico a lo largo del período de producción planificado, hayan sido reducidas al m ínimo tecnológicamente posible, ya que de no cumplirse lo anterior los costos de producción serán considerablem ente elevados.

Entre los diversos criterios y técnicas para lograr un M antenim iento adecuado el primero y más im portante es evitar el M antenim iento correctivo. La eficiencia radica en realizar tareas estrictam ente necesarias y planificadas. La evitación del M antenim iento empieza en las fases

de proyección y compra del equipo; una vez que éste ha entrado en funcionamiento el estudio de las fallas que se repiten, unas mejores condiciones de trabajo y la capacitación del personal de Mantenimiento y producción son medidas importantes para lograr este objetivo.

Por otra parte las actividades de Mantenimiento que no se eliminan mediante la evitación del Mantenimiento deben planificarse. Para ello se pueden aplicar varios criterios y técnicas.

Existen diferentes maneras de planificar el Mantenimiento:

- Mantenimiento Correctivo o por Rotura.
- Mantenimiento Preventivo Planificado.
- Mantenimiento Predictivo o por Diagnóstico.
- Mantenimiento Productivo Total. (TPM)
- Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad. (RCM)
- Mantenimiento Proactivo.

Al respecto pudieran mencionarse las bondades e insuficiencias de cada uno de ellos, pero sólo se hará referencia al Mantenimiento Predictivo ya que en la industria azucarera se combina con el Mantenimiento Preventivo Planificado evitando así una paralización indeseada.

### **2.1.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO [7]**

Consiste en el monitoreo continuo de máquinas y equipos con el propósito de detectar y evaluar cualquier pequeña variación en su funcionamiento, antes de que se produzca una falla.

#### **Pasos para Desarrollar un Sistema De Mantenimiento Predictivo. [8]**

En el Mantenimiento predictivo se introducen tecnologías de Mantenimiento basado en la condición y de carácter predictivo. Se diseñan los flujos de trabajo, selección de tecnología, formación y aplicación en la planta.

En este sistema de Mantenimiento, las revisiones en intervalos fijos son sustituidas por mediciones de las condiciones de la máquina en intervalos fijos, esto se denomina "Control y Seguimiento del Estado".

El principio del Mantenimiento Predictivo se basa en que la intervención se realiza únicamente cuando las mediciones lo indiquen. Esto está además de acuerdo con el recelo que la mayoría de los ingenieros tienen en intervenir a las máquinas que funcionan bien.

**Ventajas:**

- Detectar e identificar precozmente la existencia de defectos sin necesidad de parar y desmontar la máquina.
- Seguir la evolución del defecto en el tiempo hasta que éste se convierta en peligroso.
- Programar la parada para efectuar la corrección dentro de un tiempo muerto o una parada programada del proceso productivo.
- Reducir significativamente el tiempo de reparación ya que se tienen identificados los defectos así como los elementos que van a fallar.
- Evitar las fallas repetitivas identificando y corrigiendo las causas de las mismas.
- Reducir los costos de Mantenimientos e incrementar la producción por disminución del tiempo de parada.
- Permitir la selección satisfactoria de las condiciones de operación de la máquina a partir del conocimiento del estado real de la misma.
- Permitir el funcionamiento más seguro de la instalación.
- Máxima recuperación del capital invertido en las máquinas.
- Disminución de las inversiones por adquisición de repuestos.
- Disminución de los consumos energéticos.
- Reducción de los requerimientos de materiales en almacén.
- Incremento de la calidad de los productos.
- Disminución de los problemas ambientales.
- Reducción de los costos de seguridad.
- Incremento de la seguridad de los trabajadores.
- Operación óptima de las máquinas.
- Disminuye la tasa de salida forzada.
- Alta en la confiabilidad.
- Alta en la disponibilidad.
- Prolonga la vida útil de los equipos.



**Desventajas:**

- Costo alto de inversión en los equipos.
- Ocupa personal especializado y exclusivo.

**2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

Este Mantenimiento consiste en el análisis de parámetros de funcionamiento cuya evolución permite detectar una falla antes de que esta tenga consecuencias más graves. En general, el Mantenimiento predictivo, consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallas, para así determinar en qué periodo de tiempo, dicha falla va a tomar una relevancia importante, y así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente, para que nunca tenga consecuencias graves. [9]

**2.2.1 TÉCNICAS DE ENSAYO NO DESTRUCTIVOS [10]**

“Las herramientas de Mantenimiento predictivo se pueden encontrar en un amplio rango de costos, sofisticación y niveles de experiencia y conocimientos requeridos para interpretar eficazmente los resultados del diagnóstico”. Este tipo de ensayo está dirigido fundamentalmente a la detección de defectos causados por fatiga. Es sabido, estadísticamente, que la mayoría de las fallas estructurales, sobre todo en las piezas solicitadas por acciones dinámicas, se deben a la fatiga. En las piezas pueden existir múltiples defectos que no impiden la utilización racional de éstas. El problema real consiste en decidir, cuando se determinan una falla, si la misma es perjudicial o inofensiva. Esta decisión sobre la aceptación o rechazo está basada, en general, en la siguiente información: ubicación, tamaño, forma del defecto, sollicitación en correspondencia, material y características del mismo, función que debe cumplir el elemento, confiabilidad requerida, etc. Para determinados las fallas en los elementos se han creado patrones de rechazos y aceptación, pero en general y en última instancia depende del criterio y experiencia acumulada por el operador. Interesa que la inspección se realice en forma preventiva. Esta se puede llevar a cabo con las siguientes oportunidades o circunstancias:

- a) Al estado de suministro de compra.
- b) Durante las distintas etapas de fabricación.
- c) Durante las inspecciones periódicas.
- d) Después del reacondicionamiento.

La elección del método más conveniente o apropiado está condicionada a diversos factores, siendo tan diversos los problemas de control no resulta raro que un elemento mecánico deba ser sometido a más de un ensayo no destructivo. Debemos recordar que cada técnica de ensayo no destructivo es apta para resolver un determinado problema. Con la idea de poder reforzar los programas de Mantenimiento en función de mejorar la calidad y la productividad de la planta, estas son algunas de las herramientas y los ensayos del Mantenimiento predictivo más frecuentemente usados:

- 1) Análisis de Aceite.
- 2) Termografía (análisis infrarrojo).
- 3) Análisis de vibración.
- 4) Monitoreo de motores eléctricos y análisis de las condiciones.
- 5) Alineado de precisión y dispositivos de balanceo.
- 6) Monitores de tonelaje.
- 7) Inspección mediante partículas magnéticas.
- 8) Inspección por ultrasonido.
- 9) Inspección Radiográfica.
- 10) Inspección mediante líquidos penetrantes.

### **2.2.2 ANÁLISIS DE ACEITE**

En el análisis de aceite se comparan los lubricantes usados con los nuevos, para determinar:

- Las condiciones del lubricante.
- La presencia de contaminantes.
- Las condiciones de las superficies de desgaste.

## **Tipos De Ensayos**

### **Espectroscopia por emisión atómica:**

Identifica las partículas metálicas muy finas disueltas en el lubricante. Las partículas gruesas (desgaste severo) no son analizadas.

### **Viscosidad:**

Mide las capacidades del flujo de un lubricante.

### **Otros ensayos físicos y químicos:**

- Evalúa si el aceite es o no adecuado para el servicio.
- Servicios de laboratorios “costosos” – anuales en equipos críticos.

### **Aplicaciones**

- Monitoreo de equipos con tanques de lubricación
- Determinar el reemplazo del aceite, tomando como base las condiciones y no los calendarios/medidores internos.
- Frecuentemente usado junto con el análisis de vibración para confirmar las conclusiones.

## **2.2.3 TERM O G R A F Í A**

La termografía utiliza sistemas de cámaras sensibles a los rayos infrarrojos para capturar la radiación (calor) emitida por los objetos, con el fin de producir una “imagen”. Los patrones térmicos basados en las diferencias de temperatura, son registrados en videos para su inmediata reproducción, procesados por sistemas de análisis de imagen por computadoras y desarrollados en copias Xerox impresas a los fines de documentación y pedidos de trabajo. La imagen térmica es útil para su aplicación en Mantenimiento Predictivo en dos modos:

- 1) Es un método de no-contacto para identificar componentes mecánicos y eléctricos que están “más calientes” que lo normal, frecuentemente es una indicación de falla inminente.
- 2) Indica la pérdida excesiva de calor, que usualmente es un signo de aislamiento incorrecto o inadecuado.

## Aplicaciones

- Durante el ensayo final (en fábrica) de los equipos nuevos.
- La puesta en marcha inicial in situ del equipo.
- Análisis /tendencias rutinarias.
- Verificación de acciones de reparación.
- Resolución de problemas.
- Ideal para la explotación de equipos eléctricos en busca de componentes defectuosos, identificando:
  - Desgaste normal.
  - Contaminación química.
  - Fatiga.
  - Montaje o instalación incorrectos.
  - Conexiones flojas.
  - Condiciones de sobrecarga.
  - Sistema principal de distribución eléctrica.
  - Exploración de componentes mecánicos en busca de calor excesivo (cojinetes, falta de alineado, etc.).
  - Exploración de techos (pérdida de energía, humedad).
  - Exploración de aislamiento de estufas/refractarios.
  - Sistemas de vapor (pérdidas, aislamiento, trampas).

### 2.2.4 ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Este análisis mide la frecuencia de las vibraciones del equipo para ayudar a diagnosticar el origen de las fallas y mide la amplitud para ayudar a determinar la severidad de las mismas.

Las vibraciones pueden deberse a:

- Carga desequilibrada.
- Falta de alineado.
- Desprendimiento.
- Correas defectuosas.
- Cojinetes deteriorados.
- Aflojamientos.

**Tipos de alarmas de análisis de vibración** Los niveles de alarma del análisis de vibración frecuentemente incluyen:

- Alarma por falla.
  - ✓ Advertencia de problemas críticos-falla inminente.
  - ✓ Alarma más alta.
- Alarmas de alerta.
  - ✓ Advertencia de una situación seria pero no crítica.
  - ✓ Advierte a los técnicos que una máquina se debería evaluar detalladamente.
  - ✓ Proporciona una advertencia anticipada para la planificación de acciones de reparación.
- Alarmas de índice de línea de base.
  - ✓ Monitorea la tendencia de la vibración a través del tiempo, para establecer una línea de base.
  - ✓ El nivel de alarma se establece tomando como base un aumento del porcentaje sobre una lectura de línea de base (referencia).
  - ✓ Las lecturas de la vibración de la corriente se compara con los datos más recientes, para detectar los problemas de los equipos nuevos.

#### **Aplicaciones**

- Es mejor utilizada en ejes de alta velocidad y equipos giratorios.
- Detecta los defectos de cojinetes/alineado.

#### **Cuando:**

- “Señales” (datos de línea de base) recogidas del equipo para monitorear los cambios.
- Análisis/tendencias rutinarios.
- Verificación de acciones de reparación.
- Resolución de problemas.

### **2.2.5 MONITOREO DE MOTORES ELÉCTRICOS Y ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES**

Mediante diversas técnicas de análisis de motores, las fallas en motores eléctricos nuevos y existentes se pueden detectar y corregir antes de que el motor falle.

Entre alguna de las técnicas de monitoreo de las condiciones del motor más tradicionales y comúnmente usadas, podemos citar:

- Resistencia a tierra (RTG): La condición monitoreada es la integridad del sistema aislante, poniendo a tierra los conductores de potencia.
- Ensayo comparativo de subida de voltaje o tensión.
- La inserción autónoma con pulsos eléctricos controlados en un motor, se usa para verificar la condición de arrollamiento de bobina, vuelta por vuelta y conexión a tierra. Este método de ensayo también revela el aislamiento fase por fase y la orientación de la bobina.
- Análisis de temperatura normalizada del motor.

#### **Aplicaciones**

Motores eléctricos

#### **Cuando:**

- Durante el ensayo final de los motores nuevos.
- En la recepción de motores nuevos o reconstruidos.
- Análisis/tendencias rutinarios.
- Verificación de acciones de reparación.

### **2.2.6 ALINEADO DE PRECISIÓN Y DISPOSITIVOS DE BALANCEO**

Se utiliza para inspeccionar el alineado y balanceo de las máquinas acopladas. Estas herramientas predictivas incluyen sistemas de alineado láser y electromecánico.

#### **Aplicaciones**

- En toda máquina acoplada en la que la falta de alineado o el desequilibrio ocasionaran la falla prematura o problemas de calidad.
- Motores de impulsión, bombas, nivelación de prensas, componentes giratorios de alta velocidad.

#### **Cuando:**

- Durante el ensayo final de equipo nuevo.
- En la recepción de equipos nuevos o reconstruidos.

- Análisis/tendencias rutinarios.
- Verificación de acciones de reparación.

### 2.2.7 MONITORES DE TONELAJE

Los monitores de tonelaje son dispositivos que utilizan un medidor de deformación para medir el tonelaje dinámico o pico.

#### Aplicaciones

Todo equipo tipo prensa.

#### Cuando:

- Prueba de todas las herramientas y verificación de reparación.
- Cambios de prensas de estampado.
- Monitoreo en línea de golpes de prensas pesadas.

El monitoreo directo del tonelaje del ciclo de prensas se puede usar para evaluar la integridad de los componentes de la prensa.

### 2.2.8 ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS [11]

Los materiales ferromagnéticos tales como muchos aceros desarrollan, cuando son magnetizados, un flujo magnético mucho mayor que en los materiales no magnéticos. Si existiera un defecto cerca de la superficie se produce un escape de este flujo, llamado campo de fuga, en el espacio cercano a la superficie de la pieza. Así este método puede localizar defectos superficiales y/o subsuperficiales por la detección del campo de fuga. Para visualizar los campos de fuga se utilizan comúnmente partículas magnetizables y en algunos casos sensores magnéticos tal como un generador de efecto Hall o cintas magnéticas, El campo de fuga que producen los defectos depende de la orientación de magnetización en la pieza y dimensiones del defecto.

### Características

El ensayo por partículas magnéticas es el método más útil de inspección para determinar si hay defectos superficiales y/o sub-superficiales en el objeto. Es posible detectar con bastante seguridad discontinuidades de un milímetro de longitud, por lo que ha sido ampliamente usado en aceros. Desafortunadamente no es posible estimar la profundidad de las indicaciones que es la información más importante cuando se quiere evaluar la vida de un producto. Se puede obtener información cuantitativa usando ensayos de escape del campo magnético pero esta aplicación esta confinada a piezas con geometría simple.

### 2.2.9 ENSAYO POR ULTRASONIDO

Se puede usualmente escuchar el sonido entre 20 y 20.000 Hz (ondas sónicas) llamándose ondas ultrasónicas a aquellas que tiene mayor frecuencia. Las ondas ultrasónicas tienen la propiedad de propagarse en la pieza y ser reflejadas parcial o totalmente por un reflector (un defecto o fondo de la pieza). Así se pueden detectar no destructivamente discontinuidades por medio de este ensayo. Comúnmente las ondas ultrasónicas utilizadas tienen frecuencia entre 0,5 y 25 MHz, pudiéndose detectar discontinuidades que tengan un tamaño mayor a la mitad de la longitud de onda. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia, por lo que es posible detectar defectos más pequeños si se usan ondas ultrasónicas de mayor frecuencia.

$$\lambda = c / f$$

$\lambda$ : long. de onda ; C: Velocidad del sonido; f: frecuencia

(1)

### Característica

Dado que la transmisibilidad de ondas ultrasónicas es buena cuando el tamaño de los granos cristalinos del material en ensayo es pequeño, es posible aplicar US para detectar pequeños defectos en forjados de algunos metros de diámetro. Cuando el tamaño de grano es más grande la onda ultrasónica es dispersada por los bordes de grano y así atenuada. En algunos



casos, debido a que las ondas dispersadas producen ecos de fondo (ruido), no es posible la detección. En buenas condiciones se pueden determinar defectos cercanos a la mitad de la longitud de onda, por ejemplo de 1,5 mm (aprox. 3 mm la longitud de onda) cuando se usan frecuencias de 2 MHz. en aceros La detectabilidad de un defecto depende mayormente de su forma y orientación. Esto significa que puede obtenerse un eco de gran amplitud cuando la onda incide en un defecto plano (tal como una fisura) y en forma perpendicular a la superficie. Por el contrario, se obtienen ecos pequeños cuando el defecto es esférico tal como un "blowhole", debido a que la onda ultrasónica es dispersada en muchas direcciones por su superficie. Las condiciones de contacto entre el palpador y la superficie de la pieza de ensayo, la rugosidad de la superficie y el acoplante afectan también la amplitud del eco siendo esto uno de los puntos más débiles del ensayo ultrasónico. El US es usado principalmente para detectar defectos internos pero los principios son diferentes a los del ensayo radiográfico. En ensayos de soldaduras, la detectabilidad de fisuras muy angostas, falta de penetración y falta de fusión es superior al ensayo radiográfico. Sin embargo, la determinación de qué tipo de defecto se está observando, depende de la habilidad y experiencia del operador. En general el registro que se obtiene es inferior al de radiografía.

#### **2.2.10 ENSAYO RADIOGRÁFICO**

La radiografía Industrial es un método no destructivo para inspeccionar piezas u objetos, en búsqueda de discontinuidades o defectos especialmente internos. El método se basa en la mayor o menor transparencia a los rayos X o Gamma de los materiales según su naturaleza y espesor. El objeto es irradiado, la radiación atraviesa el material siendo absorbida parcialmente por el y emerge con distintas intensidades las que son interceptados por un film fotográfico. Luego del procesado de la película, se evalúa la imagen y los defectos. En el ensayo radiográfico se usan principalmente los rayos X y los rayos Gamma que son ondas electromagnéticas que tienen casi las mismas propiedades físicas, pero difieren en su origen. Estos rayos tienen la capacidad de penetrar los objetos, y su penetrabilidad depende del tipo de material, espesor, densidad del objeto, y de la existencia de defectos en la pieza.

Ya que las formas y dimensiones de los defectos tridimensionales son convertidos a una imagen en dos dimensiones sobre la película radiográfica el coeficiente de absorción de un objeto es un factor importante. El coeficiente de absorción disminuye con la energía de los Rayos X y se incrementa con el número atómico del material del objeto, por lo que se deberá

aumentar la energía del tubo a medida que los espesores de las piezas aumenten o los materiales sean más absorbentes. Otro factor importante en ensayos radiográficos es la dispersión de los RX. La dispersión depende del voltaje del tubo. Cuando este es alto la diferencia entre la dirección de los RX dispersados con respecto a los incidentes es pequeño. La relación de la intensidad de los RX dispersados con respecto a los incidentes disminuye con el voltaje del tubo. En el ensayo radiográfico se debe obtener un film con alta calidad de imagen.

#### **Características:**

En un ensayo radiográfico se puede obtener en la película la proyección de un defecto (en dos dimensiones) y así evaluar el tipo y dimensiones del mismo. El ensayo radiográfico puede detectar defectos internos y ha sido ampliamente usado y adoptado en muchas normas. Además se puede conservar las películas como una evidencia objetiva. El ensayo radiográfico tiene la capacidad de detectar defectos tridimensionales que tengan un volumen superior al 3% relativo al espesor del objeto, en la dirección de los rayos incidentes. En el caso de fisuras que son el tipo de defecto más perjudicial para un producto, es posible detectarla si esta ubicada aproximadamente paralela a la dirección de los rayos incidentes, pero se vuelve dificultoso si la fisura tiene más de 15° en la dirección de los rayos incidentes.

#### **2.2.11 ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES.**

Cuando se quiere detectar defectos muy finos, se los debe magnificar con un método apropiado para su visualización. En el ensayo por líquidos penetrantes las indicaciones se magnifican debido a la capacidad de absorción del revelador (pequeñas partículas que se aplican sobre la superficie de la pieza) que actúa sobre el penetrante que ha quedado retenido en las discontinuidades, y extrayéndolo a la superficie. Se puede luego observar fácilmente la indicación del defecto usando ya sea penetrantes coloreados o fluorescentes. Las cinco etapas siguientes se ejecutan en el ensayo por LP.

1. Limpieza inicial: se remueve la suciedad de la superficie de la pieza y del interior de los defectos.
2. Penetración: se aplica un penetrante (líquido con alta capilaridad) sobre la pieza a ser examinada y se lo deja penetrar dentro de los defectos.

3. Limpieza intermedia: se remueve el exceso de penetrante de la superficie de la pieza.
4. Revelado: se aplica un revelador blanco a la superficie de la pieza que extrae el penetrante de los defectos.
5. Observación: se observan las indicaciones de los defectos bajo luz natural en el caso de los penetrantes coloreados o usando luz negra en el caso de los penetrantes fluorescentes.

### **Características**

El ensayo por LP sólo detecta discontinuidades abiertas a la superficie. La detectabilidad de un defecto en esta técnica es algo inferior a la del ensayo por partículas magnéticas. El ensayo por LP puede ser aplicado en cualquier tipo de material, metálicos o no metálicos, salvo en aquellos materiales porosos o con alta rugosidad. El tamaño mínimo de un defecto detectable es aproximadamente de 1 mm de longitud, 20  $\mu\text{m}$  y 1  $\mu\text{m}$  de ancho dependiendo de la técnica y la calidad de los productos utilizados.

## **2.3 MÉTODO DE LOS CRITERIOS PONDERADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD**

En este parámetro se utilizará el método de evaluación de criticidad o método de los criterios ponderados.

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos y talentos (económicos, técnicos, humanos).

### **2.3.1 CRITICIDAD [12]**

El término crítico y la definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones y van a depender del objetivo que se está tratando de jerarquizar. Desde esta óptica existen una gran diversidad de herramientas de criticidad, según las oportunidades y las necesidades de la organización, la metodología que se propondrá es una herramienta de priorización bastante sencilla que genera resultados semicuantitativos, basados en la teoría del Riesgo (Frecuencia de fallas X Consecuencias).

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \quad (2)$$

Frecuencia = # de fallas en un tiempo determinado

$$\text{Consecuencia} = \left( \text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad} \right) \times \text{Costo Mto} + \text{Impacto SAH} \quad (3)$$

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por la expresión de riesgo se presentan a continuación.

Criticidad Total = Frecuencia de Fallas por Consecuencia.

En la tabla 1 podemos observar los criterios a evaluar o la matriz de criticidad.

**TABLA I: CRITERIOS A EVALUAR – MATRIZ DE CRITICIDAD**

<b>Frecuencia de Fallas</b>		<b>Costo de Mantenimiento</b>	
<i>¿Cuántas Fallas al Año?</i>		<i>¿Qué tan costoso es el Mantenimiento?</i>	
Parámetro Menor de 2 Fallas/Año	1	Costos menores a \$2000	1
Promedio de 2 - 4 Fallas/Año	2	Costos mayores a \$2000	2
Promedio de 4 - 10 Fallas/Año	3		
Parámetro Mayor de 10 Fallas/Año	4		
<b>Impacto Operacional</b>		<b>Impacto en Seguridad Ambiente Higiene</b>	
<i>¿Qué Tanto Afectan los Fallas en el Proceso?</i>		<i>¿Qué tanto influyen las fallas en la SAH?</i>	
Parada Inmediata, total del Proceso	10	Afecta la seguridad personal tanto interno como externo	8
Parada total de la Máquina	6	Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	6
Impacta en Niveles de Producción o Calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos a los activos	4
Repercute en Costos Operacionales Adicionales Asociados a Disponibilidad	2	Provoca daños menores (accidentes e incidentes)	2
		No provoca ningún tipo de daño a personas instalaciones o al ambiente	0
No Genera Ningún Efecto Significativo Sobre Operaciones o Producción	1		
<b>Flexibilidad Operacional</b>			
<i>¿Qué tan Rápido Se Puede Devolver una Función?</i>			
Se demora en reparar mas de 24 horas	4		
Se demora en reparar mas de 8 - 24 horas	3		
Se demora en reparar mas de 2 - 8 horas	2		
Menos de 2 horas	1		

Estos factores son evaluados en reuniones de trabajo con la participación de distintas personas pertenecientes e involucradas con el contexto operacional (operaciones, Mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente). Una vez que se evaluaron en consenso cada uno de los factores presentados en la tabla anterior, se introducen en la fórmula de criticidad total, y se obtiene el valor total de la criticidad (máximo valor de criticidad que se puede obtener a partir de los factores ponderados evaluados).

Para obtener el valor de criticidad de cada sistema se toman los valores totales individuales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias y se ubican en la matriz de criticidad por tanto el valor de las frecuencias se ubican en el eje Y, el valor de las consecuencias en el eje X. la matriz criticidad mostrada en el siguiente esquema.

Permite jerarquizar los sistemas en tres áreas.

- Área de sistema No Críticos (NC)
- Área de sistema de Media Criticidad (MC) o Semi-Critico (SC)
- Área de sistemas Críticos (C)

	4	MC SC	MC SC	C	C	C
	3	MC SC	MC SC	MC SC	C	C
FRECUENCIA	2	NC	NC	MC SC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC SC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

## 2.4 ASPECTOS GENERALES DE LA TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DEL AZÚCAR

### 2.4.1 MANIPULACIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

#### 2.4.1.1 BASCULADOR

El área del basculador es donde se recepciona la caña, se manipula y se prepara con el objetivo de aumentar la extracción del jugo en los molinos, para alcanzar este objetivo se encuentran instaladas en esta los siguientes equipos.

- Cuenta con una plataforma o virador de ferrocarril de vía ancha con capacidad máxima de 3 680 tn/d (320 000 @ /día).
- Un virador de camiones con capacidad de 1380 tn/d (120 000 @ /día).
- Una estera surtidora con un ancho de 1.822 m (182.2 cm.), largo de 17.40 m (1740 cm.).
- Una estera elevadora con un ancho de 1.828 m (182.2 cm.) y un largo de 47.00 m (4700 cm.).
- Rompe-bultos movido por un motor eléctrico de 40 Kw.
- Gallego o nivelador de 14 brazos, rota a 49 r.p.m.
- Dos juegos de cuchillas del tipo diente sierra, el primer juego cuenta con 46 machetes, 23 soporte, El segundo juego es de 92 machetes vaquer, con tacones las cuchillas laterales, y sin tacones las cuchillas del centro, diámetro de rotación 1480 r.p.m.

### 2.4.2 PLANTA MOLEDORA

#### 2.4.2.1 TANDEM

La caña preparada por las picadoras llega a un tándem. En esta área se cuenta con cinco molinos del tipo Fulton inclinado con rayados de ángulos diferenciales.

Es un tándem de maceración compuesta, con agua de imbibición en el quinto molino con temperatura de 60 - 700 c, y se aplica alrededor del 160% de la fibra en caña y cumple así el parámetro del jugo mezclado es decir Brix entre 14.5 y 15.5. Cada molino tiene conductor intermedio, con el objetivo de buscar grados de libertad en caso de fallas que se presenten en

alguno de los molinos, por un lado y por el otro para buscar una alimentación al molino más uniforme y mejorar extracción.

### 2.4.3 AREA DE GENERACIÓN DE VAPOR

Esta área está compuesta por un Generador de Vapor, tres conductores de bagazo, un Almacén de bagazo y un cuarto de control. El bagazo que sale de la última unidad de molienda ó molino quinto, se conduce a la caldera para generación de vapor y el sobrante se dispone a la bagacera mediante un sistema de recirculación que permita no sólo alimentar la caldera sino manejar los sobrantes de una manera práctica.

### 2.4.4 FABRICACIÓN

#### 2.4.4.1 PROCESO DE ALCALIZACIÓN

En la planta de preparación de la lechada de cal existen dos tanques, el primero es donde es apagada la cal con una capacidad de  $14.69 \text{ m}^3$  donde se prepara a una densidad de 10 a  $20^0$  Baumé, el segundo con una capacidad de 2 330 galones ( $8.82 \text{ m}^3$ ), donde es diluida la lechada de cal hasta una densidad de  $2-4^0$  Baumé, en la planta existen tres bomba de lechada de cal de 150 rpm.

El jugo mezclado proveniente de los molinos pasa al tanque de alcalizar con el objetivo de elevar el PH entre 7.6 y 8,0 a este tanque también llega jugo turbio proveniente de los filtros.

El tanque de alcalizar tiene una capacidad de 3 880 galones ( $14.69 \text{ m}^3$ ) y el tipo de encalado que existe en el ingenio es en frío, la cal que se utiliza es la hidratada en lugar de cal viva porque da mejor resultado y la lechada de cal se prepara más rápidamente, esta se prepara con agua condensada para no introducir materia mineral que incrementa los no azucares inorgánicos del jugo y para aumentar la escasa solubilidad de la cal, contribuyendo a que la cal resulte de partícula mas finamente dividida, El jugo después de alcalizado pasa hacia los calentadores de jugo.

#### 2.4.4.2 CALENTADORES DE JUGO ALCALIZADO

Esta área cuenta con cuatro calentadores de jugo alcalizado de 4.00m (4000mm), con capacidad calórica de 76.68 mcsc.

Estos tienen la función de calentar el jugo alcalizado hasta una temperatura entre 102 y 106°C.

#### 2.4.4.3 CLARIFICACIÓN

En este CAI hay un solo clarificador de 200.606 m<sup>3</sup> (53 000 galones) de capacidad es cilíndrico con el fondo cónico y está dividido por compartimiento uno encima del otro, llamado bandeja y tiene 4 compartimiento y están intercomunicados por conductos centrales. Para la extracción de sedimentos y por la parte periférica por conductos para la alimentación de jugo a las bandejas, circula en dos corrientes diferentes con el objetivo de sedimentar los floculos de fosfato de calcio y su separación en dos fases:

Jugo claro con una pureza de 0.5 - 1.5 > que el jugo mezclado, un Brix aproximadamente igual al del jugo mezclado y un pH de 6.7 - 7.1. Cachaza.

Para lograr este objetivo las bandejas deben funcionar como una unidad independiente, el jugo claro fluye por los tubos situados en la parte más alta que los conduce al exterior hacia un recipiente colector llamada caja de corrida por donde rebosa cuando la altura del mismo es menor al nivel del jugo contenido en el clarificador.

#### 2.4.4.4 FILTRO ROTATORIO AL VACÍO

Este equipo como su nombre lo indica trabaja al vacío y girando para extraer el jugo mediante succión por efecto de una de una bomba de vacío. Como medio filtrante se emplea bagacillo tomado de los conductores de bagazo y transportado neumáticamente al tanque donde se mezcla con la cachaza extraída de clarificador, con una capacidad de 6.7 m<sup>3</sup>. En este ingenio existen dos, uno trabajando y el otro de reserva para utilizarlo en caso necesario por incremento de los sedimentos en el clarificador.

El jugo filtrado por concepto de agotamiento de la cachaza es regresado al tanque de alcalizar para iniciar el proceso de nuevo, aunque en el proceso de diversificación esta propuesto para hacer alcohol flem a, ron, vinagre, etc.



#### 2.4.5 EVAPORACIÓN

El jugo se alimenta en la cámara de evaporación del primer vaso y su flujo se regula mediante una válvula, sufre la primera evaporación y por diferencia de presión existente circula hasta la cámara de evaporación del siguiente vaso, para poder mantener el nivel adecuado del jugo en los tubos hay que mantener el nivel a un  $1/3$  de la altura de la calandria, cada vaso dispone de un regulador de descarga mediante un sifón, se alimenta así el siguiente vaso.

El jugo concentrado ó meladura se envía a los tanques de almacenamiento en la estación de tachos.

#### 2.4.6 CRISTALIZACIÓN

El proceso de cristalización consiste en alimentar con una disolución azucarada a un tacho que es un evaporador a simple efecto y trabaja por templa donde se obtiene la sacarosa cristalizada y para que la sacarosa cristalice la disolución azucarada debe estar sobresaturada.

Estos cristales que se forman en el tacho son desarrollados, este material cristalizado es sometido a una agitación suave y va perdiendo temperatura, como consecuencia del enfriamiento aumenta la sobresaturación y la sacarosa puede seguir depositándose en los cristales.

Aquí en los tachos se realizan unas series de operaciones destinadas a lograr una mejor calidad del azúcar y el mayor agotamiento de las mieles.

#### 2.4.7 CENTRIFUGACIÓN

Las masas cocidas se envían a unos receptores o mezcladores y de allí a las centrífugas, para llevar a cabo la separación de los cristales y el licor madre o miel.

Durante el proceso de centrifugación, el azúcar se lava para eliminar residuos de miel y se descarga a unos sinfines que a su vez transportan el azúcar hacia los elevadores para luego ser enviados al área de bodega y para sus respectivos destinos.

En el gráfico podemos fijarnos de una forma general el proceso de producción del azúcar del Central azucarero "Paquito Rosales".

## PROCESO DE FABRICACIÓN DE AZÚCAR CAI 'PAQUITORSALES'

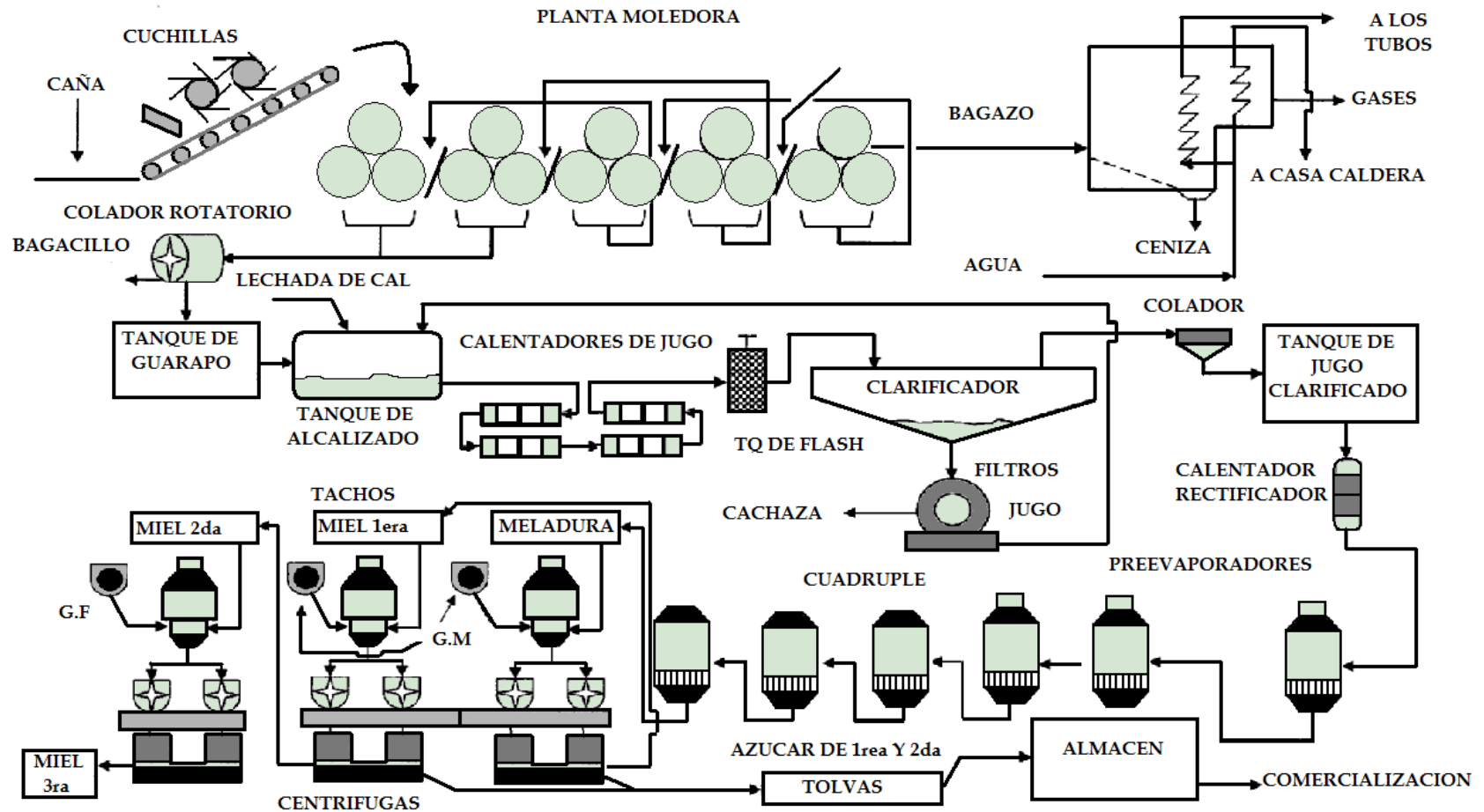


Figura 1: Proceso de Fabricación de Azúcar 'PAQUITORSAILES'

### CAPÍTULO III

#### 4. EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

##### 3.1 HISTORIA DE LA EMPRESA.



Figura 2: Empresa Azucarera “Paquito Rosales”.

La industria azucarera a lo largo de la historia ha constituido para Cuba, un sector de elevados aportes netos de ingresos y constituye una fuente considerable de ubicación de la fuerza laboral activa.

La Empresa se encuentra ubicada en el Municipio de San Luís, en la Provincia de Santiago de Cuba.

Se fundó en el año de 1913 con el nombre de Borjita, siendo su propietario Don Luís Hecheverría, realizando su primera molienda en 1914 con una producción de 7500 TM de azúcar crudo.

Desde esa fecha hasta 1952 se sometió a importantes ampliaciones de sus capacidades, alcanzando en este último año su récord de producción del período pre - revolucionario con

39555 TM de azúcar crudo. Este récord fue roto en 1979 cuando se produjeron 43451 TM de azúcar crudo.

En el año 1983 se crea el CAI "Paquito Rosales" con la fusión de la Empresa Azucarera "Paquito Rosales" y la Empresa Cañera del mismo nombre.

Después de los años 90 el Complejo Agroindustrial no fue una excepción a los embates del **Período Especial**, el mismo causó graves afectaciones a la producción cañera, motivadas por un descenso brusco de los suministros tradicionales y necesarios como son: los fertilizantes, herbicidas, así como escasez en el suministro de maquinaria, piezas de repuestos y agregados, serias limitaciones en el suministro de combustibles y lubricantes, además de otros surtidos necesarios para la industria, el transporte y los trabajadores.

No obstante, a las limitaciones reales, el Complejo Agroindustrial "Paquito Rosales" realizó ingentes esfuerzos en la recuperación cañera azucarera comenzando a verse ciertos avances.

Producto de las medidas que se han ido tomando para lograr una estrecha vinculación entre la eficiencia y eficacia económica de la entidad, se ha estructurado la organización renombrándose Empresa Azucarera "Paquito Rosales".

### **3.1.1 ESTADO TÉCNICO ACTUAL DE LA MÁQUINARIA**

Para definir el estado técnico actual de la maquinaria de la Empresa Paquito Rosales es necesario definir las zonas de proceso del ingenio y luego con el procedimiento para diagnosticar equipos sabremos el porque hemos escogido la zona y los equipos que van a ser objeto de evaluación.

### **3.1.2 EQUIPOS DEL CENTRAL**

Los equipos del Central están divididos en ocho áreas específicas, cada área con su siguiente distribución:

#### **1.- Área 1**

Basculador

**2.- Área 2**

Planta M oledora

**3.- Área 3**

Generación de Vapor

**4.- Área 4**

Planta Eléctrica

**5.- Área 5**

Purificación

**6.- Área 6**

Evaporación

**7.- Área 7**

Cristalización

**8.- Área 8**

Centrifugación

El trabajo esta proyectado para determinar la criticidad de las máquinas en las áreas 1 hasta el área 4, ya que mediante este análisis podemos determinar el área fundamental o critica dentro del proceso de fabricación de azúcar, éstas áreas abarcan los siguientes equipos.

**Área 1****Basculador**

<b>Romana de caña de ferrocarril</b>
<b>Romana de caña de camiones</b>
<b>Virador hidráulico de carros</b>
<b>Virador hidráulico de camiones</b>
<b>Bombas hidráulicas de viradores</b>
<b>Winche del patio</b>
<b>Winche del Basculador</b>

Bomba de limpieza
Estera surtidora
Estera elevadora
Rompébultos
Niveladores
Cuchilla de picar caña 1
cuchilla de picar caña 2
Alzadora del basculador 1
Alzadora del basculador 2
Alzadora del basculador 3
Alzadora microdespalillo
Diferencial del basculador
Conductor elevador de basura del basculador

## Área 2

### Planta moladora

Molino de caña 1
Molino de caña 2
Molino de caña 3
Molino de caña 4
Molino de caña 5
Tolvas donelly
Conductor intermedio 1
Conductor intermedio 2
Conductor intermedio 3
Conductor intermedio 4
Conductor intermedio 5

<b>M o t o r 1 d e m o v i m i e n t o m o l i n o 1</b>
<b>M o t o r 2 d e m o v i m i e n t o m o l i n o 2 y 3</b>
<b>M o t o r 3 d e m o v i m i e n t o m o l i n o 4 y 5</b>
<b>R e d u c t o r e s m o v i m i e n t o m o l i n o s 1</b>
<b>R e d u c t o r e s m o v i m i e n t o m o l i n o s 2 y 3</b>
<b>R e d u c t o r e s m o v i m i e n t o m o l i n o s 4 y 5</b>
<b>S i s t e m a d e p r e s i o n e s h i d r á u l i c a s</b>
<b>S i s t e m a d e l u b r i c a c i ó n</b>
<b>B o m b a d e m a c e r a c i ó n 1</b>
<b>B o m b a d e m a c e r a c i ó n 2</b>
<b>B o m b a d e m a c e r a c i ó n 3</b>
<b>B o m b a d e m a c e r a c i ó n 4</b>
<b>B o m b a j u g o m e z c l a d o 1</b>
<b>B o m b a j u g o m e z c l a d o 2</b>
<b>B o m b a a c a l e n t a d o r l i q . - l i q . 1</b>
<b>B o m b a a c a l e n t a d o r l i q . - l i q . 2</b>
<b>C o l a d o r r o t a t o r i o</b>
<b>B o m b a d e e n f r i a m i e n t o m o l i n o s</b>
<b>B o m b a d e a c h i q u e S i s t . I n t u í</b>
<b>B o m b a d e a c h i q u e t r e n d e e n g r a n e s</b>
<b>C a l e n t a d o r l i q . - l i q .</b>
<b>G r ú a d e l t á n d e m</b>
<b>I n s t r u m e n t a c i ó n y c o n t r o l d e l á r e a</b>

### Área 3

#### Generación de vapor

<b>C a l d e r a</b>
<b>C o n d u c t o r d e b a g a z o 1</b>

Conductor de bagazo 2
Conductor de bagazo 3
Ventilador Tiro Forzado Princ.
Ventilador Tiro Forzado Sec.
Ventilador Tiro Inducido
Sistema de tubería de agua
Sistema de tubería de vapor
Bomba de alimentar caldera 1
Bomba de alimentar caldera 2
Tanques de retorno
Bomba de retorno trasiego 1
Bomba de retorno trasiego 2
Bomba al desaireador 1
Bomba al desaireador 2
Bomba de reserva 1
Bomba de reserva 2
Bomba de tratamiento de agua
Instrumentos de control del área
Estación reduc. De presión de vapor
Retroalimentador de bagazo

#### Área 4

#### Planta eléctrica

Turbogenerador 1
Turbogenerador 2
Pizarra de distribución gral. Plant elect.
Bomba de aceite turbogen. 1



<b>Bom ba de aceite turbogen. 2</b>
<b>Turbo bom ba de turbogen. 1</b>
<b>Turbo bom ba de turbogen. 2</b>
<b>Enfriador de aceite turbogen 1</b>
<b>Enfriador de aceite turbogen 2</b>
<b>G rúa del área</b>
<b>Enfriadero planta eléctrica</b>
<b>C C M B asculador</b>
<b>C C M P lanta M oledora</b>
<b>C C M G eneración de V apor</b>
<b>C C M P lanta E léctrica</b>
<b>C C M C asa de calderas</b>
<b>C C M C entrifugación</b>
<b>T ransform adores de distribución</b>

El Central Paquito Rosales no cuenta con información respecto a fichas de datos y características técnicas actualizadas, tampoco cuenta con codificaciones y planos de los equipos a ser analizados es por eso que se ha seguido un sistema de recolección de datos técnicos de campo y con la utilización de los historiales de fallas de años anteriores (Ver Anexo3), con lo anteriormente mencionado se empleará la técnica de la evaluación práctica de M atriz de Criticidad (Ver TABLA I).

Para apreciar el empleo del software realizado para el análisis de criticidad ver Anexo 1

## 3.2 EVALUACIÓN DE CRITICIDAD POR ÁREAS

TABLA II: EVALUACIÓN DE CRITICIDAD ÁREA 1





		  		<b>ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN LA INDUSTRIA</b>  <b>AZUCARERA PAQUITO ROSALES</b>			Elaborado: Alexander Guerrero Versión: 02 Fecha de elaboración: 28-05-08 Revisado:	
SECCION O AREA:		Area 1						
PROCESO:		Basculador						
Responsable		Firma						
		DESIGNACION	CODIGO	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD		
MAQUINA:	1	Romana de caña de ferrocarril	A1010100	1	4	4	NC	
MAQUINA:	2	Romana de caña de camiones	A1020100	1	4	4	NC	
MAQUINA:	3	Virador hidraulico de carros	A1080000	3	15	45	C	
MAQUINA:	4	Virador hidraulico de camiones	A1090000	1	2	2	NC	
MAQUINA:	5	Bombas hidraulicas de viradores	A1100000	1	7	7	NC	
MAQUINA:	6	Vinche del patio	A1190100	2	2	4	NC	
MAQUINA:	7	Vinche del Basculador	A1190200	2	2	4	NC	
MAQUINA:	8	Bomba de limpieza	A1260100	1	2	2	NC	
MAQUINA:	9	Estera surtidora	A1390100	3	23	69	C	
MAQUINA:	10	Estera elevadora	A1400100	2	13	26	SC	
MAQUINA:	11	Rompe bultos	A1410100	1	13	13	NC	
MAQUINA:	12	Niveladores	A1410200	1	16	16	NC	
MAQUINA:	13	Cuchilla de picar caña 1	A1450100	2	14	28	SC	
MAQUINA:	14	cuchilla de picar caña 2	A1450200	2	14	28	SC	
MAQUINA:	15	Alzadora del basculador 1	A1480171	3	2	6	SC	
MAQUINA:	16	Alzadora del basculador 2	A1480200	1	2	2	NC	
MAQUINA:	17	Alzadora del basculador 3	A1480300	1	2	2	NC	
MAQUINA:	18	Alzadora microdespalillo	A1480400	1	2	2	NC	
MAQUINA:	19	Diferencial del basculador	A1520100	1	4	4	NC	
MAQUINA:	20	Conductor elevador de basura del b	A1530000	1	4	4	NC	

TABLA III: EVALUACIÓN DE CRITICIDAD ÁREA 2

SECCION O AREA:		Area 2					
PROCESO:		Planta moledora					
Responsable		Firma					
		DESIGNACION	CODIGO	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	
MAQUINA:	1	Molino de caña 1	A2040100	4	16	64	C
MAQUINA:	2	Molino de caña 2	A2040200	2	26	52	C
MAQUINA:	3	Molino de caña 3	A2040300	2	26	52	C
MAQUINA:	4	Molino de caña 4	A2040400	2	26	52	C
MAQUINA:	5	Molino de caña 5	A2040500	4	16	64	C
MAQUINA:	6	Tolvas donelly	A2050100	1	13	13	NC
MAQUINA:	7	Conductor intermedio 1	A2090100	2	13	26	SC
MAQUINA:	8	Conductor intermedio 2	A2090200	1	23	23	NC
MAQUINA:	9	Conductor intermedio 3	A2090300	1	13	13	NC
MAQUINA:	10	Conductor intermedio 4	A2090400	1	23	23	NC
MAQUINA:	11	Conductor intermedio 5	A2090500	2	23	46	C
MAQUINA:	12	Motor 1 de movimiento molino 1	A2110100	1	44	44	C
MAQUINA:	13	Motor 2 de movimiento molino 2 y	A2110200	1	44	44	C
MAQUINA:	14	Motor 3 de movimiento molino 4 y	A2110300	1	44	44	C
MAQUINA:	15	Reductores movimiento molinos 1	A2140100	1	44	44	C
MAQUINA:	16	Reductores movimiento molinos 2	A2140200	1	44	44	C
MAQUINA:	17	Reductores movimiento molinos 4	A2140300	1	44	44	C
MAQUINA:	18	Sistema de presiones hidraulicas	A2190100	1	4	4	NC
MAQUINA:	19	Sistema de lubricacion	A2200100	1	23	23	NC
MAQUINA:	20	Bomba de maceracion 1	A2210100	1	2	2	NC
MAQUINA:	21	Bomba de maceracion 2	A2210200	1	2	2	NC
MAQUINA:	22	Bomba de maceracion 3	A2210300	1	2	2	NC
MAQUINA:	23	Bomba de maceracion 4	A2210400	1	2	2	NC
MAQUINA:	24	Bomba jugo mezclado 1	A2220100	1	3	3	NC
MAQUINA:	25	Bomba jugo mezclado 2	A2220200	1	2	2	NC
MAQUINA:	26	Bomba a calentador liq-liq 1	A2250100	1	3	3	NC
MAQUINA:	27	Bomba a calentador liq-liq 2	A2250200	1	3	3	NC
MAQUINA:	28	Colador rotatorio	A2280100	1	32	32	SC
MAQUINA:	29	Bomba de enfriamiento molinos	A2300100	1	24	24	NC
MAQUINA:	30	Bomba de achique sist intup	A2330100	1	2	2	NC
MAQUINA:	31	Bomba de achique tren de engranes	A2330200	1	5	5	NC
MAQUINA:	32	Calentador liq-liq	A2340100	1	4	4	NC
MAQUINA:	33	Grúa del tandem	A2380100	1	3	3	NC
MAQUINA:	34	Instrumentacion y control del area	A2390100	1	13	13	NC

TABLA IV: EVALUACIÓN DE CRITICIDAD ÁREA 3

SECCION O AREA:		Area 3					
PROCESO:		Generacion de vapor					
		<b>INICIO</b>					
Responsable	Firma						
		DESIGNACION	CODIGO	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	
MAQUINA:	1	Caldera	3010000	1	40	40	SC
MAQUINA:	2	Conductor de bagazo 1	3020100	4	13	52	C
MAQUINA:	3	Conductor de bagazo 2	3020200	3	13	39	C
MAQUINA:	4	Conductor de bagazo 3	3020300	2	23	46	C
MAQUINA:	5	Ventilador Tiro Forzado Princ.	3090000	1	40	40	SC
MAQUINA:	6	Ventilador Tiro Forzado Sec.	3100000	2	20	40	C
MAQUINA:	7	Ventilador Tiro Inducido	3110000	2	30	60	C
MAQUINA:	8	Sistema de tuberia de agua	3130100	1	23	23	NC
MAQUINA:	9	Sistema de tuberia de vapor	3300000	1	15	15	NC
MAQUINA:	10	Bomba de alimentar caldera 1	3310100	2	23	46	C
MAQUINA:	11	Bomba de alimentar caldera 2	3310200	0	0	0	FALSO
MAQUINA:	12	Tanques de retorno	3310300	1	7	7	NC
MAQUINA:	13	Bomba de retorno trasiego 1	3360100	1	2	2	NC
MAQUINA:	14	Bomba de retorno trasiego 2	3360200	1	2	2	NC
MAQUINA:	15	Bomba al desaireador 1	3360300	1	2	2	NC
MAQUINA:	16	Bomba al desaireador 2	3360400	1	2	2	NC
MAQUINA:	17	Bomba de reserva 1	3360500	1	11	11	NC
MAQUINA:	18	Bomba de reserva 2	3360600	1	11	11	NC
MAQUINA:	19	Bomba de tratamiento de agua	3610000	1	7	7	NC
MAQUINA:	20	Instrumentos de control del area	3610100	2	13	26	SC
MAQUINA:	21	Estacion reduc. de presion de vapo	3610200	1	30	30	NC
MAQUINA:	22	retroalimentador de bagazo	3610300	1	2	2	NC

TABLA V: EVALUACIÓN DE CRITICIDAD ÁREA 4

SECCION O AREA:		Area 4					
PROCESO:		Planta Electrica					
		<b>ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN LA INDUSTRIA</b>  <b>AZUCARERA PAQUITO ROSALES</b>		Elaborado: Alexander Guerrero Version: 02 Fecha de elaboracion: 28-05-08 Revisado:			
Responsable		Firma					
		DESIGNACION	CODIGO	FRECUENCIA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	
MAQUINA:	1	Turbogenerador 1	4010100	3	30	90	C
MAQUINA:	2	Turbogenerador 2	4010200	2	30	60	C
MAQUINA:	3	Pizarra de distribucion gral. Planta	4020000	3	15	45	C
MAQUINA:	4	Bomba de aceite turbogen. 1	4030100	1	9	9	NC
MAQUINA:	5	Bomba de aceite turbogen. 2	4030200	1	2	2	NC
MAQUINA:	6	Turbo bomba de turbogen. 1	4040100	1	9	9	NC
MAQUINA:	7	Turbo bomba de turbogen. 2	4040200	1	9	9	NC
MAQUINA:	8	Enfriador de aceite turbogen 1	4060100	1	5	5	NC
MAQUINA:	9	Enfriador de aceite turbogen 2	4060200	1	5	5	NC
MAQUINA:	10	Grua del area	4280100	1	3	3	NC
MAQUINA:	11	Enfriadero planta electrica	4380100	1	5	5	NC
MAQUINA:	12	CCM Basculador	4490100	1	21	21	NC
MAQUINA:	13	CCM Planta Moledora	4490200	1	21	21	NC
MAQUINA:	14	CCM Generacion de Vapor	4490300	1	11	11	NC
MAQUINA:	15	CCM Planta Electrica	4490400	1	21	21	NC
MAQUINA:	16	CCM Casa de calderas	4490500	1	11	11	NC
MAQUINA:	17	CCM Centrifugacion	4490600	1	11	11	NC
MAQUINA:	18	Transformadores de distribucion	4890000	1	15	15	NC

Los resultados obtenidos nos indican el nivel de criticidad de cada una de las máquinas que se encuentra en cada área analizada, dando al final como resultado que el área con mayor número de máquinas críticas es el Área 2 “Planta Moledora” con un total de 12 máquinas con un nivel crítico, 2 semi-crítico y 20 no críticas como lo podemos ver en la Tabla VI:

**TABLA VI: RESULTADO DE CRITICIDAD POR ÁREAS**

ÁREA	MÁQUINAS CRÍTICAS	MÁQUINAS SEMI-CRÍTICAS	MÁQUINAS NO CRÍTICAS
1	2	4	14
2	12	2	20
3	6	3	12
4	3	0	15

### 3.3 TIPO DE MANTENIMIENTO EMPLEADO ACTUALMENTE EN EL CENTRAL PAQUITO ROSALES

#### 3.3.1.1 POLÍTICA DE MANTENIMIENTO DE LOS CENTRALES AZUCAREROS EN CUBA

El sistema de organización del Mantenimiento en el MINAZ, establecido antes de la reestructuración del sector, creado en época de abundantes recursos, sin la introducción de nuevas tecnologías, técnicas modernas de diagnóstico y formas superiores de organización, no se adecuaban a las exigencias económicas del momento, que requieren un uso racional de la fuerza de trabajo y de los recursos dispersos que cuenta la empresa Azucarera para enfrentar la reparación y el Mantenimiento de la maquinaria partes y piezas, que al concentrarse en un Sistema Integral de Servicios, da la posibilidad de poner todos los recursos en función del sistema, desde la producción de caña, hasta el destino final de la producción, los cuales forman una cadena que hacen posible un mejor aprovechamiento de las capacidades instaladas para lograr los objetivos de la producción, y por esta vía obtener una disminución de los costos de producción de la empresa.

Este sistema no tenía delimitadas las funciones de Mantenimiento y las de producción, además la organización de la fuerza de trabajo para el desarrollo de la actividad, no respondía al concepto de integralidad, tanto por el exceso de personal dedicado a la misma como por las funciones.

Se encuentran en la necesidad de analizar los métodos más adecuados para mejorar la situación actual con el objetivo de convertir la producción de azúcar en una verdadera fábrica de alimentos por sus exigencias de higiene, asepsia y competitividad, por lo que se hace necesario crear una estructura que dé respuesta a la integración de todos los elementos que conforman el Mantenimiento, visto como un servicio integral y concebido para todo el año.

El Mantenimiento es la totalidad de las acciones técnicas, organizativas y económicas encaminadas a garantizar y mejorar los indicadores técnico-económicos de la producción como son: seguridad, fiabilidad, vida útil, disponibilidad técnica, rendimiento, calidad y costos de Mantenimiento en el proceso productivo, con el fin de garantizar el plan de producción de la empresa. En otras palabras el Mantenimiento es una actividad técnica administrativa destinada a promover la continuidad ininterrumpida del funcionamiento en condiciones operacionales y de conservación adecuadas de todo el equipamiento.

### **3.3.1.2 POLÍTICA DE MANTENIMIENTO DEL MINAZ EN LA PROVINCIA DE SANTIAGO DE CUBA**

#### **Estrategia del Mantenimiento anual.**

#### **Objetivos:**

1. Reducción del tiempo industrial perdido.
2. Reducción del costo de Mantenimiento.
3. Incremento de la organización del Mantenimiento.
4. Desarme mínimo.
5. Aumento de la disponibilidad de las máquinas.

Para que se cumpla el principal objetivo del Mantenimiento del ingenio en período de zafra debemos garantizar los siguientes aspectos:

1. Aplicación de La norma técnica 43 al finalizar las reparaciones.
  - Certificados de calidad del equipo reparado.
  - Certificado de equipo listo para moler y área lista para moler.
2. Organizar el grupo de supervisión en función de la zafra. Encargado de todas las funciones técnica de la organización y planificación del Mantenimiento y supervisión de los trabajos ejecutado por el personal que ejecuta el Mantenimiento.

- Es de obligatorio cumplimiento que ningún equipo en Mantenimiento se puede desarmar o armar sin ser fiscalizado por el técnico encargado del área donde se encuentre el equipo.
3. Aplicación del Mantenimiento según el estado de las máquinas fundamentales en el proceso de producción y que no está duplicada.
- Definir las máquinas a diagnosticar.
  - Definir por máquina el tipo de Mantenimiento a aplicar.
  - Creación del expediente por máquina e incorporarlo al pasaporte técnico.
  - Es determinante para la realización de los análisis de rodamientos determinar los valores de referencia (BCU, Vibraciones en  $\text{mm/s}$ ,  $\text{mm/s}^2$ ,  $\mu\text{m}$ ) después de declarar el equipo Listo y al comenzar su operación.
  - Explotación del software CM -400 entregado con el Vibrotest-60.
4. Explotar el Sistema de Gestión de Mantenimiento Mainpack.
5. Aplicación del Mantenimiento correctivo a las máquinas o grupos que tienen su repuesto, es decir mantenerlos en operación hasta la falla.
- Es importante mantener el control estricto de los equipos en operación y los repuestos, debiendo quedar identificados con las letras “O” y “R”, respectivamente.
  - Los equipos de repuesto se revisarán diariamente y se accionarán por el Técnico en O.P.C, evitando sorpresas en el caso de fallas del equipo de operación.
  - No se admitirá bajo ningún concepto la operación de los repuestos, estando en alta el equipo destinado para operar.
  - En caso de que la avería tenga solución rápida y no constituya cambio de componentes fundamentales del equipo, se restablecerá la avería y se pondrá en funcionamiento nuevamente el equipo destinado a la operación.
6. El personal de Mantenimiento por turno tiene como función fundamental la supervisión de todos los equipos que están en su radio de acción y actuar en caso de anomalía.
- Es responsable de resolver los problemas producidos en el turno.
  - Es responsable de la entrega el turno.
  - Es importante establecer la comunicación directa entre el operador y el mecánico.



7. El personal de Mantenimiento “de día” tiene la responsabilidad de mantener en alta los equipos que hayan sufrido averías, así como la supervisión y funcionamiento de los equipos de su radio de acción.
8. Tener localizado, controlado, y conservado los repuestos críticos y básicos para cualquier eventualidad, tanto de la maquinaria como de la industria y el transporte. Hacemos énfasis en el taller de intercambio de la maquinaria.
9. El Dpto. de maquinaria trabajará en la organización y planificación del Mantenimiento en Operación Interrumpida (M O I), utilizando para ello los Libros de Incidencia y de Trabajos Pendientes.
  - El M O I coordinado se planificará sobre la base de las revisiones técnicas realizadas por el personal designado por el Jefe de maquinarias y se coordinará a través de la Pizarra donde se reflejará Equipo, Causa y Responsable de la ejecución del Mantenimiento.
  - El M O I sistemático se planificará por las paradas ocurridas y se establecerá por lo que se refleje en los Libros de Incidencia y de Trabajos Pendientes, así como de las inspecciones diarias.
10. En los Ingenios las paradas programadas para limpieza y Mantenimiento condicionado por el área de evaporación de la casa de calderas, se planificarán con 72 hrs. de antelación como mínimo en aras de preparar el Mantenimiento. estos ingenios su Mantenimiento estará sujeto a las condiciones de limpieza de los equipos evaporadores ó el estado técnico de un equipo determinado. pero un índice a considerar es la caña molida que para estos Ingenios oscila entre 2 500 000 @ a 3 000 000 @ molidas.
  - Los Mantenimientos deben planificarse para que comiencen a las 7:00 am.
  - No planificar Mantenimiento en horario nocturno, solo revisiones y ajuste a equipos por paradas por falta de caña.
  - Las paradas por roturas que excedan a las 5 horas no pueden suplir el Mantenimiento programado, aunque se haga la limpieza del evaporador.
  - El Mantenimiento se programará sobre la base de 12 hrs. y la demora en la arrancada debe analizarse a quien se le carga y depurar la responsabilidad.
  - Hay que asegurar los trabajos de taller comprometidos con el Mantenimiento con 72 hrs. de antelación a la fecha programada.
11. En los ingenios que no paran para limpiar el evaporador, el Mantenimiento está condicionado también a los resultados del Diagnóstico Predictivo de los equipos

fundamentales, dándose por descartado que en las paradas por falta de caña y por otras causas ajenas a la industria, se aproveche el tiempo para chispear mazas, Reestablecer las características de las cuchilla picadora de caña y la revisión de los ventiladores de tiro Inducido y si es necesario, aplicar soldadura antiabrasiva, etc.

- Una cantidad de caña molida aceptable para dar M antenimiento en estos ingenios sería:
  - Julio A. M ella..... 10 000 000 @ molidas
  - Dos Ríos ..... 8 000 000 @ molidas
- La duración del M antenimiento de estos ingenios no debe exceder a las 10 hrs.

12. Es de estricto cumplimiento el cumplimiento con el cronograma provincial del M P P.

- De haber cambio solicitar al GEA con 72 horas de antelación.

13. En caso de roturas que afecten la disponibilidad prolongada de equipo determinado para la operación, Es responsabilidad del director de M antenimiento confeccionar y enviara al GEA un acta donde quede reflejado:

- Causa de la rotura.
- Medidas para que no vuelva a ocurrir.
- Fecha y hora en que ocurre la rotura.
- Fecha y hora en que queda disponible para la operación el equipo.
- Solución de la avería.

14. El jefe del grupo de supervisión y control es responsable de informar todos los días a las

8:00 am la situación de los equipos en baja:

- Nombre del equipo, función, características técnicas fundamentales y área donde se localiza.
- Causa de la rotura.
- Posible solución.

15. Por ser el área de Generación de vapor ser una de las que mayor tiempo perdido tuvo en la pasada zafra, en especial la parte de conductores de bagazo, se orienta.

- Implementar el acuerdo del Taller Nacional de Generación de Vapor referente a que todos los ingenios tengan un mecánico que se dedique a la revisión y M antenimiento de los conductores de bagazo durante el período de zafra.

- Hacer mediciones del consumo de potencia diariamente desde el comienzo mismo de la zafra.
- El Jefe de área de generación de vapor diariamente establecerá un análisis de los siguientes aspectos:
  - Presión de vapor (saturado y sobre calentado)
  - Temperatura del vapor sobre calentado
  - Temperatura de los gases de escape
  - Calidad del agua de alimentación de caldera (temperatura, contenido de azúcar y sólidos)
  - Temperatura del agua de alimentación antes y después del economizador.
  - Control de las extracciones de fondo.
  - Control del soplado.

**16.** Trabajar en la nueva concepción de taller Integral. (la unificación de todos los talleres de la empresa bajo una sola dirección, con un mismo objetivo (mantener en alta la recuperación, los repuestos fundamentales y prestación de servicios a terceros). Garantizar que se establezca la secuencia de trabajo entre talleres).

- Cada departamento dentro del taller debe de crear los bancos de pruebas de las líneas a recuperar para garantizar calidad y confianza en los clientes.
- Garantizar calidad y terminación de los agregados de la maquinaria con el objetivo que los productores cañeros desarrollen el Mantenimiento de la maquinaria en los talleres integrales.
- Prestar especial atención a la máquina recuperadora de cuchillas de centros de acopios y combinadas. Así como la reparación de los sistemas hidráulicos y bombas de Inyección.

**17.** En el caso de las combinas:

- Es de obligatorio cumplimiento el Mantenimiento parcial diario:
  - a) Revisión.
  - b) Engrase.
- Es inviolable el no cumplimiento de los MPP en función de la caña picada, un número aceptable 100 000 @ .

En la actualidad en la Empresa azucarera "P.R." el Mantenimiento se realiza en dos etapas:

**Etapa A:** Zafra ( $\approx$  4 meses a 5 meses)

**Etapa B:** No Zafra (6 – 8 meses)

### 3.3.2 ZAFRA

#### TIPOS DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento Preventivo Planificado MPP (son las paradas planificadas para limpieza y Mantenimiento).

Mantenimiento Predictivo

Mantenimiento Correctivo

**Mantenimiento Mejorativo**

“**AIMPP**” en Zafra se le llama “limpieza y Mantenimiento” y está en correspondencia con la cantidad de caña procesada, en el caso de “P.R.”  $2.5$  a  $3 \times 10^6$  @, magnitud que es procesada entre 12 y 15 días. Este MPP restablece las condiciones de la fábrica a su máximo potencial, ya que en él se realizan las siguientes actividades.

Limpieza físico – química: de los intercambiadores, calentadores, vasos evaporadores, tachos, etc. Así como la limpieza con todos los medios disponibles del resto de los equipos.

Revisión y ajuste mecánico: comprende la gran mayoría de las máquinas.

“**Mantenimiento Predictivo**” son las acciones diarias destinadas a eliminar las fallas mecánicas que causan gran deterioro de los equipos. Para este tipo de Mantenimiento en zafra es preciso la disposición de instrumentos de diagnóstico (vibrómetro, termómetro a distancia, multímetro, etc. Su efectividad es real si se cuentan con los recursos necesarios para la reposición de los elementos previstos a fallar y la agilidad con que se tomen las decisiones al respecto.

El equipo más utilizado para el monitoreo diario de las máquinas en el ingenio es el vibrómetro, para ello se ha orientado su uso en tres frentes, según los cuales se agrupan las máquinas.

- ✓ Equipos Fundamentales
- ✓ Equipos generales de la fábrica (ubicados en sus áreas según flujo de producción).
- ✓ Equipos con altos niveles de vibración.

El primer grupo de equipos comprende aquellos cuyas fallas paralizan la molienda y otros que por su capacidad y peso específico sean de importancia.

El grupo de los equipos generales son todos los equipos que restan.

Los que tienen altos niveles de vibración son un grupo selecto que requiere una atención especial.

De tal forma, para llevar un régimen de lectura (corridas), al total de los equipos instalados, está planificada de la siguiente forma:

Equipos Fundamentales: cada 7 días

Equipos Generales: cada 15 días

Equipos con niveles altos de vibración: diariamente

En este periodo no se debe correr el riesgo de que existan paradas inesperadas es por eso que esta planificación se lleva con determinado rigor, si hablamos netamente del control de vibraciones en los ventiladores tanto en el de tiro inducido como en el de tiro forzado resulta ser muy importante porque una parada de estos produce el disparo de la caldera Retal y los turbogeneradores se quedarían sin alimentación e inmediatamente se pararía el ingenio, entonces el análisis de tendencia como se ha venido aplicando en el ingenio "P.R." resulta ser un sistema de apoyo pero no explotado como se debería, no porque no se pudiera realizar sino mas bien por las condiciones y necesidades materiales que se presentan en el Central; para ser mas objetivos el monitoreo en el momento de zafra solo recolecta datos y si se encuentran fallas no se corre el riesgo de parar, porque no existen repuestos, por lo cual se trabaja hasta que se dañe completamente o mejor aún que termine el periodo de zafra y eso pasa con los diferentes equipos del Ingenio sometidos a monitoreo mediante vibraciones.

"**Mantenimiento Correctivo**" es el menos deseado, pero en las circunstancias del Ingenio aún se ven en la necesidad de aplicarlo, ya que a pesar que se cuenta con los medios de predicción de fallas, no se ha logrado corregir los defectos a tiempo, por carecer de repuestos y herramientas necesarias. Esto se aplica en equipos que disponen de repuestos o cuando existen equipos en stand by para ocupar los repuestos en casos necesarios.

Para ejecutar las acciones de Mantenimiento en zafra es preciso contar con los talentos y recursos necesarios (humanos y materiales). Los talentos humanos se ubican de dos formas:

**1.-Personal de turno (brigadas)**

**2.-Personal Diario (rutina)**

Estas dos formas regidas por la dirección principal con el grupo técnico conforman la unidad de Mantenimiento en zafra.

**El MPP no debe exceder las doce horas, rango permisible de tiempo, para evitar un encarecimiento inadecuado, que repercuta en el costo de la tonelada de azúcar.**

### **3.3.3 NO ZAFRA**

La etapa “No Zafra” es la más prolongada pues comprende el resto de tiempo para Mantenimiento, después de culminada la zafra, estando en correspondencia con la duración de la misma, puede ser de 6 a 8 meses.

Este periodo tiene tres fases fundamentales:

**1.-Limpieza**

**2.-Desarme y conservación**

**3.-Reparaciones continuadas**

La limpieza se programa para siete días naturales, el desarme y conservación treinta días y las reparaciones el tiempo restante.

A pesar de ser fases definidas, actualmente se ha introducido una nueva variante denominada “desarme mínimo y reparación continuada”, esta variante no rompe la estructura de las tres fases, pero está presente en cada una de ellas ya que el diagnóstico predictivo permite conocer en cada momento el estado de la maquinaria de manera que existe una continuidad en el tiempo del Mantenimiento y alistamiento de los equipos.

Esto se comprende mejor teniendo en cuenta lo siguiente:

Una semana antes de culminar la zafra, se realiza medición de las vibraciones a cada uno de los equipos, lo cual queda plasmado en un libro de registros, sumado a esto se realiza un resumen de aquellos equipos que han sido serviciados en los últimos días de zafra conociéndose que están en condiciones óptimas. Entonces a estas máquinas que aparecen en buen estado solo se les practica un desarme mínimo, solo para la revisión de los elementos móviles, reposición de lubricante y su conservación.

El resto de las máquinas cuyo estado requiere un Mantenimiento más profundo son las que serán desarmadas totalmente.

Entre las técnicas de detección de fallas usadas en la etapa de no zafra, se aprecian:

**Ensayos de ultrasonido:** al no contar en el Ingenio con este equipo se contrata personal técnico de otra empresa.

**M edición de espesores:** en este caso ocurre lo mismo (contrato a un tercero).

**M edición de Vibraciones:** (se cuenta con el Vibrotest 60)

**L ámparas estroboscópicas,** termómetro láser a distancia y un tacómetro digital.

### 3.4 ANÁLISIS DE LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO

#### El Diagrama de Pareto

Frecuentemente el personal técnico de Mantenimiento y producción debe enfrentarse a problemas que tienen varias causas o son la suma de varios problemas. El Diagrama de Pareto permite seleccionar por orden de importancia y magnitud, las causas o problemas que se deben investigar hasta llegar a conclusiones que permitan eliminarlos de raíz. La mayoría de los problemas son producidos por un número pequeño de causas, y estas son las que interesan descubrir y eliminar para lograr un gran efecto de mejora. A estas pocas causas que son las responsables de la mayor parte del problema se las conoce como causas vitales. Las causas que no aportan en magnitud o en valor al problema, se las conoce como causas triviales. Las causas triviales aunque no aporten un valor a la mejora, no significa que se deban dejar de lado o descuidarlas. Se trata de ir eliminando en forma progresiva las causas vitales. Una vez eliminadas éstas, es posible que las causas triviales se lleguen a transformar en vitales. El Diagrama de Pareto es un instrumento que permite graficar por orden de importancia, el grado de contribución de las causas que estamos analizando o el conjunto de problemas que queremos estudiar. Se trata de clasificar los problemas y/o causas en vitales y triviales. [13]

Por medio de los historiales de fallas de años anteriores podemos analizar la efectividad de los planes de Mantenimiento empleadas en la industria Azucarera “Paquito rosales”

#### 3.4.1 ÁREA 1 “BASCULADOR”

**TABLA VII: FALLAS \* AÑO ÁREA 1**

<b>AÑO</b>	<b>Σ fallas x Año para área # 1</b>	<b>%</b>	<b>% ACUMULADO</b>
<b>2007</b>	39	35,45 %	35,45 %
<b>2008</b>	25	22,73 %	58,18 %
<b>2006</b>	19	17 %	75,45 %
<b>2002</b>	13	12 %	87,27 %
<b>2003</b>	13	12 %	99,09 %
<b>2001</b>	1	0,91 %	100,00 %
<b>TOTAL</b>	<b>110</b>	<b>100 %</b>	

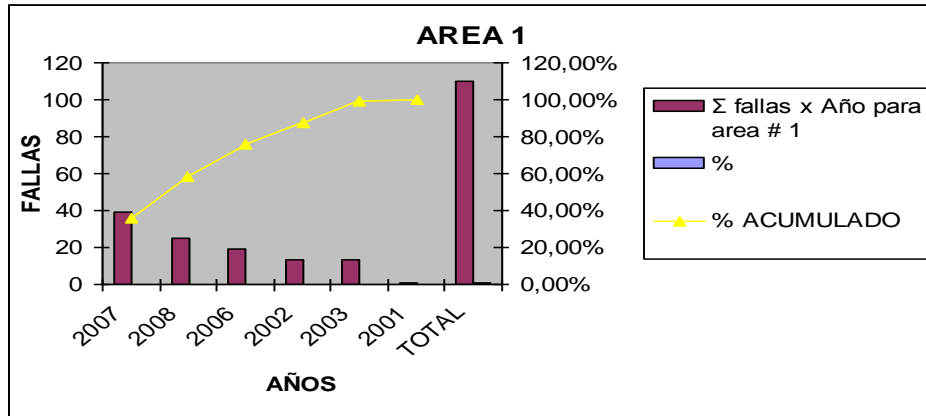


Figura 3: Diagrama de Pareto Fallas \* Año correspondiente al Área 1

3.4.2 ÁREA 2 “PLANTA MOLEDORA”

TABLA VIII: FALLAS \* AÑO ÁREA 2

	Σ fallas x Año para área # 2	%	% ACUMULADO
2007	44	40,00%	40,00%
2008	28	25,45%	65,45%
2006	23	20,90%	86,35%
2003	6	5,45%	91,80%
2001	5	4,54%	96,34%
2002	4	3,66%	100,00%
<b>TOTAL</b>	<b>110</b>	<b>100 %</b>	

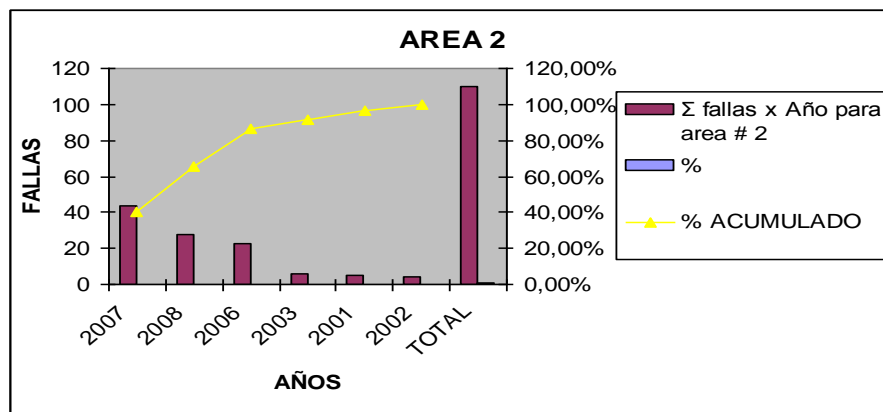


Figura 4: Diagrama de Pareto Fallas \* Año correspondiente al Área 2



## 3.4.3 ÁREA 3 “GENERACIÓN DE VAPOR”

TABLA IX: FALLAS \* AÑOS ÁREA 3

	$\Sigma$ fallas x Año para área # 3	%	% ACUMULADO
2008	77	32,76 %	32,76 %
2002	53	22,55 %	55,31 %
2006	33	14,04 %	69,35 %
2007	33	14,04 %	83,39 %
2003	28	11,91 %	95,30 %
2001	11	4,70 %	100,00 %
<b>TOTAL</b>	<b>235</b>	<b>100 %</b>	

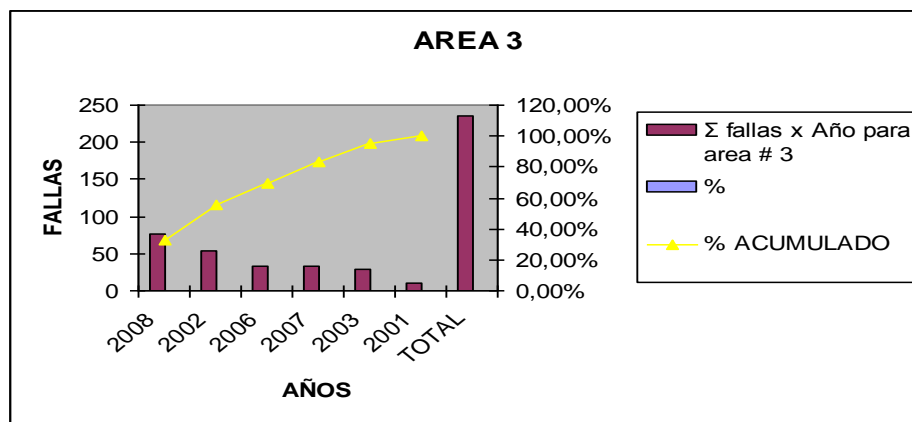


Figura 5: Diagrama de Pareto Fallas \* Año correspondiente al Área 3

## 3.4.4 ÁREA 4 “PLANTA ELÉCTRICA”

TABLA X: FALLAS \* AÑO ÁREA 4

	$\Sigma$ fallas x Año para área # 4	%	% ACUMULADO
2008	21	42,00 %	42,00 %
2007	21	42,00 %	84,00 %
2006	4	8,00 %	92,00 %
2003	2	4,00 %	96,00 %
2001	1	2,00 %	98,00 %
2002	1	2,00 %	100,00 %
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>100 %</b>	

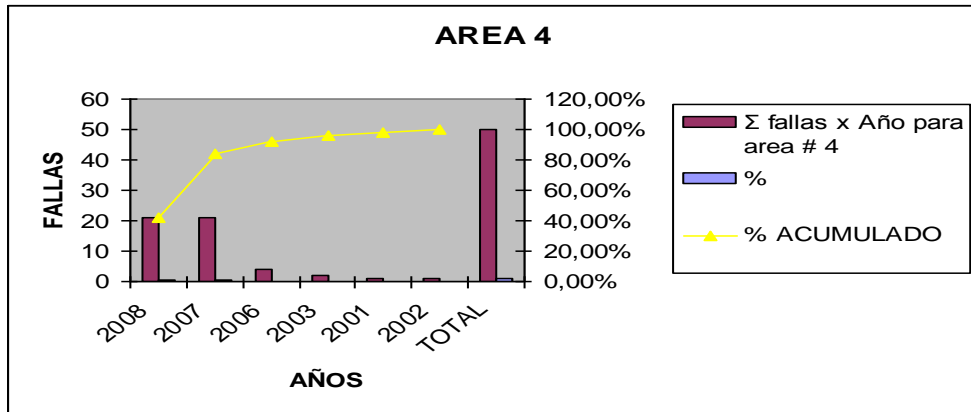


Figura 6: Diagrama de Pareto Fallas \* Año correspondiente al Área 4

3.4.5 TOTA DE FALLAS EN LAS CUATRO ÁREAS \* AÑOS

TABLA XI: TOTAL FALLAS \* AÑOS

AÑO	Σ Total fallas x Año	%	% ACUMULADO
2008	151	30,00 %	30,00 %
2007	137	27,13 %	57,13 %
2006	79	15,64 %	72,77 %
2002	71	14,10 %	86,87 %
2003	49	9,70 %	96,57 %
2001	18	3,43 %	100,00 %
<b>TOTAL</b>	<b>505</b>	<b>100,00 %</b>	

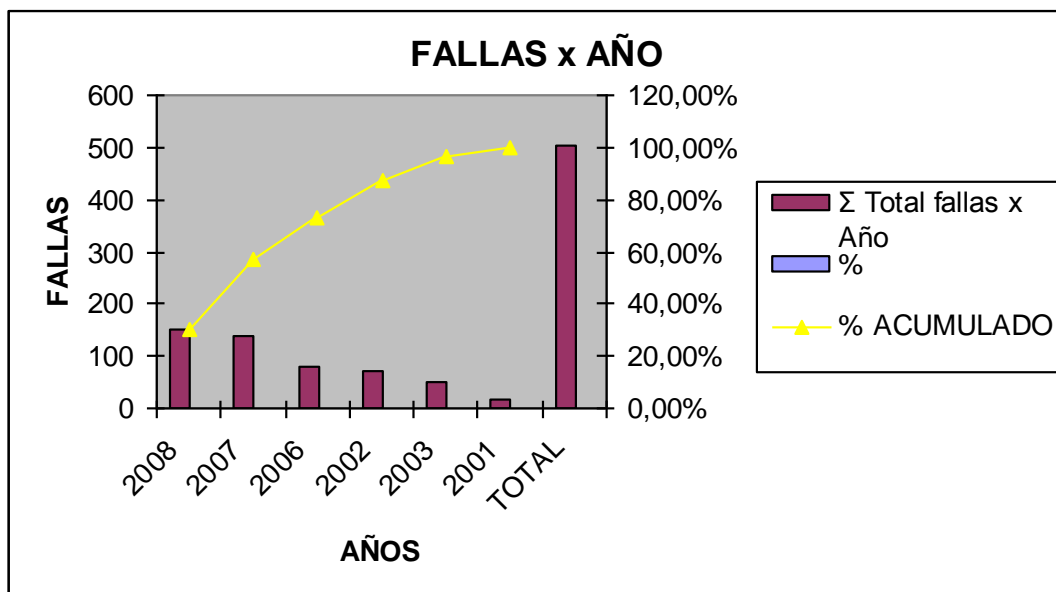


Figura 7: Diagrama de Pareto Total Fallas \* Año, correspondiente a las Áreas 1, 2, 3, 4

### 3.5 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

Como resultado del análisis del historial de fallas podemos decir que el sistema de Mantenimiento utilizado no está siendo efectivo ya que uno de los objetivos del Mantenimiento es “Reducir a su mínima expresión las fallas” [14] y como se puede apreciar a través del tiempo, el número de fallas se han ido incrementando, tomando como referencia el año 2006, ya que para este año se empezó con la implantación del Mantenimiento predictivo, para el 2007 tenemos un incremento del 73,42% de fallas con relación al 2006, y para el 2008 tenemos un incremento del 91,14% con relación al 2006.

Uno de los principales motivos de el aumento de fallas en los equipos de la Empresa azucarera Paquito Rosales, según indagaciones, es por las reparaciones efectuadas con partes usadas en máquinas de centrales que están en desuso, o por la negligencia, desinterés o falta de capacitación de los operarios de turno en cada máquina.

Otro problema grave que se puede apreciar es el costo de Mantenimiento ya que este es directamente proporcional al número de fallas.

Estas cifras son de gran preocupación y motivo de un estudio más profundo para averiguar las causas raíz en los incrementos de las fallas a través de cada año o de cada zafra.

## CAPITULO IV

#### 4. PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

##### 4.1 DETERMINACIÓN DE LA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Para la determinación de la técnica de Mantenimiento Predictivo adecuada según cada máquina se tomara en cuenta el nivel de criticidad que tenga cada una en su respectiva área.

**TABLA XII: PRINCIPALES APLICACIONES PARA LAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO [15]**

Técnica de M T T O Predictivo	A p l i c a c i o n e s
Análisis de aceite	<p>Monitoreo de equipos con tanques de lubricación</p> <p>Determinar el reemplazo del aceite, tomando como base las condiciones y no los calendarios/ medidores internos.</p> <p>Frecuentemente usado junto con el análisis de vibración para confirmar las conclusiones.</p>
Termografía	<p>Ideal para la explotación de equipos eléctricos en busca de componentes defectuosos, identificando:</p> <p>Desgaste normal.</p> <p>Contaminación química.</p> <p>Fatiga.</p> <p>Montaje o instalación incorrectos. Conexiones flojas.</p> <p>Condiciones de sobrecarga.</p> <p>Sistema principal de distribución eléctrica.</p> <p>Exploración de componentes mecánicos en busca de calor excesivo (cojinetes, falta de alineado, etc.). Exploración de techos (pérdida de energía, humedad).</p> <p>Exploración de aislamiento de estufas/refractarios.</p> <p>Sistemas de vapor (pérdidas, aislamiento, trampas).</p>
Análisis de vibraciones	Es mejor utilizada en ejes de alta velocidad y equipos giratorios. Detecta los defectos de cojinetes/alineado.
Monitoreo de Motores Eléctricos y Análisis de las Condiciones	Motores eléctricos
Alineado de Precisión y Dispositivos de Balanceo	<p>En toda máquina acoplada en la que la falta de alineado o el desequilibrio ocasionaran la falla prematura o problemas de calidad.</p> <p>Motores de impulsión, bombas, nivelación de prensas, componentes giratorios de alta velocidad.</p>
Monitores de Tonelaje	Todo equipo tipo prensa.
Inspección mediante partículas magnéticas	<p>Aplicable a:</p> <p>Fundiciones delgadas y gruesas</p> <p>Forjados</p> <p>Sinterizados</p> <p>Soldadura</p> <p>Laminados</p> <p>Trefilados</p>

Inspección de ultrasonido	Detección de fugas de presión/vacío en conexiones, sellos, juntas, intercambiadores de calor, trampas de vapor y condensadores/calderas. Detección de problemas mecánicos en cojinetes, válvulas, motores, bombas y cajas de engranajes. Detección de fallas en componentes eléctricos.
Inspección radiográfica	Su campo principal de aplicación es la inspección de piezas fundidas de aleaciones de aluminio y magnesio, para detectar: porosidad, rechupes, e inclusiones y para verificar en conjuntos armados con cubiertas de acero, bronce o aluminio de poco espesor, el montaje correcto de elementos internos. Debido a que este método no permite el efecto acumulativo de la radiación emergente de la pieza de ensayo, tal como sucede en el método radiográfico, para determinado espesor y material se requiere mayor voltaje que, por razones de seguridad, se suele limitar a 160 K v.
Inspección mediante líquidos penetrantes	Plásticos Vidrio Vidrio con metal Puntas de carburo Alambres de Tg Aleación de Titanio

**TABLA XIII: TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA 1  
“BASCULADOR”**

Equipo	criticidad	Mtto. Predictivo	Frecuencia
Romana de caña de ferrocarril	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Romana de caña de camiones	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Virador hidráulico de carros	C	Control de presión “manómetro” vibraciones	Diario
Virador hidráulico de camiones	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bbas hidráulicas viradores	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Winches del área			
Winche del patio (P/ situar carros en romana)	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Winche del basculador (P/ situar carros en el vira)	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba de lim pieza	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Esteras alimentadoras (surtidora y elevadora)			
Esterasurtidora	C	Vibraciones Monitoreo de motor Elec.	Diario o máx. Cada 3 días
Esteras elevadora	SC	Vibraciones Monitoreo de motor Elec.	Cada 3 días
Rompe bultos	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Niveladores	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Cuchillas de picar caña			
Cuchilla de picar caña No 1	SC	Vibraciones	semanal
Cuchilla de picar caña No 2	SC	Vibraciones	semanal
Alzadoras del basculador			
Alzadora No 1	SC	Vibraciones	semanal
Alzadora No 2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Alzadora No 3	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Alzadora microdespalillo	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Diferencial del basculador	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Conductor elevador de basura del basculador	NC	Mtto. planificado	Según Prog

TABLA XIV: TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA 2

## "PLANTA MOLEDORA"

Equipo	Criticidad	Mtto. Predictivo	Frecuencia
<b>Molinos de caña</b>			
Molino de caña No1	C	Monitoreo de temperatura y desplazamiento, calibración de espesores en las masas.	3 días 2 meses
Molino de caña No2	C	Monitoreo de temperatura y desplazamiento, calibración de espesores en las masas.	3 días 2 meses
Molino de caña No3	C	Monitoreo de temperatura y desplazamiento, calibración de espesores en las masas.	3 días 2 meses
Molino de caña No4	C	Monitoreo de temperatura y desplazamiento, calibración de espesores en las masas.	3 días 2 meses
Molino No5	C	Monitoreo de temperatura y desplazamiento, calibración de espesores en las masas.	3 días 2 meses
<b>Tolvas Donnelly</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Conductores Intermedios</b>			
Conductor intermedio No1	SC	Vibraciones, inspecciones con lámpara estroboscópica	Semanal
Conductor intermedio No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Conductor intermedio No3	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Conductor intermedio No4	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Conductor intermedio No5	C	Vibraciones, inspecciones con lámpara estroboscópica	4 días
<b>Motores eléctricos m óv. Molinos</b>			
Motor 1 m óv. molino No 1	C	Vibraciones, Monitoreo de Mot. Eléctrico	3 días
Motor 2 m óv. molino No 2 Y 3	C	Vibraciones, Monitoreo de Mot. Eléctrico	3 días
Motor 3 m óv. molino No 4 Y 5	C	Vibraciones, Monitoreo de Mot. Eléctrico	3 días
<b>Reductores m óv. Molinos</b>			
Reductor m óv. molinos No1	C	Vibraciones, análisis de aceite	3 días, 2 meses
Reductor m óv. molinos No2 Y 3	C	Vibraciones, análisis de aceite	3 días, 2 meses
Reductor m óv. molinos No 4 Y 5	C	Vibraciones, análisis de aceite	3 días, 2 meses
<b>Sistema de presiones hidráulicas</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Sistema de lubricación</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bombas de maceración</b>			
Bba de maceración No1	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba de maceración No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba de maceración No3	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba de maceración No4	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bombas de jugo mezclado</b>			
Bba jugo mezclado No1	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba jugo mezclado No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bombas a calentador líq.-líq.</b>			
Bba a calent líq.-líq. No1	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba a calent líq.-líq. No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Colador rotatorio</b>	SC	Vibraciones, medición de espesores	15 días,
<b>Bba de enfriamiento molinos</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bbas de achique</b>			
Bba achique Sist. Intuí	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba achique tren engranes	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Calentador líq.-líq.</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Grúa del tandem</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Instrumentación y control del área</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog

**TABLA XV: TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA 3**  
**“GENERACIÓN DE VAPOR”**

Equipo	Criticidad	Mtto. Predictivo	Frecuencia
<b>Caldera</b>	SC	Análisis de agua, Control de presión, Temperatura	20 días 15 días
<b>Conductores de bagazo</b>			
<b>Conductor de bagazo No1</b>	C		
<b>Motor conductor de bagazo No1</b>		Vibraciones	5 días
<b>Reductor Cond. Bagazo No1</b>		Análisis de aceite	Fin de zafra
<b>Transmisión Cond. bagazo No1</b>		Inspecciones con lámpara estroboscópica	5 días
<b>conductor de bagazo No2</b>	C		
<b>Motor conductor de bagazo No2</b>		Vibraciones	5 días
<b>Reductor cond bagazo No2</b>		Análisis de aceite	Fin de zafra
<b>Transmisión cond bagazo No2</b>		Inspecciones con lámpara estroboscópica	5 días
<b>Conductor de bagazo No3</b>	C		
<b>Motor conductor bagazo No3</b>		Vibraciones	5 días
<b>Reductor cond bagazo No3</b>		Análisis de aceite	Fin de zafra
<b>Transmisión cond bagazo No3</b>		Inspecciones con lámpara estroboscópica	5 días
<b>VTF-P</b>	SC	Vibraciones	3 días
<b>VTF-S</b>	C	Vibraciones	2 días
<b>VTI</b>	C	Vibraciones	2 días
<b>Sistema de tubería de agua</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Sistema de tubería de vapor</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bombas de alimentar</b>			
<b>Bba de alim No1</b>	C	Vibraciones	Diario
<b>Bba de alim No2</b>	-	Fuera de Función	-
<b>Tanques de retorno</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bombas de retorno a tanque</b>			
<b>Bba de trasiego No1</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bba trasiego No2</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bba al desaireador No1</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bba al desaireador No2</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bba de reserva No1</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bba reserva No2</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bba de tratamiento de agua</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Instrumentos de control del área</b>	SC	Monitoreo de temperatura “Cámara termográfica”	10 días
<b>Estación reduc. De presión de vapor</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Retroalimentador de bagazo</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog

**TABLA XVI: TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA 4  
“PLANTA ELÉCTRICA”**

Equipo	Criticidad	Mtto. Predictivo	Frecuencia
<b>Turbogeneradores</b>			
<b>Turbogenerador No1</b>	C	Vibraciones, Monitoreo de motor Eléct.	4 días 20 días
<b>Pizarras de control del turbog No1</b>		Monitoreo de temperatura “Cámara termografica”	Sem anal
<b>Turbogenerador No2</b>	C	Vibraciones, Monitoreo de motor Eléct.	4 días 20 días
<b>Pizarras de control del turbog No2</b>		Monitoreo de temperatura “Cámara termografica”	Sem anal
<b>Pizarra de distribución gral pta Electr.</b>	C	Monitoreo de temperatura “Cámara termografica”	Sem anal
<b>Bbas de aceite turbogeneradores</b>			
<b>Bba de aceite turbog No1</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bba de aceite turbog No2</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Turbo bombas de aceite de turbog</b>			
<b>Turbobba del turbo No1</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Turbobba del turbo No2</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Enfriaderos de aceite de turbogen</b>			
<b>Enfriador de aceite de turbogen No1</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Enfriador de aceite de turbogen No2</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Grua del área</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Enfriadero planta eléctrica</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Centros de control de motores ingenio</b>			
<b>CCM basculador</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>CCM planta moledora</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>CCM generación de vapor</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>CCM planta eléctrica</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>CCM casa de calderas</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>CCM centrifugación</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Transformadores de distribución</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog

#### 4.2 APLICACIÓN DE UNA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA EMPRESA AZUCARERA “PAQUITO ROSALES”

Como motivo de estudio y profundización al tema de Mantenimiento Predictivo, se analizara el área 2, por ser una de las 4 áreas estudiadas con mayor numero de máquinas con un nivel de criticidad alto, de esta área “planta moledora” se escogió para el análisis los motores y reductores de velocidad de los molinos, con la técnica de Análisis de Vibraciones.



### 4.3 PARÁMETRO DE FUNCIONAMIENTO DEL ANÁLISIS DE VIBRACIONES

#### 4.3.1 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO [16]

Se conoce por Programa de Mantenimiento Predictivo a aquel que contempla de modo eficaz tres etapas imprescindibles.

Detección

Identificación

Corrección

En general, el Programa de Mantenimiento Predictivo (PMP) contribuye en principio, a detectar el comienzo de una futura avería a la vez que permite disponer de las herramientas necesarias para analizar la causa del problema que se está desarrollando, lográndose determinar finalmente, el momento oportuno para de forma dirigida corregir eficaz y eficientemente el problema detectado.

#### 4.3.2 VIBRACIONES EN MÁQUINAS

A través de los años ya sea por contacto directo o con el empleo de algún dispositivo de naturaleza subjetiva, los operadores de máquina han empleado técnicas de verificación auditiva «también subjetivas» para comprobar si el comportamiento de "su máquina" es NORMAL o no. De aquí que, tradicionalmente y quizás en forma inconsciente, las vibraciones hayan sido utilizadas como un indicador del estado técnico de las máquinas y hasta hoy día, continúen siendo el fenómeno más representativo del estado técnico de éstas, pudiéndose a través de la medición de vibraciones, detectar e identificar fallas ya desarrollados o en período de desarrollo prematuro.

Según la norma ISO 2041 en relación con la Terminología en Vibraciones [17] se establece que:

**VIBRACIÓN** es toda variación en el tiempo, de una magnitud que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico, cuando esta magnitud es alternativamente mayor o menor que cierto valor promedio o de referencia

De igual forma, la propia norma ISO 2041 establece que:

**VIBRACIÓN LINEAL** es una vibración en la cual la trayectoria vibratoria de un punto tiene lugar según una línea recta

#### 4.4 SELECCIÓN DE TRANSDUCTORES

##### 4.4.1 INTRODUCCIÓN A LOS MEDIDORES (TRANSDUCTORES) DE VIBRACIÓN

La generación y transmisión de vibraciones a ser procesadas como señales eléctricas por el analizador de vibraciones requieren de transductores, estos son de tres tipos: de proximidad, de velocidad y de aceleración. El primero censa directamente al rotor, los otros son de carcasa.

##### 4.4.2 TRANSDUCTORES DE PROXIMIDAD [18]

Estos consisten en una bobina alrededor de un núcleo ferroso que crea un campo magnético entre la punta del transductor y el eje, un cambio del espacio entre el transductor y el eje produce un cambio en el campo magnético por la generación de corrientes inducidas o parásitas de Eddy que modifican la señal proporcionalmente al desplazamiento del objeto medido, el eje debe ser electromagnético.

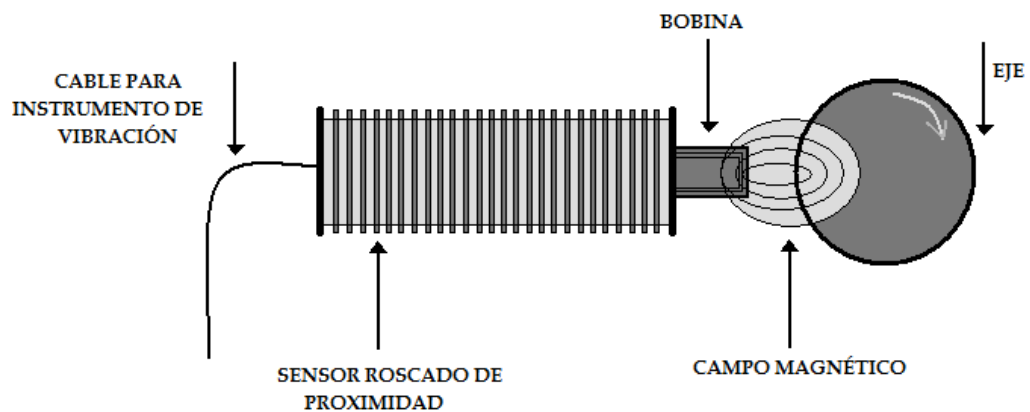


Figura 8: Transductor de Proximidad

Es comúnmente utilizado en cojinetes hidrodinámicos de baja velocidad, la medición se la realiza directamente sobre el eje. Requieren calibración y una fuente externa de energía para su funcionamiento.

El rango de frecuencias efectivo aproximado para transductores de proximidad es de entre 0 y 600 Hz. En el caso de transductores para la medición de desplazamiento por contacto, el rango de frecuencias efectivo es de entre 0 y 200 Hz.

#### 4.4.3 TRANSDUCTORES DE VELOCIDAD

Está compuesto de una bobina cilíndrica y un imán permanente suspendido en resortes en la mitad de un medio fluido figura 11. Al colocarse el transductor en los soportes de rodamientos (chumaceras), la vibración transmitida produce oscilación el magneto que induce una corriente eléctrica y diferencia de potencial en la bobina que es proporcional a la amplitud de vibración.

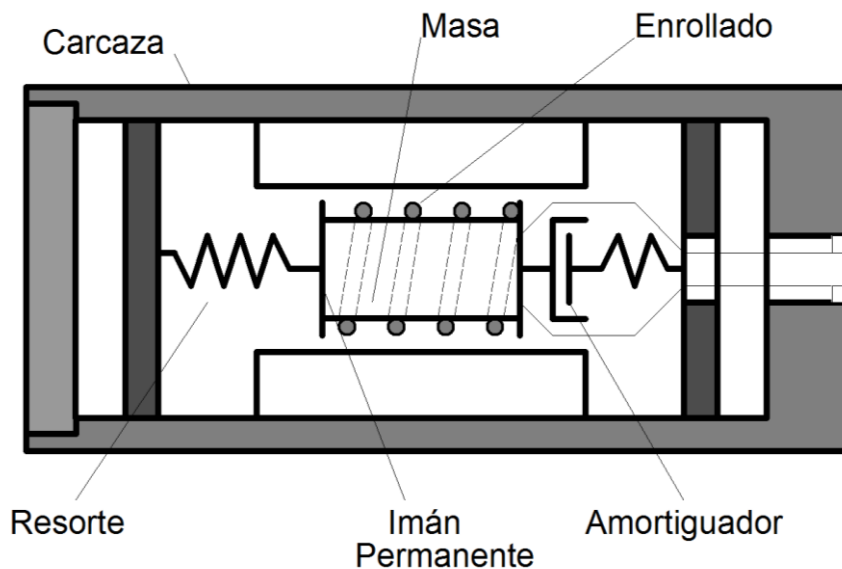


Figura 9: Transductor de Velocidad

Son de uso muy común, especialmente para mediciones en soportes de rodamientos (chumaceras), no requiere de fuerza externa. Puede tener problemas de interferencia del campo magnético.

Su aplicación está especialmente en el rango de 2 Hz a 1 KHz., no es aplicable para bajas frecuencias por su baja frecuencia natural.

#### 4.4.4 ACELERÓMETROS [19]

Consiste en un pedazo de cristal piezoeléctrico que se encuentra en contacto con una masa, cuando se pone en contacto la armadura del sensor con el medio vibrante (chumaceras) la fuerza de excitación intenta deformar al cristal y este por sus propiedades piezoeléctricas genera una señal eléctrica como respuesta.

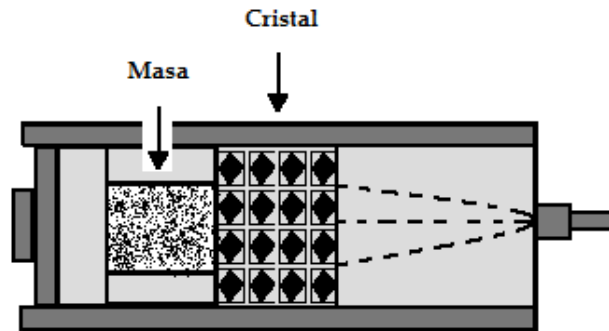


Figura 10: Transductor de aceleración

Un cristal piezoeléctrico produce cierta carga eléctrica al deformarse bajo la acción de cierta fuerza. Todo esto hace que el comportamiento dinámico de este tipo de transductor piezoeléctrico sea como se muestra en la figura 11. Observe que mientras mayor sea la frecuencia de resonancia  $f_r$ , más altas frecuencias podrán ser medidas, aunque se debe señalar que la sensibilidad del acelerómetro piezoeléctrico disminuye con el aumento de su frecuencia de resonancia. El diseño de este dispositivo posibilita obtener una señal eléctrica proporcional a la aceleración de la superficie donde haya sido fijado éste.

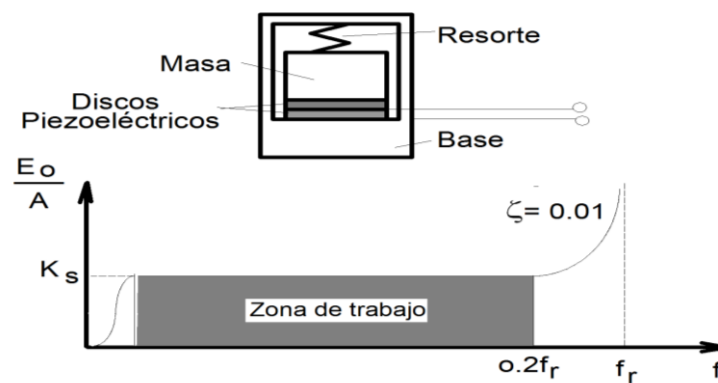


Figura 11: Sensibilidad del acelerómetro piezoeléctrico

Son muy comunes, operan en una muy amplia gama de frecuencias, desde 0 hasta más de 400 Khz., son recomendables para maquinaria de alta velocidad y para detectar vibraciones de alta frecuencia en general.

#### **4.4.5 UBICACIÓN DEL ACCELERÓMETRO PIEZOELÉCTRICO**

Como se debe suponer, el elemento sensor primario (transductor) es la principal fuente de error de una medición ya que este es el vínculo entre lo que se desea medir y el instrumento de medición. Por ello, es de vital importancia lograr un montaje adecuado del acelerómetro.

En primera instancia, debe quedar bien claro que la máxima sensibilidad del acelerómetro estará dada en la vibración que lo excite en su dirección axial, lo que conduce a una sensibilidad al 100% , sin embargo cuando se excita transversalmente, la sensibilidad es menor en un 4% , dependiendo del fabricante.

Por otro lado es necesario tener en cuenta que la zona que mejor refleja las vibraciones de una maquinaria es aquella cercana a los apoyos de los elementos rotatorios o en su defecto, aquellos puntos donde la vía de transmisión de las vibraciones sea la más directa.

##### **4.4.5.1 FIJACIÓN DEL ACCELERÓMETRO PIEZOELÉCTRICO**

El acelerómetro piezoeléctrico puede ser fijado a la superficie donde se desea efectuar la medición con el auxilio de los diferentes elementos tales como el perno de acero, la cera de abeja, el imán permanente, pegamentos y el conocido puntero.

En dependencia del elemento de fijación empleado se podrá contar con un mayor o menor aprovechamiento del rango de frecuencias del acelerómetro durante la medición.

##### **4.4.5.2 MONTAJE CON PERNO DE ACERO**

Se emplea para medir vibraciones en un rango de altas frecuencias, para lo cual se requiere garantizar una frecuencia de resonancia alta. También se emplea para el monitoreado permanente de las vibraciones en maquinarias y estructuras.

Este método desempeña un rendimiento óptimo del acelerómetro por lo que deberá ser usado siempre que sea posible. Este tipo de montaje no limita el rango de temperatura del acelerómetro permitiendo la medición de altos niveles de vibraciones.

**Requiere de cierto tiempo para la preparación de la superficie de montaje, así como para el taladrado y roscado del agujero.**

#### **4.4.5.3 MONTAJE CON CERA DE ABEJA**

Es un método de fijación muy empleado para realizar mediciones rápidas cuando no es posible taladrar la superficie de medición o cuando se utilicen acelerómetros que no poseen agujeros roscados en su base.

Es una opción de montaje rápido y fácil, reportando una frecuencia de resonancia ligeramente menor que la lograda con perno roscado, debiéndose emplear la menor cantidad de cera posible ya que un exceso de esta contribuye a reducir el rango de frecuencias de operación satisfactoria del acelerómetro.

**La temperatura de trabajo queda limitada a 40°C aproximadamente, debiéndose emplear para medir niveles superiores a 10 gravedades de aceleración.**

#### **4.4.5.4 MONTAJE CON DISPOSITIVO MAGNÉTICO**

Este método exige de una limpieza total de la superficie de montaje así como el menor nivel de rugosidad posible. La rapidez del montaje hace de este método una vía ideal para la realización de mediciones preliminares durante la selección de los posibles puntos de medición. Puede medir niveles altos de aceleración aunque la frecuencia de resonancia resultante será aproximadamente sólo un 22% de la lograda con el uso del perno roscado.

**El método no garantiza repetitividad absoluta de las mediciones pudiéndose presentar el efecto de carga en sistemas relativamente ligeros.**

#### 4.4.5.5 EMPLEO DEL PUNTERO

Constituye el método de mayor facilidad y rapidez, para la medición de vibraciones. Debe ser empleado solamente para chequeos rápidos de nivel total de un rango de 500 Hz a lo sumo para un acelerómetro estándar.

**La frecuencia de resonancia baja drásticamente a un 6% con diferencia a la de un perno roscado, recomendándose seriamente el uso de un filtro pasa - bajo para efectuar la medición.**

#### 4.4.6 DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN MÁQUINARIA

Existen tres reglas para el diagnóstico:

- Cada falla genera una vibración típica y específica de esa falla.
- La frecuencia de la vibración está determinada por la configuración de la máquina y su velocidad de operación.
- Una simple medición de vibración nos suministra información relacionada con múltiples componentes.

##### 4.4.6.1 CATEGORÍAS GENERALES [20]

- Desbalanceo
- Desalineación
- Holgura Mecánica
- Problemas de Lubricación
- Rotor Rozante
- Resonancias
- Pulsaciones
- Fallas en Engranajes
- Bandas
- Chumaceras
- Flujo de Líquidos
- Flujo de Gases
- Fallas en Rodamientos

#### 4.4.7 REGLAS FUNDAMENTALES PARA EL ANÁLISIS DE ESPECTROS [21]

(Ver Anexo 5)

- **DESBALANCEO**  
Ejes soportados en ambos lados = 1XR y 1XT en ambos lados.  
Eje en voladizo = 1XA mayor que 1XR o 1XT.
- **RODAMIENTO DESALINEADO**  
2X mayor que 1X en cualquier lado, 2XR.
- **DESALINEAMIENTO ANGULAR**  
1XA mayor que 1XR o 1XT en ambos lados del motor.
- **DESALINEAMIENTO PARALELO**  
2XR o 2XT mayor que 1XR o 1XT en cualquier lado del motor.
- **PATA FLOJA**  
1XR o 0.5XR mayor a 2 mm/s.
- **FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL (HOLGURA DE BASE)**  
1XT mayor que 1XR en los dos lados del motor.
- **EJE PANDEADO**  
1XA alto en ambos lados del motor.
- **ROZAMIENTOS**  
Picos menores a 1X altos.
- **FALLAS DE ACOPLES**  
Picos en 3X altos.
- **FALLAS DE RODAMIENTOS**  
Armónicos no síncronos.  
Bandas Laterales.
- **HOLGURA MECÁNICA**  
Picos altos desde 3X hasta 23X
- **FASE ELÉCTRICA**  
Picos altos a 120 Hz.



#### 4.4.8 CATEGORIZACIÓN DE LAS MÁQUINAS [22]

Para utilizar las normas de Vibraciones con el objetivo de establecer los valores límites de vibraciones se necesita categorizar las máquinas según los Estándar ISO 10816, Normas Cubanas, NC – ISO 10816. Según se muestra en la tabla XVII (Ver Anexo 2).

##### 4.4.8.1 ESTÁNDAR ISO 10816. PARTE 3

TABLA XVII: VALORES LÍMITES DE VIBRACIONES

45.00	<b>No Permissible</b>	<b>No Permissible</b>	<b>No Permissible</b>	<b>No Permissible</b>	
28.00			<b>Límite</b>	<b>Admisible</b>	
18.00					<b>Límite</b>
11.20					
7.10	<b>Límite</b>	<b>Admisible</b>	<b>Admisible</b>	<b>Admisible</b>	
4.50					
2.80	<b>Admisible</b>	<b>Admisible</b>	<b>Normal</b>	<b>Normal</b>	
1.80					
1.12	<b>Normal</b>	<b>Normal</b>	<b>Normal</b>	<b>Normal</b>	
0.71					
0.45					
0.28	<b>Normal</b>	<b>Normal</b>	<b>Normal</b>	<b>Normal</b>	
↑					
Vel. [mm/s] RMS	<b>Clase I</b>	<b>Clase II</b>	<b>Clase III</b>	<b>Clase IV</b>	

##### 4.4.8.2 ESTÁNDAR ISO 10816. CLASE I

Partes individuales de motores y máquinas en general, vinculadas íntegramente en condiciones normales de operación. Los motores eléctricos de hasta 15 Kw., de potencia constituyen ejemplos de ésta categoría.

##### 4.4.8.3 ESTÁNDAR ISO 10816. CLASE II

Máquinas de medianas dimensiones (típicamente motores eléctricos de entre 15 y 75 Kw., de potencia) montadas sobre bases convencionales. Motores de hasta 300 Kw., montadas en bases especiales.

#### 4.4.8.4 ESTÁNDAR ISO 10816. CLASE III

Grandes máquinas motrices y cualquier otro tipo de máquina rotatoria, montadas sobre bases rígidas y pesadas, exhibiendo rigidez relativamente altas en la dirección donde se efectuó la medición de las vibraciones.

#### 4.4.8.5 ESTÁNDAR ISO 10816. CLASE IV

Grandes máquinas motrices y cualquier otro tipo de máquina rotatoria, montadas sobre bases relativamente flexibles en la dirección en que se efectuó la medición de las vibraciones (turbogeneradores y turbinas de gas, cuyas potencias sean superiores a 10 MW).

Sin embargo, definir cuáles niveles son normales y cuáles son anormales constituye una labor algo contradictoria. El norteamericano JAMES I. TAYLOR, Presidente de VIBRATION CONSULTANTS, Inc. estima que sobre la base de su experiencia de más de veinte años obteniendo resultados satisfactorios con el empleo de los llamados estándares de calibración (ajustados a la velocidad de rotación), pudiera constituir una estrategia acertada el uso de estos según se muestra en la Tabla XVIII [23]

**TABLA XVIII: ESTÁNDARES DE CALIBRACIÓN AJUSTADOS A LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN.**

<b>MÁQUINAS ROTATORIAS</b> (velocidad en RPM)	<b>MÁQUINAS PAPELERAS</b> (velocidad en FPM)	<b>VELOCIDAD PICO</b> [mm/s]
más de 1000	Más de 2400	hasta 18.0
500 - 1000	1700 - 2400	hasta 9.00
200 - 500	1000 - 1700	hasta 5.00
menos de 200	Menos de 1000	hasta 3.00

#### 4.5 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS

Si aceptamos que la actividad del Mantenimiento tiene que estar encaminada en primera instancia a garantizar eficiencia y confiabilidad de la operación de los activos con un menor costo. Por tal motivo, es imperativa la necesidad de evaluar el estado general de la máquina e identificar defectos durante su etapa de desarrollo prematuro, con vistas a planificar las intervenciones de manera oportuna.

##### 4.5.1 EL ANALIZADOR DE VIBRACIONES Y COLECTOR DE DATOS VIBROTEST 60

El Vibrotest 60 reúne todos los requisitos de un colector analizador FFT, combinando las funciones más utilizadas en el campo del análisis de vibraciones, con un sistema operativo basado en secuencias intuitivas, complementadas por un registro y un procesamiento de alta velocidad y tiene las siguientes ventajas.

- Analizador FFT, Equilibrado, Colector de datos en un mismo instrumento portátil.
- Diálogo operativo que se entiende fácilmente y es posible seleccionar en los idiomas siguientes:
  - Alemán
  - Inglés
  - Francés
  - Italiano
  - Holandés
  - Portugués
  - Español
  - Checo
  - Húngaro
  - Polaco
- Medición en tiempo real para dos canales y velocidad
- Pequeño, liviano (900 g), instrumento que se opera manualmente
- Óptima resolución de FFT con hasta 12,800 líneas

- Pueden usarse sensores de aceleración, velocidad y desplazamiento disponibles comercialmente
- Pantalla gráfica de alto contraste, brillante y con luz de fondo
- Capacidad de almacenaje máxima y elevada seguridad para los datos de medición a través del uso de tarjetas PC



Fuente: Propia

Figura 12: Vibrotest 60 del Central Paquito Rosales

#### 4.5.2 VIBROEXPERT CM - 400

El software VIBROEXPERT CM - 400 es un componente del sistema VIBROCAM 4000. Este sistema, tiene la capacidad de dar respuesta total a las exigencias de nuestro trabajo, este software nos permite trabajar en diferentes módulos y principalmente. (ANEXO 4) estrategia de empleo del software VIBROEXPERT CM - 400).

- Generar reportes.
- Realizar análisis de tendencia.
- Visualizar y utilizar herramientas de análisis espectral.
- Crear para su almacenamiento digital expedientes por cada máquina.
- Pronóstico de fallas.

- Función FTP Marker (Marcadores con frecuencia de daños de rodamientos en los espectros de amplitud de vibraciones o BCU)

#### 4.5.3 TRANSFERENCIA DE LAS MEDICIONES DESDE EL INSTRUMENTO HACIA LA PC.

El equipo puede descargar a la computadora las mediciones obtenidas, la transferencia de las mediciones podrá ser ejecutada a través de comunicación por puerto serie o través de soporte magnético como es el caso de las tarjetas magnéticas PCMCIA.



Fuente: Propia

Figura 13: Tarjeta de Almacenamiento de Datos PCMCIA

#### 4.5.4 SELECCIÓN DE TRANSDUCTORES

Para seleccionar un transductor hay que tener en cuenta diferentes parámetros de utilización, forma, tamaño y que va a medir o censar.

Es muy importante el tipo de máquina que se va a medir, ya que el transductor no puede estar diseñado o apto respecto a su accesibilidad por la posición o la dificultad, entonces se escogería el transductor más factible o capaz de censar en máquinas de difícil acceso.

El rango de frecuencias del transductor debe ser compatible con las frecuencias generadas por los diferentes componentes mecánicos de las máquinas.

En este caso por contar con un solo tipo de transductores en el MINAZ de denominación AS-060 se utilizará éste para las diferentes mediciones como se puede ver en la Figura 14.



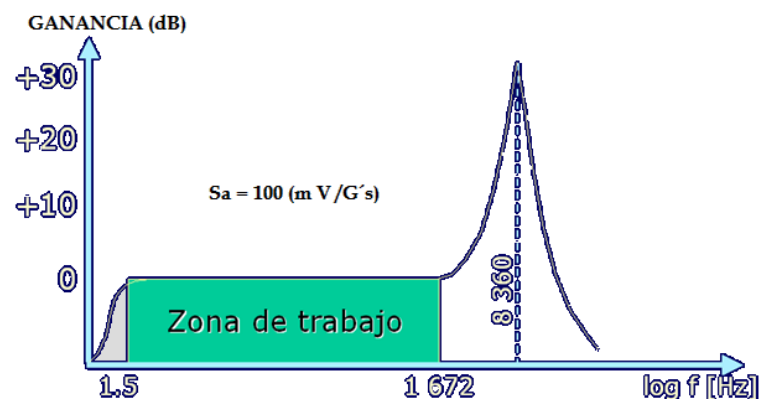
Fuente: Propia

Figura 14: Transductores con dispositivos magnéticos y punteros

Se observa los transductores con dispositivos magnéticos y el puntero el cual censa bajas frecuencias y es utilizado para lugares de difícil acceso.

De tal modo el dispositivo magnético que se utiliza posee las siguientes características:

- $f_r = (22\%) 38 \text{ kHz}$
- $f_r = 8360 \text{ Hz}$
- $f_{max} = 0.20 * 8360$
- $f_{max} = 1672 \text{ Hz}$



Fuente: Schenck

Figura 15: Curva Característica de capacidad de trabajo del transductor con dispositivo magnético

Analizando la Figura se puede observar que el transductor con dispositivo magnético AS – 060 cumple con los requisitos para realizar las mediciones ya que los equipos a monitorear se encuentran en un rango desde los 3 a 1000 Hz.

#### 4.5.5 SENTIDOS DE MEDICIÓN

El sensor que determinará los datos es recomendable que se ubique de las siguientes formas.

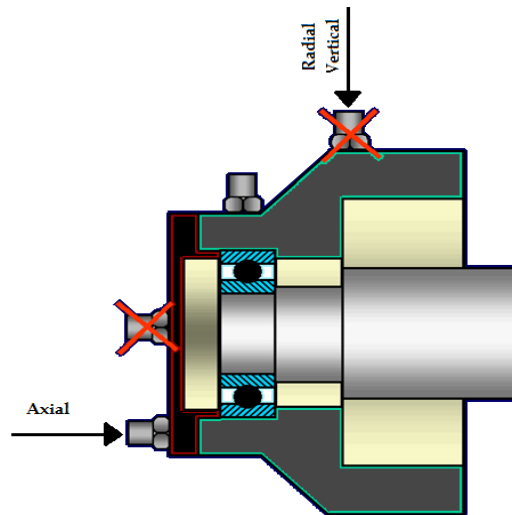


Figura 16: Ubicación del sensor de medición

- **Radial Vertical.**- las fuerzas son perpendiculares al eje.
- **Axial.**- las fuerzas son paralelas al eje.
- **Radial Horizontal.**- las fuerzas son perpendiculares al eje tangencial.

Debemos tener muy en cuenta que los sentidos de medición varían de acuerdo a las posiciones de los equipos o máquinas a ser medidos, y la facilidad que tengamos para la ubicación del sensor.

#### 4.6 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES Y REDUCTORES



Figura 17: Motor y Reductor de la industria azucarera Paquito Rosales.

La función principal de operación de cada motor y reductor es la de dar las revoluciones y el par necesario de trabajo para cada molino que esta a este mecanismo acoplado.

- ✓ Para el molino # 1 es necesaria una velocidad de 3,12 r.p.m., accionado por un motor de 400 Kw. y 600 r.p.m., con un reductor Flenders.
- ✓ Para el molino # 2 y 3 es necesaria una velocidad de 3,12 r.p.m., accionados por un motor de 500 Kw. y 600 r.p.m., con un reductor SKODA.
- ✓ Para el molino # 4 y 5 es necesaria una velocidad de 3,12 r.p.m., accionados por un motor de 500 Kw. y 600 r.p.m., con un reductor SKODA.

##### 4.6.1 MOTORES ELÉCTRICOS [24]

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Debido a sus múltiples ventajas, entre las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico ha reemplazado en gran parte a otras fuentes de energía, tanto en la industria como en el transporte, las minas, el comercio, o el hogar.

Los motores eléctricos satisfacen una amplia gama de necesidades de servicio, desde arrancar, acelerar, mover, o frenar, hasta sostener y detener una carga. Estos motores se fabrican en potencias que varían desde una pequeña fracción de caballo hasta varios miles, y con una amplia variedad de velocidades, que pueden ser fijas, ajustables o variables.

Un motor eléctrico contiene un número mucho más pequeño de piezas mecánicas que un motor de combustión interna o uno de una máquina de vapor, por lo que es menos propenso a los fallas.



#### 4.6.2 CAJAS REDUCTORAS [25]

Casi podría decirse que los motores son como el 'corazón de la industria'. Pero ese 'corazón' tiene diferentes ritmos y funciona a distintas velocidades, dependiendo del uso que se le quiera dar. Por eso los reductores de velocidad son indispensables en todas las industrias del país, desde los que producen cemento hasta los laboratorios de medicamentos requieren en sus máquinas estos mecanismos.

Los reductores son diseñados a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor.

En pocas palabras los reductores son sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos funcionen a diferentes velocidades para los que fueron diseñados.

Rara vez las máquinas funcionan de acuerdo con las velocidades que les ofrece el motor, por ejemplo, a 1.800, 1.600 o 3.600 revoluciones por minuto. La función de un reductor es disminuir esta velocidad a los motores (50, 60, 100 r.p.m.) y permitir el eficiente funcionamiento de las máquinas, agregándole por otro lado potencia y fuerza.

Para potencias bajas se utilizan moto-reductores que son equipos formados por un motor eléctrico y un conjunto reductor integrado. Las herramientas manuales en general (taladros, lijadoras, cepillos, esmeriles, etc.) poseen un moto-reductor.

Para potencias mayores se utilizan equipos reductores separados del motor. Los reductores consisten en pares de engranajes con gran diferencia de diámetros, de esta forma el engrane de menor diámetro debe dar muchas vueltas para que el de diámetro mayor de una vuelta, de esta forma se reduce la velocidad de giro. Para obtener grandes reducciones se repite este proceso colocando varios pares de engranes conectados uno a continuación del otro.

En otras palabras **“los Reductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente”**.

Al emplear REDUCTORES se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- ✓ Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- ✓ Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- ✓ Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el Mantenimiento.
- ✓ Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- ✓ Menor tiempo requerido para su instalación.

Los reductores se suministran normalmente acoplando a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asincrónico tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador para conectar a redes trifásicas de 220/440 voltios y 60 Hz.

Para proteger eléctricamente el motor es indispensable colocar en la instalación de todo Motor un guarda motor que limite la intensidad y un relé térmico de sobrecarga. Los valores de las corrientes nominales están grabados en las placas de identificación del motor.

#### **4.6.3 GUÍA PARA LA ELECCIÓN DEL TAMAÑO DE UN REDUCTOR O MOTOR - REDUCTOR**

Para seleccionar adecuadamente una unidad de reducción debe tenerse en cuenta la siguiente información básica:

- ✓ Características de operación
- ✓ Potencia (HP tanto de entrada como de salida)
- ✓ Velocidad (RPM de entrada como de salida)
- ✓ Torque (par) máximo a la salida.
- ✓ Relación de reducción (I).
- ✓ Características del trabajo a realizar
- ✓ Tipo de máquina motriz (motor eléctrico, a gasolina, etc.)
- ✓ Tipo de acople entre máquina motriz y reductor.
- ✓ Tipo de carga uniforme, con choque, continua, discontinua etc.
- ✓ Duración de servicio horas/día.
- ✓ Arranques por hora, inversión de marcha.

#### **Condiciones del ambiente**

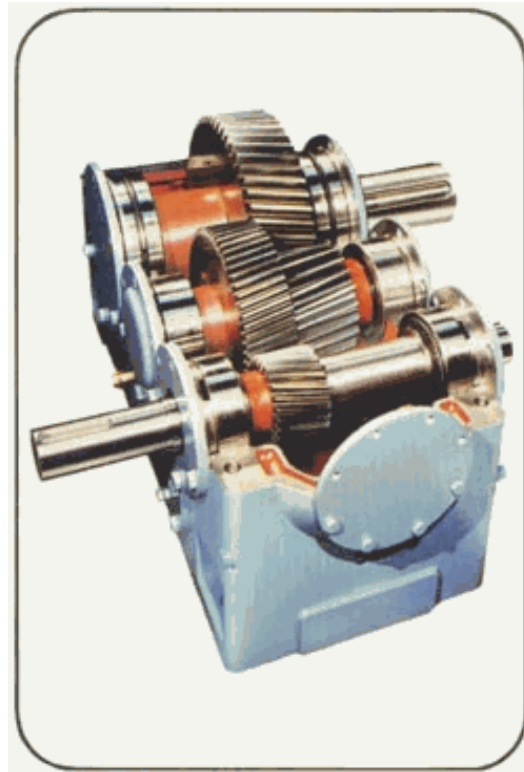
- ✓ Humedad
- ✓ Temperatura
- ✓ Ejecución del equipo
- ✓ Ejes a 180°, ó, 90°.
- ✓ Eje de salida horizontal, vertical, etc.

#### **Ventajas**

Las transmisiones de engranajes encerrados vendidas por los fabricantes ofrecen varias ventajas sobre los dispositivos abiertos de transmisión de potencia:

- ✓ Seguridad, protección contra las partes móviles.

- ✓ Retención del lubricante.
- ✓ Protección contra el medio ambiente.



**Figura 18: Reductor de velocidad de 3 pasos**

En estas cajas es importante notar que se abren en dos mitades y la línea de unión está en el plano que forman los ejes. Este diseño se basa en la conveniencia de abrir la caja al nivel de los ejes para extraerlos con facilidad y permitir el cambio de rodamientos, sellos de aceite, revisar el desgaste de los dientes y otras mantenciones preventivas.

#### **4.6.4 MANTENIMIENTO DE REDUCTORES**

Los engranajes, casquillos y rodamientos de los reductores están lubricados habitualmente por inmersión o impregnados en la grasa lubricante alojada en la carcasa principal. Por lo tanto, el Mantenimiento pasa por revisar el nivel de aceite antes de la puesta en marcha. La carcasa tendrá visibles los tapones de llenado, nivel y drenaje del lubricante, que deben estar bien sellados. Debe mantenerse especialmente limpio el orificio de ventilación; también debe respetarse el tipo de lubricante recomendado por el fabricante, que suele ser el más adecuado a su velocidad, potencia y materiales constructivos.

Según el tipo del reductor, se suele recomendar una puesta en marcha progresiva, en cuanto a la carga de trabajo, con unas 50 horas hasta llegar al 100%. Asimismo, es muy recomendable el sustituir el aceite la primera vez tras 200 horas de trabajo, pudiendo incluso el decidir en ese momento un "lavado" del Reductor. A partir de ese momento, los cambios del lubricante deberán hacerse SIEMPRE de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, siendo plazos habituales cambios cada 2.000 horas de trabajo.

Para finalizar, reiterar que los consejos aquí dados son solo recomendaciones GENERALES, y que siempre que sea posible y conocidas, deben atenderse las recomendaciones específicas del Fabricante para el modelo en cuestión.

#### **4.6.5 LUBRICACIÓN DE LAS TRANSMISIONES DE ENGRANAJES ENCERRADOS**

La lubricación inapropiada es una de las causas principales de falla en las transmisiones a base de engranajes, deben seguirse las instrucciones del fabricante de los engranajes para asegurar la operación apropiada. La unidad de engrane debe drenarse y limpiarse con un aceite lavador, después de transcurridos 4 semanas de operación inicial. Para volver a llenarla puede utilizarse el lubricante original filtrado, o bien un lubricante nuevo. Para operación normal los cambios de aceite deben hacerse después de cada 2000 a 2500 horas de servicio.

Deben llevarse a cabo verificaciones periódicas de los niveles del aceite, aceiteras y accesorios para grasa. Si se está utilizando lubricación a presión, debe vigilarse con frecuencia el funcionamiento apropiado de la bomba, del filtro y del enfriador.

#### **4.6.6 LISTA DE PRINCIPALES PROBLEMAS**


Entre los principales problema que puede sufrir un reductor se encuentran:

- ✓ Calentamiento.
- ✓ Falla del árbol.
- ✓ Falla de los cojinetes.
- ✓ Fuga de aceite.
- ✓ Desgaste.
- ✓ Ruido y vibración.
- ✓ Falla de los engranes.

## 4.7 FICHAS DE DATOS TÉCNICOS


## 4.7.1 FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL REDUCTOR 1

TABLA XIX: FICHA DE DATOS TÉCNICOS REDUCTOR # 1

 <b>“PAQUITO ROSALES”</b>	<b>PASAPORTE TÉCNICO</b>	<b>MÁQUINA:</b> <i>REDUCTOR 1</i>	<b>UBICACIÓN TÉCNICA:</b>																		
	<b>FABRICANTE:</b> INGLÉS	<b>MARCA:</b> FLENDER	<b>MODELO:</b> SDN - 710	<b>TIPO:</b>																	
<b>AREA:</b> TANDEM TREN DE ENGRANE	<b>EQUIPO AL QUE ESTA ACOPLADO:</b> MOLINO # 1	<b>AÑO DE INSTALACION:</b> 1999	<b>N° DE INVENTARIO:</b>																		
<b>PARAMETROS TÉCNICOS:</b>	<b>POTENCIA DE DISEÑO:</b> 460 Kw.	<b>POTENCIA DE TRABAJO:</b> 800 Kw.	<b>N° DE PASOS DE REDUCCION:</b> 4																		
	<b>RELACIÓN DE REDUCCION:</b> 30 / 1	<b>VELOCIDAD DE ENTRADA:</b> 600 R.P.M.	<b>VELOCIDAD DE SALIDA:</b> 30 R.P.M																		
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES:</b>																					
<b>LUBRICACIÓN:</b>	<b>TIPO DE LUBRICANTE:</b> ACEITE REDUCTOR EP-90.GL4	<b>MODO DE APLICACIÓN:</b> BAÑO	<b>FRECUENCIA:</b> CADA 6 MESES																		
<b>RODAMIENTOS:</b>		<b>DIMENSIONES:</b>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO - NUMERO:</th> <th>CANTIDAD:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>24128</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>22332 B int. A</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2344 int. B</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		TIPO - NUMERO:	CANTIDAD:	24128	2	22332 B int. A	2	2344 int. B	2					<table border="1"> <tbody> <tr> <td><b>LARGO:</b> 3100 mm.</td> <td><b>PESO:</b></td> </tr> <tr> <td><b>ANCHO:</b> 1640 mm.</td> <td><b>VOLUMEN:</b></td> </tr> <tr> <td><b>ALTURA:</b> 2050 mm</td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		<b>LARGO:</b> 3100 mm.	<b>PESO:</b>	<b>ANCHO:</b> 1640 mm.	<b>VOLUMEN:</b>	<b>ALTURA:</b> 2050 mm	
TIPO - NUMERO:	CANTIDAD:																				
24128	2																				
22332 B int. A	2																				
2344 int. B	2																				
<b>LARGO:</b> 3100 mm.	<b>PESO:</b>																				
<b>ANCHO:</b> 1640 mm.	<b>VOLUMEN:</b>																				
<b>ALTURA:</b> 2050 mm																					
<b>OBSERVACIONES:</b>																					


## 4.7.2 FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL REDUCTOR 2

TABLA XX: FICHA DE DATOS TÉCNICOS REDUCTOR # 2

 <b>“PAQUITO ROSALES”</b>	<b>PASAPORTE TÉCNICO</b>	<b>MÁQUINA:</b> <b>REDUCTOR 2</b>	<b>UBICACIÓN TÉCNICA:</b>																		
<b>FABRICANTE:</b> CHECOSLOVAQUIA	<b>MARCA:</b> SKODA	<b>MODELO:</b> ZTB - 800 / T250-V	<b>TIPO:</b> PM																		
<b>AREA:</b> TANDEM TREN DE ENGRANE	<b>EQUIPO AL QUE ESTA ACOPLADO:</b> MOLINO # 2 Y 3	<b>AÑO DE INSTALACION:</b> 1985	<b>N° DE INVENTARIO:</b>																		
<b>PARAMETROS TÉCNICOS:</b>	<b>POTENCIA DE DISEÑO:</b> 662 Kw .	<b>POTENCIA DE TRABAJO:</b> 7,33	<b>N° DE PASOS DE REDUCCION:</b> 3																		
	<b>RELACIÓN DE REDUCCION:</b> 30 / 1	<b>VELOCIDAD DE ENTRADA:</b> 900 R.P.M .	<b>VELOCIDAD DE SALIDA:</b> 30 R.P.M																		
<b>CARACTERISTICAS GENERALES:</b>																					
<b>LUBRICACIÓN:</b>	<b>TIPO DE LUBRICANTE:</b> ACEITE REDUCTOR EP-90.GL4	<b>MODO DE APLICACIÓN:</b> BAÑO (engranaje) SPRAY (rodamientos)	<b>FRECUENCIA:</b> CADA 6 MESES																		
<b>RODAMIENTOS:</b>		<b>DIMENSIONES:</b>																			
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>TIPO - NUMERO:</th> <th>CANTIDAD:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>23068 baja</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>23256 inter</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>22240 alta</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		TIPO - NUMERO:	CANTIDAD:	23068 baja	2	23256 inter	2	22240 alta	2					<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td><b>LARGO:</b> 5425mm .</td> <td><b>PESO:</b> 7800 Kg .</td> </tr> <tr> <td><b>ANCHO:</b> 3175mm .</td> <td><b>VOLUMEN:</b></td> </tr> <tr> <td><b>ALTURA:</b> 2570mm .</td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		<b>LARGO:</b> 5425mm .	<b>PESO:</b> 7800 Kg .	<b>ANCHO:</b> 3175mm .	<b>VOLUMEN:</b>	<b>ALTURA:</b> 2570mm .	
TIPO - NUMERO:	CANTIDAD:																				
23068 baja	2																				
23256 inter	2																				
22240 alta	2																				
<b>LARGO:</b> 5425mm .	<b>PESO:</b> 7800 Kg .																				
<b>ANCHO:</b> 3175mm .	<b>VOLUMEN:</b>																				
<b>ALTURA:</b> 2570mm .																					
<b>OBSERVACIONES:</b>																					


## 4.7.3 FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL REDUCTOR 3

TABLA XXI: FICHA DE DATOS TÉCNICOS REDUCTOR # 3

 <b>“PAQUITO ROSALES”</b>	<b>PASAPORTE TÉCNICO</b>	<b>MÁQUINA :</b> <b>REDUCTOR 3</b>	<b>UBICACIÓN TÉCNICA :</b>																		
<b>FABRICANTE :</b> CHECOSLOVAQUIA	<b>MARCA :</b> SKODA	<b>MODELO :</b> ZTB - 800 / T250-V	<b>TIPO :</b> PM																		
<b>AREA :</b> TANDEM TREN DE ENGRANE	<b>EQUIPO AL QUE ESTA ACOPLADO :</b> MOLINO # 4 Y 5	<b>AÑO DE INSTALACION :</b> 1985	<b>N° DE INVENTARIO :</b>																		
<b>PARAMETROS TÉCNICOS :</b>	<b>POTENCIA DE DISEÑO :</b> 662 Kw .	<b>POTENCIA DE TRABAJO :</b> 800 Kw .	<b>N° DE PASOS DE REDUCCION :</b> 3																		
	<b>RELACIÓN DE REDUCCION :</b> 30 / 1	<b>VELOCIDAD DE ENTRADA :</b> 900 R.P.M .	<b>VELOCIDAD DE SALIDA :</b> 30 R.P.M																		
<b>CARACTERISTICAS GENERALES :</b>																					
<b>LUBRICACIÓN :</b>	<b>TIPO DE LUBRICANTE :</b> ACEITE REDUCTOR EP-90.GL4	<b>MODO DE APLICACIÓN :</b> BAÑO (engranaje) SPRAY (rodamientos)	<b>FRECUENCIA :</b> CADA 6 MESES																		
<b>RODAMIENTOS :</b>		<b>DIMENSIONES :</b>																			
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">TIPO - NUMERO :</th> <th style="width: 50%;">CANTIDAD :</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>23068 baja</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>23256 inter</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>22240 alta</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		TIPO - NUMERO :	CANTIDAD :	23068 baja	2	23256 inter	2	22240 alta	2					<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">LARGO : 5425mm .</td> <td style="width: 50%;">PESO : 7800Kg .</td> </tr> <tr> <td>ANCHO : 3175mm .</td> <td>VOLUMEN :</td> </tr> <tr> <td>ALTURA : 2570mm .</td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		LARGO : 5425mm .	PESO : 7800Kg .	ANCHO : 3175mm .	VOLUMEN :	ALTURA : 2570mm .	
TIPO - NUMERO :	CANTIDAD :																				
23068 baja	2																				
23256 inter	2																				
22240 alta	2																				
LARGO : 5425mm .	PESO : 7800Kg .																				
ANCHO : 3175mm .	VOLUMEN :																				
ALTURA : 2570mm .																					
<b>OBSERVACIONES :</b>																					

## 4.7.4 FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR # 1


TABLA XXII: FICHA DE DATOS TÉCNICOS MOTOR # 1

 <b>“PAQUITO ROSALES”</b>	<b>PASAPORTE TÉCNICO</b>		<b>MÁQUINA :</b>  <i>M O T O R 1</i>		<b>UBICACIÓN TÉCNICA :</b> -----	
			<b>FABRICANTE :</b> : USSR	<b>MARCA :</b> Induction Motor	<b>MODELO :</b> AK 313-62 1214	<b>SERIE :</b> D-648-3-493
<b>AREA :</b> TANDEM TREN DE ENGRANE	<b>EQUIPO AL QUE ESTA ACOPLADO :</b> REDUCTOR MOLINO # 1		<b>AÑO DE INSTALACION :</b> -----	<b>N° DE INVENTARIO :</b> -----		
<b>PARAMETROS TÉCNICOS:</b>	<b>POTENCIA DE DISEÑO :</b> 400 Kw .		<b>EFICIENCIA :</b> 93%		<b>FACTOR COS φ</b> 0,78	
	<b>TIPO DE CORRIENTE :</b> ALTERNA		<b>VELOCIDAD :</b> 600 R.P.M .	<b>VOLTAJE :</b> 440 V	<b>AMPERAJE :</b> 250 A	
	<b>TIPO DE MOTOR :</b> ROTOR BOBINADO		<b>DIMENSIONES :</b>			
	<b>VOL. ROTOR :</b> -----		<b>LARGO : 2100m m</b>		<b>PESO : 1290Kg .</b>	
			<b>ANCHO : 1280m m</b>		<b>VOLUMEN :</b>	
			<b>ALTURA : 1300m m</b>			
<b>RODAMIENTOS :</b>			<b>OBSERVACIONES :</b>			
	<b>TIPO - NUMERO :</b>	<b>CANTIDAD :</b>				




## 4.7.5 FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR # 2

TABLA XXIII: FICHA DE DATOS TÉCNICOS MOTOR # 2

 <b>“PAQUITO ROSALES”</b>	<b>PASAPORTE TÉCNICO</b>		<b>MÁQUINA:</b> <i>MOTOR 2</i>		<b>UBICACIÓN TÉCNICA:</b> -----														
	<b>FABRICANTE:</b> ESPAÑA	<b>MARCA:</b> SIEMENS	<b>MODELO:</b> -----	<b>SERIE:</b> K 2/2712075															
<b>AREA:</b> TANDEM TREN DE ENGRANE	<b>EQUIPO AL QUE ESTA ACOPLADO:</b> REDUC. MOLINO # 2 Y 3		<b>AÑO DE INSTALACION:</b> -----	<b>N° DE INVENTARIO:</b> -----															
<b>PARAMETROS TÉCNICOS:</b>	<b>POTENCIA DE DISEÑO:</b> 500 Kw.	<b>EFICIENCIA:</b> 93%	<b>FACTOR COS φ</b> 0,8																
	<b>TIPO DE CORRIENTE:</b> ALTERNA	<b>VELOCIDAD:</b> 590 R.P.M.	<b>VOLTAJE:</b> 440 V	<b>AMPERAJE:</b> 250 A															
	<b>TIPO DE MOTOR:</b> ROTOR BOBINADO	<b>DIMENSIONES:</b>																	
	<b>VOL. ROTOR:</b> 1200 V	<b>LARGO: 3150 m m</b>		<b>PESO: 7800 Kg.</b>															
		<b>ANCHO: 1600 m m</b>		<b>VOLUMEN:</b>															
	<b>ALTURA: 1500 m m</b>																		
<b>RODAMIENTOS:</b>			<b>OBSERVACIONES:</b>																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">TIPO - NUMERO:</th> <th style="width: 50%;">CANTIDAD:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			TIPO - NUMERO:	CANTIDAD:															
TIPO - NUMERO:	CANTIDAD:																		

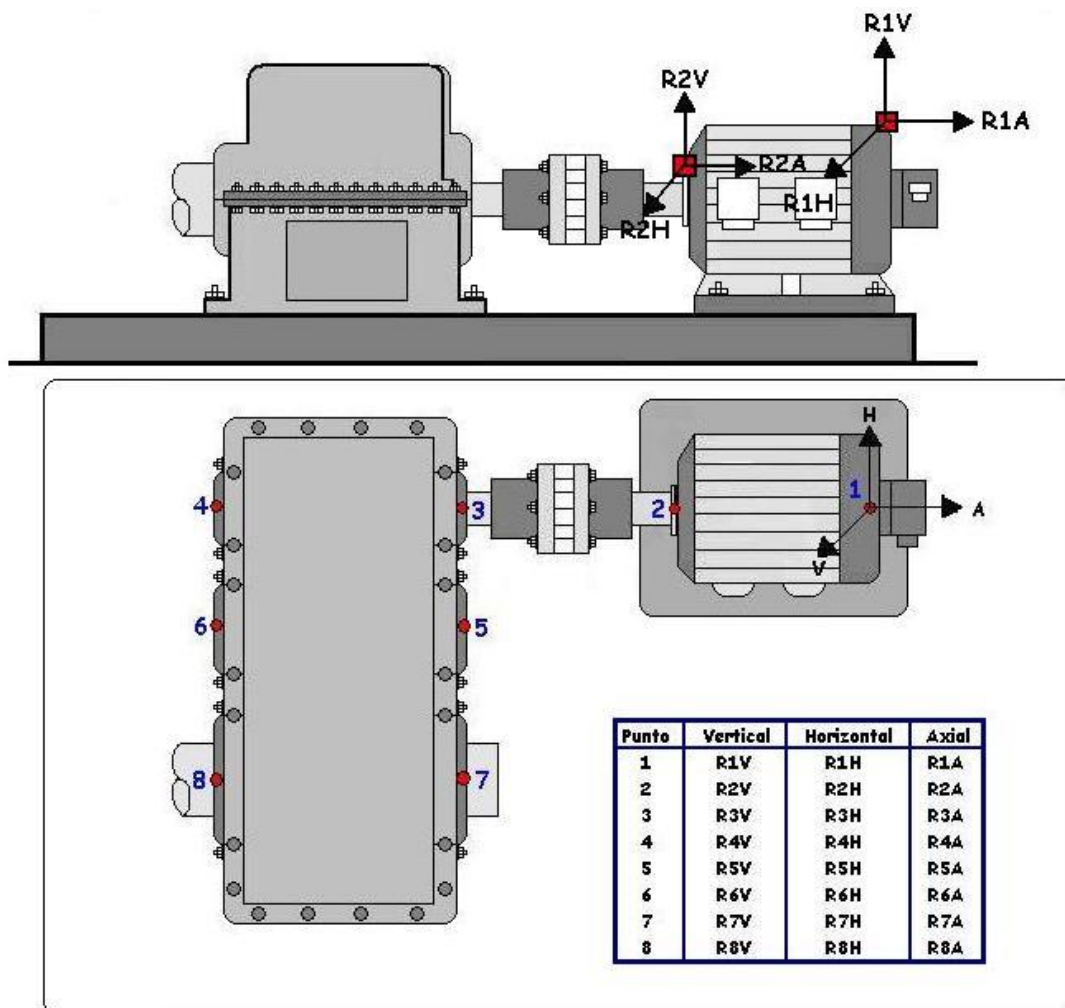
## 4.7.6 FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR # 3

TABLA XXIV: FICHA DE DATOS TÉCNICOS MOTOR # 3

 <b>“PAQUITO ROSALES”</b>	<b>PASAPORTE TÉCNICO</b>		<b>MÁQUINA:</b> <i>MOTOR 3</i>		<b>UBICACIÓN TÉCNICA:</b> -----
	<b>FABRICANTE:</b> ESPAÑA	<b>MARCA:</b> SIEMENS	<b>MODELO:</b> -----	<b>SERIE:</b> -----	
<b>AREA:</b> TANDEM TREN DE ENGRANE	<b>EQUIPO AL QUE ESTA ACOPLADO:</b> REDUC. MOLINO # 4 Y 5	<b>AÑO DE INSTALACION:</b> -----	<b>N° DE INVENTARIO:</b> -----		
<b>PARAMETROS TÉCNICOS:</b>	<b>POTENCIA DE DISEÑO:</b> 500 Kw.	<b>EFICIENCIA:</b> 93%	<b>FACTOR COS φ</b> 0,8		
	<b>TIPO DE CORRIENTE:</b> ALTERNA	<b>VELOCIDAD:</b> 590 R.P.M.	<b>VOLTAJE:</b> 440 V	<b>AMPERAJE:</b> 250 A	
	<b>TIPO DE MOTOR:</b> ROTOR BOBINADO	<b>DIMENSIONES:</b>			
	<b>VOL. ROTOR:</b> 1200 V	<b>LARGO: 3150 m m</b>		<b>PESO: 7800 Kg.</b>	
		<b>ANCHO: 1600 m m</b>		<b>VOLUMEN:</b>	
	<b>ALTURA: 1500 m m</b>				
<b>RODAMIENTOS:</b>			<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>TIPO - NUMERO:</b>	<b>CANTIDAD:</b>				

#### 4.8 PUNTOS DETERMINADOS PARA LA MEDICIÓN

Una sugerencia importante para ubicar los puntos de medición es que los puntos más importantes son los que se encuentran en el lado que exista carga, lo mejor es colocar en el lugar más cercano a los elementos rodantes, ya que en estos puntos se encuentra la mayor información sobre los problemas que pudiese encontrarse en un activo.



Fuente: Propia

Figura 19: Puntos de medición para los Motores y Reductores

##### 4.8.1 INGRESO DE RUTAS EN EL SOFTWARE VIBROEXPERT CM - 400

En el módulo SETUP ingresamos el nombre de la empresa, ubicación, sistema, equipos y los puntos de medición de los motores y de los reductores.

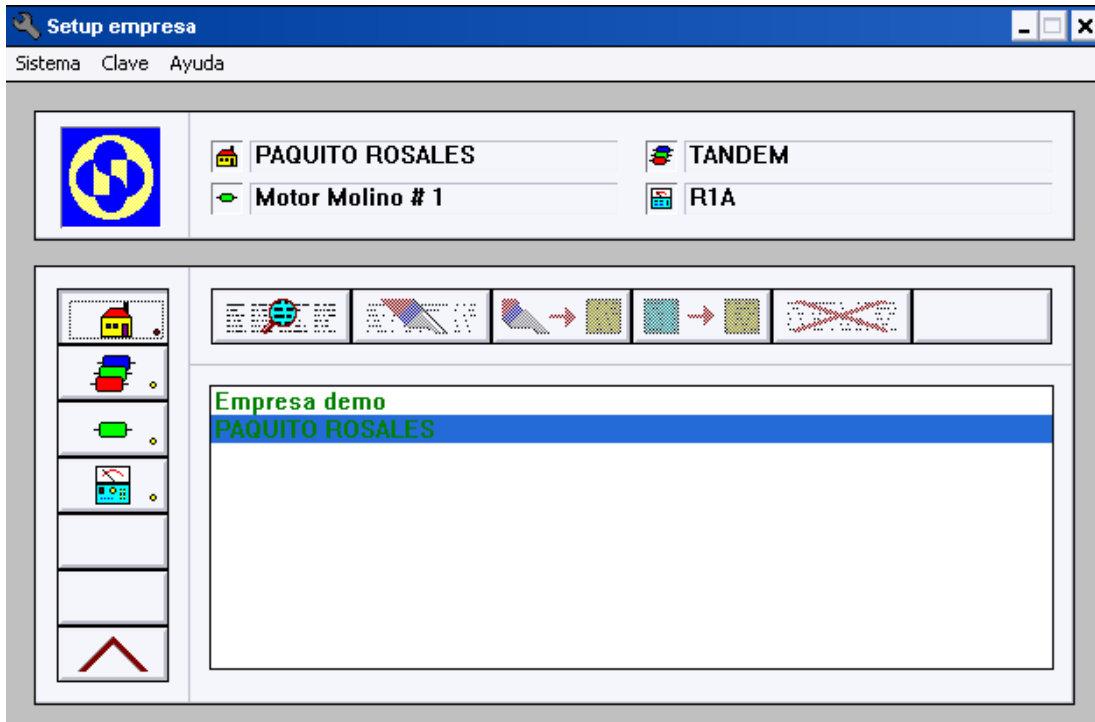


Figura 20: Pantalla de datos y rutas

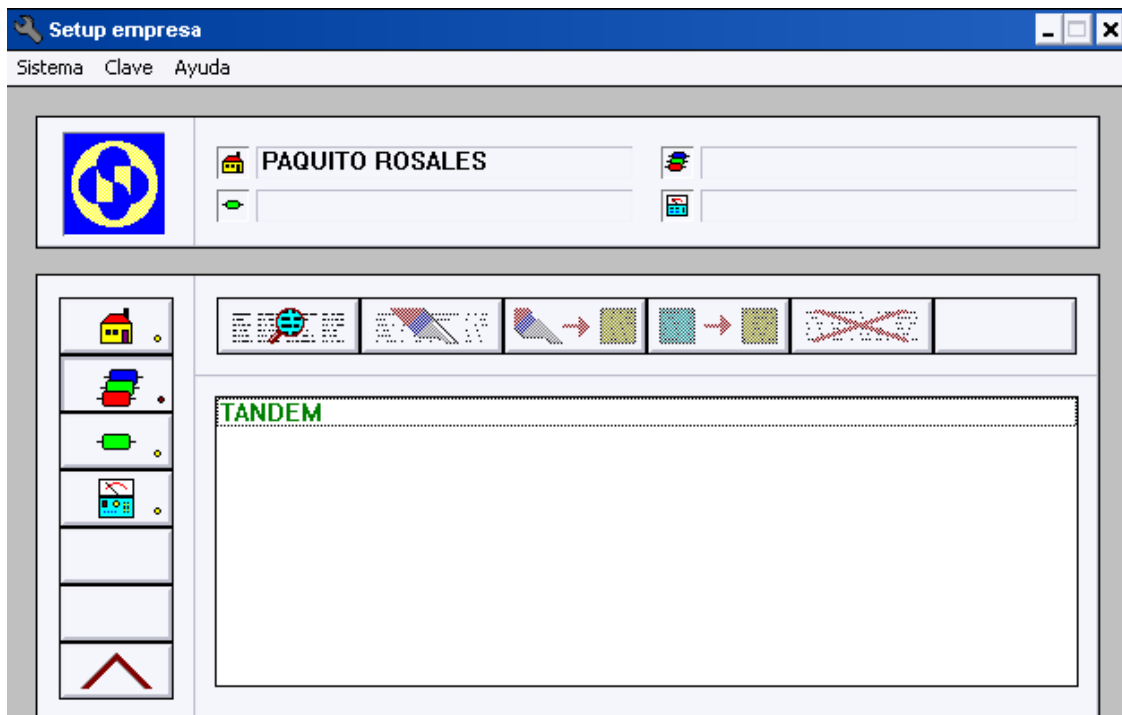


Figura 21: Control de rutas

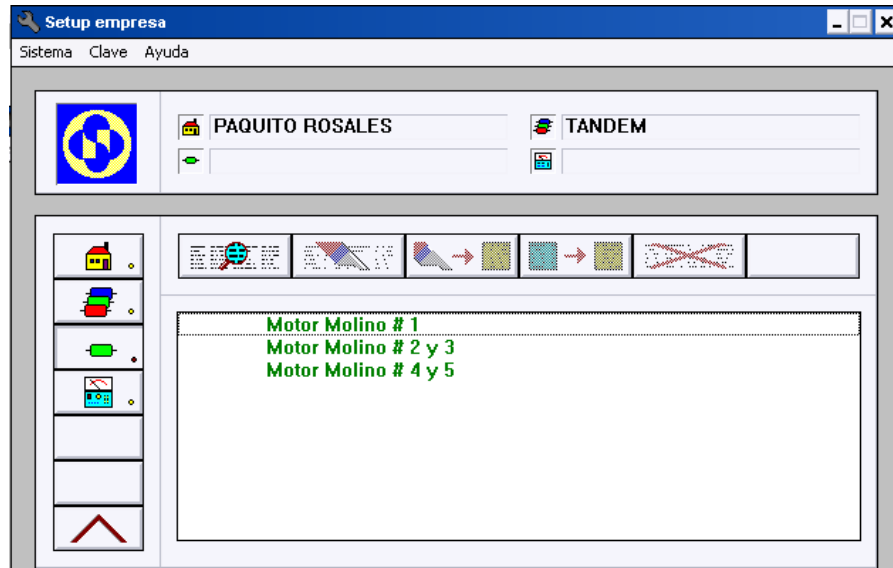


Figura 22: Rutas de los activos a ser analizados

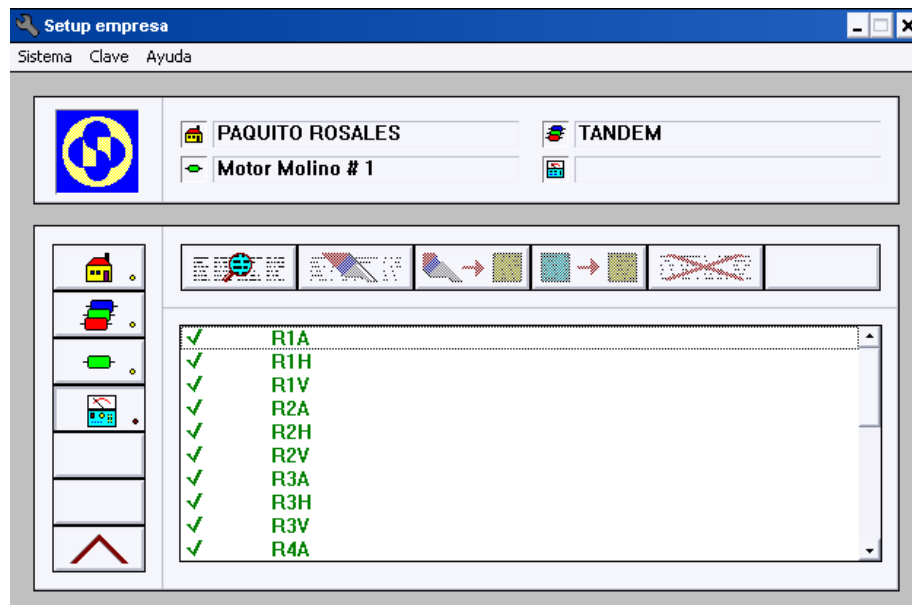


Figura 23: Puntos de medición para cada ruta

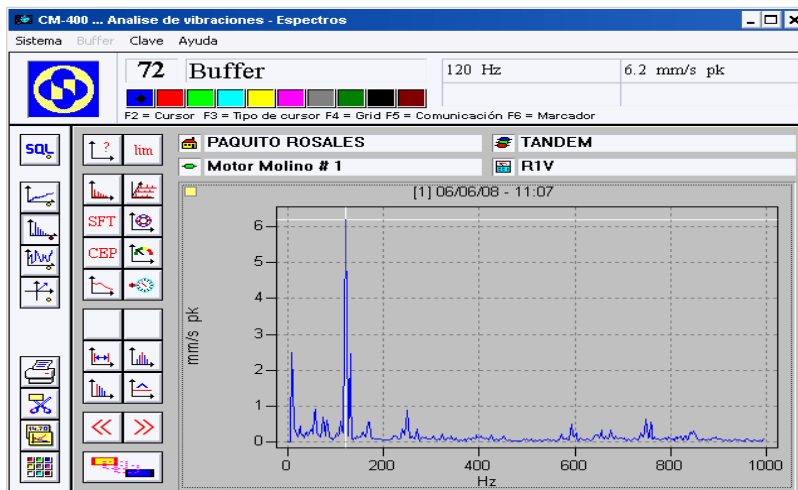
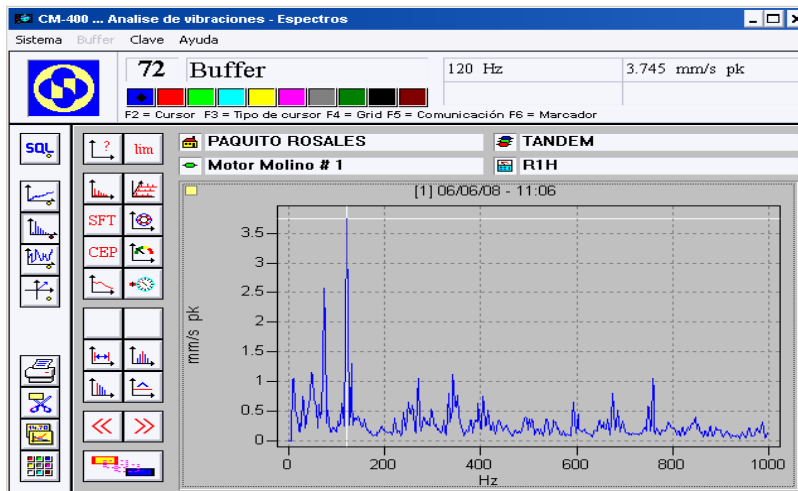
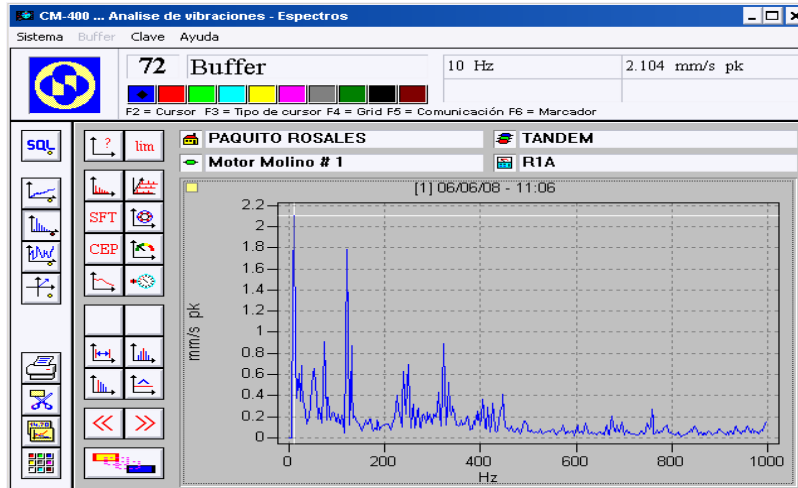
#### 4.9 DETERMINACIÓN DEL BANCO DE ESPECTROS

Después de haber obtenido las medidas mediante el Vibrotest 60, y mediante la tarjeta PCMCIA se descarga en el software CM - 400 instalado en la PC.

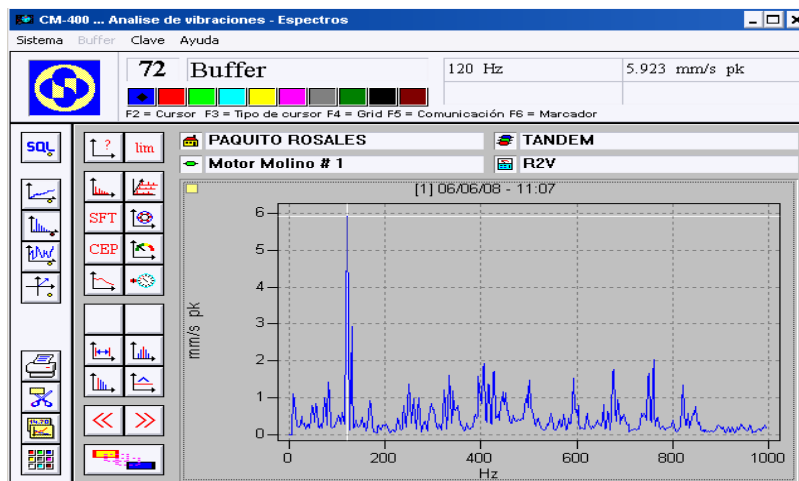
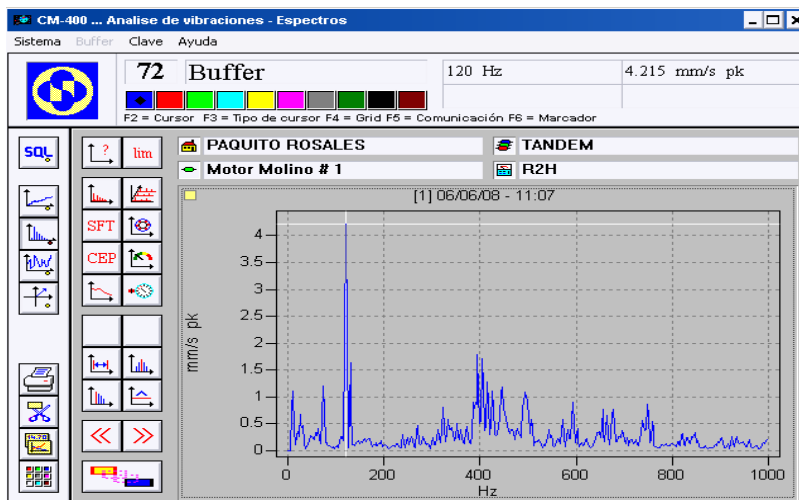
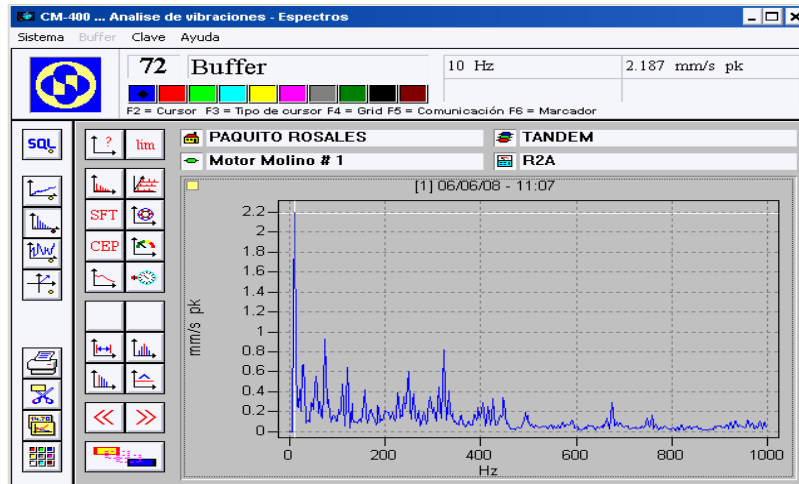
Una vez que se ha descargado todos los datos se procede a crear el banco de espectros, para la realización óptima de este trabajo solamente se analizarán y se expondrán espectros que estén sobrepasando los niveles de severidad, según nos indica la norma NC ISO 10816 - 3.

#### 4.9.1 BANCO DE ESPECTROS DE VIBRACIÓN DEL MOTOR Y REDUCTOR DEL MOLINO N. 1

➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 1 Axial, Horizontal, Vertical.

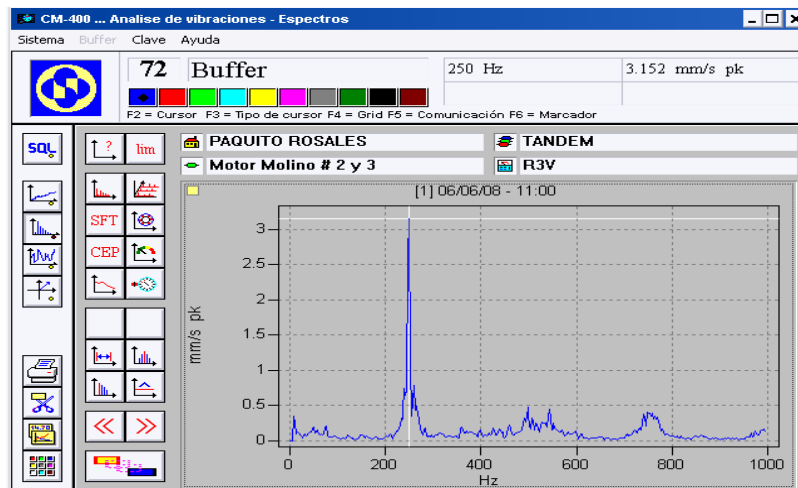
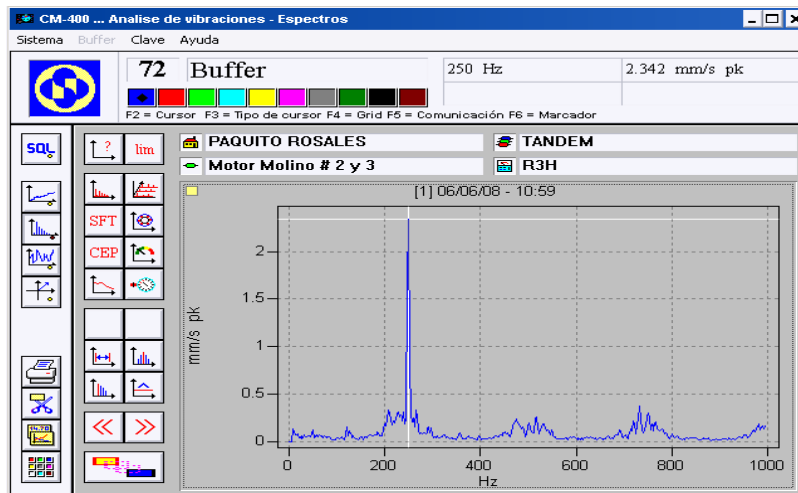
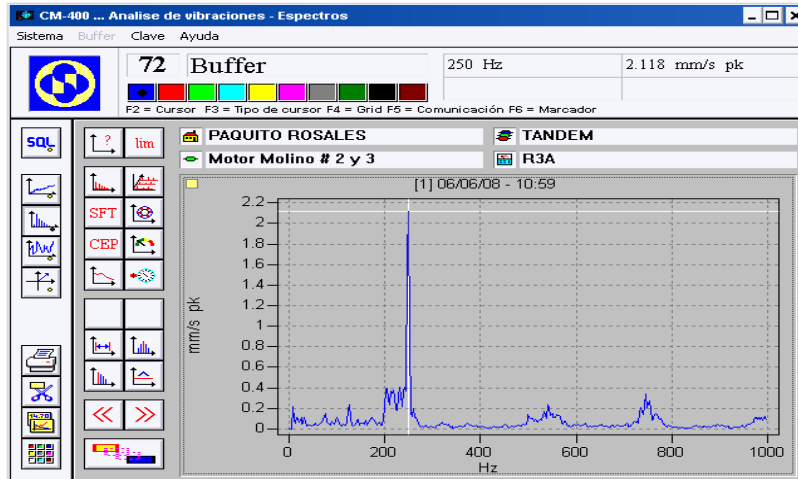


- Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 2 Axial, Horizontal, Vertical.



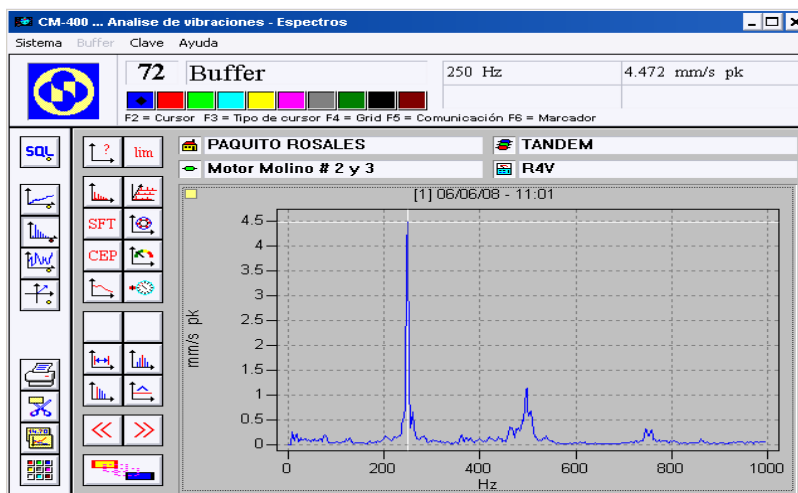
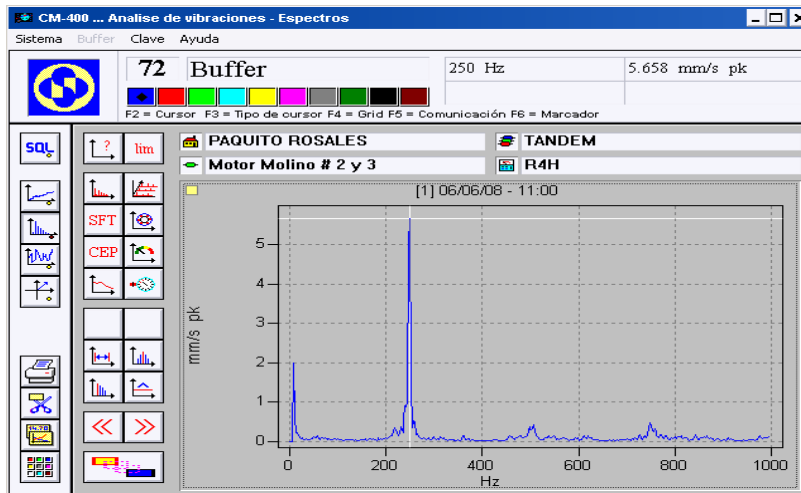
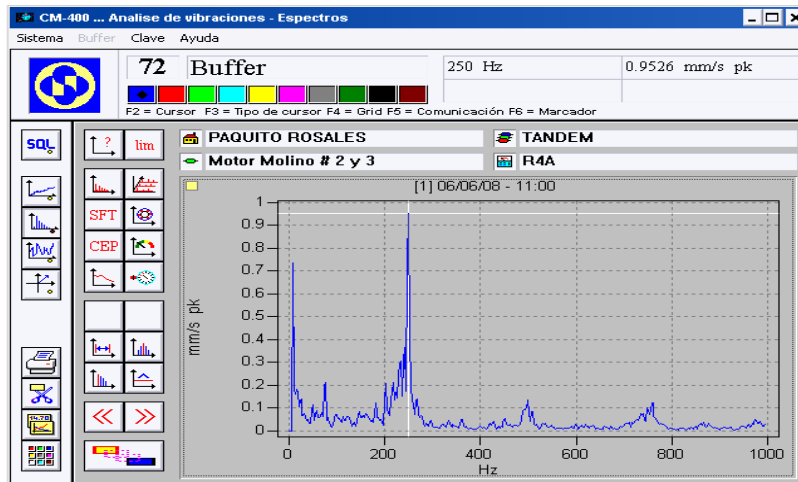
### 4.9.2 BANCO DE ESPECTROS DE VIBRACIÓN DEL MOTOR Y REDUCTOR DEL MOLINO N. 2 Y 3

➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 3 Axial, Horizontal, Vertical.

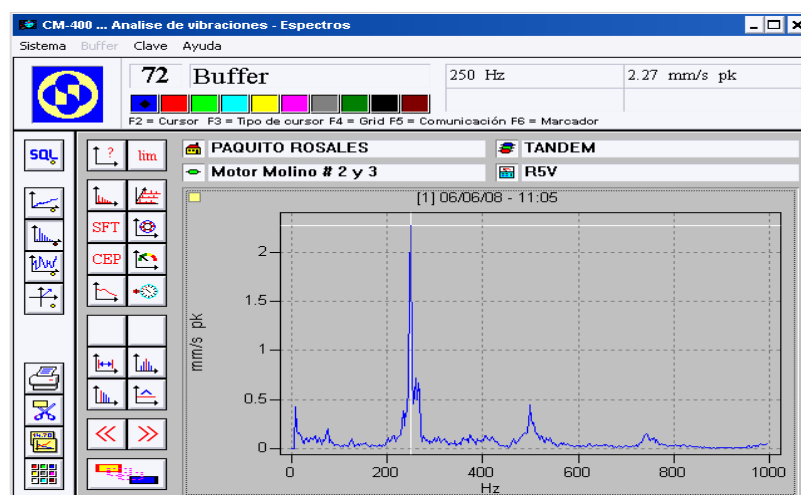
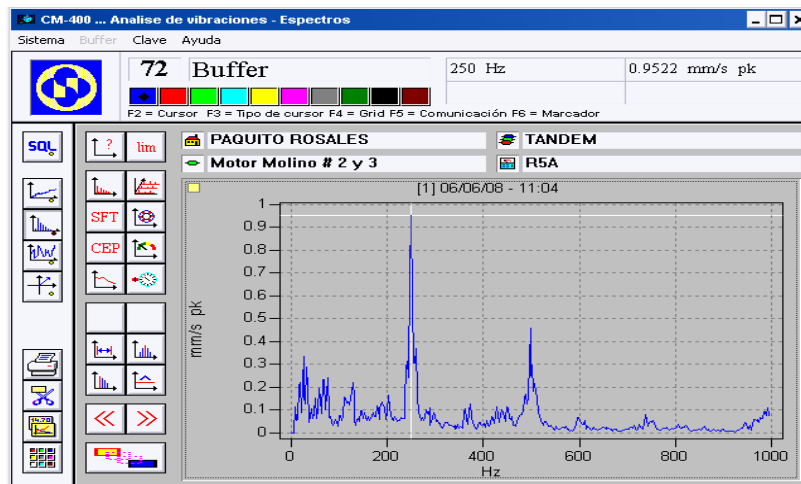




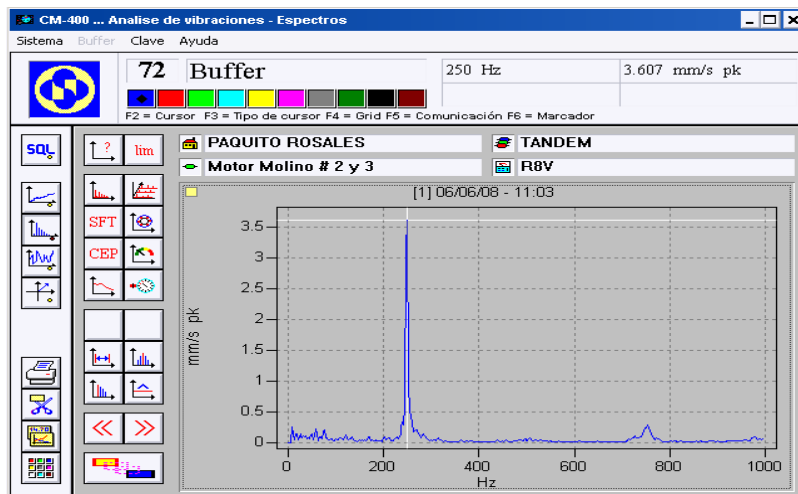
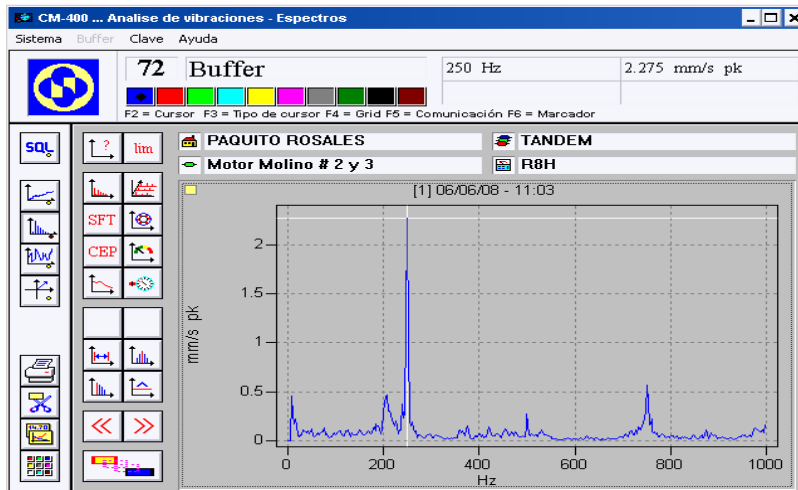
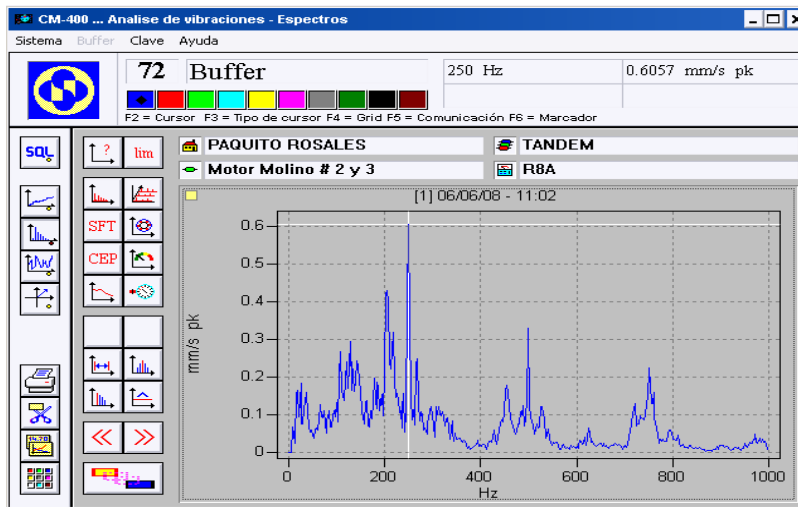
➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 4 Axial, Horizontal, Vertical



➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 5 Axial, Horizontal, Vertical

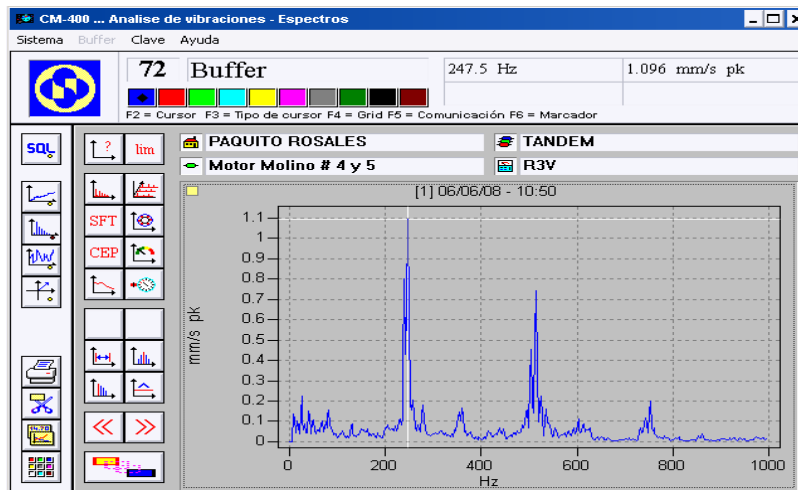
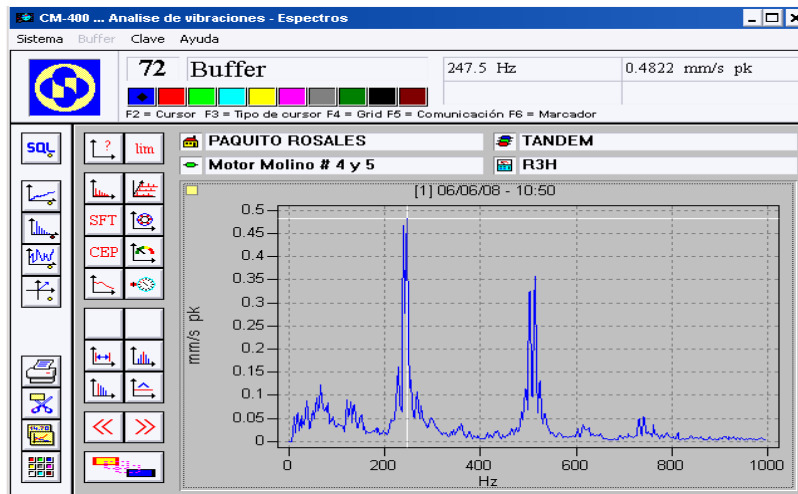
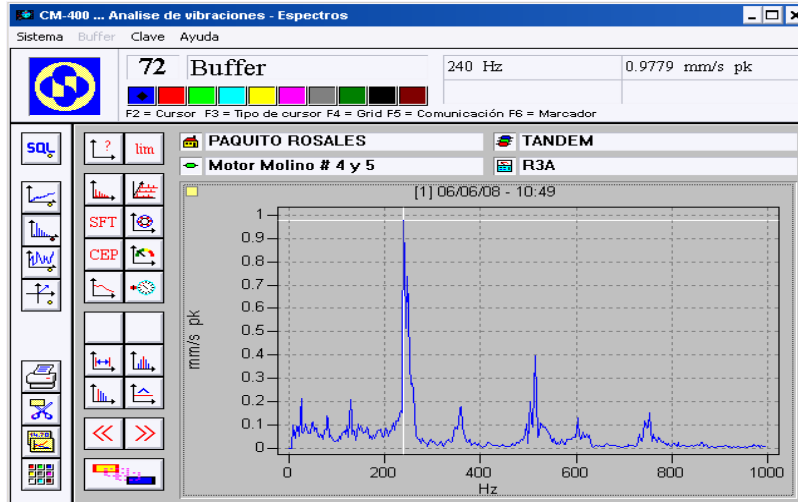


➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 8 Axial, Horizontal, Vertical

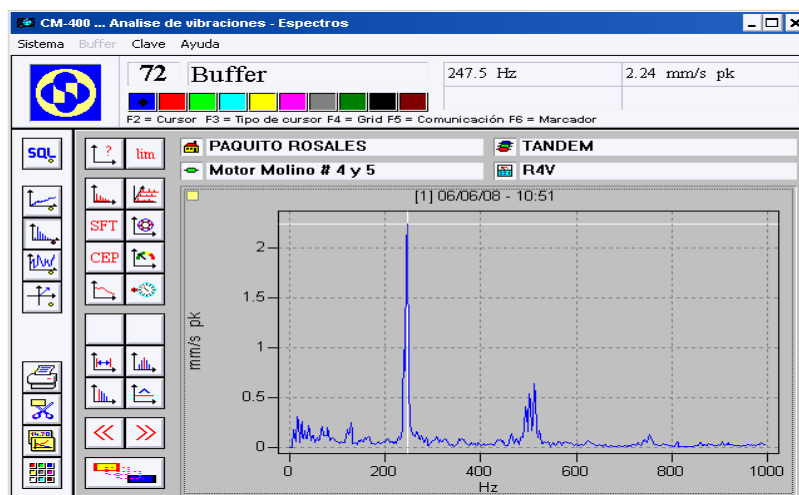
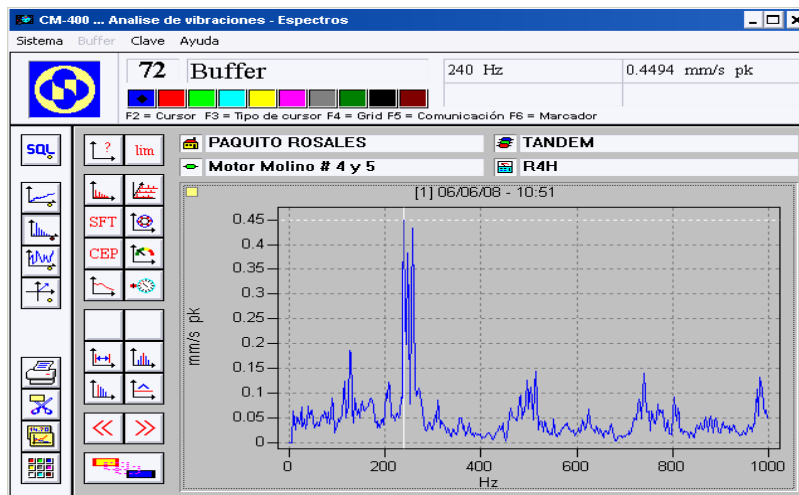
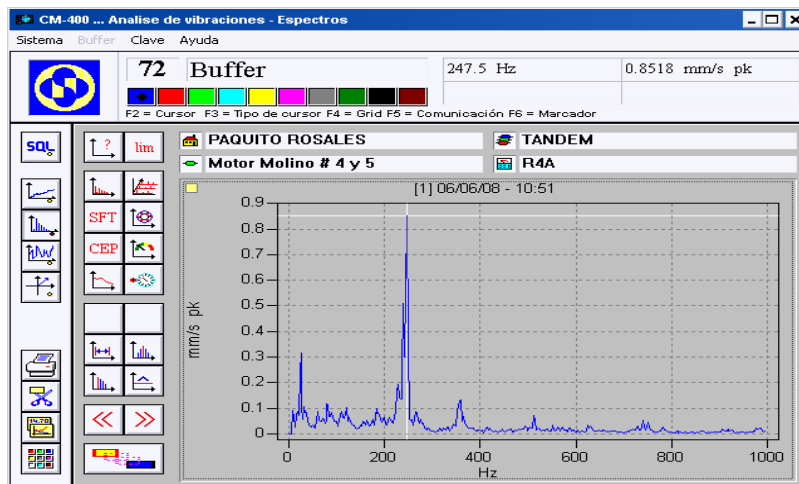


### 4.9.3 BANCO DE ESPECTROS DE VIBRACIÓN DEL MOTOR Y REDUCTOR DEL MOLINO N. 4 Y 5

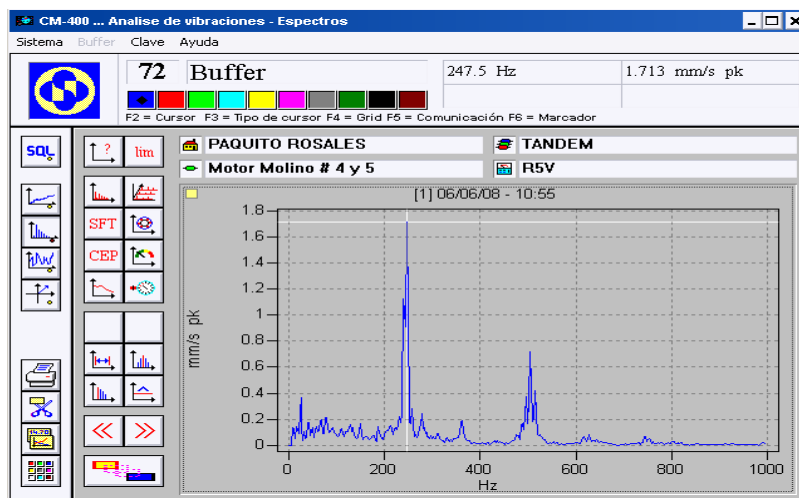
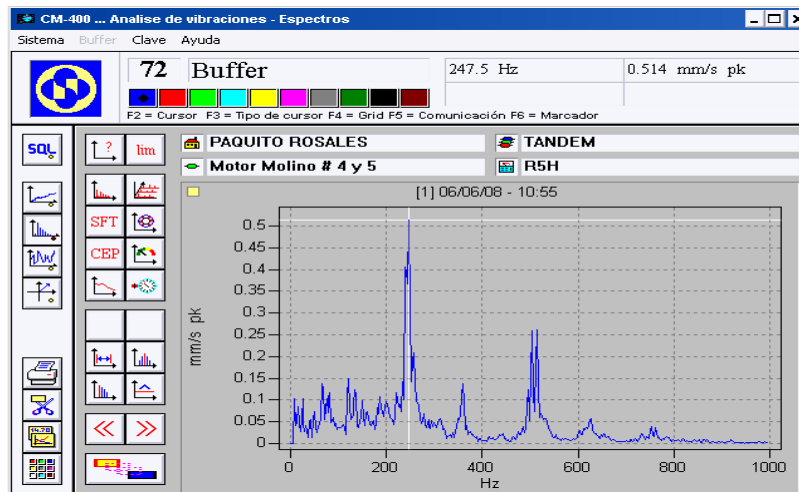
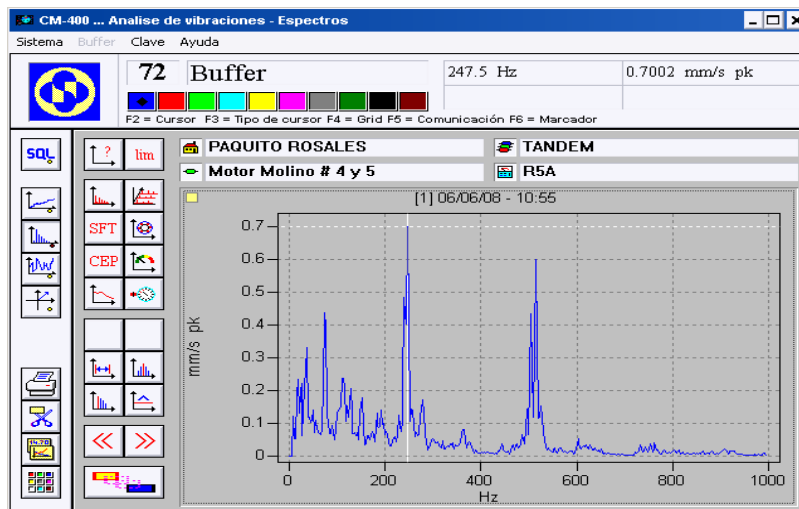
➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 3 Axial, Horizontal, Vertical



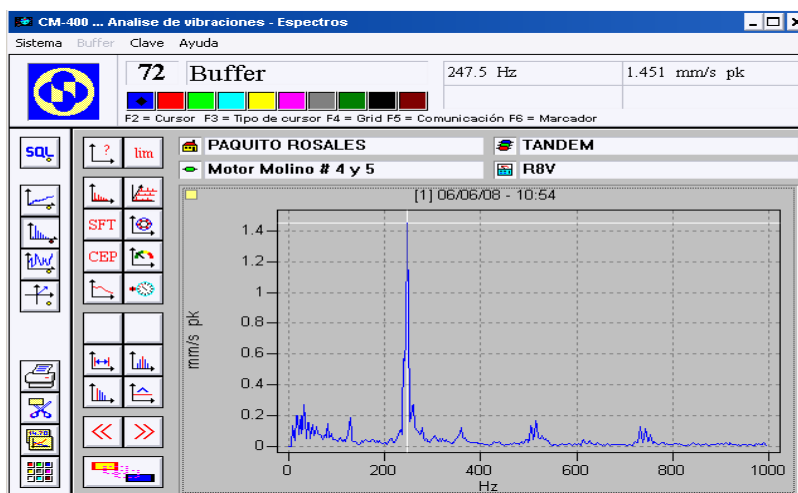
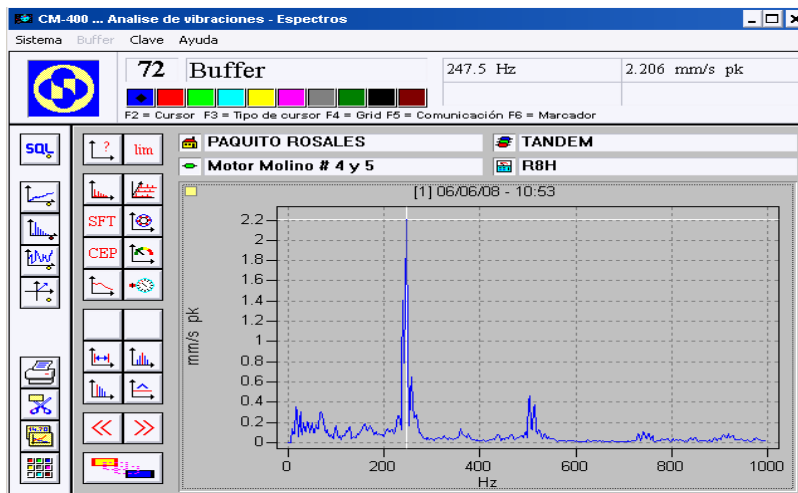
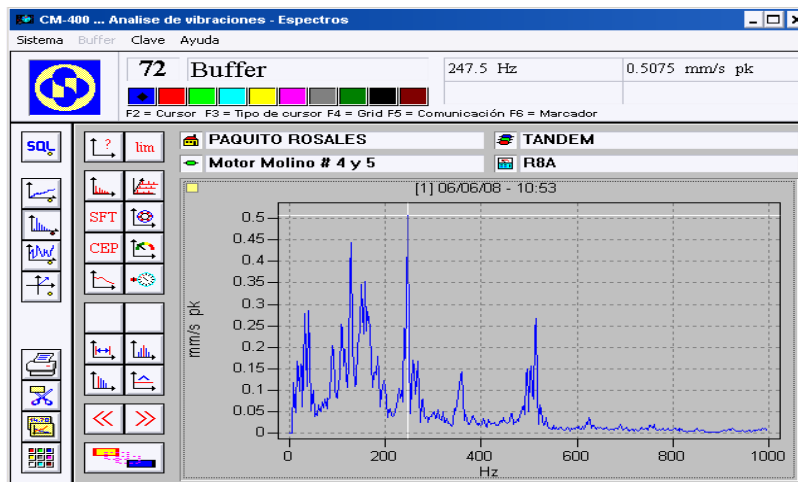
➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 4 Axial, Horizontal, Vertical



➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 5 A xial, Horizontal, Vertical



➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 8 A xial, Horizontal, Vertical







## CAPITULO IV

#### 4. PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

##### 4.1 DETERMINACIÓN DE LA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Para la determinación de la técnica de Mantenimiento Predictivo adecuada según cada máquina se tomara en cuenta el nivel de criticidad que tenga cada una en su respectiva área.

**TABLA XII: PRINCIPALES APLICACIONES PARA LAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO [15]**

Técnica de M T T O Predictivo	Aplicaciones
Análisis de aceite	<p>Monitoreo de equipos con tanques de lubricación</p> <p>Determinar el reemplazo del aceite, tomando como base las condiciones y no los calendarios/ medidores internos.</p> <p>Frecuentemente usado junto con el análisis de vibración para confirmar las conclusiones.</p>
Termografía	<p>Ideal para la explotación de equipos eléctricos en busca de componentes defectuosos, identificando:</p> <p>Desgaste normal.</p> <p>Contaminación química.</p> <p>Fatiga.</p> <p>Montaje o instalación incorrectos. Conexiones flojas.</p> <p>Condiciones de sobrecarga.</p> <p>Sistema principal de distribución eléctrica.</p> <p>Exploración de componentes mecánicos en busca de calor excesivo (cojinetes, falta de alineado, etc.). Exploración de techos (pérdida de energía, humedad).</p> <p>Exploración de aislamiento de estufas/refractarios.</p> <p>Sistemas de vapor (pérdidas, aislamiento, trampas).</p>
Análisis de vibraciones	Es mejor utilizada en ejes de alta velocidad y equipos giratorios. Detecta los defectos de cojinetes/alineado.
Monitoreo de Motores Eléctricos y Análisis de las Condiciones	Motores eléctricos
Alineado de Precisión y Dispositivos de Balanceo	<p>En toda máquina acoplada en la que la falta de alineado o el desequilibrio ocasionaran la falla prematura o problemas de calidad.</p> <p>Motores de impulsión, bombas, nivelación de prensas, componentes giratorios de alta velocidad.</p>
Monitores de Tonelaje	Todo equipo tipo prensa.
Inspección mediante partículas magnéticas	<p>Aplicable a:</p> <p>Fundiciones delgadas y gruesas</p> <p>Forjados</p> <p>Sinterizados</p> <p>Soldadura</p> <p>Laminados</p> <p>Trefilados</p>

Inspección de ultrasonido	Detección de fugas de presión/vacío en conexiones, sellos, juntas, intercambiadores de calor, trampas de vapor y condensadores/calderas. Detección de problemas mecánicos en cojinetes, válvulas, motores, bombas y cajas de engranajes. Detección de fallas en componentes eléctricos.
Inspección radiográfica	Su campo principal de aplicación es la inspección de piezas fundidas de aleaciones de aluminio y magnesio, para detectar: porosidad, rechupes, e inclusiones y para verificar en conjuntos armados con cubiertas de acero, bronce o aluminio de poco espesor, el montaje correcto de elementos internos. Debido a que este método no permite el efecto acumulativo de la radiación emergente de la pieza de ensayo, tal como sucede en el método radiográfico, para determinado espesor y material se requiere mayor voltaje que, por razones de seguridad, se suele limitar a 160 K v.
Inspección mediante líquidos penetrantes	Plásticos Vidrio Vidrio con metal Puntas de carburo Alambres de Tg Aleación de Titanio

**TABLA XIII: TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA 1  
“BASCULADOR”**

Equipo	criticidad	Mtto. Predictivo	Frecuencia
Romana de caña de ferrocarril	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Romana de caña de camiones	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Virador hidráulico de carros	C	Control de presión “manómetro” vibraciones	Diario
Virador hidráulico de camiones	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bbas hidráulicas viradores	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Winches del área			
Winche del patio (P/ situar carros en romana)	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Winche del basculador (P/ situar carros en el vira)	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba de lim pieza	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Esteras alimentadoras (surtidora y elevadora)			
Esterasurtidora	C	Vibraciones Monitoreo de motor Elec.	Diario o máx. Cada 3 días
Esteras elevadora	SC	Vibraciones Monitoreo de motor Elec.	Cada 3 días
Rompe bultos	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Niveladores	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Cuchillas de picar caña			
Cuchilla de picar caña No1	SC	Vibraciones	semanal
Cuchilla de picar caña No2	SC	Vibraciones	semanal
Alzadoras del basculador			
Alzadora No1	SC	Vibraciones	semanal
Alzadora No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Alzadora No3	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Alzadora microdespalillo	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Diferencial del basculador	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Conductor elevador de basura del basculador	NC	Mtto. planificado	Según Prog

**TABLA XIV: TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA 2**  
**“PLANTA MOLEDORA”**

<b>Equipo</b>	<b>Criticidad</b>	<b>Mtto. Predictivo</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Molinos de caña</b>			
Molino de caña No1	C	Monitoreo de temperatura y desplazamiento, calibración de espesores en las masas.	3 días 2 meses
Molino de caña No2	C	Monitoreo de temperatura y desplazamiento, calibración de espesores en las masas.	3 días 2 meses
Molino de caña No3	C	Monitoreo de temperatura y desplazamiento, calibración de espesores en las masas.	3 días 2 meses
Molino de caña No4	C	Monitoreo de temperatura y desplazamiento, calibración de espesores en las masas.	3 días 2 meses
Molino No5	C	Monitoreo de temperatura y desplazamiento, calibración de espesores en las masas.	3 días 2 meses
<b>Tolvas Donnelly</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Conductores Intermedios</b>			
Conductor intermedio No1	SC	Vibraciones, inspecciones con lámpara estroboscópica	Semanal
Conductor intermedio No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Conductor intermedio No3	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Conductor intermedio No4	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Conductor intermedio No5	C	Vibraciones, inspecciones con lámpara estroboscópica	4 días
<b>Motores eléctricos m óv. Molinos</b>			
Motor 1 m óv. molino No 1	C	Vibraciones, Monitoreo de Mot. Eléctrico	3 días
Motor 2 m óv. molino No 2 Y 3	C	Vibraciones, Monitoreo de Mot. Eléctrico	3 días
Motor 3 m óv. molino No 4 Y 5	C	Vibraciones, Monitoreo de Mot. Eléctrico	3 días
<b>Reductores m óv. Molinos</b>			
Reductor m óv. molinos No1	C	Vibraciones, análisis de aceite	3 días, 2 meses
Reductor m óv. molinos No2 Y 3	C	Vibraciones, análisis de aceite	3 días, 2 meses
Reductor m óv. molinos No 4 Y 5	C	Vibraciones, análisis de aceite	3 días, 2 meses
<b>Sistema de presiones hidráulicas</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Sistema de lubricación</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bombas de maceración</b>			
Bba de maceración No1	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba de maceración No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba de maceración No3	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba de maceración No4	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bombas de jugo mezclado</b>			
Bba jugo mezclado No1	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba jugo mezclado No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bombas a calentador líq.-líq.</b>			
Bba a calent líq.-líq. No1	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba a calent líq.-líq. No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Colador rotatorio</b>	SC	Vibraciones, medición de espesores	15 días,
<b>Bba de enfriamiento molinos</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Bbas de achique</b>			
Bba achique Sist. Intuí	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba achique tren engranes	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Calentador líq.-líq.</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Grúa del tandem</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog
<b>Instrumentación y control del área</b>	NC	Mtto. planificado	Según Prog

TABLA XV: TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA 3  
 “GENERACIÓN DE VAPOR”

Equipo	Criticidad	Mtto. Predictivo	Frecuencia
Caldera	SC	Análisis de agua, Control de presión, Temperatura	20 días 15 días
Conductores de bagazo			
Conductor de bagazo No1	C		
Motor conductor de bagazo No1		Vibraciones	5 días
Reductor Cond. Bagazo No1		Análisis de aceite	Fin de zafra
Transmisión Cond. bagazo No1		Inspecciones con lámpara estroboscópica	5 días
conductor de bagazo No2	C		
Motor conductor de bagazo No2		Vibraciones	5 días
Reductor cond bagazo No2		Análisis de aceite	Fin de zafra
Transmisión cond bagazo No2		Inspecciones con lámpara estroboscópica	5 días
Conductor de bagazo No3	C		
Motor conductor bagazo No3		Vibraciones	5 días
Reductor cond bagazo No3		Análisis de aceite	Fin de zafra
Transmisión cond bagazo No3		Inspecciones con lámpara estroboscópica	5 días
VTF-P	SC	Vibraciones	3 días
VTF-S	C	Vibraciones	2 días
VTI	C	Vibraciones	2 días
Sistema de tubería de agua	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Sistema de tubería de vapor	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bombas de alimentar			
Bba de alim No1	C	Vibraciones	Diario
Bba de alim No2	-	Fuera de Función	-
Tanques de retorno	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bombas de retorno a tanque			
Bba de trasiego No1	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba trasiego No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba al desaireador No1	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba al desaireador No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba de reserva No1	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba reserva No2	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Bba de tratamiento de agua	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Instrumentos de control del área	SC	Monitoreo de temperatura “Cámara termográfica”	10 días
Estación reduc. De presión de vapor	NC	Mtto. planificado	Según Prog
Retroalimentador de bagazo	NC	Mtto. planificado	Según Prog

**TABLA XVI: TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA 4  
“PLANTA ELÉCTRICA”**

Equipo	Criticidad	M tto. Predictivo	Frecuencia
<b>Turbogeneradores</b>			
<b>Turbogenerador No1</b>	C	Vibraciones, M onitoreo de m otor Eléct.	4 días 20 días
<b>Pizarras de control del turbog No1</b>		M onitoreo de tem peratura “Cám ara term ográfica”	Sem anal
<b>Turbogenerador No2</b>	C	Vibraciones, M onitoreo de m otor Eléct.	4 días 20 días
<b>Pizarras de control del turbog No2</b>		M onitoreo de tem peratura “Cám ara term ográfica”	Sem anal
<b>Pizarra de distribución gral pta Electr.</b>	C	M onitoreo de tem peratura “Cám ara term ográfica”	Sem anal
<b>Bbas de aceite turbogeneradores</b>			
<b>Bba de aceite turbog No1</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>Bba de aceite turbog No2</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>Turbo bombas de aceite de turbog</b>			
<b>Turbobba del turbo No1</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>Turbobba del turbo No2</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>Enfriaderos de aceite de turbogen</b>			
<b>Enfriador de aceite de turbogen No1</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>Enfriador de aceite de turbogen No2</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>G rúa del área</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>Enfriadero planta eléctrica</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>Centros de control de m otores ingenio</b>			
<b>CCM basculador</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>CCM planta moledora</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>CCM generación de vapor</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>CCM planta eléctrica</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>CCM casa de calderas</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>CCM centrifugación</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog
<b>Transform adores de distribución</b>	NC	M tto. planificado	Según Prog

#### 4.2 APLICACIÓN DE UNA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA EMPRESA AZUCARERA “PAQUITO ROSALES”

Como motivo de estudio y profundización al tema de Mantenimiento Predictivo, se analizara el área 2, por ser una de las 4 áreas estudiadas con mayor numero de máquinas con un nivel de criticidad alto, de esta área “planta moledora” se escogió para el análisis los motores y reductores de velocidad de los molinos, con la técnica de Análisis de Vibraciones.

### 4.3 PARÁMETRO DE FUNCIONAMIENTO DEL ANÁLISIS DE VIBRACIONES

#### 4.3.1 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO [16]

Se conoce por Programa de Mantenimiento Predictivo a aquel que contempla de modo eficaz tres etapas imprescindibles.

Detección

Identificación

Corrección

En general, el Programa de Mantenimiento Predictivo (PMP) contribuye en principio, a detectar el comienzo de una futura avería a la vez que permite disponer de las herramientas necesarias para analizar la causa del problema que se está desarrollando, lográndose determinar finalmente, el momento oportuno para de forma dirigida corregir eficaz y eficientemente el problema detectado.

#### 4.3.2 VIBRACIONES EN MÁQUINAS

A través de los años ya sea por contacto directo o con el empleo de algún dispositivo de naturaleza subjetiva, los operadores de máquina han empleado técnicas de verificación auditiva «también subjetivas» para comprobar si el comportamiento de "su máquina" es NORMAL o no. De aquí que, tradicionalmente y quizás en forma inconsciente, las vibraciones hayan sido utilizadas como un indicador del estado técnico de las máquinas y hasta hoy día, continúen siendo el fenómeno más representativo del estado técnico de éstas, pudiéndose a través de la medición de vibraciones, detectar e identificar fallas ya desarrollados o en período de desarrollo prematuro.

Según la norma ISO 2041 en relación con la Terminología en Vibraciones [17] se establece que:

**VIBRACIÓN** es toda variación en el tiempo, de una magnitud que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico, cuando esta magnitud es alternativamente mayor o menor que cierto valor promedio o de referencia

De igual forma, la propia norma ISO 2041 establece que:

**VIBRACIÓN LINEAL** es una vibración en la cual la trayectoria vibratoria de un punto tiene lugar según una línea recta

#### 4.5 SELECCIÓN DE TRANSDUCTORES

##### 4.9.4 INTRODUCCIÓN A LOS MEDIDORES (TRANSDUCTORES) DE VIBRACIÓN

La generación y transmisión de vibraciones a ser procesadas como señales eléctricas por el analizador de vibraciones requieren de transductores, estos son de tres tipos: de proximidad, de velocidad y de aceleración. El primero censa directamente al rotor, los otros son de carcasa.

##### 4.9.5 TRANSDUCTORES DE PROXIMIDAD [18]

Estos consisten en una bobina alrededor de un núcleo ferroso que crea un campo magnético entre la punta del transductor y el eje, un cambio del espacio entre el transductor y el eje produce un cambio en el campo magnético por la generación de corrientes inducidas o parásitas de Eddy que modifican la señal proporcionalmente al desplazamiento del objeto medido, el eje debe ser electromagnético.

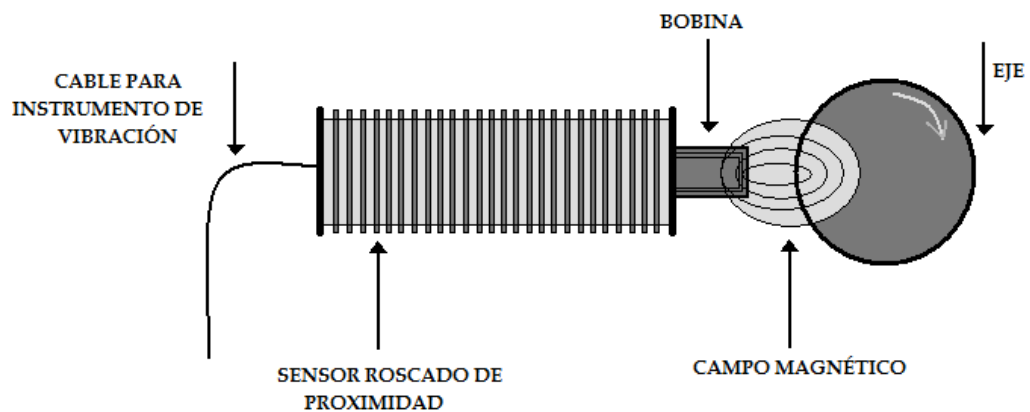


Figura 8: Transductor de Proximidad

Es comúnmente utilizado en cojinetes hidrodinámicos de baja velocidad, la medición se la realiza directamente sobre el eje. Requieren calibración y una fuente externa de energía para su funcionamiento.

El rango de frecuencias efectivo aproximado para transductores de proximidad es de entre 0 y 600 Hz. En el caso de transductores para la medición de desplazamiento por contacto, el rango de frecuencias efectivo es de entre 0 y 200 Hz.

#### 4.9.6 TRANSDUCTORES DE VELOCIDAD

Está compuesto de una bobina cilíndrica y un imán permanente suspendido en resortes en la mitad de un medio fluido figura 11. Al colocarse el transductor en los soportes de rodamientos (chumaceras), la vibración transmitida produce oscilación el magneto que induce una corriente eléctrica y diferencia de potencial en la bobina que es proporcional a la amplitud de vibración.

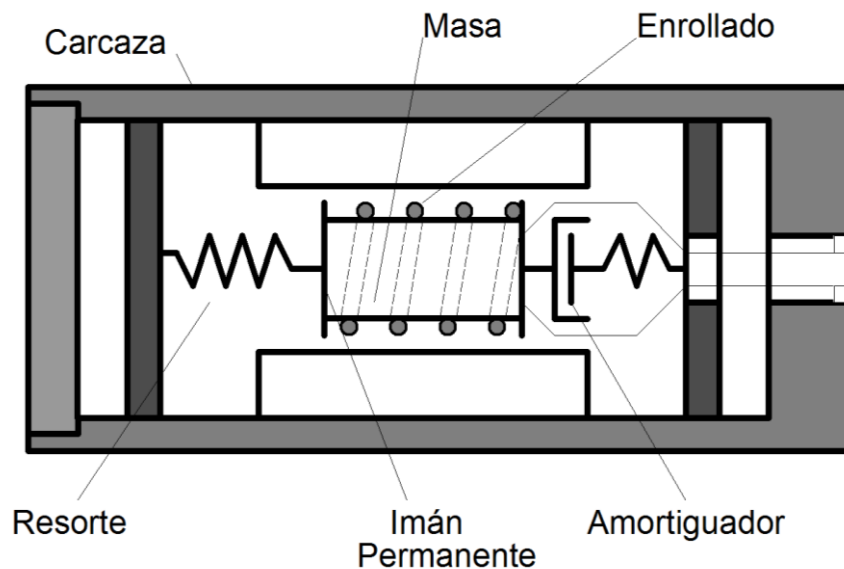


Figura 9: Transductor de Velocidad

Son de uso muy común, especialmente para mediciones en soportes de rodamientos (chumaceras), no requiere de fuerza externa. Puede tener problemas de interferencia del campo magnético.

Su aplicación está especialmente en el rango de 2 Hz a 1 KHz., no es aplicable para bajas frecuencias por su baja frecuencia natural.



#### 4.9.7 ACELERÓMETROS [19]

Consiste en un pedazo de cristal piezoeléctrico que se encuentra en contacto con una masa, cuando se pone en contacto la armadura del sensor con el medio vibrante (chumaceras) la fuerza de excitación intenta deformar al cristal y este por sus propiedades piezoeléctricas genera una señal eléctrica como respuesta.

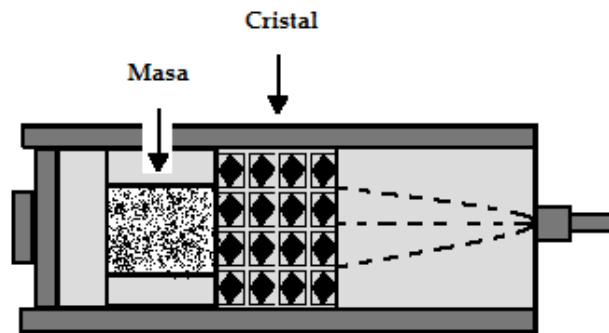


Figura 10: Transductor de aceleración

Un cristal piezoeléctrico produce cierta carga eléctrica al deformarse bajo la acción de cierta fuerza. Todo esto hace que el comportamiento dinámico de este tipo de transductor piezoeléctrico sea como se muestra en la figura 11. Observe que mientras mayor sea la frecuencia de resonancia  $f_r$ , más altas frecuencias podrán ser medidas, aunque se debe señalar que la sensibilidad del acelerómetro piezoeléctrico disminuye con el aumento de su frecuencia de resonancia. El diseño de este dispositivo posibilita obtener una señal eléctrica proporcional a la aceleración de la superficie donde haya sido fijado éste.

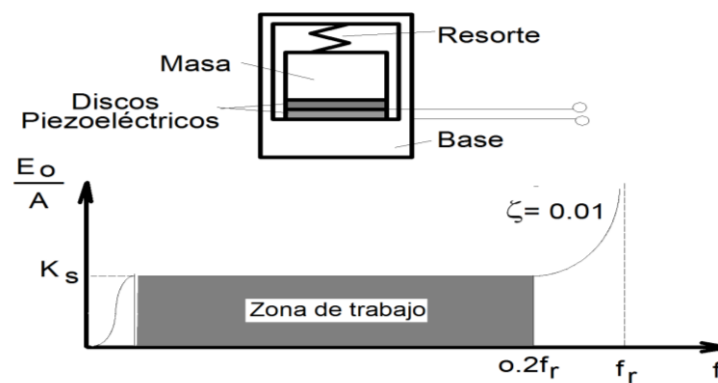


Figura 11: Sensibilidad del acelerómetro piezoeléctrico

Son muy comunes, operan en una muy amplia gama de frecuencias, desde 0 hasta más de 400 Khz., son recomendables para maquinaria de alta velocidad y para detectar vibraciones de alta frecuencia en general.

#### **4.9.8 UBICACIÓN DEL ACCELERÓMETRO PIEZOELÉCTRICO**

Como se debe suponer, el elemento sensor primario (transductor) es la principal fuente de error de una medición ya que este es el vínculo entre lo que se desea medir y el instrumento de medición. Por ello, es de vital importancia lograr un montaje adecuado del acelerómetro.

En primera instancia, debe quedar bien claro que la máxima sensibilidad del acelerómetro estará dada en la vibración que lo excite en su dirección axial, lo que conduce a una sensibilidad al 100% , sin embargo cuando se excita transversalmente, la sensibilidad es menor en un 4% , dependiendo del fabricante.

Por otro lado es necesario tener en cuenta que la zona que mejor refleja las vibraciones de una maquinaria es aquella cercana a los apoyos de los elementos rotatorios o en su defecto, aquellos puntos donde la vía de transmisión de las vibraciones sea la más directa.

##### **4.9.8.1 FIJACIÓN DEL ACCELERÓMETRO PIEZOELÉCTRICO**

El acelerómetro piezoeléctrico puede ser fijado a la superficie donde se desea efectuar la medición con el auxilio de los diferentes elementos tales como el perno de acero, la cera de abeja, el imán permanente, pegamentos y el conocido puntero.

En dependencia del elemento de fijación empleado se podrá contar con un mayor o menor aprovechamiento del rango de frecuencias del acelerómetro durante la medición.

##### **4.9.8.2 MONTAJE CON PERNO DE ACERO**

Se emplea para medir vibraciones en un rango de altas frecuencias, para lo cual se requiere garantizar una frecuencia de resonancia alta. También se emplea para el monitoreo permanente de las vibraciones en maquinarias y estructuras.

Este método desempeña un rendimiento óptimo del acelerómetro por lo que deberá ser usado siempre que sea posible. Este tipo de montaje no limita el rango de temperatura del acelerómetro permitiendo la medición de altos niveles de vibraciones.

**Requiere de cierto tiempo para la preparación de la superficie de montaje, así como para el taladrado y roscado del agujero.**

#### **4.9.8.3 MONTAJE CON CERA DE ABEJA**

Es un método de fijación muy empleado para realizar mediciones rápidas cuando no es posible taladrar la superficie de medición o cuando se utilicen acelerómetros que no poseen agujeros roscados en su base.

Es una opción de montaje rápido y fácil, reportando una frecuencia de resonancia ligeramente menor que la lograda con perno roscado, debiéndose emplear la menor cantidad de cera posible ya que un exceso de esta contribuye a reducir el rango de frecuencias de operación satisfactoria del acelerómetro.

**La temperatura de trabajo queda limitada a 40°C aproximadamente, debiéndose emplear para medir niveles superiores a 10 gravedades de aceleración.**

#### **4.9.8.4 MONTAJE CON DISPOSITIVO MAGNÉTICO**

Este método exige de una limpieza total de la superficie de montaje así como el menor nivel de rugosidad posible. La rapidez del montaje hace de este método una vía ideal para la realización de mediciones preliminares durante la selección de los posibles puntos de medición. Puede medir niveles altos de aceleración aunque la frecuencia de resonancia resultante será aproximadamente sólo un 22% de la lograda con el uso del perno roscado.

**El método no garantiza repetitividad absoluta de las mediciones pudiéndose presentar el efecto de carga en sistemas relativamente ligeros.**

#### 4.9.8.5 EMPLEO DEL PUNTERO

Constituye el método de mayor facilidad y rapidez, para la medición de vibraciones. Debe ser empleado solamente para chequeos rápidos de nivel total de un rango de 500 Hz a lo sumo para un acelerómetro estándar.

La frecuencia de resonancia baja drásticamente a un 6% con diferencia a la de un perno roscado, recomendándose seriamente el uso de un filtro pasa - bajo para efectuar la medición.

#### 4.9.9 DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN MÁQUINARIA

Existen tres reglas para el diagnóstico:

- Cada falla genera una vibración típica y específica de esa falla.
- La frecuencia de la vibración está determinada por la configuración de la máquina y su velocidad de operación.
- Una simple medición de vibración nos suministra información relacionada con múltiples componentes.

##### 4.9.9.1 CATEGORÍAS GENERALES [20]

- Desbalanceo
- Desalineación
- Holgura Mecánica
- Problemas de Lubricación
- Rotor Rozante
- Resonancias
- Pulsaciones
- Fallas en Engranajes
- Bandas
- Chumaceras
- Flujo de Líquidos
- Flujo de Gases
- Fallas en Rodamientos

**4.9.10 REGLAS FUNDAMENTALES PARA EL ANÁLISIS DE ESPECTROS [21]**

(Ver Anexo 5)

- **DESBALANCEO**  
Ejes soportados en ambos lados = 1XR y 1XT en ambos lados.  
Eje en voladizo = 1XA mayor que 1XR o 1XT.
- **RODAMIENTO DESALINEADO**  
2X mayor que 1X en cualquier lado, 2XR.
- **DESALINEAMIENTO ANGULAR**  
1XA mayor que 1XR o 1XT en ambos lados del motor.
- **DESALINEAMIENTO PARALELO**  
2XR o 2XT mayor que 1XR o 1XT en cualquier lado del motor.
- **PATA FLOJA**  
1XR o 0.5XR mayor a 2 mm/s.
- **FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL (HOLGURA DE BASE)**  
1XT mayor que 1XR en los dos lados del motor.
- **EJE PÁNDEADO**  
1XA alto en ambos lados del motor.
- **ROZAMIENTOS**  
Picos menores a 1X altos.
- **FALLAS DE ACOPLÉS**  
Picos en 3X altos.
- **FALLAS DE RODAMIENTOS**  
Armónicos no síncronos.  
Bandas Laterales.
- **HOLGURA MECÁNICA**  
Picos altos desde 3X hasta 23X
- **FASE ELÉCTRICA**  
Picos altos a 120 Hz.

#### 4.4.9 CATEGORIZACIÓN DE LAS MÁQUINAS [22]

Para utilizar las normas de Vibraciones con el objetivo de establecer los valores límites de vibraciones se necesita categorizar las máquinas según los Estándar ISO 10816, Normas Cubanas, NC – ISO 10816. Según se muestra en la tabla XVII (Ver Anexo 2).

##### 4.4.9.1 ESTÁNDAR ISO 10816. PARTE 3

TABLA XVII: VALORES LÍMITES DE VIBRACIONES

45.00	No Permissible	No Permissible	No Permissible	No Permissible		
28.00			Límite	Admisible	Normal	
18.00						Límite
11.20						Límite
7.10	Límite	Admisible	Admisible	Admisible		
4.50					Admisible	
2.80	Admisible	Normal	Normal	Normal		
1.80					Admisible	
1.12					Admisible	
0.71	Normal	Normal	Normal	Normal		
0.45					Normal	
0.28					Normal	
↑ Vel. [mm/s] RMS	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV		

##### 4.4.9.2 ESTÁNDAR ISO 10816. CLASE I

Partes individuales de motores y máquinas en general, vinculadas íntegramente en condiciones normales de operación. Los motores eléctricos de hasta 15 Kw., de potencia constituyen ejemplos de ésta categoría.

##### 4.4.9.3 ESTÁNDAR ISO 10816. CLASE II

Máquinas de medianas dimensiones (típicamente motores eléctricos de entre 15 y 75 Kw., de potencia) montadas sobre bases convencionales. Motores de hasta 300 Kw., montadas en bases especiales.

#### 4.4.9.4 ESTÁNDAR ISO 10816. CLASE III

Grandes máquinas motrices y cualquier otro tipo de máquina rotatoria, montadas sobre bases rígidas y pesadas, exhibiendo rigidez relativamente altas en la dirección donde se efectuó la medición de las vibraciones.

#### 4.4.9.5 ESTÁNDAR ISO 10816. CLASE IV

Grandes máquinas motrices y cualquier otro tipo de máquina rotatoria, montadas sobre bases relativamente flexibles en la dirección en que se efectuó la medición de las vibraciones (turbogeneradores y turbinas de gas, cuyas potencias sean superiores a 10 MW).

Sin embargo, definir cuáles niveles son normales y cuáles son anormales constituye una labor algo contradictoria. El norteamericano JAMES I. TAYLOR, Presidente de VIBRATION CONSULTANTS, Inc. estima que sobre la base de su experiencia de más de veinte años obteniendo resultados satisfactorios con el empleo de los llamados estándares de calibración (ajustados a la velocidad de rotación), pudiera constituir una estrategia acertada el uso de estos según se muestra en la Tabla XVIII [23]

**TABLA XVIII: ESTÁNDARES DE CALIBRACIÓN AJUSTADOS A LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN.**

<b>MÁQUINAS ROTATORIAS</b> (velocidad en RPM)	<b>MÁQUINAS PAPELERAS</b> (velocidad en FPM)	<b>VELOCIDAD PICO</b> [mm/s]
más de 1000	Más de 2400	hasta 18.0
500 - 1000	1700 - 2400	hasta 9.00
200 - 500	1000 - 1700	hasta 5.00
menos de 200	Menos de 1000	hasta 3.00

#### 4.10 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS

Si aceptamos que la actividad del Mantenimiento tiene que estar encaminada en primera instancia a garantizar eficiencia y confiabilidad de la operación de los activos con un menor costo. Por tal motivo, es imperativa la necesidad de evaluar el estado general de la máquina e identificar defectos durante su etapa de desarrollo prematuro, con vistas a planificar las intervenciones de manera oportuna.

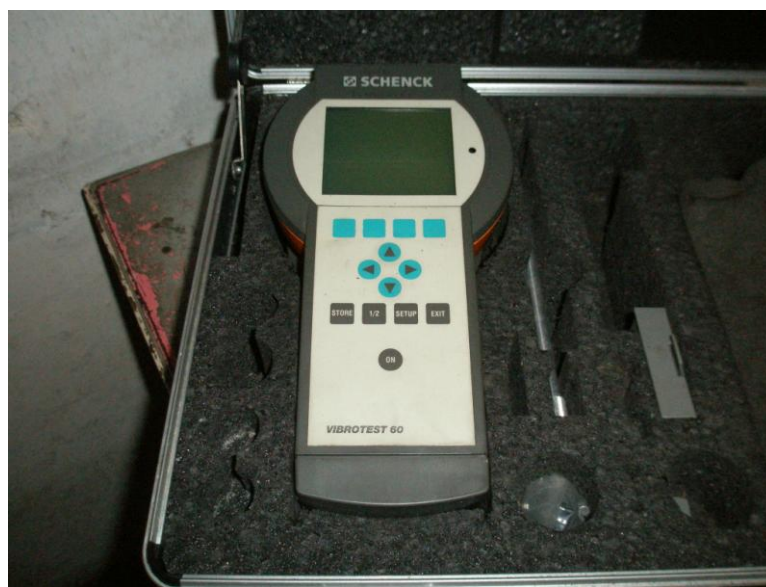
##### 4.5.1 EL ANALIZADOR DE VIBRACIONES Y COLECTOR DE DATOS VIBROTEST 60

El Vibrotest 60 reúne todos los requisitos de un colector analizador FFT, combinando las funciones más utilizadas en el campo del análisis de vibraciones, con un sistema operativo basado en secuencias intuitivas, complementadas por un registro y un procesamiento de alta velocidad y tiene las siguientes ventajas.

- Analizador FFT, Equilibrado, Colector de datos en un mismo instrumento portátil.
- Diálogo operativo que se entiende fácilmente y es posible seleccionar en los idiomas siguientes:
  - Alemán
  - Inglés
  - Francés
  - Italiano
  - Holandés
  - Portugués
  - Español
  - Checo
  - Húngaro
  - Polaco
- Medición en tiempo real para dos canales y velocidad
- Pequeño, liviano (900 g), instrumento que se opera manualmente
- Óptima resolución de FFT con hasta 12,800 líneas



- Pueden usarse sensores de aceleración, velocidad y desplazamiento disponibles comercialmente
- Pantalla gráfica de alto contraste, brillante y con luz de fondo
- Capacidad de almacenaje máxima y elevada seguridad para los datos de medición a través del uso de tarjetas PC



Fuente: Propia

Figura 12: Vibrotest 60 del Central Paquito Rosales

#### 4.5.6 VIBROEXPERT CM - 400

El software VIBROEXPERT CM - 400 es un componente del sistema VIBROCAM 4000. Este sistema, tiene la capacidad de dar respuesta total a las exigencias de nuestro trabajo, este software nos permite trabajar en diferentes módulos y principalmente. (ANEXO 4) estrategia de empleo del software VIBROEXPERT CM - 400).

- Generar reportes.
- Realizar análisis de tendencia.
- Visualizar y utilizar herramientas de análisis espectral.
- Crear para su almacenamiento digital expedientes por cada máquina.
- Pronóstico de fallas.

- Función FTP Marker (Marcadores con frecuencia de daños de rodamientos en los espectros de amplitud de vibraciones o BCU)

#### 4.5.7 TRANSFERENCIA DE LAS MEDICIONES DESDE EL INSTRUMENTO HACIA LA PC.

El equipo puede descargar a la computadora las mediciones obtenidas, la transferencia de las mediciones podrá ser ejecutada a través de comunicación por puerto serie o través de soporte magnético como es el caso de las tarjetas magnéticas PCMCIA.



Fuente: Propia

Figura 13: Tarjeta de Almacenamiento de Datos PCMCIA

#### 4.5.8 SELECCIÓN DE TRANSDUCTORES

Para seleccionar un transductor hay que tener en cuenta diferentes parámetros de utilización, forma, tamaño y que va a medir o censar.

Es muy importante el tipo de máquina que se va a medir, ya que el transductor no puede estar diseñado o apto respecto a su accesibilidad por la posición o la dificultad, entonces se escogería el transductor más factible o capaz de censar en máquinas de difícil acceso.

El rango de frecuencias del transductor debe ser compatible con las frecuencias generadas por los diferentes componentes mecánicos de las máquinas.

En este caso por contar con un solo tipo de transductores en el MINAZ de denominación AS-060 se utilizará éste para las diferentes mediciones como se puede ver en la Figura 14.



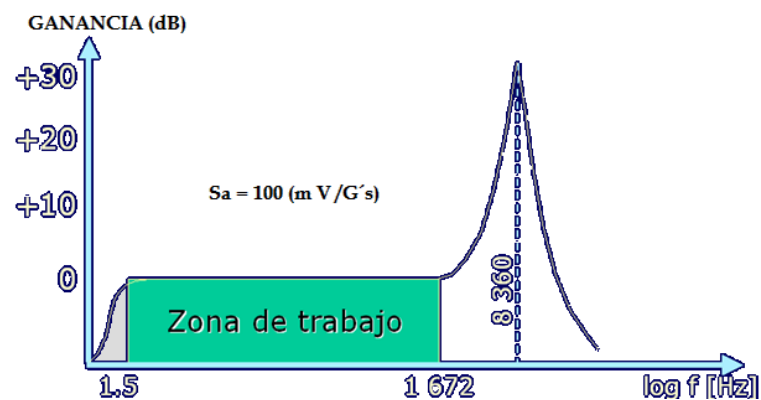
Fuente: Propia

Figura 14: Transductores con dispositivos magnéticos y punteros

Se observa los transductores con dispositivos magnéticos y el puntero el cual censa bajas frecuencias y es utilizado para lugares de difícil acceso.

De tal modo el dispositivo magnético que se utiliza posee las siguientes características:

- $f_r = (22\%) 38 \text{ kHz}$
- $f_r = 8360 \text{ Hz}$
- $f_{max} = 0.20 * 8360$
- $f_{max} = 1672 \text{ Hz}$



Fuente: Schenck

Figura 15: Curva Característica de capacidad de trabajo del transductor con dispositivo magnético

Analizando la Figura se puede observar que el transductor con dispositivo magnético AS – 060 cumple con los requisitos para realizar las mediciones ya que los equipos a monitorear se encuentran en un rango desde los 3 a 1000 Hz.

#### 4.5.9 SENTIDOS DE MEDICIÓN

El sensor que determinará los datos es recomendable que se ubique de las siguientes formas.

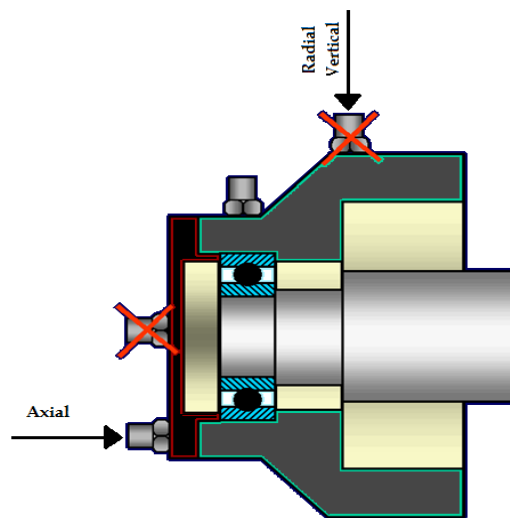


Figura 16: Ubicación del sensor de medición

- **Radial Vertical.**- las fuerzas son perpendiculares al eje.
- **Axial.**- las fuerzas son paralelas al eje.
- **Radial Horizontal.**- las fuerzas son perpendiculares al eje tangencial.

Debemos tener muy en cuenta que los sentidos de medición varían de acuerdo a las posiciones de los equipos o máquinas a ser medidos, y la facilidad que tengamos para la ubicación del sensor.

#### 4.11 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES Y REDUCTORES



Figura 17: Motor y Reductor de la industria azucarera Paquito Rosales.

La función principal de operación de cada motor y reductor es la de dar las revoluciones y el par necesario de trabajo para cada molino que esta a este mecanismo acoplado.

- ✓ Para el molino # 1 es necesaria una velocidad de 3,12 r.p.m., accionado por un motor de 400 Kw. y 600 r.p.m., con un reductor Flenders.
- ✓ Para el molino # 2 y 3 es necesaria una velocidad de 3,12 r.p.m., accionados por un motor de 500 Kw. y 600 r.p.m., con un reductor SKODA.
- ✓ Para el molino # 4 y 5 es necesaria una velocidad de 3,12 r.p.m., accionados por un motor de 500 Kw. y 600 r.p.m., con un reductor SKODA.

##### 4.11.1 MOTORES ELÉCTRICOS [24]

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Debido a sus múltiples ventajas, entre las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico ha reemplazado en gran parte a otras fuentes de energía, tanto en la industria como en el transporte, las minas, el comercio, o el hogar.

Los motores eléctricos satisfacen una amplia gama de necesidades de servicio, desde arrancar, acelerar, mover, o frenar, hasta sostener y detener una carga. Estos motores se fabrican en potencias que varían desde una pequeña fracción de caballo hasta varios miles, y con una amplia variedad de velocidades, que pueden ser fijas, ajustables o variables.

Un motor eléctrico contiene un número mucho más pequeño de piezas mecánicas que un motor de combustión interna o uno de una máquina de vapor, por lo que es menos propenso a los fallas.

#### 4.11.2 CAJAS REDUCTORAS [25]

Casi podría decirse que los motores son como el 'corazón de la industria'. Pero ese 'corazón' tiene diferentes ritmos y funciona a distintas velocidades, dependiendo del uso que se le quiera dar. Por eso los reductores de velocidad son indispensables en todas las industrias del país, desde los que producen cemento hasta los laboratorios de medicamentos requieren en sus máquinas estos mecanismos.

Los reductores son diseñados a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor.

En pocas palabras los reductores son sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos funcionen a diferentes velocidades para los que fueron diseñados.

Rara vez las máquinas funcionan de acuerdo con las velocidades que les ofrece el motor, por ejemplo, a 1.800, 1.600 o 3.600 revoluciones por minuto. La función de un reductor es disminuir esta velocidad a los motores (50, 60, 100 r.p.m.) y permitir el eficiente funcionamiento de las máquinas, agregándole por otro lado potencia y fuerza.

Para potencias bajas se utilizan moto-reductores que son equipos formados por un motor eléctrico y un conjunto reductor integrado. Las herramientas manuales en general (taladros, lijadoras, cepillos, esmeriles, etc.) poseen un moto-reductor.

Para potencias mayores se utilizan equipos reductores separados del motor. Los reductores consisten en pares de engranajes con gran diferencia de diámetros, de esta forma el engrane de menor diámetro debe dar muchas vueltas para que el de diámetro mayor de una vuelta, de esta forma se reduce la velocidad de giro. Para obtener grandes reducciones se repite este proceso colocando varios pares de engranes conectados uno a continuación del otro.

En otras palabras **“los Reductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente”**.

Al emplear REDUCTORES se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- ✓ Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- ✓ Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- ✓ Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el Mantenimiento.
- ✓ Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- ✓ Menor tiempo requerido para su instalación.

Los reductores se suministran normalmente acoplando a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador para conectar a redes trifásicas de 220/440 voltios y 60 Hz.

Para proteger eléctricamente el motor es indispensable colocar en la instalación de todo Motor un guarda motor que limite la intensidad y un relé térmico de sobrecarga. Los valores de las corrientes nominales están grabados en las placas de identificación del motor.

#### 4.11.3 GUÍA PARA LA ELECCIÓN DEL TAMAÑO DE UN REDUCTOR O MOTOR - REDUCTOR

Para seleccionar adecuadamente una unidad de reducción debe tenerse en cuenta la siguiente información básica:

- ✓ Características de operación
- ✓ Potencia (HP tanto de entrada como de salida)
- ✓ Velocidad (RPM de entrada como de salida)
- ✓ Torque (par) máximo a la salida.
- ✓ Relación de reducción (I).
- ✓ Características del trabajo a realizar
- ✓ Tipo de máquina motriz (motor eléctrico, a gasolina, etc.)
- ✓ Tipo de acople entre máquina motriz y reductor.
- ✓ Tipo de carga uniforme, con choque, continua, discontinua etc.
- ✓ Duración de servicio horas/día.
- ✓ Arranques por hora, inversión de marcha.

#### Condiciones del ambiente

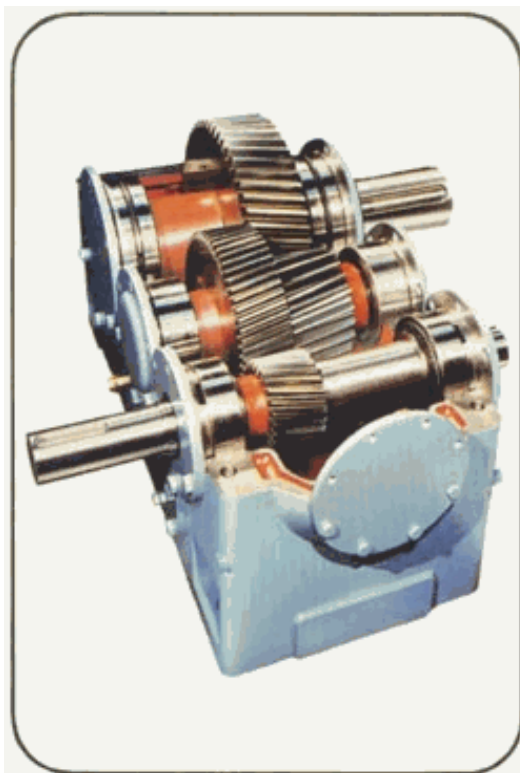
- ✓ Humedad
- ✓ Temperatura
- ✓ Ejecución del equipo
- ✓ Ejes a 180°, ó, 90°.
- ✓ Eje de salida horizontal, vertical, etc.

#### Ventajas

Las transmisiones de engranajes encerrados vendidas por los fabricantes ofrecen varias ventajas sobre los dispositivos abiertos de transmisión de potencia:

- ✓ Seguridad, protección contra las partes móviles.

- ✓ Retención del lubricante.
- ✓ Protección contra el medio ambiente.



**Figura 18: Reductor de velocidad de 3 pasos**

En estas cajas es importante notar que se abren en dos mitades y la línea de unión está en el plano que forman los ejes. Este diseño se basa en la conveniencia de abrir la caja al nivel de los ejes para extraerlos con facilidad y permitir el cambio de rodamientos, sellos de aceite, revisar el desgaste de los dientes y otras mantenciones preventivas.

#### **4.11.4 MANTENIMIENTO DE REDUCTORES**

Los engranajes, casquillos y rodamientos de los reductores están lubricados habitualmente por inmersión o impregnados en la grasa lubricante alojada en la carcasa principal. Por lo tanto, el Mantenimiento pasa por revisar el nivel de aceite antes de la puesta en marcha. La carcasa tendrá visibles los tapones de llenado, nivel y drenaje del lubricante, que deben estar bien sellados. Debe mantenerse especialmente limpio el orificio de ventilación; también debe respetarse el tipo de lubricante recomendado por el fabricante, que suele ser el más adecuado a su velocidad, potencia y materiales constructivos.



Según el tipo del reductor, se suele recomendar una puesta en marcha progresiva, en cuanto a la carga de trabajo, con unas 50 horas hasta llegar al 100%. Asimismo, es muy recomendable el sustituir el aceite la primera vez tras 200 horas de trabajo, pudiendo incluso el decidir en ese momento un "lavado" del Reductor. A partir de ese momento, los cambios del lubricante deberán hacerse SIEMPRE de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, siendo plazos habituales cambios cada 2.000 horas de trabajo.

Para finalizar, reiterar que los consejos aquí dados son solo recomendaciones GENERALES, y que siempre que sea posible y conocidas, deben atenderse las recomendaciones específicas del Fabricante para el modelo en cuestión.

#### **4.11.5 LUBRICACIÓN DE LAS TRANSMISIONES DE ENGRANAJES ENCERRADOS**

La lubricación inapropiada es una de las causas principales de falla en las transmisiones a base de engranajes, deben seguirse las instrucciones del fabricante de los engranajes para asegurar la operación apropiada. La unidad de engrane debe drenarse y limpiarse con un aceite lavador, después de transcurridos 4 semanas de operación inicial. Para volver a llenarla puede utilizarse el lubricante original filtrado, o bien un lubricante nuevo. Para operación normal los cambios de aceite deben hacerse después de cada 2000 a 2500 horas de servicio.

Deben llevarse a cabo verificaciones periódicas de los niveles del aceite, aceiteras y accesorios para grasa. Si se está utilizando lubricación a presión, debe vigilarse con frecuencia el funcionamiento apropiado de la bomba, del filtro y del enfriador.

#### **4.11.6 LISTA DE PRINCIPALES PROBLEMAS**


Entre los principales problema que puede sufrir un reductor se encuentran:

- ✓ Calentamiento.
- ✓ Falla del árbol.
- ✓ Falla de los cojinetes.
- ✓ Fuga de aceite.
- ✓ Desgaste.
- ✓ Ruido y vibración.
- ✓ Falla de los engranes.

## 4.12 FICHAS DE DATOS TÉCNICOS


## 4.12.1 FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL REDUCTOR 1

TABLA XIX: FICHA DE DATOS TÉCNICOS REDUCTOR # 1

	PASAPORTE TÉCNICO	MÁQUINA: <i>REDUCTOR 1</i>	UBICACIÓN TÉCNICA:																		
	FABRICANTE: INGLÉS	MARCA: FLENDER	MODELO: SDN - 710	TIPO:																	
AREA: TANDEM TREN DE ENGRANE	EQUIPO AL QUE ESTA ACOPLADO: MOLINO # 1	AÑO DE INSTALACION: 1999	N° DE INVENTARIO:																		
PARAMETROS TÉCNICOS:	POTENCIA DE DISEÑO: 460 Kw.	POTENCIA DE TRABAJO: 800 Kw.	N° DE PASOS DE REDUCCION: 4																		
	RELACIÓN DE REDUCCION: 30 / 1	VELOCIDAD DE ENTRADA: 600 R.P.M.	VELOCIDAD DE SALIDA: 30 R.P.M																		
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES:</b>																					
LUBRICACIÓN:	TIPO DE LUBRICANTE: ACEITE REDUCTOR EP-90.GL4	MODO DE APLICACIÓN: BAÑO	FRECUENCIA: CADA 6 MESES																		
RODAMIENTOS:		DIMENSIONES:																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO - NUMERO:</th> <th>CANTIDAD:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>24128</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>22332 B int. A</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2344 int. B</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		TIPO - NUMERO:	CANTIDAD:	24128	2	22332 B int. A	2	2344 int. B	2					<table border="1"> <tbody> <tr> <td>LARGO: 3100 mm.</td> <td>PESO:</td> </tr> <tr> <td>ANCHO: 1640 mm.</td> <td>VOLUMEN:</td> </tr> <tr> <td>ALTURA: 2050 mm</td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		LARGO: 3100 mm.	PESO:	ANCHO: 1640 mm.	VOLUMEN:	ALTURA: 2050 mm	
TIPO - NUMERO:	CANTIDAD:																				
24128	2																				
22332 B int. A	2																				
2344 int. B	2																				
LARGO: 3100 mm.	PESO:																				
ANCHO: 1640 mm.	VOLUMEN:																				
ALTURA: 2050 mm																					
OBSERVACIONES:																					


## 4.12.2 FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL REDUCTOR 2

TABLA XX: FICHA DE DATOS TÉCNICOS REDUCTOR # 2

 <b>“PAQUITO ROSALES”</b>	<b>PASAPORTE TÉCNICO</b>	<b>MÁQUINA:</b> <b>REDUCTOR 2</b>	<b>UBICACIÓN TÉCNICA:</b>																		
<b>FABRICANTE:</b> CHECOSLOVAQUIA	<b>MARCA:</b> SKODA	<b>MODELO:</b> ZTB - 800 / T250-V	<b>TIPO:</b> PM																		
<b>AREA:</b> TANDEM TREN DE ENGRANE	<b>EQUIPO AL QUE ESTA ACOPLADO:</b> MOLINO # 2 Y 3	<b>AÑO DE INSTALACION:</b> 1985	<b>N° DE INVENTARIO:</b>																		
<b>PARAMETROS TÉCNICOS:</b>	<b>POTENCIA DE DISEÑO:</b> 662 Kw .	<b>POTENCIA DE TRABAJO:</b> 7,33	<b>N° DE PASOS DE REDUCCION:</b> 3																		
	<b>RELACIÓN DE REDUCCION:</b> 30 / 1	<b>VELOCIDAD DE ENTRADA:</b> 900 R.P.M .	<b>VELOCIDAD DE SALIDA:</b> 30 R.P.M																		
<b>CARACTERISTICAS GENERALES:</b>																					
<b>LUBRICACIÓN:</b>	<b>TIPO DE LUBRICANTE:</b> ACEITE REDUCTOR EP-90.GL4	<b>MODO DE APLICACIÓN:</b> BAÑO (engranaje) SPRAY (rodamientos)	<b>FRECUENCIA:</b> CADA 6 MESES																		
<b>RODAMIENTOS:</b>		<b>DIMENSIONES:</b>																			
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">TIPO - NUMERO:</th> <th style="width: 50%;">CANTIDAD:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>23068 baja</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>23256 inter</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>22240 alta</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		TIPO - NUMERO:	CANTIDAD:	23068 baja	2	23256 inter	2	22240 alta	2					<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">LARGO: 5425mm .</td> <td style="width: 50%;">PESO: 7800 Kg .</td> </tr> <tr> <td>ANCHO: 3175mm .</td> <td>VOLUMEN:</td> </tr> <tr> <td>ALTURA: 2570mm .</td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		LARGO: 5425mm .	PESO: 7800 Kg .	ANCHO: 3175mm .	VOLUMEN:	ALTURA: 2570mm .	
TIPO - NUMERO:	CANTIDAD:																				
23068 baja	2																				
23256 inter	2																				
22240 alta	2																				
LARGO: 5425mm .	PESO: 7800 Kg .																				
ANCHO: 3175mm .	VOLUMEN:																				
ALTURA: 2570mm .																					
<b>OBSERVACIONES:</b>																					

## 4.12.3 FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL REDUCTOR 3


TABLA XXI: FICHA DE DATOS TÉCNICOS REDUCTOR # 3

 <b>“PAQUITO ROSALES”</b>	<b>PASAPORTE TÉCNICO</b>	<b>MÁQUINA :</b> <b>REDUCTOR 3</b>	<b>UBICACIÓN TÉCNICA :</b>																		
<b>FABRICANTE :</b> CHECOSLOVAQUIA	<b>MARCA :</b> SKODA	<b>MODELO :</b> ZTB - 800 / T250-V	<b>TIPO :</b> PM																		
<b>AREA :</b> TANDEM TREN DE ENGRANE	<b>EQUIPO AL QUE ESTA ACOPLADO :</b> MOLINO # 4 Y 5	<b>AÑO DE INSTALACION :</b> 1985	<b>N° DE INVENTARIO :</b>																		
<b>PARAMETROS TÉCNICOS :</b>	<b>POTENCIA DE DISEÑO :</b> 662 Kw .	<b>POTENCIA DE TRABAJO :</b> 800 Kw .	<b>N° DE PASOS DE REDUCCION :</b> 3																		
	<b>RELACIÓN DE REDUCCION :</b> 30 / 1	<b>VELOCIDAD DE ENTRADA :</b> 900 R.P.M .	<b>VELOCIDAD DE SALIDA :</b> 30 R.P.M																		
<b>CARACTERISTICAS GENERALES :</b>																					
<b>LUBRICACIÓN :</b>	<b>TIPO DE LUBRICANTE :</b> ACEITE REDUCTOR EP-90.GL4	<b>MODO DE APLICACIÓN :</b> BAÑO (engranaje) SPRAY (rodamientos)	<b>FRECUENCIA :</b> CADA 6 MESES																		
<b>RODAMIENTOS :</b>		<b>DIMENSIONES :</b>																			
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>TIPO - NUMERO :</th> <th>CANTIDAD :</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>23068 baja</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>23256 inter</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>22240 alta</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		TIPO - NUMERO :	CANTIDAD :	23068 baja	2	23256 inter	2	22240 alta	2					<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td><b>LARGO :</b> 5425mm .</td> <td><b>PESO :</b> 7800Kg .</td> </tr> <tr> <td><b>ANCHO :</b> 3175mm .</td> <td><b>VOLUMEN :</b></td> </tr> <tr> <td><b>ALTURA :</b> 2570mm .</td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		<b>LARGO :</b> 5425mm .	<b>PESO :</b> 7800Kg .	<b>ANCHO :</b> 3175mm .	<b>VOLUMEN :</b>	<b>ALTURA :</b> 2570mm .	
TIPO - NUMERO :	CANTIDAD :																				
23068 baja	2																				
23256 inter	2																				
22240 alta	2																				
<b>LARGO :</b> 5425mm .	<b>PESO :</b> 7800Kg .																				
<b>ANCHO :</b> 3175mm .	<b>VOLUMEN :</b>																				
<b>ALTURA :</b> 2570mm .																					
<b>OBSERVACIONES :</b>																					




## 4.12.5 FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR # 2

TABLA XXIII: FICHA DE DATOS TÉCNICOS MOTOR # 2

 <b>“PAQUITO ROSALES”</b>	<b>PASAPORTE TÉCNICO</b>		<b>MÁQUINA:</b> <i>MOTOR 2</i>		<b>UBICACIÓN TÉCNICA:</b> -----
	<b>FABRICANTE:</b> ESPAÑA	<b>MARCA:</b> SIEMENS	<b>MODELO:</b> -----	<b>SERIE:</b> K 2/2712075	
<b>AREA:</b> TANDEM TREN DE ENGRANE	<b>EQUIPO AL QUE ESTA ACOPLADO:</b> REDUC. MOLINO # 2 Y 3		<b>AÑO DE INSTALACION:</b> -----	<b>N° DE INVENTARIO:</b> -----	
<b>PARAMETROS TÉCNICOS:</b>	<b>POTENCIA DE DISEÑO:</b> 500 Kw.	<b>EFICIENCIA:</b> 93%	<b>FACTOR COS φ</b> 0,8		
	<b>TIPO DE CORRIENTE:</b> ALTERNA	<b>VELOCIDAD:</b> 590 R.P.M.	<b>VOLTAJE:</b> 440 V	<b>AMPERAJE:</b> 250 A	
	<b>TIPO DE MOTOR:</b> ROTOR BOBINADO	<b>DIMENSIONES:</b>			
	<b>VOL. ROTOR:</b> 1200 V	<b>LARGO: 3150 m m</b>		<b>PESO: 7800 Kg.</b>	
		<b>ANCHO: 1600 m m</b>		<b>VOLUMEN:</b>	
	<b>ALTURA: 1500 m m</b>				
<b>RODAMIENTOS:</b>			<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>TIPO - NUMERO:</b>	<b>CANTIDAD:</b>				

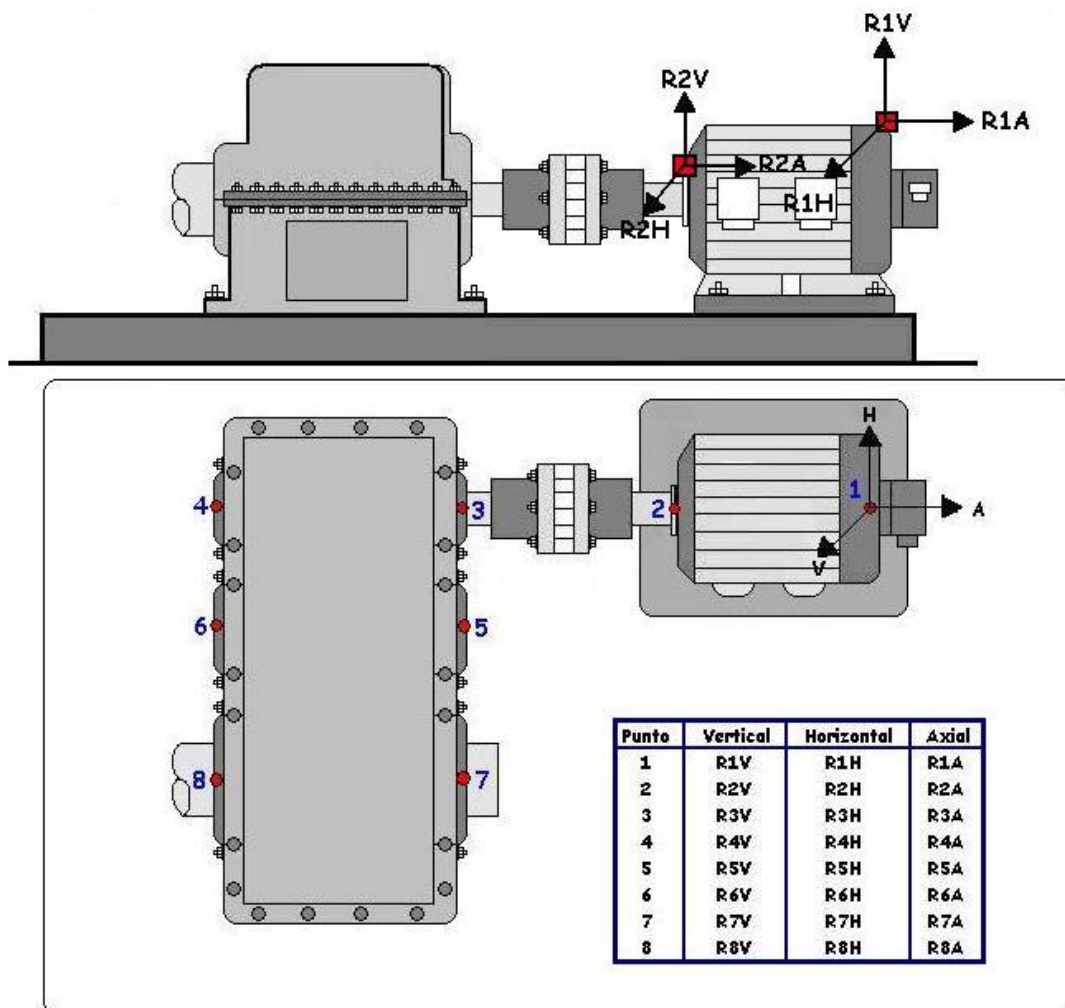
## 4.12.6 FICHA DE DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR # 3

TABLA XXIV: FICHA DE DATOS TÉCNICOS MOTOR # 3

 <b>“PAQUITO ROSALES”</b>	<b>PASAPORTE TÉCNICO</b>		<b>MÁQUINA:</b> <i>MOTOR 3</i>		<b>UBICACIÓN TÉCNICA:</b> -----
	<b>FABRICANTE:</b> ESPAÑA	<b>MARCA:</b> SIEMENS	<b>MODELO:</b> -----	<b>SERIE:</b> -----	
<b>AREA:</b> TANDEM TREN DE ENGRANE	<b>EQUIPO AL QUE ESTA ACOPLADO:</b> REDUC. MOLINO # 4 Y 5	<b>AÑO DE INSTALACION:</b> -----	<b>N° DE INVENTARIO:</b> -----		
<b>PARAMETROS TÉCNICOS:</b>	<b>POTENCIA DE DISEÑO:</b> 500 Kw.	<b>EFICIENCIA:</b> 93%	<b>FACTOR COS φ</b> 0,8		
	<b>TIPO DE CORRIENTE:</b> ALTERNA	<b>VELOCIDAD:</b> 590 R.P.M.	<b>VOLTAJE:</b> 440 V	<b>AMPERAJE:</b> 250 A	
	<b>TIPO DE MOTOR:</b> ROTOR BOBINADO	<b>DIMENSIONES:</b>			
	<b>VOL. ROTOR:</b> 1200 V	<b>LARGO: 3150 m m</b>		<b>PESO: 7800 Kg.</b>	
		<b>ANCHO: 1600 m m</b>		<b>VOLUMEN:</b>	
	<b>ALTURA: 1500 m m</b>				
<b>RODAMIENTOS:</b>			<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>TIPO - NUMERO:</b>	<b>CANTIDAD:</b>				

**4.13 PUNTOS DETERMINADOS PARA LA MEDICIÓN**

Una sugerencia importante para ubicar los puntos de medición es que los puntos más importantes son los que se encuentran en el lado que exista carga, lo mejor es colocar en el lugar más cercano a los elementos rodantes, ya que en estos puntos se encuentra la mayor información sobre los problemas que pudiese encontrarse en un activo.



Fuente: Propia

Figura 19: Puntos de medición para los Motores y Reductores

**4.13.1 INGRESO DE RUTAS EN EL SOFTWARE VIBROEXPERT CM – 400**

En el módulo SETUP ingresamos el nombre de la empresa, ubicación, sistema, equipos y los puntos de medición de los motores y de los reductores.



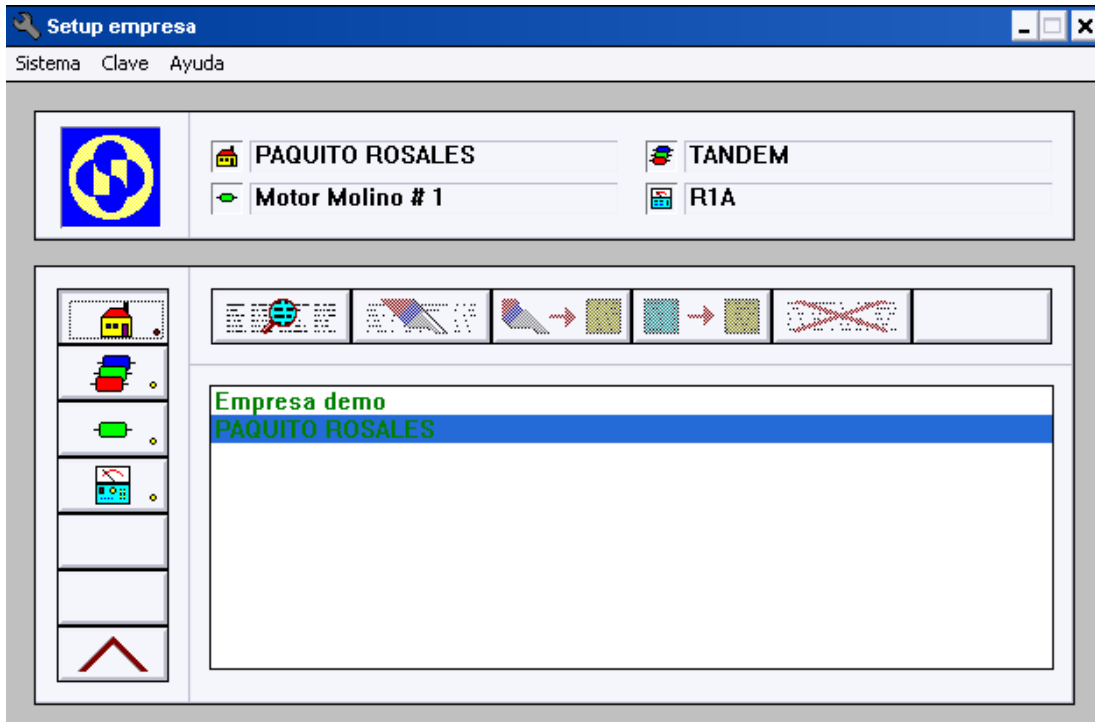


Figura 20: Pantalla de datos y rutas

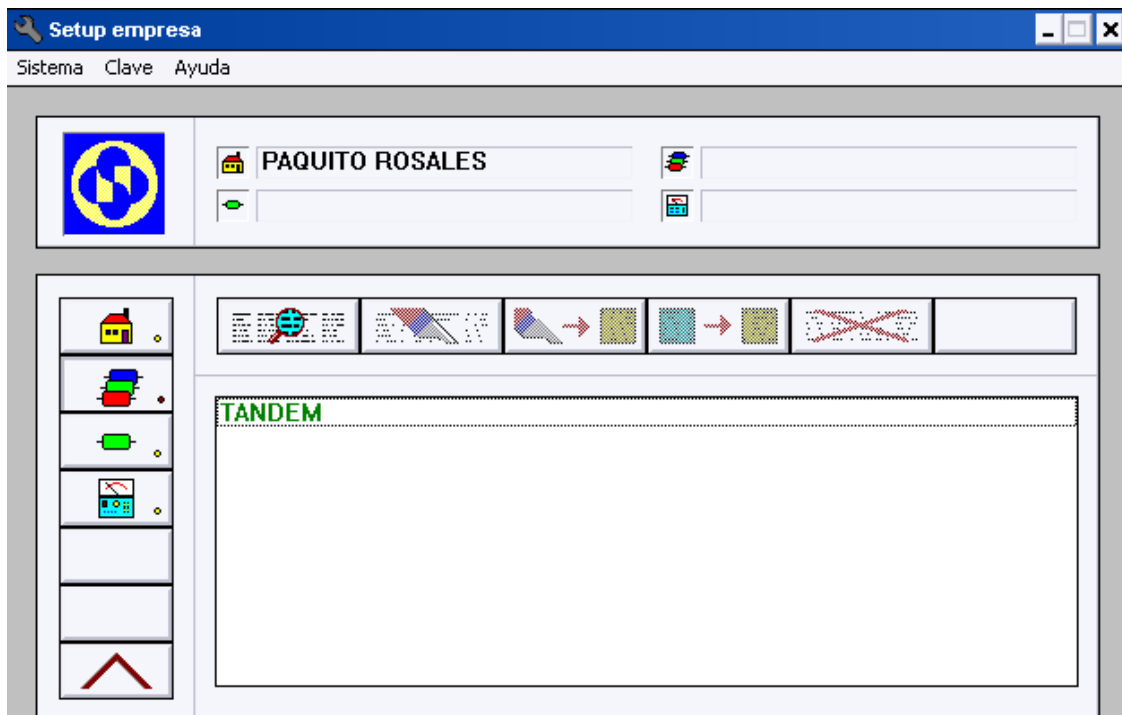


Figura 21: Control de rutas

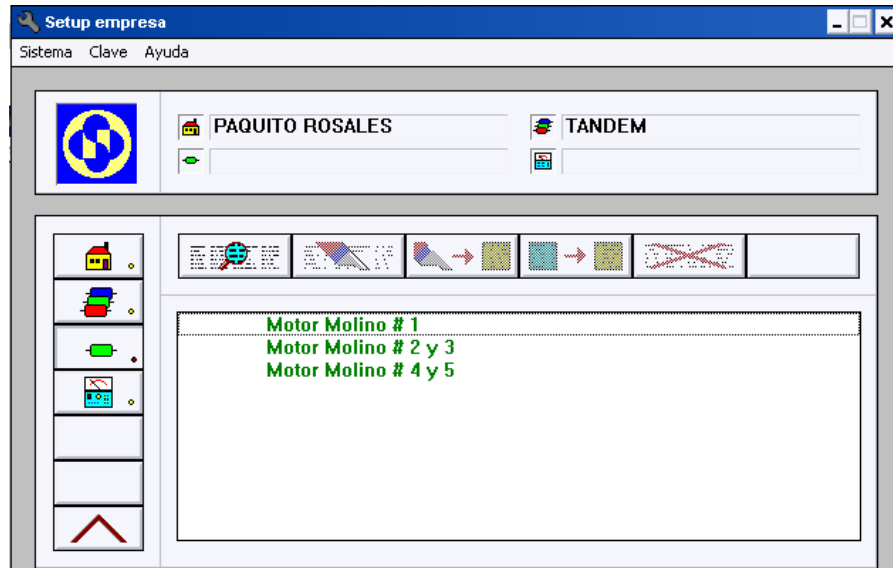


Figura 22: Rutas de los activos a ser analizados

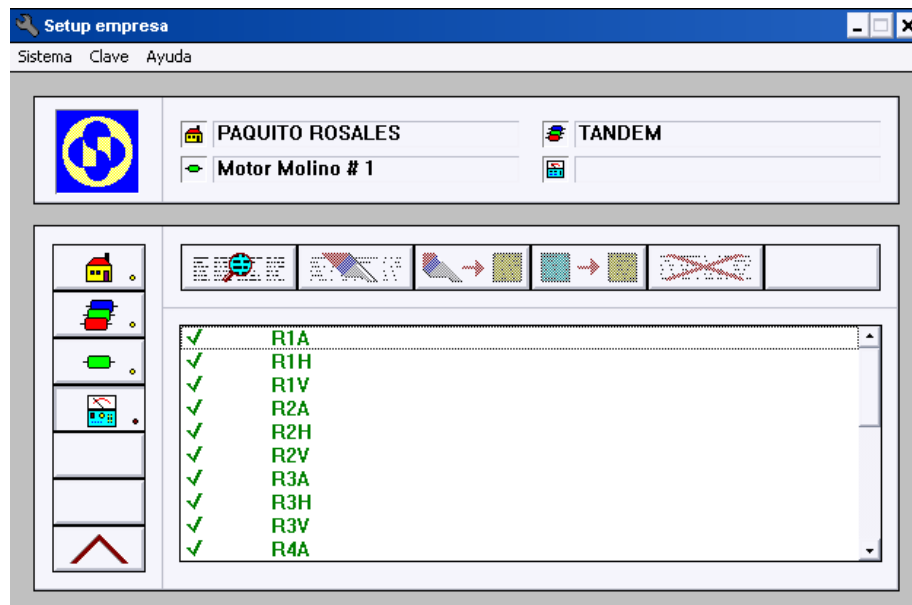


Figura 23: Puntos de medición para cada ruta

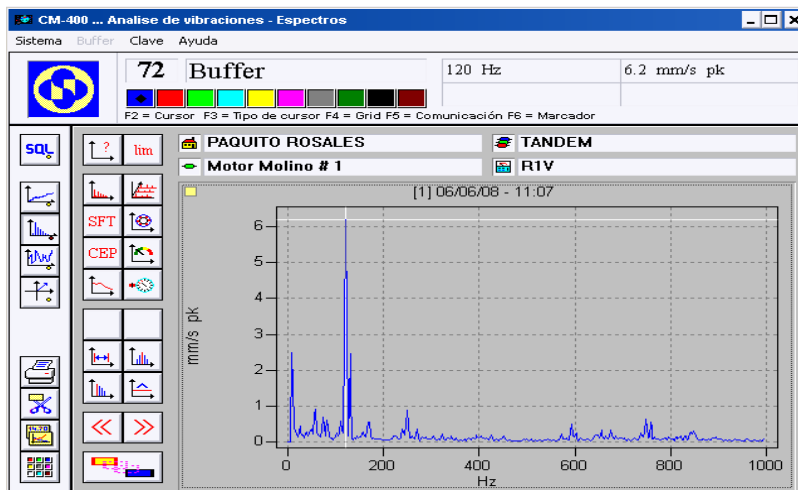
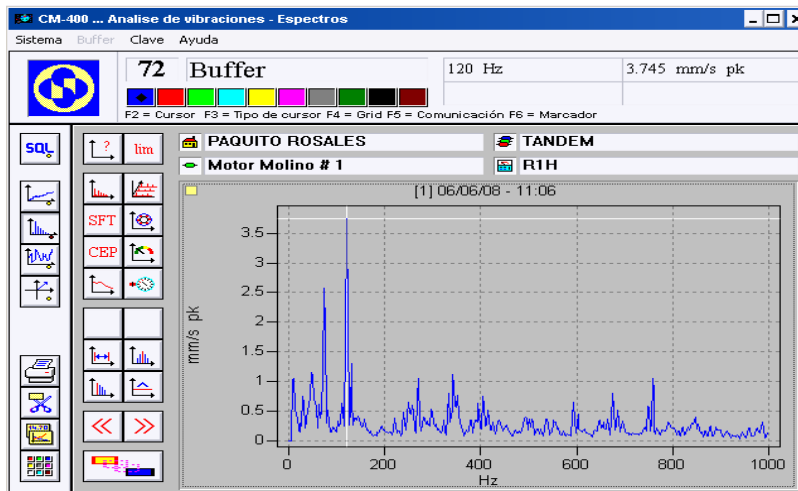
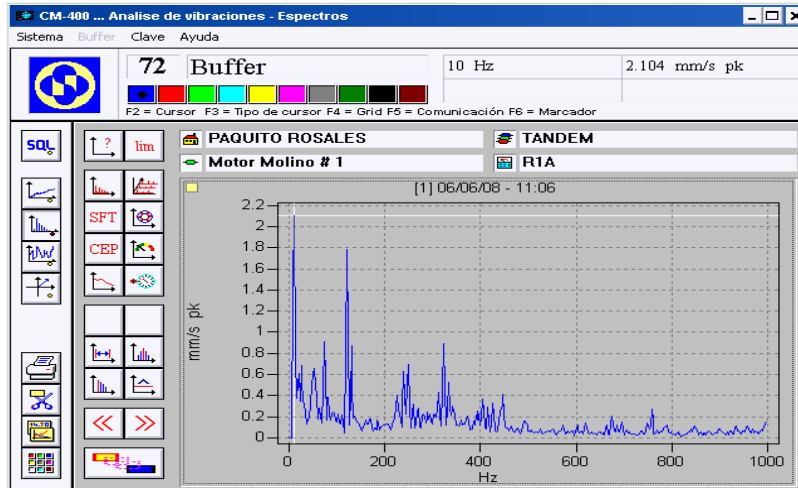
#### 4.14 DETERMINACIÓN DEL BANCO DE ESPECTROS

Después de haber obtenido las medidas mediante el Vibrotest 60, y mediante la tarjeta PCMCIA se descarga en el software CM - 400 instalado en la PC.

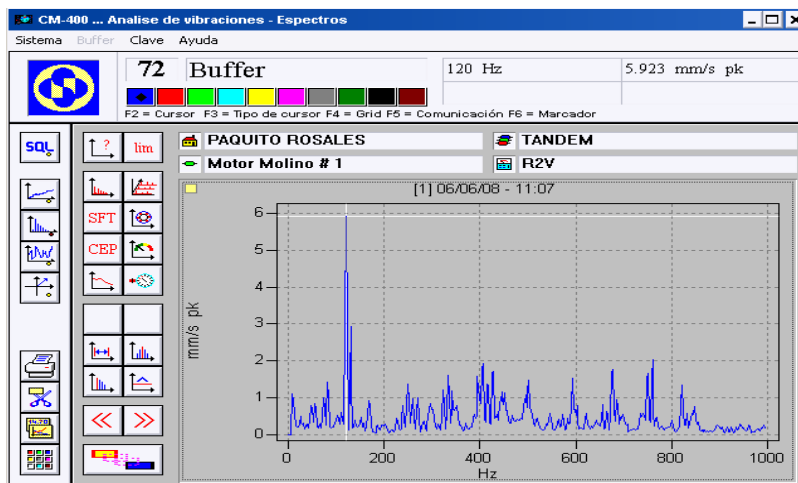
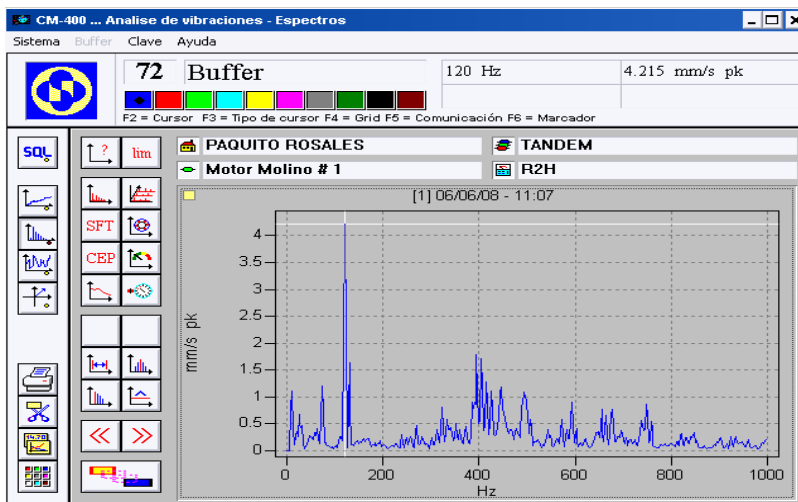
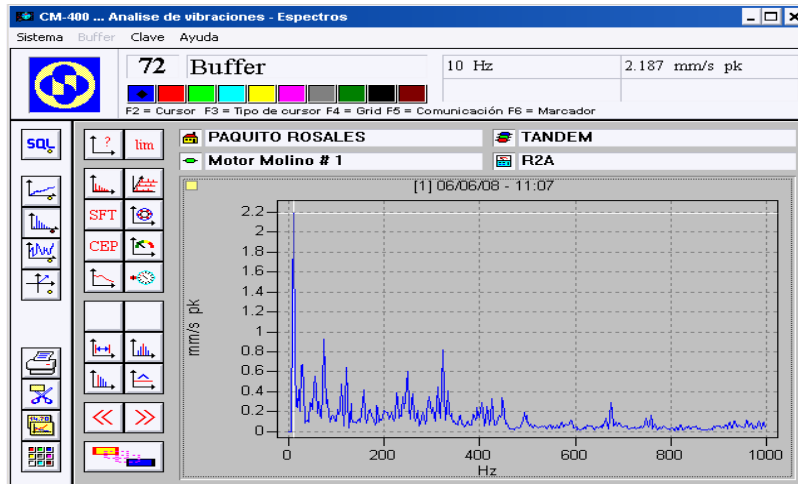
Una vez que se ha descargado todos los datos se procede a crear el banco de espectros, para la realización óptima de este trabajo solamente se analizarán y se expondrán espectros que estén sobrepasando los niveles de severidad, según nos indica la norma NC ISO 10816 - 3.

### 4.14.1 BANCO DE ESPECTROS DE VIBRACIÓN DEL MOTOR Y REDUCTOR DEL MOLINO N. 1

➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 1 Axial, Horizontal, Vertical.

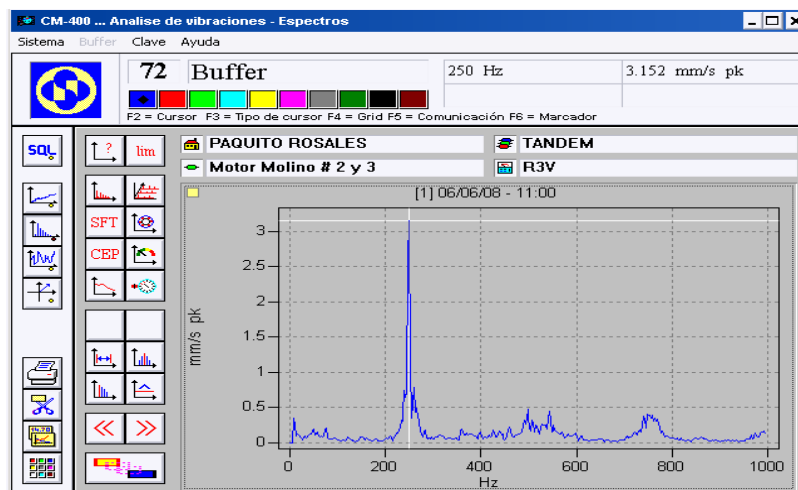
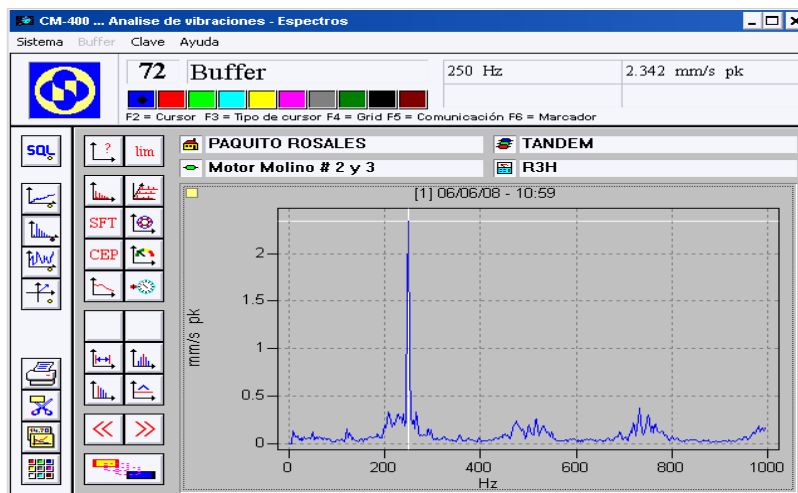
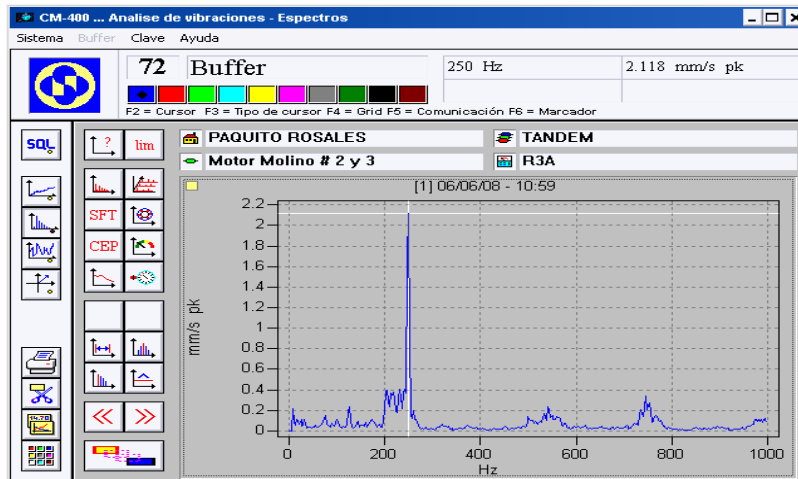


- Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 2 Axial, Horizontal, Vertical.

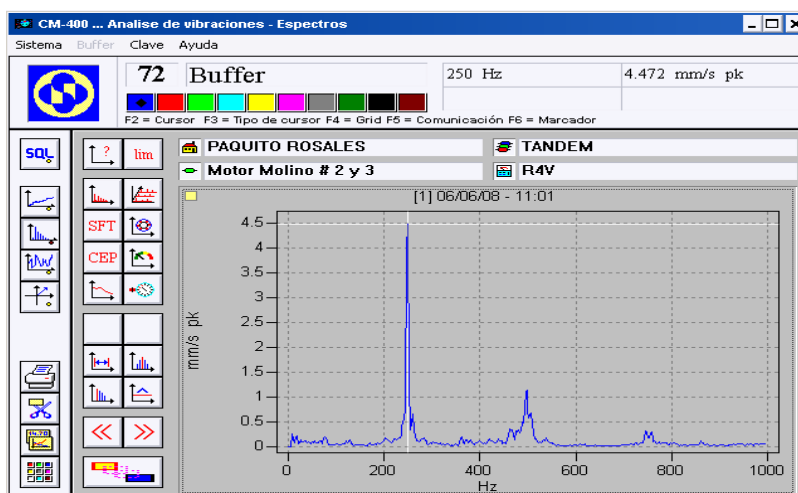
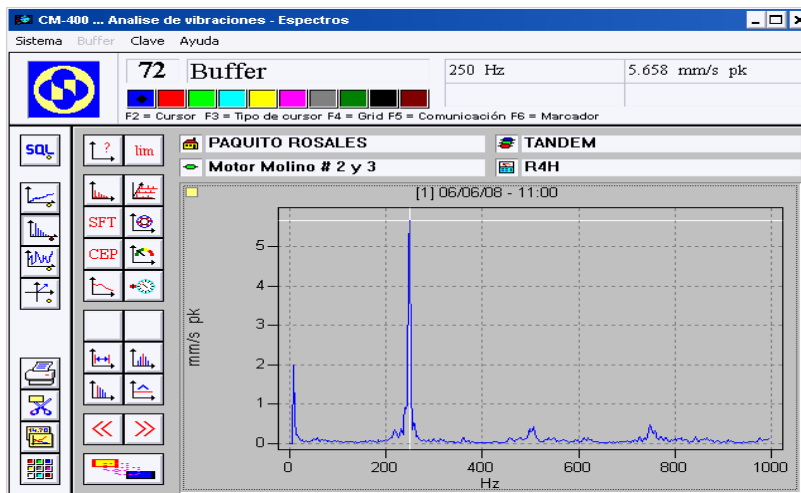
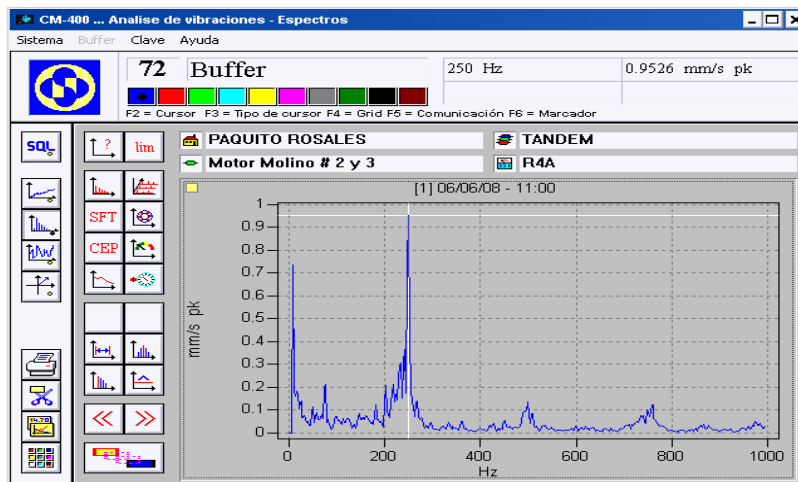


#### 4.14.2 BANCO DE ESPECTROS DE VIBRACIÓN DEL MOTOR Y REDUCTOR DEL MOLINO N. 2 Y 3

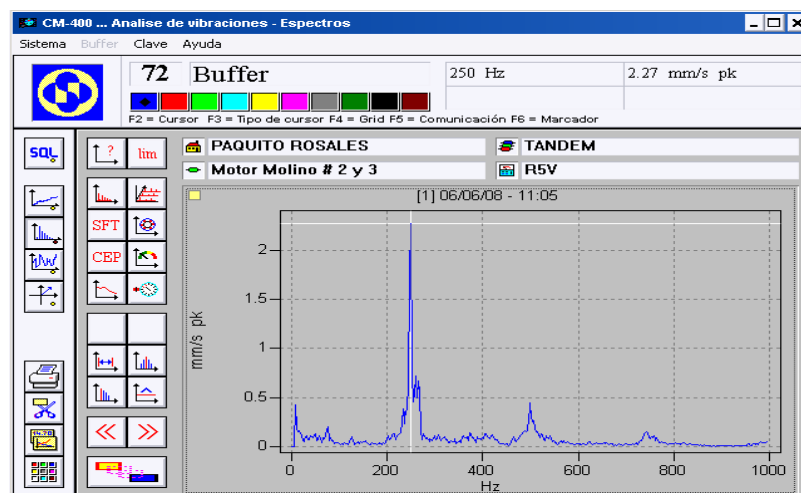
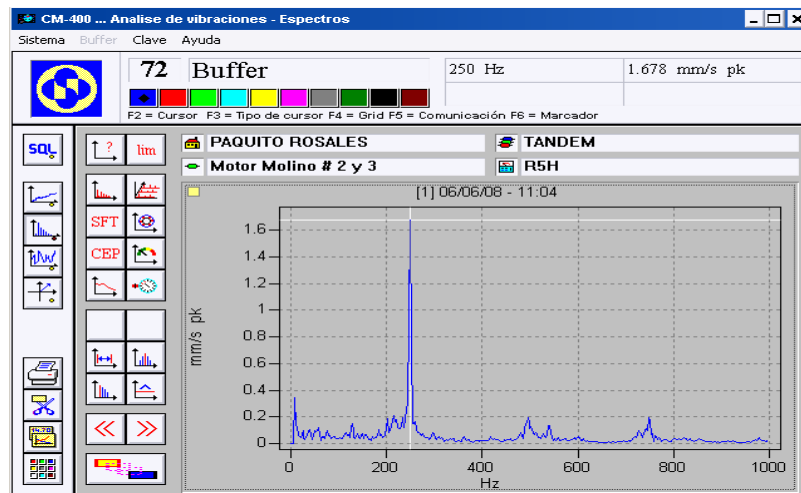
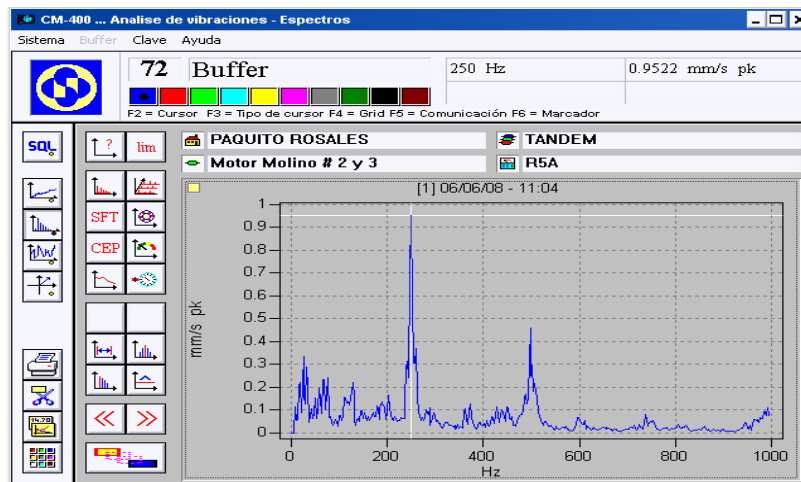
➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 3 Axial, Horizontal, Vertical.



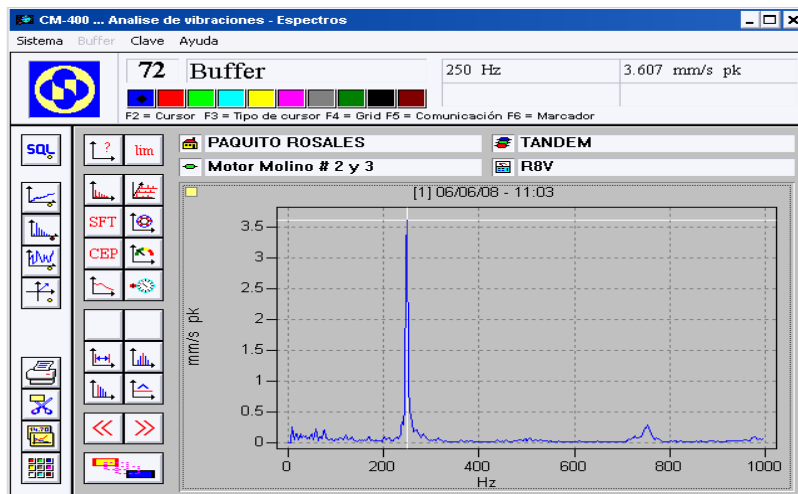
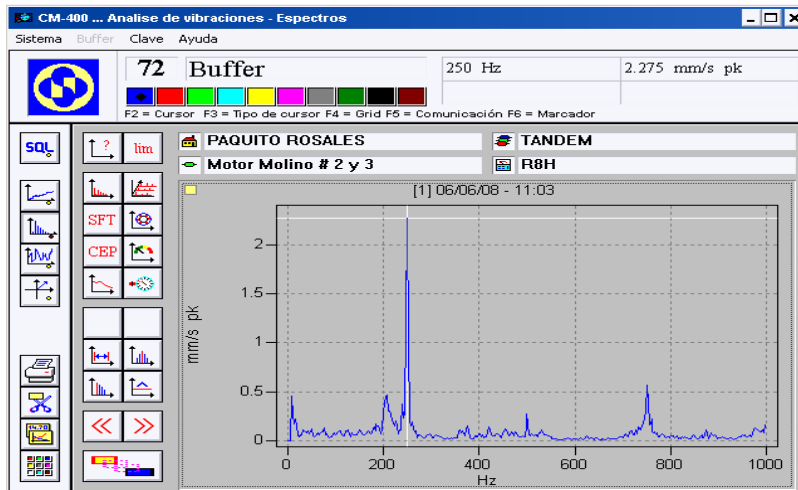
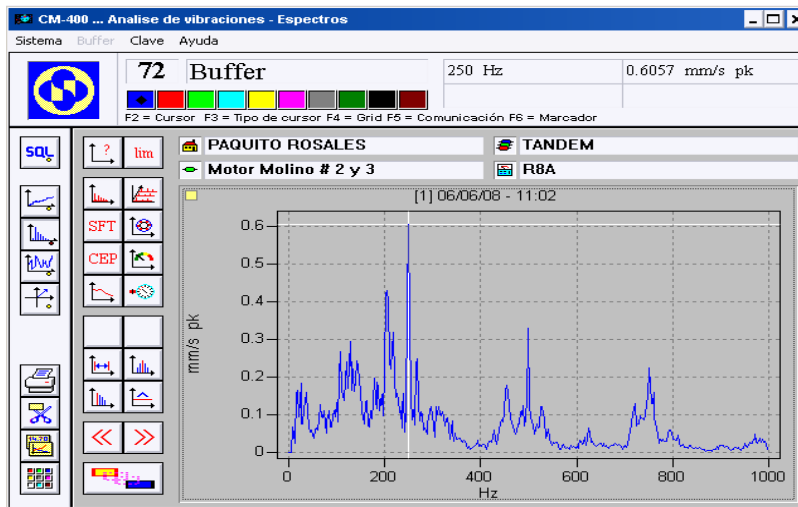
➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 4 Axial, Horizontal, Vertical



- Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 5 A xial, Horizontal, Vertical



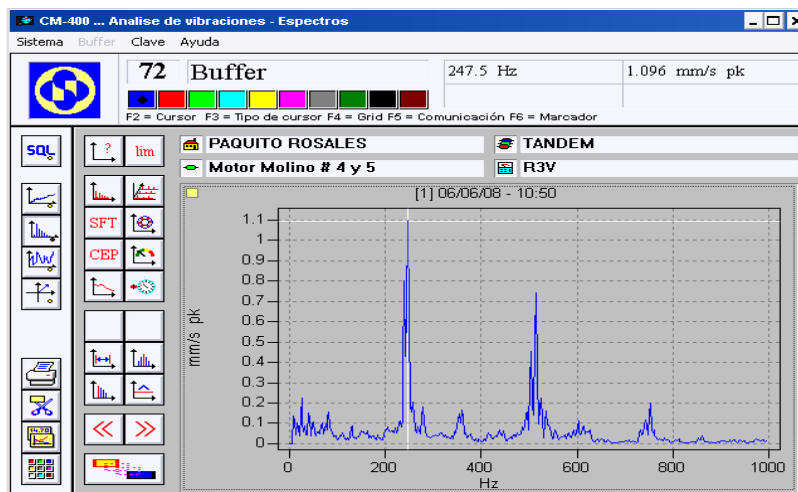
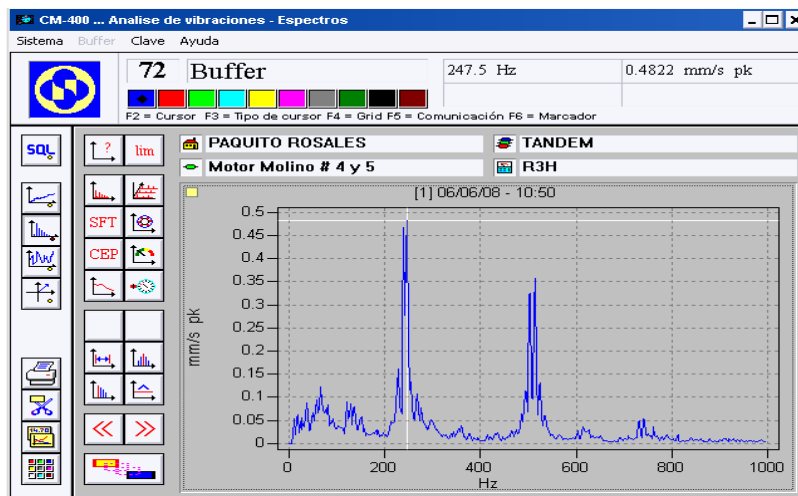
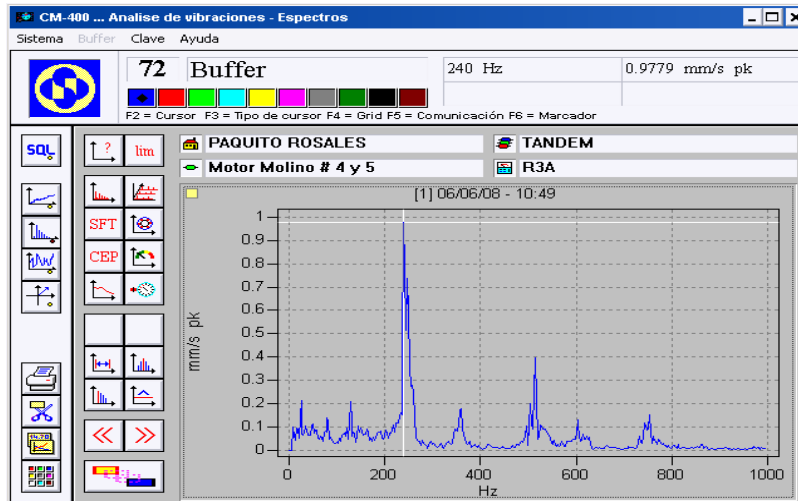
➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 8 Axial, Horizontal, Vertical



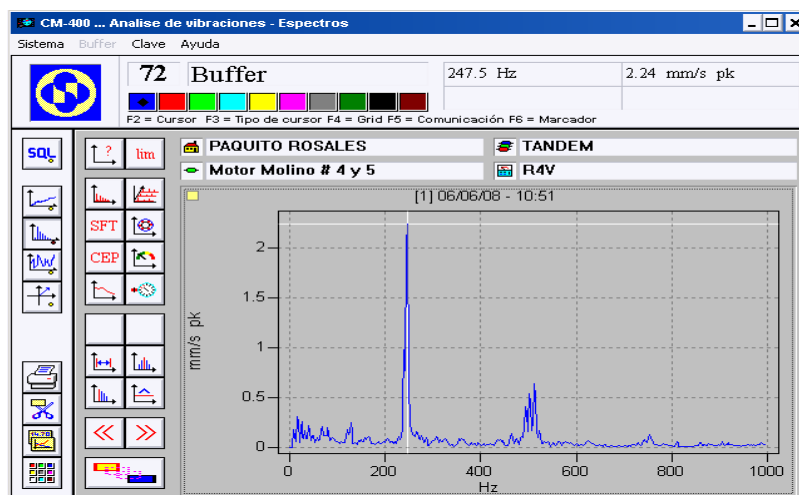
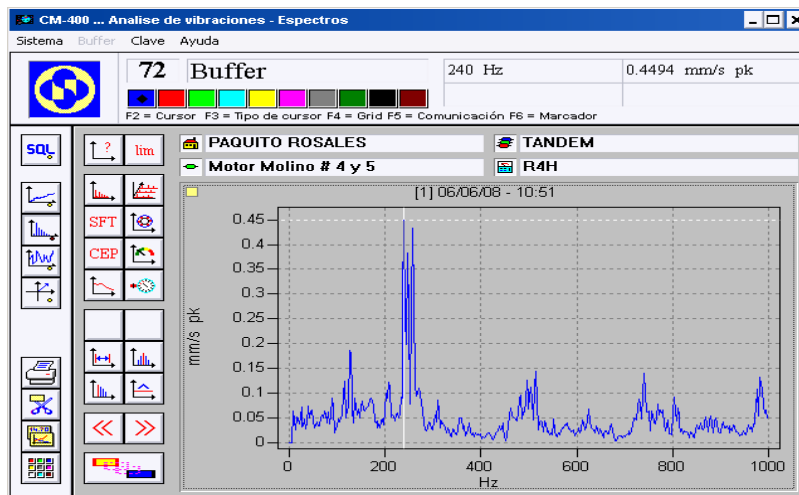
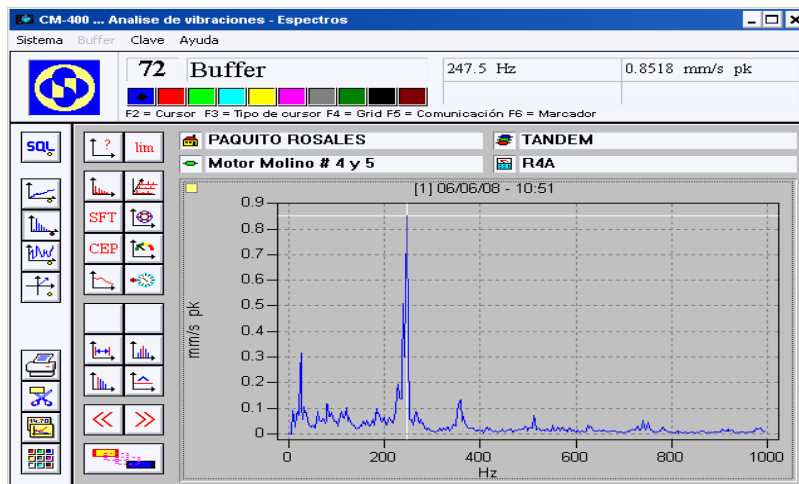


### 4.14.3 BANCO DE ESPECTROS DE VIBRACIÓN DEL MOTOR Y REDUCTOR DEL MOLINO N. 4 Y 5

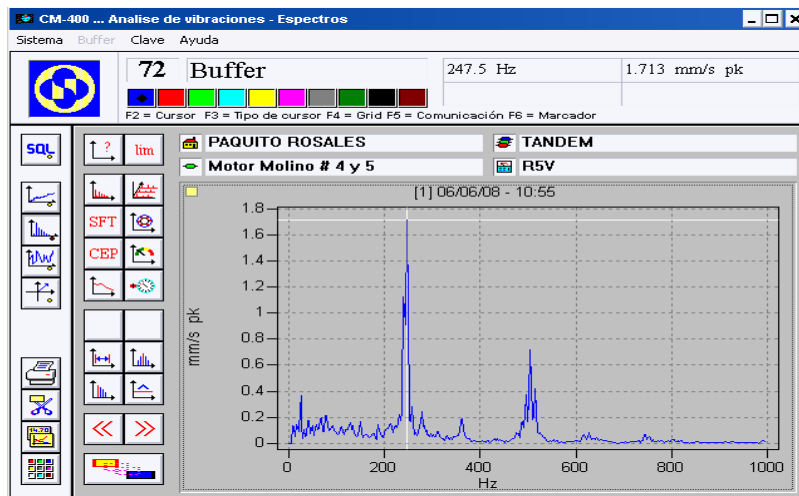
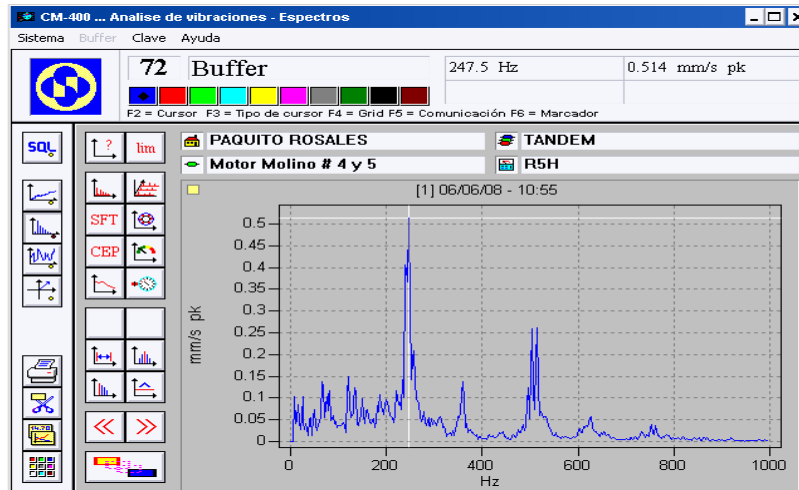
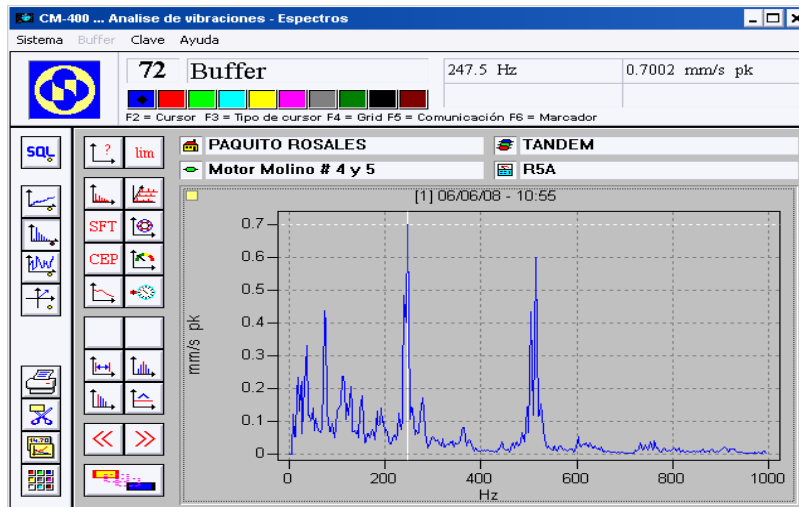
➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 3 Axial, Horizontal, Vertical



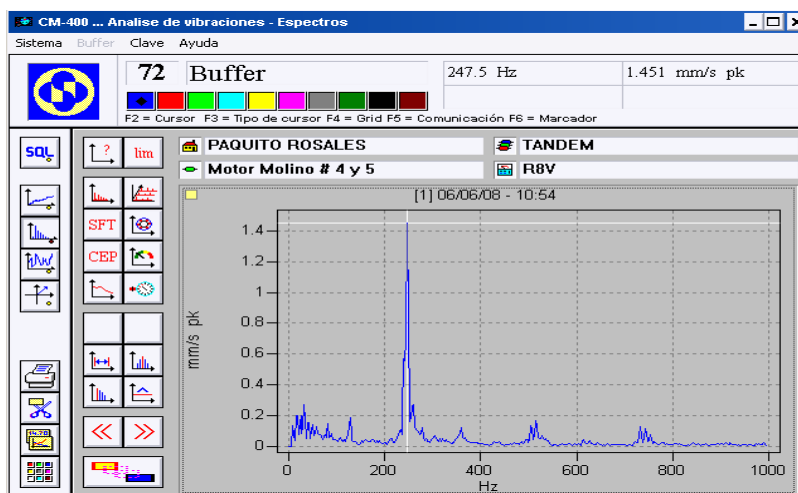
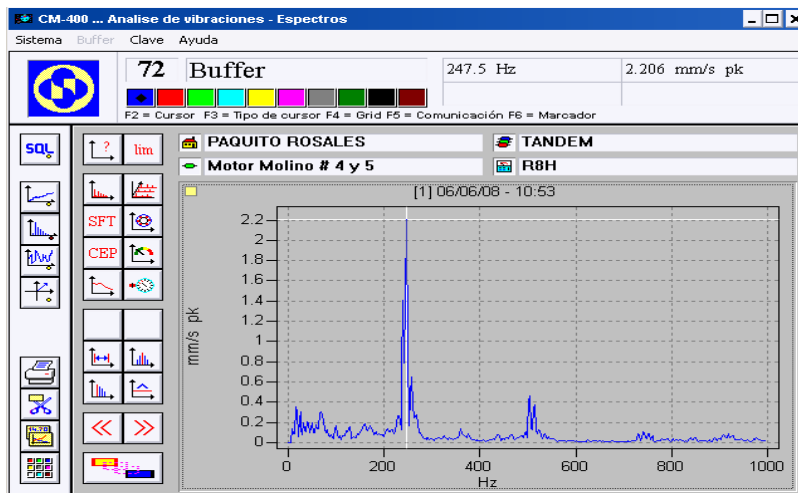
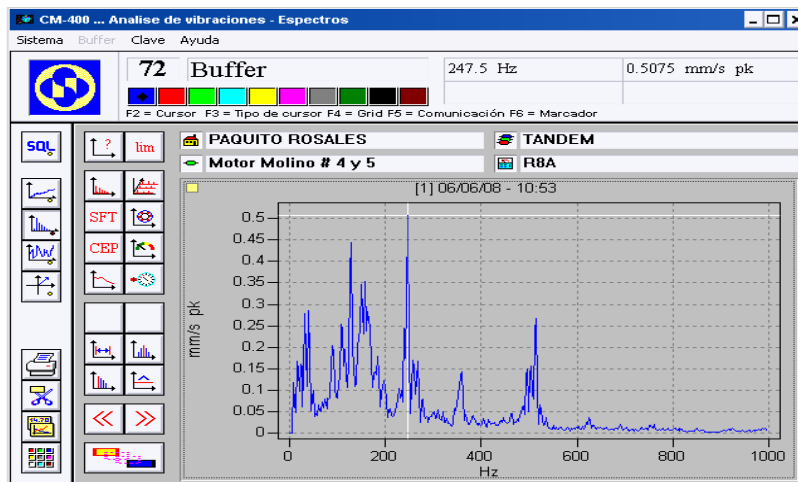
➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 4 Axial, Horizontal, Vertical



➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 5 A xial, Horizontal, Vertical



➤ Espectros de vibraciones que pertenece al punto N. 8 Axial, Horizontal, Vertical





## CAPITULO V

### 5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 ANÁLISIS DE ESPECTROS

Para analizar un espectro se deben tomar los siguientes parámetros:

- Se debe conocer la velocidad de giro del equipo evaluado
- Se observa el pico de vibración a la frecuencia de la velocidad de giro
- Observar el pico con mayor intensidad es decir mm/s en valor rms.
- Observar si posee picos en los segundos y terceros armónicos
- Verificar en las tablas las diferentes patologías y empezar la interpretación.

#### 5.1.1 CONSIDERACIONES DEL ANÁLISIS ESPECTRAL DE LAS MÁQUINAS ROTATORIAS

- La frecuencia indica: Cuál es el problema
- La Amplitud indica: Cuan severo es el problema

1.- Diferentes registros temporales pueden producir espectros similares. Existen varios defectos como por ejemplo: el desbalance, la excentricidad y la deformación por flexión en ejes que producen espectros similares sin embargo requieren acciones correctivas diferentes.

2.- Para algunas frecuencias sus correspondientes amplitudes pueden ser aceptables no siendo así para otras frecuencias pertenecientes al mismo espectro cuya presencia resulta síntoma de problemas graves.

3.- Si los armónicos u otros picos no superan la cuarta parte de la amplitud de 1X, el espectro se considera normal, siempre y cuando la amplitud a 1X se encuentre en los límites permisibles.

4.- Cuando en un espectro aparecen algunas de las frecuencias de rodamiento, esto significa que el rodamiento se encuentra en mal estado.

5.- Más de un problema puede reflejarse a la misma frecuencia.

6.- En una máquina pueden reflejarse problemas que son propiedad de otra máquina acoplada a esta o perteneciente al entorno.

7.- El análisis preciso de un problema a una frecuencia dada en muchos casos depende de la presencia de una o más frecuencias relacionadas con esta.

## 52 INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE BIENDOS EN LOS MOTORES Y REDUCTORES DE LOS MOLINOS

Motro punto	Band dominante	diagnostico	Causas	Recomendaciones
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertical a 120Hz con una severidad de 6,2mm/s.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Problema de fase eléctrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Laminas encrocircuito</li> <li>✓ Excentricidad en el espacio del aire</li> <li>✓ Hlgra en enrollamientos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Realizar una revisión de las fases del motor.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Axial a 10Hz con una severidad de 2,1mm/s.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A futuro desalineamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ El triente del acoplamiento no está perpendicular al eje de la flecha</li> <li>✓ Torque desigual en el acoplamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Realizar una alineación de precisión</li> <li>✓ Rectificar el torque del acoplamiento</li> </ul>
2y3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertical a Frecuencia de Engrane con una severidad de 4,472mm/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Excentricidad del engrane</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Carga dinámica producida por los molinos 2y3.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Reducir la carga dinámica producida por el molino</li> <li>✓ Alinear los engranes en especial el de activación</li> </ul>
4y5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertical a Frecuencia de Engrane con una severidad de 2,24mm/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A futuro excentricidad del engrane</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Carga dinámica producida por los molinos 4y5.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Reducir la carga dinámica producida por el molino</li> <li>✓ Alinear los engranes en especial el de activación</li> </ul>

En el cuadro anterior se tomaron en cuenta los puntos con mayor severidad en sus amónicos ya que tomando como referencia la norma ISO 10816 parte 3 los niveles de vibraciones para los motores están dentro del rango de severidad normal como se puede apreciar en la (figura: 24).

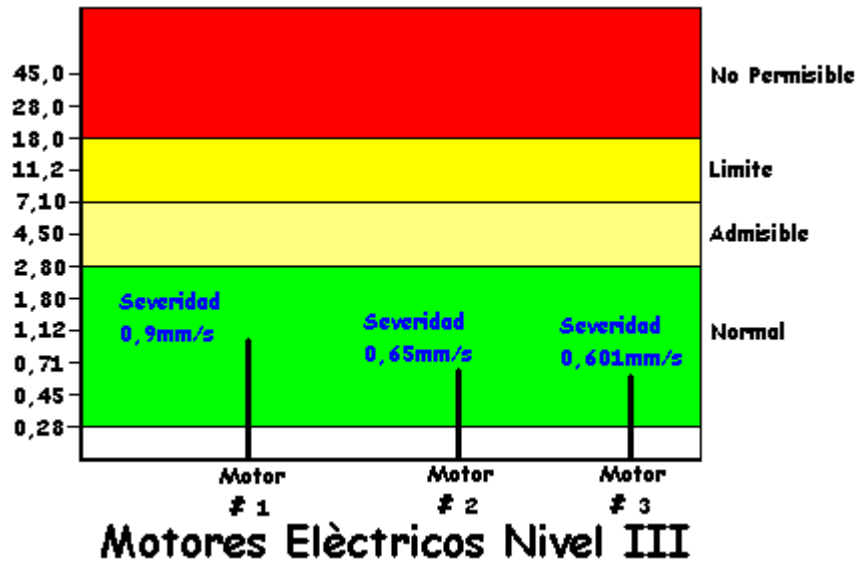


Figura 24: Nivel de vibraciones para los motores según la norma ISO 10816.

### 5.3 GUÍA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

#### GUÍA DE MANTENIMIENTO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD.

##### Cada semana.

- ✓ Revisar el nivel de aceite del reductor, y si es necesario reponerlo.
- ✓ Revisar si existen posibles fugas de aceite.
- ✓ Monitorear la temperatura.
- ✓ Realizar un monitoreo permanente de vibraciones si es necesario reducir la frecuencia de mediciones al mínimo posible en dependencia del nivel de criticidad del equipo.

##### Cada 3 meses.

- ✓ Revisar la alineación del grupo motor-reductor.
- ✓ Escuchar con un estetoscopio mecánico los ruidos del rodamiento y de los engranes.

##### Cada año.

- ✓ Revisión general del reductor.
- ✓ Revisar los conos.
- ✓ Revisar tazas (de preferencia cambiarlas).



- ✓ Revisar engranes y piñones.
- ✓ Revisar el apriete del cono sobre la flecha.
- ✓ Ajustar las flechas del reductor.
- ✓ Revisar la bomba de aceite y sus conductos.

#### **GUÍA DE MANTENIMIENTO DE UN MOTOR ELÉCTRICO.**

##### **Cada semana.**

- ✓ Inspección visual, medición del grado de humedad del ambiente de trabajo.
- ✓ Realizar un monitoreo permanente de vibraciones si es necesario reducir la frecuencia de mediciones al mínimo posible en dependencia del nivel de criticidad del equipo.

##### **Cada 3 meses.**

- ✓ Revisar la alineación del grupo motor-reductor.
- ✓ Escuchar con un estetoscopio mecánico los ruidos del rodamiento.
- ✓ Realizar un monitoreo de los parámetros eléctricos.
- ✓ Revisar el buen funcionamiento de escobillas.

##### **Cada año.**

- ✓ Realizar pruebas de aislamiento de las bobinas, colector, conexiones.

#### **5.4 CREACIÓN DE REPORTES**

La creación de reportes es una acción de suma importancia ya que con ello se lleva un control riguroso de la evolución de fallas que pueden presentarse en el activo, con la creación de los reportes se realiza una frecuencia de monitoreo y de reparación fundamentada, de acuerdo con la vida útil de los componentes del activo con ello reducir las paralizaciones imprevistas, minorando costos de Mantenimiento, aumentando al máximo la vida útil del activo.

## 5.5 DETERMINACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE DIAGNÓSTICO PREDICTIVO

El procedimiento para realizar diagnóstico se puede apreciar a continuación:

### 5.5.1 AUDITORIA DE MANTENIMIENTO

Estudio Técnico

Estudio Humano

Estudio Económico

Estudio de Necesidades

### 5.5.2 INVENTARIO DE EQUIPOS Y RECABACIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA

- Listado de máquinas e instalaciones
- Identificación de máquinas críticas
- Incidencias de producción
- Costos de reparación
- Influencias de seguridad operativa
- Condiciones de trabajo
- Historial de averías

### 5.5.3 BASE DE DATOS

- Información de máquinas o equipos
- ID máquina
- Descripción
- Características
- Parámetros de funcionamiento

#### 5.5.4 DEFINIR PUNTOS DE MEDICIÓN

- Diagramas de los equipos
- Identificar puntos de medición en los equipos
- Marcar los puntos de medición
- Determinar los niveles de referencia, alerta y alarma de cada equipo

#### 5.5.5 SELECCIÓN DEL SENSOR Y EQUIPO DE MEDICIÓN

- Tipo de sensor a utilizar
- Calibración del equipo de diagnóstico

#### 5.5.6 PERIODICIDAD Y RUTAS DE MEDIDAS

Según tres factores importantes:

- 1.- La criticidad del equipo bajo control
- 2.- El tiempo que tardan en desarrollarse los posibles problemas que se pueda presentar en cada equipo
- 3.-El número total de puntos a controlar

#### 5.5.7 MEDIDAS DE CAMPO

- Medidas de vibraciones.
- Recolección de datos

#### 5.5.8 INFORMES DE MEDIDAS

- Diagnóstico de problemas
- Ordenes de trabajo y retroalimentación

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

Una vez realizado el análisis de las técnicas de Mantenimiento predictivo utilizadas, la recopilación de datos de archivo, campo disponibles y habiendo contactado en varias ocasiones con técnicos e Ingenieros de las diferentes áreas del Ingenio "Paquito Rosales", se procedió a la determinación de una técnica de Mantenimiento predictivo para cada máquina que conforma las áreas de Basculador, Planta Moledora, Generación de Vapor, Planta Eléctrica y procediendo en la aplicación de una técnica de Mantenimiento predictivo al área con mayor criticidad. Con intención de dar respuesta al objetivo general de esta tesis. De dicho trabajo se puede concluir lo siguiente:

- ✓ El tiempo que se pierde una vez iniciada una zafra influye directamente en el rendimiento industrial, por eso la correcta planificación del Mantenimiento como paliativo a las roturas industriales, algún tipo de parada muy frecuente, juega un papel decisivo en la conservación de los principales índices de producción.
- ✓ La zona con mayor índice de criticidad desde el punto de vista del tiempo que se pierde durante una zafra, medido a través de las paralizaciones imprevistas y evaluado mediante la matriz de criticidad, es la Planta Moledora, con un total de 12 máquinas con un nivel crítico, 2 semi-crítico, y 20 no críticas.
- ✓ Para la determinación de la técnica de Mantenimiento Predictivo adecuada según cada máquina se tomó en cuenta el nivel de criticidad y la bitácora de fallas desde el año 2001 para tener una mayor información de las áreas analizadas.
- ✓ Después de la aplicación de la técnica de Mto. Predictivo "análisis de vibraciones" en los equipos críticos del área # 2 y de la interpretación de los espectros obtenidos se puede concluir:

- El molino # 1 presenta en el punto # 1 de la ruta, en dos de sus planos, armónicos con un nivel relativamente elevados con relación a las demás mediciones; En el plano vertical encontramos un armónico con severidad de 6,2 mm/s a una frecuencia de 120Hz dándonos como resultado un problema de fase eléctrica, las causas más probables son: laminas en corto circuito, excentricidad en el espacio del aire, holgura en enrollamientos, aconsejando realizar una revisión de las fases del motor; y en el plano axial encontramos un armónico con severidad de 2,1 mm/s a una frecuencia de 10Hz dándonos como resultado un desalineamiento a futuro, las causas más probables son: el frente del acoplamiento no esta perpendicular al eje, torque desigual en el acoplamiento, aconsejando realizar una alineación de precisión entre ejes, y rectificar el torque de los pernos del acople.
  
  - En los molinos # 2 y 3 presenta en el punto # 4 de la ruta, en el plano vertical del análisis un armónico con un nivel relativamente elevado con relación a las demás mediciones; observando un armónico con severidad de 4,472 mm/s a una frecuencia de 250Hz (frecuencia de engrane), dándonos como resultado un problema de excentricidad de engrane, la causa probables es: carga dinámica producida por los molinos 2 y 3, aconsejando reducir la carga dinámica producida por los molinos, alinear los engranes en especial el de activación.
  
  - En los molinos # 4 y 5 presenta en el punto # 4 de la ruta, en el plano vertical del análisis un armónico con un nivel relativamente elevado con relación a las demás mediciones; observando un armónico con severidad de 2,24 mm/s a una frecuencia de 250Hz (frecuencia de engrane), dándonos como resultado un problema a futuro de excentricidad de engrane, la causa probables es: carga dinámica producida por los molinos 2 y 3, aconsejando reducir la carga dinámica producida por los molinos, alinear los engranes en especial el de activación.
- ✓ Tomando en consideración el nivel de vibraciones para los motores según la norma ISO 10816, observamos que estos se encuentran dentro de los parámetros normales de severidad de vibración, lo cual no significa que se deban dejar de lado en el monitoreo de condiciones de funcionamiento.

- ✓ Tomando como referencia el análisis de vibraciones y la matriz de criticidad, se elaboro una guía de Monitoreo, para con ello llevar un control permanente de las variaciones de condición de los motores y reductores de la Empresa Azucarera Paquito Rosales y con ello realizar las acciones pertinentes antes de que aparezca una falla.
- ✓ La frecuencia del Mantenimiento está forzada por una parada tecnológica (oportunidad) impuesta por las necesidades de limpieza de los equipos de evaporación. No se puede definir si esa frecuencia es la correcta para los equipos de la Planta Molidora.
- ✓ La puesta en práctica de un sistema efectivo de recopilación y almacenaje de información de Mantenimiento es de vital importancia ya que está es una herramienta para conocer los modos de falla que ha presentado una máquina durante el tiempo operacional y poder realizar las acciones correspondientes para mantener su buen funcionamiento.
- ✓ Es importante considerar que la productividad de una industria aumentará en la medida que las fallas en las máquinas disminuyan de una forma sustentable en el tiempo. Para lograr lo anterior, resulta indispensable contar con la estrategia de Mantenimiento más apropiada y con personal capacitado tanto en el uso de las técnicas de análisis y diagnóstico de fallas implementadas como también con conocimiento suficiente sobre las características de diseño y funcionamiento de las máquinas.
- ✓ Con un plan de Mantenimiento predictivo se debe garantizar un correcto funcionamiento de los activos durante su operación, permitiendo establecer una mejor estrategia de explotación y Mantenimiento desde el punto de vista técnico-económico evitando paralizaciones no programadas.
- ✓ La evolución del estado técnico de las máquinas basado en el control vibratorio exige disponer de recursos humanos calificados, el aseguramiento técnico necesario y un sistema organizativo que garantice conocer en cada momento la evolución del estado técnico de las máquinas controladas.

## 6.2 RECOMENDACIONES.

A partir de los resultados obtenidos se recomienda:

- ✓ Imprimir plantillas con los datos necesarios para llevar un historial de fallas en cada maquinaria, ya que esta información es valiosa para la realización de futuras tendencias o análisis de fiabilidad.
- ✓ La implementación de un buen equipo de computación con su debida impresora para poder realizar los reportes del trabajo de manera formal.
- ✓ Realizar un estudio para averiguar las causas raíz, del incremento de las fallas en las distintas áreas de la Empresa Azucarera Paquito Rosales.
- ✓ Realizar un reacondicionamiento del plan de Mantenimiento Predictivo, en lo referente a las frecuencias de monitoreo y técnicas aplicables a cada grupo de máquinas.
- ✓ Llevar a cabo si es posible la adquisición del equipo para el análisis Termográfico, ya que el utilizado actualmente es un equipo para toma de lecturas puntuales, o concienciar al encargado de realizar estas mediciones para que realice mas de 3 tomas de medidas en cada instrumento, y llevar una bitácora con dichas mediciones para con ello realizar una tendencias de los cambios térmicos que presenta cada instrumento.
- ✓ Realizar un monitoreo de presiones en las máquinas hidráulicas, y a través de las líneas de conducción para con ello llevar un control riguroso, y evitar pérdidas de presión y minimizar los tiempos de fallas imprevistos en dichos equipos.
- ✓ Realizar un análisis y una reestructuración en el campo de Costos de Mantenimiento, ya que si en gran parte se deben a las paralizaciones imprevistas, también cabe anotar que algunos tiempos improductivos no se deben Recargar como perdida por Mantenimiento, puesto que en una u otra forma son tiempos improductivos de Producción, Mejora de calidad del producto o de factores externos al Mantenimiento.

- ✓ Difundir o concienciar a las autoridades de la Empresa Azucarera "PR" y del MINAZ, la importancia de las reparaciones, ya que con estas es que se puede garantizar un funcionamiento correcto sin fallas imprevistas por un tiempo determinado, siendo en este momento imposible dar una garantía sobre las reparaciones efectuadas por lo que una gran parte de los repuestos utilizados son sacados de equipos de Centrales que se encuentran en desuso o fuera de servicio.
  
- ✓ Se debe concienciar a las autoridades y a todo el personal involucrado en el Mantenimiento, sobre la importancia de este en la economía de la empresa.
  
- ✓ Dar una capacitación a los operarios de las diferentes maquinarias de la Empresa Azucarera "Paquito Rosales", sobre la importancia de la correcta operación de la maquinaria a su cargo, ya que por negligencia, desinterés o desconocimiento de la correcta manipulación de cada máquina se efectúan daños a las mismas.
  
- ✓ Dar a los técnicos de Mantenimiento de la Empresa Azucarera "Paquito Rosales", las herramientas necesarias para una excelente implementación del Mantenimiento Predictivo, entre estas herramientas se encuentran la activación de los módulos del Vibrotest 60 y los diferentes equipos requeridos según la categoría de la maquinaria a analizar.