



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“DIAGNÓSTICO Y DETERMINACIÓN DE  
PROBLEMAS EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA  
PLANTA PROCESADORA MODERNA ALIMENTOS  
S.A. MEDIANTE ANÁLISIS VIBRACIONAL  
UTILIZANDO EL EQUIPO VIBRACHECK ABG-200.”**

**CHOLANGO PIÑA DANIEL MOISÉS  
SANTOS MIRANDA JAIRO OLDEMAR**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2013**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2012-12-10

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**DANIEL MOISÉS CHOLANGO PIÑA**

---

Titulada:

**“DIAGNÓSTICO Y DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS EN LOS EQUIPOS  
CRÍTICOS DE LA PLANTA PROCESADORA MODERNA ALIMENTOS S.A.  
MEDIANTE ANÁLISIS VIBRACIONAL UTILIZANDO EL EQUIPO  
VIBRACHECK ABG-200.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Geovanny Novillo Andrade

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Germán Llamuca Moyota

---

Ing. Eduardo HernándezDávila  
ASESOR DE TESIS

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2012-12-10

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**JAIRO OLDEMAR SANTOS MIRANDA**

---

Titulada:

**“DIAGNÓSTICO Y DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS EN LOS EQUIPOS  
CRÍTICOS DE LA PLANTA PROCESADORA MODERNA ALIMENTOS S.A.  
MEDIANTE ANÁLISIS VIBRACIONAL UTILIZANDO EL EQUIPO  
VIBRACHECK ABG-200.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Geovanny Novillo Andrade  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Germán Llamuca Moyota

ASESOR DE TESIS

---

Ing. Eduardo Hernández Dávila

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** DANIEL MOISÉS CHOLANGO PIÑA

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DIAGNÓSTICO Y DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA PROCESADORA MODERNA ALIMENTOS S.A. MEDIANTE ANÁLISIS VIBRACIONAL UTILIZANDO EL EQUIPO VIBRACHECK ABG-200.”

**Fecha de Examinación:** 2013-12-03

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Fernando González Puente PRESIDENTE TRIBUNAL DEFENSA			
Ing. Germán Llamuca Moyota DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Eduardo Hernández Dávila ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Fernando González Puente  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** JAIRO OLDEMAR SANTOS MIRANDA

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DIAGNÓSTICO Y DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA PROCESADORA MODERNA ALIMENTOS S.A. MEDIANTE ANÁLISIS VIBRACIONAL UTILIZANDO EL EQUIPO VIBRACHECK ABG-200.”

**Fecha de Examinación:** 2013-12-03

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Fernando González Puente PRESIDENTE TRIBUNAL DEFENSA			
Ing. Germán Llamuca Moyota DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Eduardo Hernández Dávila ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Fernando González Puente  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, 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 de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Daniel Moisés Cholango Piña

---

Jairo Oldemar Santos Miranda

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto primordialmente a Dios por darme la vida y la inteligencia para cursar cada etapa de mi vida.

A las personas que me apoyaron y confiaron en mí en especial a mi madre Rosa que con su dedicación, paciencia y apoyo constante e incondicional, supo mantenerme en el camino del bien, es a ella a quien le debo la vida y lo que soy. A mis hermanos Patricio, Silvia, Jessy, David y Pablo quienes con su cariño siempre estuvieron apoyándome y hoy todos esos esfuerzos dieron sus frutos. Sin olvidar a mis compañeros que a pesar de las diferencias y dificultades que surgieron a lo largo de la carrera nos mantuvimos unidos y extendiéndonos la mano. Para los que estuvimos hasta el final Jairo, Gino, Patricio, Ángel, Manuel y Galo.

Daniel Cholango Piña

Este trabajo de tesis de grado está dedicado en primer lugar a Dios y a la Virgen del Rosario de Agua Santa por haberme brindado salud, vida y sabiduría para poder enfrentar con fortaleza todos los problemas y así conseguir mis objetivos.

A mis padres Gladys y Aníbal por ser el ejemplo de lucha, trabajo, perseverancia y dedicación que se reflejó en mí y me moldearon como persona, hijo y profesional, por su apoyo permanente e incondicional que siempre se hizo presente en los momentos más difíciles de mi carrera, por guiarme por el camino del bien y que con sus sabios consejos me ayudaron a culminar exitosamente mis estudios. A mi hermana Grace, mis primas Nelly y Aiquel que también les considero como unas hermanas gracias por haber estado junto a mí, por su apoyo, por la confianza y amistad que siempre hemos tenido. A todos ustedes que fueron mi inspiración y motivación yo sé que mil palabras no bastarán para agradecerles lo hecho por mí.

Jairo Santos Miranda

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de tesis en primer lugar nos gustaría agradecer a Dios por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado y hacer realidad este sueño tan anhelado.

Queremos hacer ostensible nuestro más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial al personal docente de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica por habernos encaminado en el sendero del conocimiento y otorgarnos experiencias en beneficio de nuestra formación profesional, en especial al Ing. Germán Llamuca y al Ing. Eduardo Hernández quienes con profunda vocación profesional guiaron el presente trabajo investigativo; además, agradecemos a la empresa Moderna Alimentos S.A por brindarnos todas las facilidades necesarias para la realización de la presente tesis de grado, al Tecnólogo Raúl Logroño y al personal del departamento de Mantenimiento.

A los amigos que nos acompañaron en el transcurso de esta etapa de la vida y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito un espacio de nuestras vidas.

Nuestra gratitud imperecedera a todas aquellas personas que de una u otra manera están presentes en estas líneas.

**Daniel Cholango PiñaJairo Santos Miranda**

# CONTENIDO

Pág.

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	<i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	Análisis vibracional en maquinaria industrial.....	4
2.2	Definición de vibración.....	4
2.3	Tipos de vibraciones.....	5
2.3.1	<i>Vibración libre</i> .....	5
2.3.2	<i>Vibración amortiguada</i> .....	5
2.3.3	<i>Vibración forzada</i> .....	5
2.4	Frecuencia natural.....	5
2.5	Resonancia.....	6
2.6	Desplazamiento, velocidad y aceleración de vibración.....	6
2.7	Medición de amplitud de vibración.....	7
2.8	<i>Selección de transductores</i> .....	8
2.8.1	<i>El transductor de proximidad</i> .....	8
2.8.2	<i>El transductor de velocidad</i> .....	9
2.8.3	<i>El acelerómetro</i> .....	9
2.9	Problemas vibracionales.....	10
2.9.1	<i>Desbalanceo</i> .....	10
2.9.1.1	<i>Tipos de desbalanceo</i> .....	11
2.9.2	<i>Desalineación</i> .....	12
2.9.2.1	<i>Tipos de desalineación</i> .....	13
2.9.3	<i>Rotor o eje pandeado</i> .....	14
2.9.4	<i>Soltura estructural o mecánica</i> .....	14
2.9.4.1	<i>Soltura de la máquina respecto a su base</i> .....	15
2.9.4.2	<i>Holguras del cojinete respecto al eje</i> .....	15
2.9.4.3	<i>Holguras del cojinete respecto al alojamiento</i> .....	15
2.9.5	<i>Fallas en engranajes</i> .....	16
2.9.5.1	<i>Desgaste en diente</i> .....	16
2.9.5.2	<i>Excentricidad y/o backlash</i> : .....	16
2.9.5.3	<i>Engranaje desalineado</i> .....	17
2.9.6	<i>Fallas en bandas y poleas</i> .....	17
2.9.6.1	<i>Distensión de bandas</i> .....	17
2.9.6.2	<i>Desalineación en poleas</i> .....	18
2.9.6.3	<i>Excentricidad de poleas</i> .....	18
2.9.6.4	<i>Resonancia de banda</i> .....	19

2.9.7	<i>Fallas en rodamientos</i> .....	19
2.9.7.1	<i>Falla en pista interna, externa y elemento rodante</i> .....	19
2.9.7.2	<i>Deterioro de jaula</i> .....	20
2.9.8	<i>Defectos en motores eléctricos</i> .....	21
2.10	Reglas para el análisis de espectros vibratoriales.....	22
2.10.1	<i>Ubicación de los puntos de prueba</i> .....	22
2.10.2	<i>Mediciones triaxiales</i> .....	22
2.10.3	<i>Orientación de los sensores de vibración</i> .....	23
2.11	Normas utilizadas para medición y evaluación de nivel de vibración.....	24
2.11.1	<i>Norma ISO 10816-3</i> .....	24
2.12	Criterios a tener en cuenta para la confección de la base de datos.....	26
2.12.1	<i>Criterios de severidad</i> .....	26
2.13	Indicadores técnicos de mantenimiento.....	31
2.13.1	<i>Tiempo promedio para fallar (TMEF)</i> .....	31
2.13.2	<i>Tiempo promedio para reparar (TMPR)</i> .....	31
2.13.3	<i>Disponibilidad (Ao)</i> .....	31
2.13.4	<i>Fiabilidad (Rt)</i> .....	31
2.14	Análisis de restricciones.....	32
2.14.1	<i>Definición de restricción</i> .....	32
2.14.2	<i>Pasos de focalización</i> .....	32
2.15	Análisis de criticidad.....	33
2.15.1	<i>Definición</i> .....	33
2.15.2	<i>Matriz y flujograma de criticidad</i> .....	33
2.16	Equipo de diagnóstico vibracional VibraCHECK ABG-200.....	36
2.16.1	<i>Descripción del equipo</i> .....	36
2.16.2	<i>Configuraciones y manejo</i> .....	37
2.16.3	<i>Características y ventajas</i> .....	38

### **3. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS EQUIPOS**

3.1	Contexto operacional de los equipos del sistema productivo.....	39
3.1.1	<i>Jerarquización del sistema</i> .....	39
3.1.2	<i>Descripción funcional del proceso</i> .....	40
3.1.2.1	<i>Zona de recepción y almacenaje</i> .....	41
3.1.2.2	<i>Zona de primera limpieza y acondicionamiento del trigo</i> .....	43
3.1.2.3	<i>Zona de segunda limpieza del trigo</i> .....	44
3.1.2.4	<i>Zona de molienda y sub-zona de aspiración neumática</i> .....	45
3.1.2.5	<i>Zona de transporte y empaque</i> .....	48
3.1.3	<i>Estado técnico de equipos</i> .....	49
3.1.4	<i>Descripción del proceso productivo de harina</i> .....	54
3.1.5	<i>Diagrama de proceso productivo</i> .....	55
3.1.6	<i>Personal</i> .....	56
3.1.6.1	<i>Turnos rotativos</i> .....	56
3.1.6.2	<i>Operaciones</i> .....	56
3.1.6.3	<i>Mantenimiento</i> .....	56
3.1.6.4	<i>Parámetros de calidad</i> .....	57
3.1.6.5	<i>Definición de los límites de los sistemas</i> .....	57

3.1.6.6	<i>Listado de componentes para cada sistema analizado</i> .....	57
3.2	Proceso actual de mantenimiento empleado en los equipos.....	60
3.2.1	<i>Plan de mantenimiento</i> .....	61
3.2.2	<i>Historial de averías</i> .....	63
3.3	Documentos actuales utilizados para mantenimiento.....	66
3.3.1	<i>Solicitud de trabajo de mantenimiento</i> .....	66
3.3.2	<i>Orden de trabajo</i> .....	66
3.3.3	<i>Egreso de bodega</i> .....	67
3.3.4	<i>Solicitud de materiales, herramientas y equipos</i> .....	68
3.3.5	<i>Procedimiento de operaciones de mantenimiento preventivo (POMP)</i> .....	69
3.3.6	<i>Control de ejecución de tareas</i> .....	69
3.3.7	<i>Check list para mantenimiento</i> .....	70
3.3.8	<i>Ingreso de repuestos a bodega</i> .....	70
3.4	Indicadores actuales de mantenimiento.....	71
3.5	Conclusiones de la gestión actual de mantenimiento.....	72
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS VIBRACIONAL DE LOS EQUIPOS DE LA PROCESADORA MODERNA ALIMENTOS S.A</b>	
4.1	Análisis de restricciones.....	74
4.2	Análisis de criticidad.....	76
4.3	Diseño de fichas técnicas de medición.....	84
4.4	Configuración del sistema.....	90
4.5	Creación de rutas de medición.....	92
4.6	Configuración de rutas de medición. ....	93
4.6.1	<i>Configuración de criterios de severidad (variables)</i> .....	97
4.7	Sentidos de medición.....	98
4.8	Identificación y determinación de los puntos de medición. ....	99
4.9	Transferencia de datos al equipo VibraCHECK ABG-200.....	104
4.9.1.	<i>Carga de rutas</i> .....	104
4.9.1.1	<i>Carga de rutas desde MAINTraq</i> .....	105
4.9.1.2	<i>Carga de máquinas desde MAINTraq</i> .....	107
4.10	Recopilación de datos.....	109
4.10.1	<i>Selección de puntos en el equipo</i> .....	109
4.10.2	<i>Grabación de mediciones</i> .....	109
4.11	Recopilación de medidas vibracionales.....	110
4.12	Transferencia de datos al software de vibraciones.....	111
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL</b>	
5.1	Resumen de análisis vibracional en Moderna Alimentos S.A.....	114
5.2	Análisis de tendencia y diagnóstico vibracional.....	118
5.2.1	<i>Tendencias y espectros obtenidos en disgregador DIV1-MJZE 01</i> .....	118
5.2.1.1	<i>Tendencias del punto 1 motor lado libre</i> .....	118
5.2.1.2	<i>Espectros del punto 1 motor lado libre</i> .....	119
5.2.1.3	<i>Tendencias del punto 2 motor lado acoplado</i> .....	121
5.2.1.4	<i>Espectros del punto 2 motor lado acoplado</i> .....	122

5.2.2	<i>Tendencia y espectros obtenidos en el disgregador C3-MJZE 02.....</i>	124
5.2.2.1	<i>Tendencias del punto 1 motor lado libre.....</i>	124
5.2.2.2	<i>Espectros del punto 1 motor lado libre.....</i>	125
5.2.2.3	<i>Tendencias del punto 2 motor lado acoplado.....</i>	126
5.2.2.4	<i>Espectros del punto 2 motor lado acoplado.....</i>	127
5.2.3	<i>Tendencia y espectros obtenidos en el disgregador C8- MJZE 03.....</i>	129
5.2.3.1	<i>Tendencias del punto 1 motor lado libre.....</i>	129
5.2.3.2	<i>Espectros del punto 1 motor lado libre.....</i>	130
5.2.3.3	<i>Tendencias del punto 2 motor lado acoplado.....</i>	132
5.2.3.4	<i>Espectro del punto 2 motor lado acoplado.....</i>	133
5.2.4	<i>Tendencia y espectros obtenidos en el disgregador C9- MJZE 04.....</i>	136
5.2.4.1	<i>Tendencias del punto 1 motor lado libre.....</i>	136
5.2.4.2	<i>Espectro del punto 1 motor lado libre.....</i>	137
5.2.5	<i>Tendencia y espectros obtenidos en la cepilladora MKLA 01.....</i>	139
5.2.5.1	<i>Tendencias del punto 1 motor lado libre.....</i>	139
5.2.5.2	<i>Espectros del punto 1 motor lado libre.....</i>	140
5.2.5.3	<i>Tendencias del punto 4 cilindro lado libre.....</i>	143
5.2.5.4	<i>Espectros del punto 4 cilindro lado libre.....</i>	144
5.2.6	<i>Tendencia y espectros obtenidos en el banco de molienda MDDL 01.....</i>	146
5.2.6.1	<i>Tendencias del punto 1 motor T1 lado libre.....</i>	146
5.2.6.2	<i>Espectros del punto 1 motor T1 lado libre.....</i>	147
5.2.6.3	<i>Tendencias del punto 2 motor T1 lado banda.....</i>	148
5.2.6.4	<i>Espectros del punto 2 motor T1 lado banda.....</i>	149
5.2.6.5	<i>Tendencias del punto 7 motor T2 lado libre.....</i>	152
5.2.6.6	<i>Espectros del punto 7 motor T2 lado libre.....</i>	153
5.2.6.7	<i>Tendencias del punto 8 motor T2 lado banda.....</i>	155
5.2.6.8	<i>Espectros del punto 8 motor T2 lado banda.....</i>	156
5.2.6.9	<i>Tendencias del punto 21 cilindro C2-G lado polea.....</i>	159
5.2.6.10	<i>Espectros del punto 21 cilindro C2-G lado polea.....</i>	160
5.2.6.11	<i>Tendencias de velocidad del punto 23 cilindro C2-H lado engranaje.....</i>	162
5.2.6.12	<i>Tendencias de envolvente del punto 23 cilindro C2-H lado engranaje.....</i>	163
5.2.6.13	<i>Espectros del punto 23 cilindro C2 H lado engranaje.....</i>	164
5.2.7	<i>Tendencia y espectros obtenidos en el soplante neumático SOPL 02.....</i>	166
5.2.7.1	<i>Tendencias del punto 3 Lóbulo “A” Lado Polea.....</i>	166
5.2.7.2	<i>Espectros de velocidad del punto 3 lóbulo “A” lado polea.....</i>	167
5.2.7.3	<i>Espectros de envolvente del punto 3 lóbulo “A” lado polea.....</i>	169
5.2.7.4	<i>Tendencias de envolvente del punto 4 lóbulo “A” lado engranaje.....</i>	171
5.2.7.5	<i>Espectros de velocidad del punto 4 lóbulo “A” lado engranaje.....</i>	172
5.2.7.6	<i>Espectros de envolvente del punto 4 lóbulo “A” lado engranaje.....</i>	174
5.3	<i>Elaboración y emisión de informes.....</i>	176
5.3.1	<i>Partes del informe.....</i>	176
5.4	<i>Ventajas de utilizar el análisis de vibraciones.....</i>	178
5.5	<i>Indicadores de mantenimiento actualizados.....</i>	179
5.6	<i>Cálculo de la frecuencia óptima para inspecciones predictivas en equipos críticos de Moderna Alimentos S.A.....</i>	182

<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1	Conclusiones.....	192
6.2	Recomendaciones.....	194

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

### Pág.

1	Tipos de sensores y sus variables.....	8
2	Característica de los defectos eléctricos.....	21
3	Desplazamiento de la vibración ( $\mu\text{m}$ , rms).....	26
4	Velocidad de la vibración mm/s, rms.....	27
5	Criterios de severidad del nivel global de la vibración (mm/s, rms).....	28
6	Severidad en el parámetro de vibración.....	30
7	Envolvente de la vibración gE.....	30
8	Matriz de criticidad.....	34
9	Rangos para velocidad y desplazamiento.....	37
10	Criterios para determinar el estado técnico.....	50
11	Estado técnico de zaranda criba de tambor.....	51
12	Estado técnico de zaranda combi-cleaner.....	52
13	Estado técnico de transportador de cadena T6.....	53
14	Inventario técnico de máquinas de laPlanta “CAJABAMBA MOLINO 1”.....	58
15	Plan de mantenimiento.....	62
16	Historial de averías de Moderna Alimento S.A.....	64
17	Análisis de criticidad.....	77
18	Tabla de resultados de análisis de criticidad.....	84
19	Ficha técnica y datos de referencia vibracional de cepilladora MKLA01.....	85
20	Ficha técnica y datos de referencia vibracional de banco de molienda.....	86
21	Ficha técnica y datos de referencia vibracional soplante neumático de harina.....	87
22	Ficha técnica y datos de referencia vibracional disgregador MJZE.....	88
23	Ficha técnica y datos de referencia vibracional ventilador general ciclón.....	89
24	Resumen de análisis vibracional.....	144
25	Rangos admisibles para evaluación de severidad.....	117
26	Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de DIV1-MJZE 01.....	118
27	Interpretación de valores en velocidad RMS lado acoplado de DIV1-MJZE 01....	121
28	Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de C3-MJZE 03.....	124
29	Interpretación de valores en velocidad RMS lado acoplado de C3-MJZE 03.....	127
30	Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de C8-MJZE 02.....	130
31	Interpretación de valores en velocidad RMS lado acoplado de C8-MJZE 02.....	133
32	Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de C9-MJZE 04.....	136
33	Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de MKLA 01.....	139
34	Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de MKLA 01.....	141
35	Interpretación de valores en velocidad RMS T1 lado libre de MDDL 01.....	146
36	Interpretación de valores en velocidad RMS T1 lado banda de MDDL 01.....	149
37	Interpretación de valores en velocidad RMS T2 lado libre de MDDL 01.....	152
38	Interpretación de valores en velocidad RMS T2 lado banda de MDDL 01.....	156
39	Interpretación de valores en velocidad RMS C2-G lado polea de MDDL 01.....	159
40	Interpretación de valores en velocidad RMS C2-H lado engranaje de MDDL 01..	162
41	Interpretación de valores en envolvente RMS C2-H lado engranaje de MDDL 01	163

42	Interpretación de valores en velocidad RMS lóbulo A lado polea de SOPL 02.....	166
43	Interpretación de valores en envolvente RMS lóbulo B lado libre de SOPL 02.....	171
44	Evaluación de niveles de vibración.....	176
45	Evaluación de atención requerida.....	176
46	Modelo de informe de análisis vibracional.....	177

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.		
1		Espectro de vibración.....	4
2		Vibración amortiguada.....	5
3		Sistema masa-resorte con una viga articulada.....	6
4		Frecuencia natural.....	6
5		Vibraciones y sus amplitudes.....	7
6		Sensor de proximidad.....	8
7		Sensor de velocidad.....	9
8		Acelerómetro.....	9
9		Pieza fundida con desbalance intrínseco.....	10
10		Apariencia espectral del desbalanceo.....	11
11		Desbalanceo estático.....	11
12		Desbalanceo dinámico.....	12
13		Rotor colgante.....	12
14		Tipos de desalineación.....	12
15		Desalineación paralela.....	13
16		Desalineación angular.....	13
17		Rotor o eje pandeado.....	14
18		Soltura estructural o mecánica.....	14
19		Espectro identificativo de holgura entre el aro interior del rodamiento y el eje.....	15
20		Espectro característico de holgura de rodamiento respecto al alojamiento.....	15
21		Engrane desgaste de dientes.....	16
22		Engrane excentricidad y/o backlash.....	17
23		Engrane desalineado.....	17
24		Distensión de bandas y poleas.....	18
25		Desalineación en poleas.....	18
26		Excentricidad de poleas.....	19
27		Resolución de bandas.....	19
28		Falla en pista interna.....	20
29		Falla en pista externa.....	20
30		Falla en elementos rodantes.....	20
31		Deterioro de jaula.....	21
32		Espectro característico de defectos en motores eléctricos.....	21
33		Ubicación de puntos de prueba.....	22
34		Mediciones triaxiales.....	23
35		Máquina de ejes horizontal y vertical.....	23
36		Puntos de medición de vibraciones.....	23
37		Flujograma de criticidad.....	35
38		Analizador vibracional VibraCHECK ABG-200.....	36
39		Presentación del menú del equipo y sus opciones.....	37
40		Planta Moderna Alimentos S.A.....	40
41		Jerarquización a nivel de componente.....	40

42	Recepción y almacenaje del trigo.....	42
43	Limpieza y acondicionamiento del trigo.....	43
44	Limpieza del trigo.....	44
45	Zona de molienda y sub-zona de aspiración.....	46
46	Zona de transporte y empaque.....	48
47	Área de empaque.....	49
48	Proceso de producción de harina.....	54
49	Diagrama de proceso productivo de harina.....	55
50	Diagrama de Entrada Proceso Salida (EPS) .....	55
51	Organigrama del departamento de mantenimiento.....	56
52	Sello de parámetro de calidad.....	57
53	Programa de mantenimiento SisMAC. ....	61
54	Solicitud de servicio de mantenimiento.....	66
55	Orden de trabajo para mantenimiento.....	67
56	Hoja de egreso de bodega.....	68
57	Solicitud de materiales, herramientas y equipos.....	68
58	Procedimiento de operaciones de mantenimiento preventivo (POMP).....	69
59	Control de ejecución de tareas.....	69
60	Check list para mantenimiento.....	70
61	Ingreso de repuestos a bodega.....	71
62	Velocidades del sistema de producción.....	74
63	Creación de la base de datos (paso 1) .....	90
64	Creación de la base de datos (paso 2) .....	91
65	Creación de la base de datos (paso 3) .....	91
66	Creación de las rutas de medición. ....	92
67	Configuración de las rutas de medición (paso 1) .....	93
68	Configuración de las rutas de medición (paso 2) .....	94
69	Configuración de las rutas de medición (paso 3) .....	95
70	Configuración de las rutas de medición (paso 4) .....	96
71	Configuración de las rutas de medición (paso 5) .....	96
72	Configuración de las rutas de medición (paso 6) .....	97
73	Sentidos de medición.....	99
74	Identificación y determinación de puntos en los rodillos de banco MDDL.....	100
75	Identificación y determinación de puntos en los motores de banco MDDL.....	101
76	Identificación y determinación de puntos en ventilador general MHTL.....	102
77	Identificación y determinación de puntos soplante neumático SOPL.....	102
78	Identificación y determinación de puntos en disgregadores MJZE.....	103
79	Identificación y determinación de puntos en cepilladora MKLA.....	104
80	Transferencia de datos al equipo VibraCHECK ABG-200.....	105
81	Configuración de rutas de medición (paso 7) .....	106
82	Configuración de rutas de medición (paso 8) .....	106
83	Configuración de rutas de medición (paso 9) .....	107
84	Configuración de rutas de medición.....	108
85	Configuración de rutas de medición.....	108

86	Toma de medidas vibracionales.....	110
87	Toma de medidas vibracionales.....	110
88	Transferencia de datos al software MAINTraQ Predictive.....	111
89	Visualización a nivel de equipos.....	112
90	Visualización a nivel de puntos.....	113
91	Tendencias punto1 motor lado libre (vertical y horizontal).....	118
92	Espectro punto 1 motor lado libre vertical.....	119
93	Espectro punto 1 motor lado libre horizontal.....	119
94	Tendencias punto 2 motor lado acoplado (vertical, horizontal y axial).....	121
95	Espectro punto 2 motor lado acoplado vertical.....	122
96	Espectro punto 2 motor lado acoplado horizontal.....	122
97	Espectro punto 2 motor lado acoplado axial.....	123
98	Tendencias punto 1 motor lado libre (vertical y horizontal).....	124
99	Espectro punto 1 motor lado libre vertical.....	125
100	Espectro punto 1 motor lado libre horizontal.....	125
101	Tendencias punto 2 motor lado acoplado (vertical, horizontal y axial).....	126
102	Espectro punto 2 motor lado acoplado vertical.....	127
103	Espectro punto 2 motor lado acoplado horizontal.....	128
104	Espectro punto 2 motor lado acoplado axial.....	128
105	Tendencias punto 1 motor lado libre (vertical y horizontal).....	129
106	Espectro punto 1 motor lado libre vertical.....	130
107	Espectro punto 1 motor lado libre horizontal.....	131
108	Tendencias punto 2 motor lado acoplado (vertical, horizontal y axial).....	132
109	Espectro punto 2 motor lado acoplado vertical.....	133
110	Espectro punto 2 motor lado acoplado horizontal.....	134
111	Espectro punto Motor lado acoplado axial.....	134
112	Tendencias punto 1 motor lado libre (vertical y horizontal).....	136
113	Espectro punto 1 motor lado libre vertical.....	137
114	Espectro punto 1 motor lado libre horizontal.....	137
115	Tendencias punto 1 motor lado libre (vertical horizontal y axial).....	139
116	Espectro punto 1 Motor lado libre vertical.....	140
117	Espectro punto 1 motor lado libre horizontal.....	140
118	Espectro punto 1 motor lado libre axial.....	141
119	Espectro de envolvente punto 1 motor lado libre vertical.....	142
120	Tendencias punto 4 cilindro lado libre (vertical, horizontal y axial).....	143
121	Espectro punto 4 cilindro lado libre vertical.....	144
122	Espectro punto 4 cilindro lado libre horizontal.....	144
123	Espectro punto 4 cilindro lado libre axial.....	145
124	Tendencias punto 1 motor T1 lado libre (vertical y horizontal).....	146
125	Espectro punto 1 motor T1 lado libre vertical.....	147
126	Espectro punto 1 motor T1 lado libre horizontal.....	147
127	Tendencias punto 2 motor T1 lado banda (vertical, horizontal y axial).....	148
128	Espectro punto 2 motor T1 lado banda vertical.....	149
129	Espectro punto 2 motor T1 lado banda horizontal.....	150
130	Espectro punto 2 motor T1 lado banda axial.....	150
131	Tendencias punto 7 motor T2lado libre (vertical horizontal y axial).....	152

132	Espectro punto 7 motor T2 lado libre vertical.....	153
133	Espectro punto 7 motor T2 lado libre horizontal.....	153
134	Espectro punto 7 motor T2 lado libre axial.....	154
135	Tendencias punto motor T2 lado banda (vertical horizontal y axial).....	155
136	Espectro punto 8 motor T2 lado banda vertical.....	156
137	Espectro punto 8 motor T1 lado banda horizontal.....	157
138	Espectro punto 8 motor T1 lado banda axial.....	157
139	Tendencias en velocidad del punto 21, cilindro C2-G lado polea.....	159
140	Espectro de velocidad del punto 21, cilindro C2-G lado polea vertical.....	160
141	Espectro de velocidad del punto 21, cilindro C2-G lado polea horizontal.....	160
142	Espectro de envolvente punto 21, cilindro C2-G lado polea vertical.....	161
143	Tendencias de velocidad punto 23, cilindro C2-H lado engranaje.....	162
144	Tendencias en aceleración del punto 23, cilindro C2-H lado engranaje.....	163
145	Espectro de velocidad del punto 23, cilindro C2-H lado engrane vertical.....	164
146	Espectro de velocidad del punto 23, cilindro C2-H lado engrane axial.....	164
147	Espectro de envolvente punto 23, cilindro C2-H lado libre vertical.....	165
148	Tendencias en envolvente del punto 3, lóbulo "A" lado polea.....	166
149	Espectro de velocidad del punto 3, lóbulo "A" lado polea vertical.....	167
150	Espectro de velocidad del punto 3, lóbulo "A" lado polea horizontal.....	167
151	Espectro de velocidad del punto 3, lóbulo "A" lado polea axial.....	168
152	Espectro de envolvente punto 3, lóbulo "A" lado polea vertical.....	169
153	Espectro de envolvente punto 3, lóbulo "A" lado polea horizontal.....	169
154	Espectro de aceleración punto 3, lóbulo "A" lado polea axial.....	170
155	Tendencias en envolvente n del punto 4, lóbulo "A" lado engranaje.....	171
156	Espectro de velocidad del punto 4, lóbulo "A" lado engranaje vertical.....	172
157	Espectro de velocidad del punto 4, lóbulo "A" lado engranaje horizontal.....	172
158	Espectro de velocidad del punto 4, lóbulo "A" lado engranaje axial.....	173
159	Espectro de envolvente punto 4, lóbulo "A" lado engranaje vertical.....	174
160	Espectro de envolvente punto 4, lóbulo "A" lado engranaje horizontal.....	174
161	Espectro de aceleración punto 4, lóbulo "A" lado engranaje axial.....	175

## LISTA DE ABREVIACIONES

ISO 2041	Norma para monitoreo de vibraciones mecánicas – Vocabulario.
ISO 10816-3	Norma para la evaluación de la vibración en equipos rotativos y se basa en la potencia de trabajo.
ISO 2372	Norma para evaluación de la vibración mecánica de máquinas con velocidades de operaciones entre 100 y 200 rev/s.
ISO 3945	Norma para medición y evaluación de la severidad de vibración mecánica en maquinaria rotativa grande con rango de velocidad de 10 a 200 r/s.
Fn	Frecuencia natural.
GMF	Frecuencia de engrane.
BPFO	Frecuencia de defecto en la pista exterior (Ball Pass Frequency of the Outer).
BSF	Frecuencia de paso de los elementos rodantes (Ball Spin Frequency).
BPFI	Frecuencia de defecto en la pista interior (Ball Pass Frequency, Inner race).
FTF	Frecuencia fundamental de la jaula o tren (Fundamental train frequency).
IEPE	Piezoelectrico integrado electrónico (Integrated Electronics Piezoelectric).
SisMAC	Sistema de mantenimiento asistido por computador.
TMPR	Tiempo medio para reparar.
TMEF	Tiempo medio entre fallos.
TOC	Teoría de restricciones (Theory of Constraints).

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Resumen de reglas para el análisis de espectros en velocidad.
- B** Cartas de CHARLOTTE P.C para la interpretación de espectros.
- C** Tareas de mantenimiento ejecutado por la empresa

## GLOSARIO

**AISLAMIENTO.** Una reducción en la intensidad del movimiento, normalmente por un soporte elástico. Un soporte elástico o aislante atenúa los golpes. Un montaje antivibratorio o aislante atenúa la vibración estable.

**ANÁLISIS DE TENDENCIA.** La tendencia se puede definir como una representación gráfica de una variable respecto al tiempo y se trata de mediciones periódicas que se realiza a una máquina para obtener la tendencia de los valores de vibración en las mismas. Con el análisis de tendencia se puede también determinar el momento de posible rotura tomando como referencia el valor máximo permisible del nivel vibración.

**ANÁLISIS ESPECTRAL.** Es la interpretación que se le hace a un espectro para determinar el significado físico de lo que pasa en una máquina.

**ARMÓNICO.** Son frecuencias de vibración que son múltiples integrales de una frecuencia fundamental específica.

**BACKLASH.** Juego que presentan dos elementos móviles conectados que han tenido mal montaje y presentan desgaste.

**BANDAS LATERALES.** Son líneas espectrales que aparecen espaciadas a igual frecuencia, alrededor de una línea central. Esta es la mezcla de dos señales, en la cual la línea central pertenece a una y las líneas laterales pertenecen a la otra.

**CENTRO DE GRAVEDAD.** Es la representación de la masa de un cuerpo en un punto.

**DIAGNÓSTICO.** Proceso por medio del cual se juzga el estado de una máquina.

**ENVOLVENTE.** La aceleración envolvente, algunas veces referida como demodulación, espectro de pulso de golpe, o el espectro de energía de pico, es una técnica de procesamiento de señal sumamente útil, principalmente utilizada para detectar problemas del elemento rodante de los cojinetes en las etapas tempranas del daño.

**EXCENRICIDAD.** Variación del centro de rotación del eje con respecto al centro geométrico del rotor.

**FACTOR DE SERVICIO.** Factor que corrige niveles normalizados, para máquinas que se encuentran a condiciones especiales de operación.

**FASE.** Es un retardo en el tiempo de dos señales, expresado en grados de rotación.

**FOTOTACÓMETRO.** Es un dispositivo que mide la velocidad de un objeto sin tener contacto directo con el mismo.

**FRECUENCIA DE LÍNEA (FL).** Es la frecuencia eléctrica de alimentación del motor. En América son 60 Hz y en Europa son 50 Hz.

**FRECUENCIA NATURAL (FN).** Es la frecuencia que presenta cada componente por su propia naturaleza y características. Esta frecuencia oscilará si es excitada por agente externo que opere a una frecuencia muy cercana.

**GRAVEDADES (G).** Unidades de aceleración de la gravedad, equivale a  $9800 \text{ mm/s}^2$  y a  $32.2 \text{ pie/s}^2$ .

**HERTZIO.** (Se escribe en minúscula, pero se abrevia como Hz). Unidad de frecuencia.

**MIL.** Medida de longitud o distancia. Equivale a una milésima de pulgada.

**MODO DE FALLA.** Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado.

**RESTRICCIÓN.** Las restricciones se pueden definir como limitaciones, puntos débiles o falta de algún recurso dentro de un proceso, que pueden afectar el desempeño de todo un sistema, entendida la empresa como sistema.

**RUTA DE MEDICIÓN.** Es una base de datos jerárquica en donde se coloca los puntos de las máquinas a medir con todos sus parámetros para luego poder obtener espectros, formas de onda, tendencias y demás características de las vibraciones receptadas por el sensor.

**VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO.** La velocidad, normalmente expresada en revoluciones por minuto (rpm), a la cual funciona una máquina giratoria. También se puede expresar en hertzios si se dividen las rpm por 60.

**VIBRACIÓN NO SÍNCRONA.** Se denomina vibración no síncrona a la parte de energía vibratoria (armónicos) que se presentan de la frecuencia de giro en adelante, pero no coinciden a la frecuencia de giro, estas pueden ser:  $1,5x \text{ RPM}$ ,  $2,5x \text{ RPM}$ ,  $3,5x \text{ RPM}$ , entre otras.

**VIBRACIÓN SÍNCRONA.** Se denomina vibración síncrona a la parte de energía vibratoria (armónicos) que tiene lugar a la frecuencia de giro, estas son las medidas de vibración síncrona en picos:  $1x$ ,  $2x$ ,  $3x$ ,... RPM.

**VIBRACIÓN SUB SÍNCRONA.** Se denomina vibración no síncrona a la parte de energía vibratoria que se presentan a frecuencias inferiores a la de giro y además son fracciones de la misma, estas pueden ser:  $0,5x$ ,  $0,8x \text{ RPM}$ , entre otras.

## **RESUMEN**

El presente proyecto investigativo tiene por objetivo orientar acerca de la importancia de la aplicación del mantenimiento predictivo basado en análisis vibracional, dicho proyecto se fundamenta en el diagnóstico y determinación de problemas en los equipos críticos de la planta procesadora Moderna Alimentos S.A. ubicada en la cantón Colta, se desarrolla con el propósito de alcanzar una mayor disponibilidad en los equipos, optimizar los recursos de mantenimiento, determinar y monitorear la condición del estado de los equipos en tiempo real.

El estudio preliminar abarca, conceptos teóricos, perfil del proceso productivo, elaboración de paneles EPS, descripción y evaluación de los equipos, revisión de plan de mantenimiento y los documentos de trabajo cuya información es esencial para desarrollar los indicadores de mantenimiento; además, se determinan las máquinas críticas en función de análisis de restricciones y análisis de criticidad que sirve como base para el análisis vibracional.

Se ejecuta la configuración del sistema a monitorear mediante el software MAINTraQ Predictive, para posteriormente realizar la transferencia de datos al equipo VibraCHECK ABG 200 para la recolección de datos y su análisis respectivo.

Con el análisis realizado se detallan cuáles fueron los factores que ocasionaron las diferentes fallas en los equipos y que acciones se deberían tomar para su corrección; además, este trabajo sirve como guía práctica para el personal técnico y así podrán evitar paros imprevistos y pérdidas de producción y busquen soluciones prácticas a problemas de vibración en máquinas similares a estas.

## **ABSTRACT**

This research project has as objective to provide guidance on the importance of the implementation of predictive maintenance based on vibrational analysis; this purpose is based on the diagnosis and determination of critical equipment problems at the processing plant Moderna Alimentos S.A. located in Colta canton.

It is developed with the intention of achieving greater equipment availability, optimize maintenance resources, determine and monitor the condition of equipment in real time.

The preliminary study covers, a theoretical concepts, a profile of the production process, development of EPS panels, description and evaluation of equipment, maintenance plan revision and the working documents whose information is essential for developing maintenance indicators, also determine the critical machines based on a restrictions analysis and criticality analysis that serves as a base for the vibration analysis.

It is performed the configuration of the system to monitor through the software Predictive MAINTraQ, then it is performed the data transfer to the equipment VibraCHECK ABG200 for collecting relevant data and the respective analysis.

With this analysis will be detailed what were the factors that led to the different equipment failures and actions that should be taken for correction, and the research work serves as a practical guide to maintenance staff so they can be based on the causes of failures in equipment, analyze practical solutions, fix vibration problems and minimize unplanned shutdowns with the consequent production losses.

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Antecedentes**

Moderna Alimentos S.A es el líder del mercado en la molienda de harina de trigo en el Ecuador, con una participación del 40% del mercado. Produce harina de trigo y productos de panificación partiendo de trigo importado y ventas realizadas a clientes de la industria (65%), consumidores (25%), y los programas sociales del gobierno (10%) a través de sus redes nacionales de distribución, con una capacidad total de 160 toneladas por día (t/d), está situada a 18 km de la ciudad de Riobamba, en la parroquia Cajabamba perteneciente al cantón Colta, provincia de Chimborazo.

Moderna Alimentos, Molino Electro Moderno y Molinos del Ecuador se unen para formar la nueva compañía Moderna Alimentos S.A, cuya sinergias tecnológicas, financieras y de mercado la han convertido en el grupo molinero más sólido e importante del Ecuador.

Los paros imprevistos ocurridos recientemente en la planta tienen relación directa con los distintos motores de las máquinas que conforman el proceso, dichos paros repercuten con pérdidas económicas, paralización del proceso productivo y pérdida de clientes por retraso en los pedidos, siendo estas las más relevantes y con gran impacto negativo por no contar con programas de mantenimiento predictivo o técnicas modernas que se vienen aplicando en la actualidad.

Tomando en cuenta de lo importante que es complementar los conocimientos teóricos con la parte práctica y al no contar con el equipo para la cátedra de análisis vibracional se presenta la necesidad prioritaria de realizar la adquisición del equipo VibraCHECK ABG-200, el cual contribuirá para realizar análisis vibracional en la empresa Moderna Alimentos S.A.

## **1.2 Justificación**

En la empresa Moderna Alimentos S.A los paros imprevistos representan pérdidas considerables, teniendo en cuenta que se trata de un proceso de producción continuo y que la probabilidad de falla debe reducirse al mínimo, aun cuando la empresa aplica un mantenimiento preventivo y correctivo, existen situaciones en la que los equipos no poseen una confiabilidad y disponibilidad que garantice una adecuada operatividad de dicho proceso.

Paraminimizar las fallas imprevistas en los equipos y pérdidas de la producción, la empresa Moderna Alimentos S.A autoriza realizar el diagnóstico y determinación de problemas en los equipos críticos de la planta procesadora, para que se pueda determinar con exactitud las diferentes tareas tanto preventivas como predictivas y en función de ello tomar las medidas correctivas necesarias hasta alcanzar la mínima pérdida de producción por tiempo improductivo, con la utilización del equipo VibraCHECK ABG-200 nos permite obtener una toma de datos con mayores detalles y con ello podemos dar soluciones puntuales a cada problema.

Se desarrollará una guía técnica para la aplicación del Análisis Vibracional en los equipos críticos de la planta procesadora Moderna Alimentos S.A; además, se realizará las recomendaciones correspondientes que permitirán corregir los problemas detectados, con el fin de que haya un aprovechamiento total de la vida útil de los elementos de los activos físicos del proceso, para optimizar los costos directos e indirectos de mantenimiento, de tal manera que se logre evitar pérdidas económicas no deseadas, mediante esta técnica, justificando así el trabajo de investigación.

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Diagnosticar y determinar los problemas en los equipos críticos de la planta procesadora MODERNA ALIMENTOS S.A” mediante análisis vibracional utilizando el equipo VibraCHECK ABG-200.

### **1.3.2** *Objetivos específicos:*

Identificar los equipos críticos o fundamentales de la empresa.

Definir las frecuencias de monitoreo en cada una de las máquinas.

Establecer las rutas de medición para cada uno de los equipos.

Medir los niveles de vibración existente.

Analizar cada uno de los espectros de vibración obtenidos.

Realizar un informe de las fallas detectadas mediante el análisis de vibraciones.

Recomendar las medidas que se deben tomar para eliminar las causas que provocan las fallas en los equipo.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

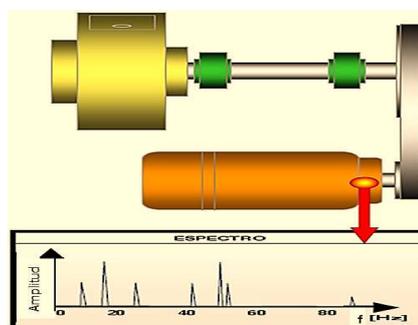
#### 2.1 Análisis vibracional en maquinaria industrial

El interés de las vibraciones mecánicas llega al Mantenimiento Industrial de la mano del Mantenimiento Preventivo y Predictivo, con el interés de alertar que significa un elemento vibrante en una máquina, y la necesaria prevención de las fallas que traen las vibraciones a medio plazo. Las consecuencias de las vibraciones mecánicas son el aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y la más temida: daños por fatiga de los materiales (Mantenimiento Industrial.ec, 2010).

#### 2.2 Definición de vibración

En su forma más sencilla, una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. La posición de equilibrio es la que llegará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero. Este tipo de vibración se llama vibración de cuerpo entero, lo que quiere decir que todas las partes del cuerpo se mueven juntas en la misma dirección en cualquier momento (GLEN, 2010).

Figura 1. Espectro de vibración



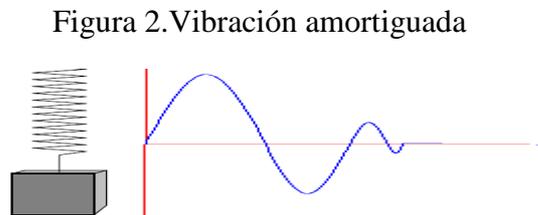
Fuente: [http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

## 2.3 Tipos de vibraciones

Los diferentes tipos de vibraciones que una máquina puede presentar se detallan a continuación:

**2.3.1 Vibración libre.** Es aquella que se mantiene únicamente con las fuerzas propias del sistema es decir su elasticidad e inercia, se evidencia cuando la máquina es alterada de su posición estática de equilibrio y comienza a vibrar sin la aplicación de fuerzas externas (son nulas); es decir cuando la posición o montaje de la máquina es incorrecta, ocurre cuando la frecuencia de vibración libre también llamada frecuencia natural no se ve alterada al momento de desprejar el amortiguamiento, es por eso que se puede eliminar este efecto y ser considerado como un sistema sin amortiguamiento.

**2.3.2 Vibración amortiguada.** Las consideraciones anteriores determinarán que la vibración libre es permanente, porque la función armónica no es decreciente en el tiempo, sin embargo ocurre que la vibración se va atenuando por el efecto llamado “amortiguamiento” (ESPOCH, 2012).



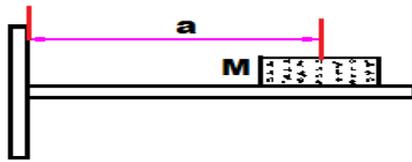
Fuente:<http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1880/1/25T00168.pdf>

**2.3.3 Vibración forzada.** La vibración forzada es la respuesta de un sistema frente a la aplicación de alguna fuerza externa, un ejemplo de este tipo de fuerzas son las generadas por algún tipo de falla en las máquinas generalmente pueden ser el desbalanceo, la desalineación.

## 2.4 Frecuencia natural

La frecuencia natural es aquella que aparece en la vibración libre, esta depende directamente de la masa del cuerpo y de la elasticidad considerando que no hay disipación de energía y no se toma en cuenta el amortiguamiento.

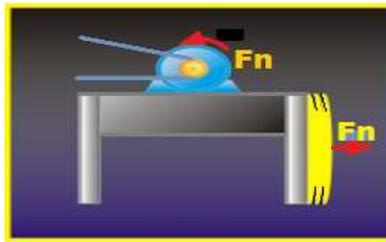
Figura 3. Sistema masa-resorte con una viga articulada



Fuente:<http://dSPACE.espace.edu.ec/bitstream/123456789/1880/1/25T00168.pdf>

Un resorte y una masa interactúan mutuamente, de tal modo que se forma un sistema que entra en resonancia a su frecuencia natural característica. Si a un sistema resorte-masa se le aplica energía, este vibrará a su frecuencia natural, y el nivel de las vibraciones variara dependiendo de la magnitud de energía aplicada.

Figura 4. Frecuencia natural



Fuente:[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%20C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%20C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

## 2.5 Resonancia

La resonancia es un estado de operación en el que una frecuencia de excitación se encuentra cerca de una frecuencia natural de la estructura de la máquina. Una frecuencia natural es una frecuencia a la que una estructura vibrará si uno la desvía y después la suelta. Una estructura típica tendrá muchas frecuencias naturales. Cuando ocurre la resonancia, los niveles de vibración que resultan pueden ser muy altos y pueden causar daños muy rápidamente (GLEN, 2010).

## 2.6 Desplazamiento, velocidad y aceleración de vibración

Existen varias variables para medir la amplitud de vibración de un espectro. Para vibraciones mecánicas lo más común es medirlas en unidades de desplazamiento, velocidad y aceleración. (PALOMINO, 1997)

Con lo antes descrito y resaltando que los equipos de medición indican el valor de

vibración en valor absoluto podemos decir que al momento de apreciar la medición de desplazamiento no da ninguna información respecto del esfuerzo, ya que este no depende de la frecuencia, mientras que la velocidad depende directamente de esta variable, por esta razón es que la medición recomendada para el análisis es la velocidad de la vibración y cabe resaltar que la medida de aceleración es útil únicamente en fenómenos de alta frecuencia.

## 2.7 Medición de amplitud de vibración

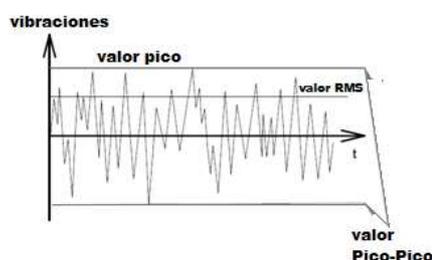
Las siguientes definiciones son aplicables para un mejor entendimiento de la medición de amplitud de las vibraciones mecánicas.

*Amplitud pico ( $P_k$ )*. El valor pico indica el valor máximo alcanzado por la vibración medida desde el punto cero o punto de equilibrio; además, aquí se reflejan los niveles de golpes o choques de corta duración.

*Amplitud pico a pico ( $P_k-P_k$ )*. Este valor es la diferencia o distancia entre su pico máximo positivo y su pico negativo y tomando el caso de ondas simétricas senoidales el valor pico a pico resulta ser el doble del valor pico.

*Amplitud raíz del promedio de los cuadrados (RMS)*. El valor RMS es la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los valores de una señal en un intervalo de tiempo, solo en caso de ondas senoidales este valor es igual a 0.707 valor de pico y es proporcional al valor de área bajo de la curva, como resultado se obtiene el valor de la fuerza de una señal, es decir la capacidad destructora de la misma.

Figura 5. Vibraciones y sus amplitudes



Fuente: <http://www.slideshare.net/RamdolfAntonioArveloLopez/analisis-de-vibraciones>

## 2.8 Selección de transductores

El transductor de vibraciones es un aparato que produce una señal eléctrica que es una réplica o análogo del movimiento vibratorio al cual está sujeto. Un buen transductor no debe agregar falsos componentes a la señal, y debería producir señales uniformes en todo el rango de frecuencias que nos interesa (GLEN, 2010).

Los tipos diferentes de transductores responden a parámetros diferentes como se muestra en la siguiente tabla:

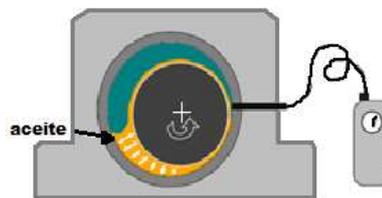
Tabla 1. Tipos de sensores y sus variables

NOMBRE:	SENSIBLE A:
Sensor de proximidad	Desplazamiento
Sensor de velocidad	Velocidad
Acelerómetro	Aceleración

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/127609809/Introduccion-AI-Analisis-de-Vibraciones-Glen-White>

**2.8.1** *El transductor de proximidad.* El sensor de proximidad, también llamado "sensor de corriente de remolino", o "transductor de desplazamiento" es una unidad de montaje permanente, y necesita un amplificador que condiciona la señal para generar un voltaje de salida, proporcional a la distancia entre el transductor y la extremidad de la flecha. Su operación está basada en un principio magnético y por eso, es sensible a las anomalías magnéticas en la flecha.

Figura 6. Sensor de proximidad

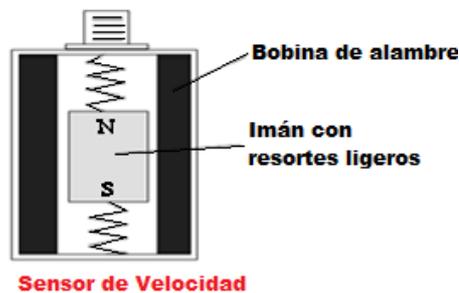


Fuente: <http://es.scribd.com/doc/127609809/Introduccion-AI-Analisis-de-Vibraciones-Glen-White>

Los sensores de proximidad son utilizados normalmente para bajas frecuencias y son muy propensos a tener errores de lectura eléctricos y mecánicos además necesitan de una fuente externa de energía para su funcionamiento y una calibración periódica.

**2.8.2** *El transductor de velocidad.* El sensor de velocidad fue uno de los primeros transductores de vibración que fueron construidos. Consiste de una bobina de alambre y de un imán colocado de tal manera que si se mueve el cárter, el imán tiende a permanecer inmóvil debido a su inercia. El movimiento relativo entre el campo magnético y la bobina induce una corriente proporcional a la velocidad del movimiento. De esta manera, la unidad produce una señal directamente proporcional a la velocidad de la vibración.

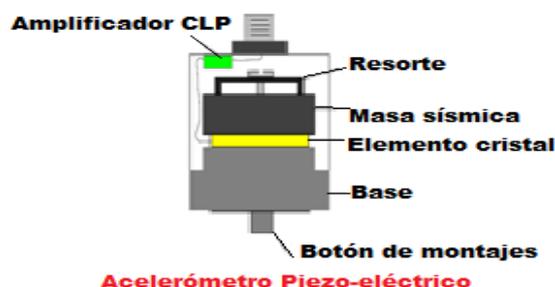
Figura 7.- Sensor de velocidad



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/127609809/Introduccion-Al-Analisis-de-Vibraciones-Glen-White>

**2.8.3** *El acelerómetro.* El acelerómetro de tipo de compresión como se muestra en el diagrama fue el primer tipo a ser desarrollado. Por lo general se prefiere el acelerómetro del tipo de cizallamiento, configurado de tal manera que el elemento activo está sujeto a fuerzas de cizallamiento.

Figura 8. Acelerómetro



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/127609809/Introduccion-Al-Analisis-de-Vibraciones-Glen-White>

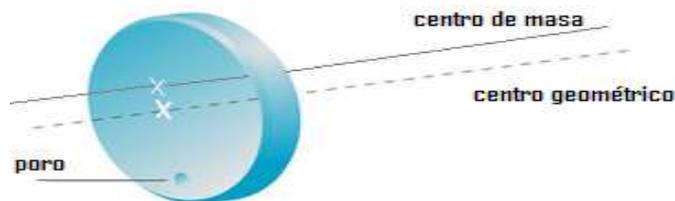
Se puede considerar al acelerómetro piezoeléctrico como el transductor estándar para medición de vibración en máquinas. Se produce en varias configuraciones, pero la ilustración del tipo a compresión sirve para describir el principio de la operación.

## 2.9 Problemas vibracionales

El uso de los niveles de vibraciones producidas por las máquinas rotatorias para determinar el estado técnico de estas, posee un sin número de aplicaciones en el mundo industrializado, si se tiene en cuenta que desde hace más de tres décadas ha sido demostrado la veracidad y la utilidad de la información aportada por los registros de vibraciones. Esto implica que, antes de intentar identificar problemas en una máquina partiendo de la información brindada por las vibraciones, sea necesario determinar las frecuencias de diagnóstico de cada uno de los elementos que componen la misma (PALOMINO, 1997).

**2.9.1 Desbalanceo.** Se presenta un desbalanceo cuando el centro de masa o gravedad de una determinada pieza no coincide con su centro geométrico, creando de esta manera una distribución desigual de la masa alrededor del centro geométrico del elemento rotativo.

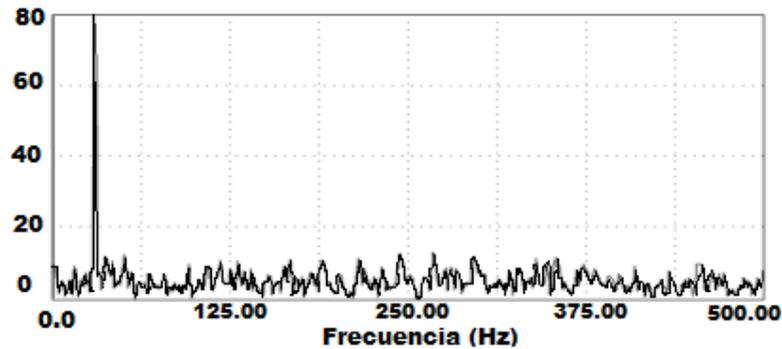
Figura 9. Pieza fundida con desbalanceo intrínseco



Fuente: [http://www.vibratec.net/pages/tecnico\\_desbalance.html](http://www.vibratec.net/pages/tecnico_desbalance.html)

El desbalanceo en los elementos rotativos de las máquinas es una de las fuentes más comunes de vibración, teniendo como principales causas a: porosidades en piezas fundidas, corrosión, desgaste abrasivo, excentricidad, acumulación de partículas y dilatación o contracción térmica. El desbalanceo se presenta a una frecuencia igual a 1X RPM del elemento rotativo como se muestra en la figura. El desbalanceo de bajo nivel en máquinas rotativas prácticamente resulta ser inevitable ya que los fabricantes tienen establecidas tolerancias de diseño, maquinado y cualquier variación de estas puede incurrir directamente en un problema de desbalanceo.

Figura 10. Apariencia espectral del desbalanceo

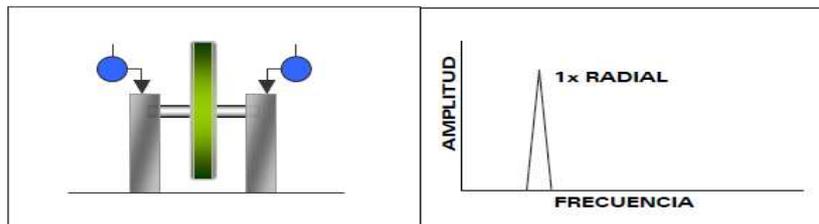


Fuente: [http://www.vibratec.net/pages/tecnico\\_desbalance.html](http://www.vibratec.net/pages/tecnico_desbalance.html)

**2.9.1.1 Tipos de desbalanceo.** Los tipos de desbalanceo en maquinaria son:

*Desbalanceo estático.* Producido generalmente por desgaste radial superficial no uniforme en rotores en los cuales su largo es despreciable en comparación con su diámetro. El espectro presenta vibración dominante con una frecuencia igual a 1X RPM del rotor (A-MAQ, 2005).

Figura 11. Desbalanceo estático

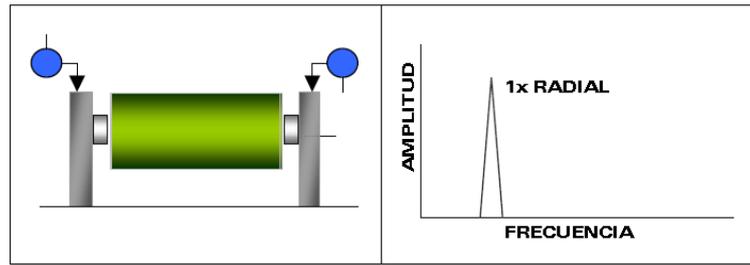


Fuente: [http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

El desbalanceo estático se da cuando el centro de gravedad de la pieza en movimiento no coincide con el eje de rotación y se lo llama de tipo estático ya que para determinar la ubicación de la masa de balanceo se hace uso de la estática.

*Desbalanceo dinámico.* El desbalanceo dinámico ocurre en rotores medianos y largos. Es debido principalmente a desgastes radiales y axiales simultáneos en la superficie del rotor. El espectro presenta vibración dominante y vaivén simultáneo a frecuencia igual a 1X RPM del rotor. El desbalanceo dinámico se lo denomina así ya que se presenta y se lo corrige cuando el rotor está girando, se caracteriza por tener masas presentes en los distintos planos de un elemento alargado y en rotación.

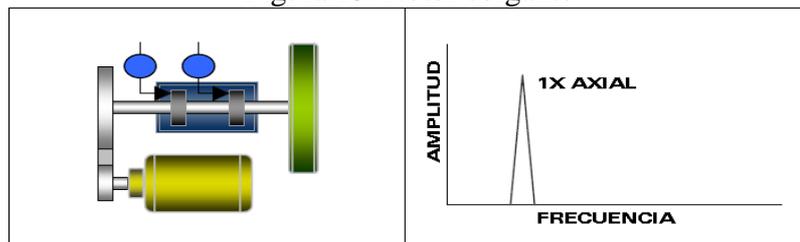
Figura 12. Desbalanceo dinámico



Fuente: [www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

*Rotor colgante.* Ocurre en rotores que se encuentran en el extremo de un eje. Es producido por desgaste en la superficie del rotor y doblamiento del eje. El espectro presenta vibración dominante a 1X RPM del rotor, muy notoria en dirección axial y radial.

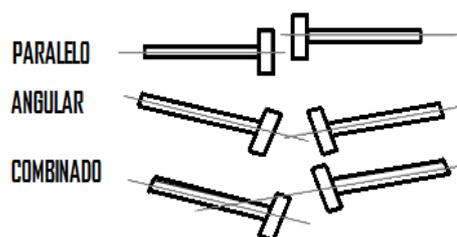
Figura 13. Rotor colgante



Fuente: [http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

**2.9.2 Desalineación.** La desalineación es una condición en la que las líneas centrales de flechas acopladas no coinciden. Si las líneas centrales de las flechas desalineadas están paralelas pero no coinciden, entonces se dice que la desalineación es una desalineación paralela. Si las flechas desalineadas se juntan pero no son paralelas, entonces la desalineación se llama desalineación angular, casi todas las desalineaciones que se observen en la práctica son una combinación de los dos tipos de base.

Figura 14. Tipos de desalineación

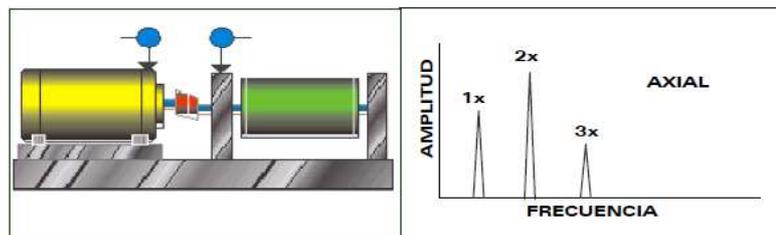


Fuente: <http://www.slideshare.net/RamdolfAntonioArveloLopez/analisis-de-vibraciones>

**2.9.2.1 Tipos de desalineación.** Los tipos de desalineación más frecuentes en maquinaria se explican a continuación:

*Desalineación paralela.* La desalineación paralela produce una fuerza de cizallamiento y un momento de flexión en la extremidad acoplada de cada flecha, niveles de vibración altos en 2X y en 1X. Se producen en las direcciones radiales o tangenciales en los rodamientos en cada lado del acoplamiento, y son de fase opuesta. En la mayoría de los casos, los componentes 2X estarán más altos que los 1X.

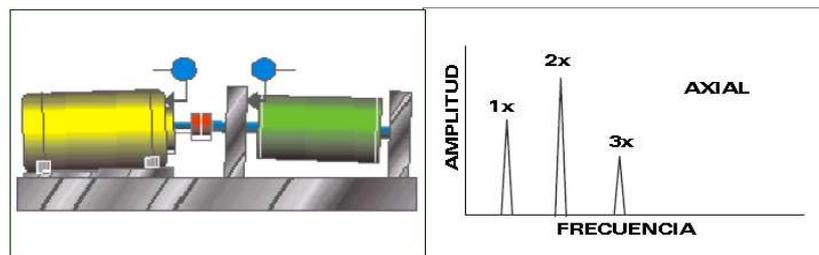
Figura 15. Desalineación paralela



Fuente: [http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

*Desalineación angular.* La desalineación angular produce un momento de flexión en cada flecha, y esto genera una fuerte vibración en 1X, y algo de vibración en 2X en la dirección axial en los dos rodamientos y de fase opuesta. También habrá niveles relativamente fuertes en direcciones radiales y/o transversales 1X y 2X, pero en fase.

Figura 16. Desalineación angular

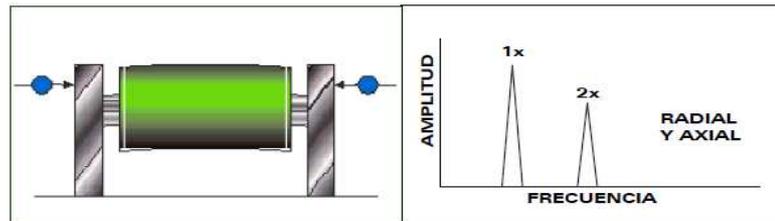


Fuente: [http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

*Desalineación general o combinada.* La mayoría de los casos de desalineación son una combinación de los tipos descritos arriba. El diagnóstico está basado en picos 2X más fuertes que los picos 1X y en la existencia de picos axiales 1X y 2X. Noten que altos niveles axiales 1X no están causados por desbalanceo en rotores sobresalientes.

**2.9.3 Rotor o eje pandeado.** Este problema comúnmente se presenta en ejes largos ya que se producen por esfuerzos excesivos en el eje, genera una vibración axial alta con un desfase de 180 grados medida entre los dos lados del rotor, su pico dominante se presenta en 1X RPM si el pandeo es cercano al centro del eje o es de 2X RPM si el pandeo es cercano al rodamiento.

Figura 17. Rotor o eje pandeado

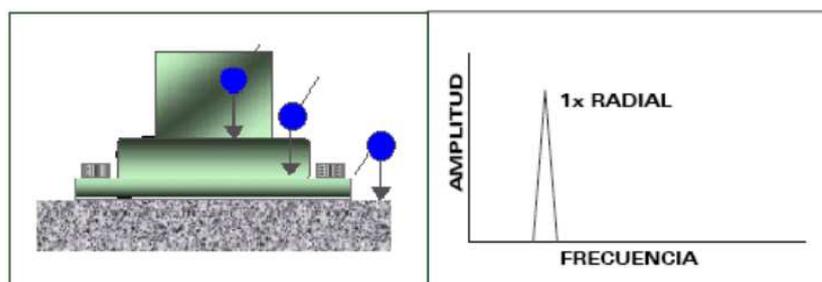


Fuente:[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

Estas fallas se deben corregir o rectificarse antes de que se produzca una falla catastrófica en la máquina y los más propensos a daños significativos son los rodamientos en los dos lados de apoyo del eje.

**2.9.4 Soltura estructural o mecánica.** Las diferentes formas de manifestarse las solturas mecánicas tienen lugar como resultado del deterioro de la condición de ensamblaje de los elementos mecánicos que han excedido las tolerancias de holgura o sencillamente se han aflojado debido a la dinámica de la operación de la máquina. La vibración que caracteriza en general a la soltura mecánica la produce las fuerzas de excitación generadas por otros problemas tales como el desbalance o el desalineamiento (PALOMINO, 1997).

Figura 18. Soltura estructural o mecánica

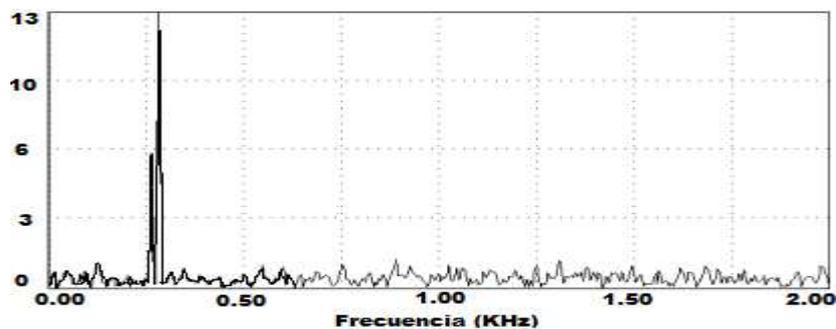


Fuente:[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

**2.9.4.1** *Soltura de la máquina respecto a su base.* La vibración que caracteriza a la soltura de la máquina respecto a su base presenta amplitudes altas en la segunda armónica de la velocidad de rotación, aunque es posible encontrar niveles severos en armónicas superiores. La soltura de una máquina con respecto a su base se genera por problemas de torque en sus elementos de sujeción y debido al movimiento rotativo.

**2.9.4.2** *Holguras del cojinete respecto al eje.* En este tipo de holgura, el espectro de la vibraciones exhibirá una componente a la frecuencia de rotación del eje y otra componente más baja a una frecuencia ligeramente menor que la frecuencia de rotación. Esta componente corresponde con la velocidad a la que el aro interior del rodamiento se está moviendo.

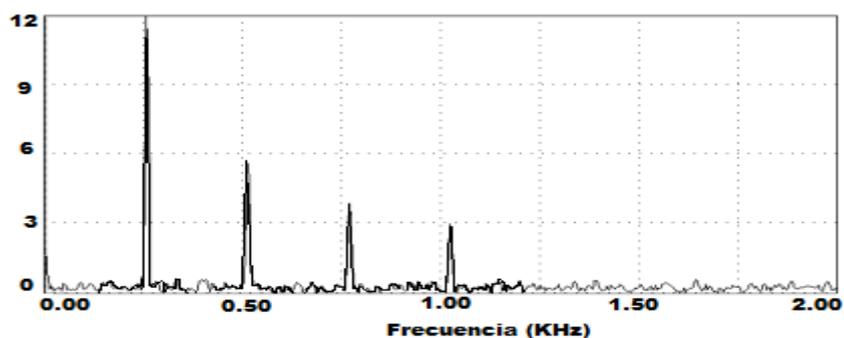
Figura 19. Espectro identificativo de holgura entre el aro interior del rodamiento y el eje



Fuente: <http://www.slideshare.net/RamdolfAntonioArveloLopez/analisis-de-vibraciones>

**2.9.4.3** *Holguras del cojinete respecto al alojamiento.* Si se distinguen claramente las cuatro primeras armónicas de la frecuencia de rotación, entonces es muy probable que el rodamiento este "suelto" con respecto a su alojamiento.

Figura 20. Espectro característico de holgura de rodamiento respecto al alojamiento

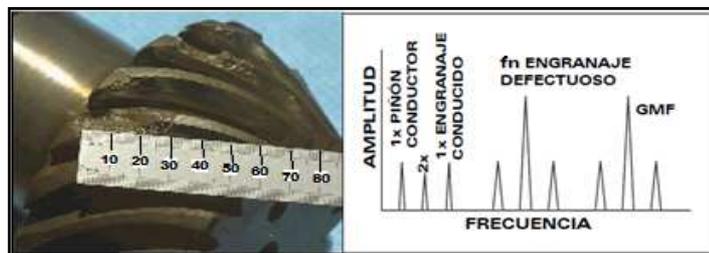


Fuente: [www.slideshare.net/RamdolfAntonioArveloLopez/analisis-de-vibraciones](http://www.slideshare.net/RamdolfAntonioArveloLopez/analisis-de-vibraciones)

**2.9.5 Fallas en engranajes.** La identificación de los problemas de engranajes resulta de fácil identificación ya que los mismos se presentan a la frecuencia del engrane es decir, el número de dientes de la rueda dentada que falla multiplicado por las RPM de la misma. La mayoría de fallos en engranajes que se pueden identificar por vibraciones se originan por problemas de excentricidad, desalineación, desgaste, grietas, fractura de diente, entre otras. Los más importantes de estos problemas se detallan a continuación.

**2.9.5.1 Desgaste en diente.** Ocurre por operación más allá del tiempo de vida del engranaje, contaminación de la grasa lubricante, elementos extraños circulando en la caja del engrane o montaje erróneo. Su espectro se caracteriza por la aparición de bandeamiento lateral alrededor de la frecuencia natural de vibración ( $f_n$ ) del engrane defectuoso. El espaciado de las bandas laterales es  $1X$  RPM del engrane defectuoso. Si el desgaste es avanzado, hay sobreexcitación de la frecuencia de engrane (GMF) (A-MAQ, 2005).

Figura 21. Engrane desgaste de dientes

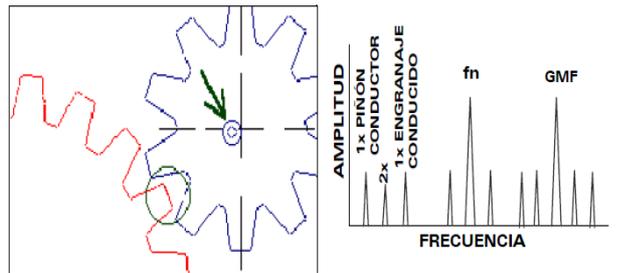


Fuente: [http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

Los principales factores que aparecen al momento de analizar este tipo de falla son: aumento de la amplitud de  $1X$ ,  $2X$ , y/o  $3X$  GMF con aumento de bandas laterales en dichas amplitudes en  $1X$  RPM del engranaje desgastado y picos a la frecuencia de resonancia del engranaje.

**2.9.5.2 Excentricidad y/o backlash.** La excentricidad ocurre cuando el centro de simetría no coincide con el centro de rotación. El backlash se produce cuando, al terminar el contacto entre dos dientes, los dos siguientes no entran inmediatamente en contacto. Para corregir el problema, el engranaje debe ser reensamblado o reemplazado si se encuentran problemas de manufactura.

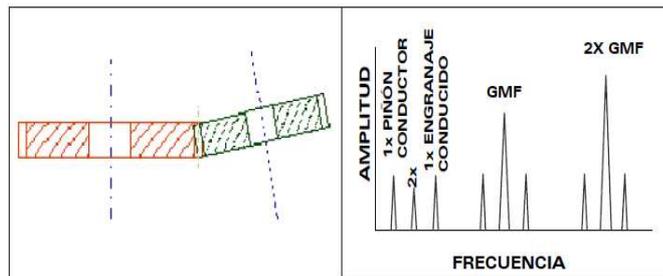
Figura 22. Engrane excentricidad y/o backlash



Fuente:[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf) www.mantenimientoplanificado.com

**2.9.5.3 Engranaje desalineado.** Se presenta cuando las ruedas dentadas fueron ensambladas con errores de alineación o cuando sus ejes no están paralelos. Casi siempre se excitan los armónicos de segundo o mayor orden de la GMF, conbandeamientos laterales a la 1X RPM del piñón o la rueda. 2X GMF y 3X GMF dominan el espectro. El conjunto debe ser realineado para corregir el problema.

Figura 23. Engrane desalineado



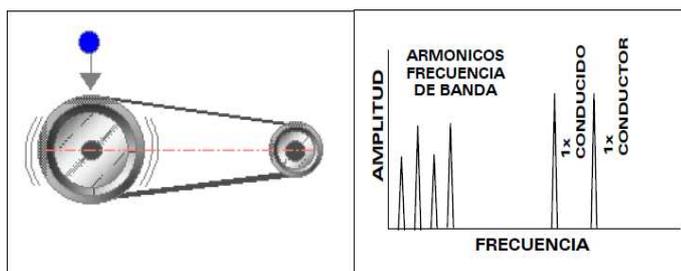
Fuente:[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

**2.9.6 Fallas en bandas y poleas.** Los diferentes problemas que se pueden presentar en bandas se explican a continuación:

**2.9.6.1 Distensión de bandas.** Ocurre por sobrepaso de la vida útil de la banda, o por desgaste excesivo de la misma. Las frecuencias de bandas siempre están por debajo de la frecuencia del motor o máquina conducida. Normalmente se encuentran cuatro picos y generalmente predomina el de 2X frecuencia de banda. Tienen amplitudes inestables.

Para corregir el problema, si la banda no presenta demasiado desgaste intente tensionarla, de lo contrario replácela (A-MAQ, 2005).

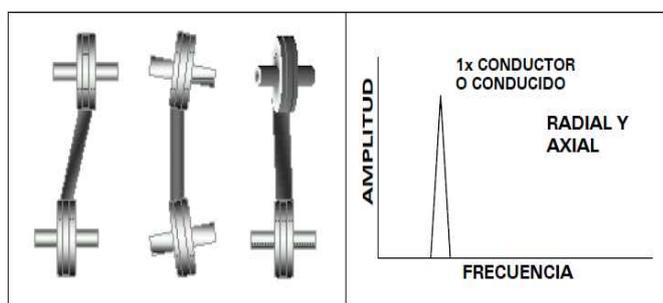
Figura 24. Distensión de bandas y poleas



Fuente:[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

**2.9.6.2 Desalineación en poleas.** Puede ocurrir porque los ejes de las poleas no están alineados o porque las poleas no están paralelas, también pueden ocurrir ambos casos simultáneamente. Produce alta vibración axial a 1X RPM de la conductora o la conducida, generalmente la conducida. La buena medida de las amplitudes de las vibraciones depende de donde sean tomados los datos. Para solucionar el problema deben alinearse las poleas tanto angular como paralelamente.

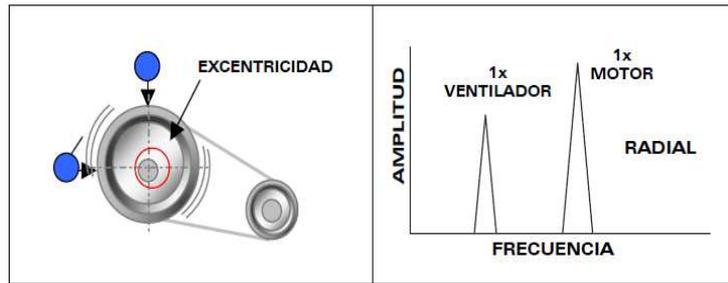
Figura 25. Desalineación en poleas



Fuente:[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

**2.9.6.3 Excentricidad de poleas.** Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en una polea. Produce alta vibración a 1X RPM de la polea excéntrica. Su amplitud está por encima de las amplitudes de las frecuencias de las bandas. Es decir la excentricidad aparece cuando el centro de simetría de la polea no coincide con el centro de rotación, otra causa de este problema puede suscitarse por deformación de la polea debido a defectos de fabricación o aplicación de golpes en la superficie de la misma.

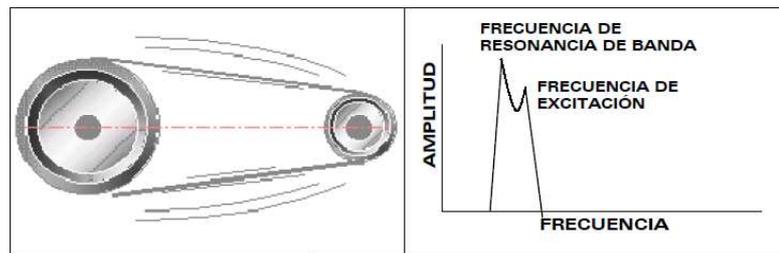
Figura 26. Excentricidad de poleas



Fuente:[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

**2.9.6.4 Resonancia de banda.** Sucede si la frecuencia natural de la banda coincide o se aproxima a las RPM del motor o de la máquina conducida. El espectro muestra altas amplitudes de la frecuencia de resonancia y la frecuencia de excitación de banda, siendo la frecuencia de resonancia la predominante. La frecuencia natural puede ser alterada cambiando la tensión de la banda o su longitud.

Figura 27. Resolución de bandas

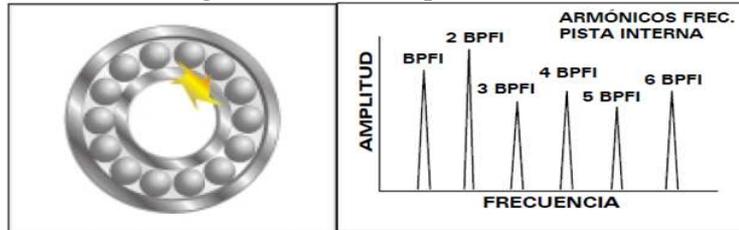


Fuente:[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

**2.9.7 Fallas en rodamientos.** Los rodamientos son elementos de máquinas en donde se pueden presentar problemas en los elementos rodantes, en las pistas y en la jaula, aunque también se pueden presentar combinaciones entre estos. La señal generada por este tipo de problemas es la misma, dependiendo del tipo de rodamiento, su diseño, cargas actuantes y su holgura.

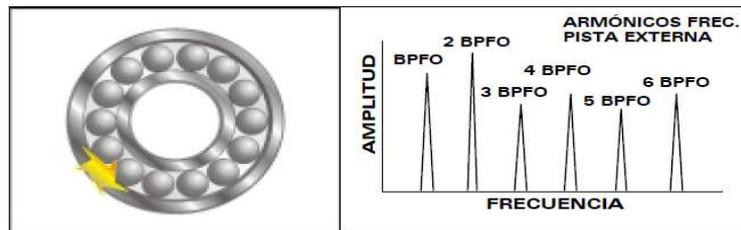
**2.9.7.1 Falla en pista interna, externa y elemento rodante.** Agrietamiento o desastillamiento del material en la pista interna, pista externa o elemento rodante es producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente (A-MAQ, 2005).

Figura 28. Falla en pista interna



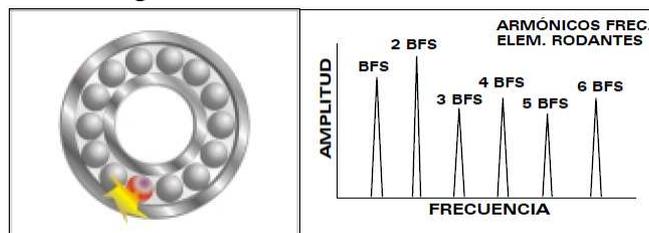
Fuente: [www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

Figura 29. Falla en pista externa



Fuente: [www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

Figura 30. Falla en elementos rodantes

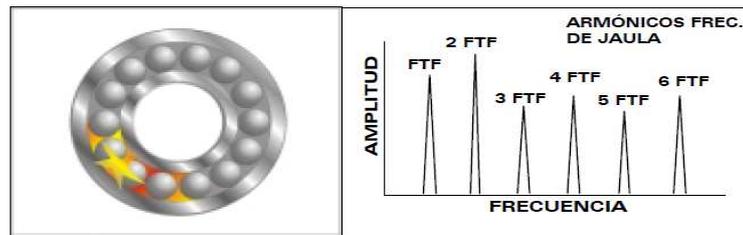


Fuente: [www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

Hay que tomar en cuenta que si la lubricación es deficiente se acelerará el deterioro del rodamiento por lo que se aconseja cuando se detecta el daño, engrasar el rodamiento adecuadamente para tratar de incrementar su vida útil hasta que la tarea planificada de mantenimiento se la ejecute.

**2.9.7.2 Deterioro de jaula.** Deformación de la jaula, caja o cubierta que mantiene en su posición a los elementos rodantes. Se produce una serie de armónicos de la frecuencia de la jaula siendo los picos predominantes 1X y 2X RPM de la frecuencia de falla en jaula, en dirección radial o axial. La jaula del rodamiento es el último elemento que falla siguiendo este orden cronológico: pista exterior, pista interior, elemento rodante y finalmente la jaula.

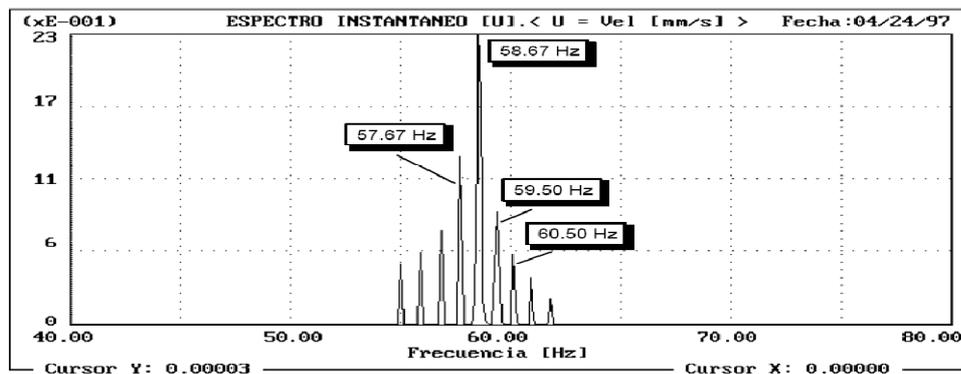
Figura 31. Deterioro de jaula



Fuente: [http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

**2.9.8 Defectos en motores eléctricos.** Las causas más comunes de vibración excesiva en los motores de inducción trifásicos y dos polos son las generadas por problemas dinámicos y magnéticos.

Figura 32. Espectro característico de defectos en motores eléctricos.



Fuente: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/1880/1/25T00168.pdf>

A continuación se muestra una tabla de los posibles modos de falla en motores eléctricos; además, de su frecuencia y plano dominante para un mejor análisis.

Tabla 2. Característica de los defectos eléctricos

Problemas Eléctricos	Frecuencia Dominante	Plano Dominante
Hierro Suelto	2 x frecuencia línea (LF)	Radial
Problemas estator	2 x LF	Radial
Desbalance fase	2x LF	Radial
Estator suelto	2x LF	Radial
Barra rota rotor	2 x LF a 1 x TS /bandas laterales	Radial
Rotor excéntrico	2xLF a 1xTS /bandas laterales	Radial
Ranura suelta	2xLF, frec. Ranuras + bandas lat.	Radial
Paso de polos	1xTS /B.L. = # de polos x Frec.Des.	Radial

Fuente: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/1880/1/25T00168.pdf>

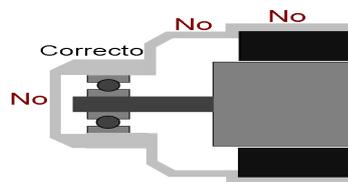
## 2.10 Reglas para el análisis de espectros vibracionales

A continuación se detalla algunas de las reglas más importantes para una correcta toma de datos e interpretación de los espectros de vibración. De cierto modo se debe cumplir con todas estas recomendaciones con el propósito de obtener mediciones confiables para que reflejen un análisis real de la condición de los equipos, caso contrario el análisis será erróneo.

**2.10.1 Ubicación de los puntos de prueba.** Las reglas de selección del punto de medición se especifican a continuación dentro de los siguientes aspectos:

- Debe estar ubicado lo más cercano posible al apoyo del eje (rodamiento o cojinete).
- Debe ser accesible e identificable.
- Tiene que garantizar la seguridad del operario evitando la exposición en zonas rotativas y a altas temperaturas. Tampoco se ha de medir sobre cubiertas, tapaderas, partes móviles, ejes en rotación ni aislamientos térmicos.
- El punto de medición debe tener una superficie apta para colocar el sensor de forma temporal.
- Hay que nombrar o enumerar los puntos de una forma clara e intuitiva, ubicarlos en la ruta y en la dirección de la transmisión de potencia.

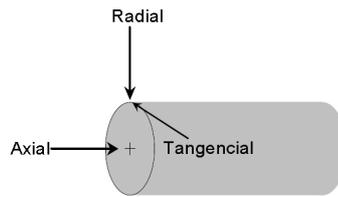
Figura 33. Ubicación de puntos de prueba



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/127609809/Introduccion-Al-Analisis-de-Vibraciones-Glen-White>

**2.10.2 Mediciones triaxiales.** Para ayudar en la determinación de problemas de máquinas es muy útil obtener datos de vibración de cada punto de medición en tres direcciones. Esas direcciones se llaman axial, radial, y tangencial. Axial es la dirección paralela a la flecha, radial es la dirección desde el transductor hacia el centro de la flecha, y tangencial es 90 grados de radial, tangente a la flecha.

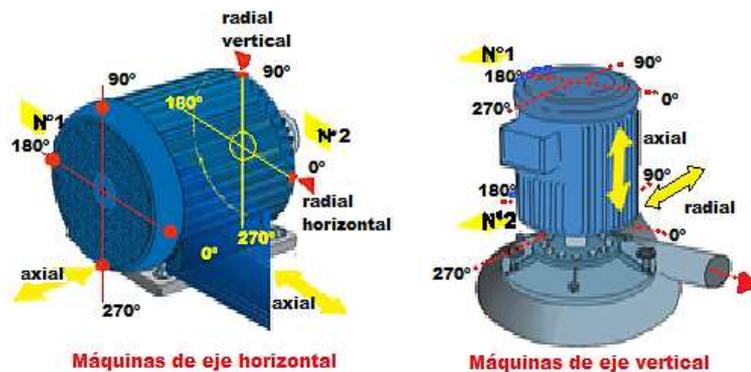
Figura 34. Mediciones triaxiales



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/127609809/Introduccion-Al-Analisis-de-Vibraciones-Glen-White>

**2.10.3 Orientación de los sensores de vibración.** Para cada punto de medición se toman dos orientaciones radiales al eje de la máquina y una axial; además, es importante evitar mediciones tangenciales.

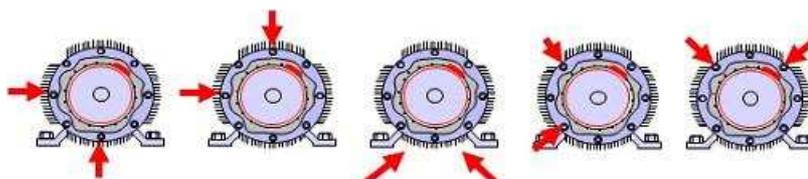
Figura 35. Máquina de ejes horizontal y vertical



Fuente: <http://pruftechnik.wordpress.com/2013/04/24/guia-de-seleccion-de-puntos-de-medicion-de-vibraciones>

En segundo lugar, también es posible tomar dos mediciones inferiores a 45 grados, si los puntos son accesibles (si aun así no fueran accesibles, se puede tomar ambas mediciones radiales a 45 grados en la parte superior). Por su parte, si las orientaciones radial, vertical, horizontal no son accesibles, o se quieren aprovechar superficies accesibles o pernos de sujeción a 45 grados, éstos deben estar en el lado de carga del rodamiento.

Figura 36. Puntos de medición de vibraciones



Fuente: <http://pruftechnik.wordpress.com/2013/04/24/guia-de-seleccion-de-puntos-de-medicion-de-vibraciones/>

## **2.11 Normas utilizadas para medición y evaluación de los niveles de vibración**

La normativa utilizada para la medición y evaluación de niveles de vibración según el tipo de maquinaria se expone a continuación:

**2.11.1 Norma ISO 10816.** La nueva norma ISO 10816-3 reemplaza la antigua norma ISO 2372 y se aplica para la inspección en sitio de máquinas rotativas.

**Aplicación.** La maquinaria a la que se aplica esta norma es:

- Motores eléctricos de cualquier tipo.
- Ventiladores, sopladores (excluidos aquellos de peso ligero).
- Bombas centrífugas, de flujo mixto o flujo axial.
- Generadores.
- Compresores rotativos.
- Turbinas de gas sobre los 3 megavatios (MW).
- Turbinas de vapor con potencia sobre los 50 MW.
- Turbinas de vapor con potencia de 50 MW y velocidades menores a 1500 rpm.

**Se excluyen de esta norma**

- Máquinas acopladas con máquinas reciprocantes.
- Bombas y compresores reciprocantes.
- Conjuntos motor - bomba sumergidos.
- Turbinas eólicas.

**Condición para la aplicación**

- Mediciones tomadas a nivel de los rodamientos, pedestales de los soportes o chumaceras.
- Estado estable de funcionamiento dentro de rangos normales de velocidad de operación.

**Tipos de soportación:**

- Bases rígidas: si la frecuencia natural del sistema es al menos 25 % mayor que la frecuencia principal de excitación (rpm).
- Bases flexibles: la exclusión de bases rígidas.

***Clasificación:***

- a) *Grupo 1.* Máquinas grandes con potencia sobre 300 kilovatios (kW): máquinas eléctricas con altura de eje  $H > 315$  milímetros (mm).
- b) *Grupo 2.* Máquinas medianas con potencia entre 15 kW y los 300 kW; máquinas eléctricas con altura de eje entre 160 mm y 315 m.
- c) *Grupo 3.* Bombas con rodets con aspas, con accionamiento separado y potencia sobre los 15kW.
- d) *Grupo 4.* Bombas con rodets con aspas, con accionamiento integrado y potencia sobre los 15kW.

***Las categorías de funcionamiento se interpretan como:***

Todas las normas definen cualitativamente 4 zonas dentro de las cuales se puede encontrar operando, y las líneas de acción a seguir para c/u de ellas:

- Zona A: (Buena) La vibración de las máquinas nuevas puestas en servicio normalmente está dentro de esta zona, condición óptima.
- Zona B: (Satisfactoria) Máquinas con vibración en esta zona se consideran aceptables para operación a largo plazo sin restricción.
- Zona C: (Insatisfactoria) Máquinas dentro de esta zona se consideran insatisfactorias para operación continua a largo plazo. Generalmente la máquina puede continuar operando hasta que llegue a la detención programada para reparación.
- Zona D: (Inaceptable) Los valores de vibración dentro de esta zona son consideradas de suficiente severidad para causar daño a la máquina (International Standard Organisation, 1998).

Esta norma establece las condiciones y procedimientos generales para medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones realizadas sobre partes rotativas de las máquinas.

## 2.12 Criterios a tener en cuenta para la confección de la base de datos

En la confección de base de datos mediante las siguientes tablas, se va a determinar los rangos de valores de las alarmas de vibración para las variables de desplazamiento, velocidad, aceleración y envolvente según el tipo de máquina a analizar.

### 2.12.1 Criterios de severidad

#### a) Desplazamiento de la vibración ( $\mu\text{m}$ , rms)

Tabla 3. Desplazamiento de la vibración

NORMA ISO 10816-3 PARA VIBRACIONES EN DESPLAZAMIENTO								DESPLAZAMIENTO 10-1000 Hz > 600 rpm 2-1000 Hz > 120 rpm $\mu\text{m}$ , rms mil rms		
									140	5,51
				D					113	4,45
									90	3,54
									71	2,80
				C					56	2,20
									45	1,77
									36	1,42
				B					28	1,1
									22	0,87
									18	0,71
				A					11	0,43
Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Fundación		
Bombas <15KW Radial, Axial, Flujo combinado				Máquinas de medidas medias 15 KW <P≤300 KW		Máquinas grandes 300 KW < P<50 MW		Tipo de máquina		
Motor integrado		Motor externo		Motores 180mm≤P<315mm		Motores 315mm≤H				
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo		
<b>A</b> Condición de máquina nueva				<b>G</b> Operación aceptable a corto plazo						
<b>B</b> Operación aceptable largo plazo				<b>D</b> Vibración causante de daño						

Fuente: Norma ISO 10816-3

b) Velocidad de la vibración mm/s, rms

Tabla 4. Velocidad de la vibración

NORMA ISO 10816-3 PARA VIBRACIONES EN VELOCIDAD								VELOCIDAD 10-1000 Hz > 600 rpm 2-1000 Hz > 120 rpm		
									11	0,43
									7,1	0,28
				D					4,5	0,19
									3,5	0,14
				C					2,8	0,11
									2,3	0,09
				B					1,4	0,06
									0,71	0,03
				A						
								μm, rms	mil rms	
Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Fundación		
Bombas <15 KW Radial, Axial, Flujo combinado				Máquinas de medidas medias 15 KW < P ≤ 300 KW		Máquinas grandes 300 KW < P < 50 MW		Tipo de máquina		
Motor integrado		Motor externo		Motores		Motores				
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo		
<b>A</b> Condición de máquina nueva				<b>C</b> Máquinas consideradas insatisfactorias pueden ser usadas un tiempo limitado.						
<b>B</b> Máquinas consideradas aceptables pueden ser usadas sin restricciones durante operación continua.				<b>D</b> Vibraciones peligrosas pueden ocasionar subsiguientes daños a la máquina.						

Fuente: Norma ISO 10816-3

La velocidad se define como la proporción de cambio en el desplazamiento, se mide como lo proporción de cambio en la velocidad, es la aceleración promedio de la gravedad en la superficie de la tierra.

Criterios de severidad del nivel global de la vibración (mm/s, Rms)

- Velocidad de rotación comprendida entre 600 – 60000 rpm (10 – 1000 Hz).
- Mediciones realizadas a través de acelerómetros o sensor de velocidad, lo más cercano posible al cojinete.

- Se aplica en máquinas que no estén montadas en aisladores de vibración. En máquinas aisladas, fijar la alarma entre un 30 – 50% del valor habitual.
- Fijar la alarma del motor igual que la del tipo de máquina específica, a menos que se señale una en especial.
- Fijar alarmas en caja de velocidades 25% más arriba que el del tipo de máquina específica.
- Las alarma 1 y la alarma 2 de los niveles globales solo se aplican a máquinas en servicios las cuales están siendo operadas desde algún tiempo después de su instalación inicial o reparación. No se aplican en máquinas nuevas o reconstruidas.

Tabla 5. Criterios de severidad del nivel global de la vibración (mm/s, rms)

TIPO DE MÁQUINA ESPECÍFICA	BUENA	REGULAR	ALARMA 1	ALARMA 2
<b>TRANSMISIONES DE TORRE DE ENFRIAMIENTO</b>				
Flecha larga y hueca	0 – 6.75	6.75 – 10.80	10.80	16.20
Acoplamiento por bandas	0 – 4.95	4.95 – 7.65	7.65	11.70
Acopladas directamente	0 – 3.60	3.60 – 5.40	5.40	8.10
<b>COMPRESORES</b>				
Reciprocantes (movimiento alternativo)	0 – 5.85	5.85 – 9.00	9.00	13.50
Tipo Tornillo	0 – 5.40	5.40 – 8.10	8.10	11.70
Centrífuga con o sin caja de engranaje externa	0 – 3.60	3.60 – 5.40	5.40	8.10
Centrífuga – engranaje integral (medición axial)	0 – 3.60	3.60 – 5.40	5.40	8.10
Centrífuga – engranaje integral (medición radial)	0 – 2.70	2.70 – 4.50	4.50	6.75
<b>SOPLADORES (VENTILADORES)</b>				
Giratorio tipo lóbulo	0 – 5.40	5.40 – 8.10	8.10	12.15
Accionado por bandas	0 – 4.95	4.95 – 7.65	7.65	11.70
Ventiladores generales de transmisión directa (con acoplamiento)	0 – 4.50	4.50 – 6.75	6.75	9.90
Ventiladores de aire primario	0 – 4.50	4.50 – 6.75	6.75	9.90
Ventiladores de tiro forzado, grandes	0 – 3.60	3.60 – 5.40	5.40	8.10
Ventiladores de tiro inducido, grandes	0 – 3.15	3.15 – 4.95	4.95	7.20
Ventilador integral montado en eje (eje extendido del motor)	0 – 3.15	3.15 – 4.95	4.95	7.20

Tabla 5. (Continuación)

<b>GRUPO MOTOR-GENERADOR</b>				
Impulsados por bandas	0 – 4.95	4.95 – 7.65	7.65	12.15
De acoplamiento directo	0 – 3.60	3.60 – 5.40	5.40	8.10
<b>ENFRIADORES (CHILLERS)</b>				
Reciprocantes (movimiento alternativo)	0 – 4.50	4.50 – 7.20	7.20	10.80
Centrifugo abierto (al aire libre) Motor – Compresor separado	0 – 3.60	3.60 – 5.40	5.40	8.10
Centrífugo cerrado (hermético) Motor – Impelente interno	0 – 2.70	2.70 – 4.05	4.05	6.30
<b>TURBOGENERADORES GRANDES</b>				
Turbogenerador de 3600 rpm	0 – 3.15	3.15 – 4.95	4.95	7.20
Turbogenerador de 1800 rpm	0 – 2.70	2.70 – 4.05	4.05	6.30
<b>BOMBAS CENTRÍFUGAS</b>				
Bombas verticales (300mm - 500mm de altura)	0 – 5.85	5.85 – 9.00	9.00	13.50
Bombas verticales (200mm - 300mm de altura)	0 – 4.95	4.95 – 7.65	7.65	11.70
Bombas verticales (130mm - 200mm de altura)	0 – 4.05	4.05 – 6.30	6.30	9.45
Bombas verticales (0mm - 130mm de altura)	0 – 3.60	3.60 – 5.40	5.40	8.10
Bomba horizontal de uso general y acoplamiento directo	0 – 3.60	3.60 – 5.40	5.40	8.10
Bomba de alimentación para calderas	0 – 3.60	3.60 – 5.40	5.40	8.10
Bombas Hidráulicas	0 – 2.25	2.25 – 3.60	3.60	5.40
<b>MÁQUINAS HERRAMIENTAS</b>				
Motor	0 – 1.17	1.17 – 1.80	1.80	2.70
Entrada de la caja de engranaje	0 – 1.80	1.80 – 2.70	2.70	4.05
Salida de la caja de engranaje	0 – 1.17	1.17 – 1.80	1.80	2.70
Husillos: a) Operaciones de desbastamiento	0 – 0.72	0.72 – 1.17	1.17	1.80
b) Acabado	0 – 0.45	0.45 – 0.72	0.72	1.17

Fuente: Norma ISO 10816-3

*c) Aceleración de la vibración g, rms:*

Las partes elementales de cualquier sistema vibratorio son resortes, masas y amortiguadores. Sin embargo las máquinas son mucho más complejas que una simple masa conectada a un resorte, cuando se aplica una fuerza no se mueven como un todo. Existen varias tablas como punto de referencia que a continuación se describe.

Tabla 6. Severidad en el parámetro de aceleración

Aceleración (rms, G)	Severidad (1500-3600 rpm)
5	Excedido
3	Regular
1.5	Bueno
Aceleración (rms, G)	Severidad (900-1500 rpm)
4	Excedido
2	Regular
1	Bueno
Aceleración (rms, G)	Severidad (250-900 rpm)
3	Excedido
1.5	Regular
0.8	Bueno
Aceleración (rms, G)	Severidad (<250 rpm)
2	Excedido
1	Regular
0.5	Bueno

Fuente: Norma ISO 10816-3

d) *Envolvente de la vibración gE :*

El análisis de los envolventes de las vibraciones sirve para detectar fallos completos de máquinas rotatorias, tales como fallos en cojinetes de rodamiento y engranajes, que se han venido imponiendo por su elevada efectividad y bajo costo computacional.

Tabla 7. Envolverte de la vibración

AL = alarm setting for enveloped acceleration measurements in gE Fmax = maximum frequency in Hz for spectrum computation n = running speed in RPM d = bore diameter of the bearing (load indicator) in mm	
<b>Fmax =</b>	<b>5.000,0</b>
<b>n =</b>	<b>1.750,0</b>
<b>d =</b>	<b>30,0</b>
<b>Danger =</b>	<b>7,4</b>
<b>Alert =</b>	<b>2,5</b>

Fuente: Norma ISO 10816-3

## **2.13 Indicadores técnicos de mantenimiento**

Los indicadores técnicos que están relacionados con la calidad de gestión del mantenimiento permiten ver el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos; además, miden la calidad de los trabajos y el grado de cumplimiento de los planes de mantenimiento (AMENDOLA, 2009).

**2.13.1** *Tiempo promedio para fallar (TMEF)*. Es un valor esperado o medio del tiempo para la variable aleatoria de fallo. Este indicador del tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado, y es el recíproco de la tasa de fallo en una distribución exponencial de la variable aleatoria del tiempo de fallo. Este indicador en conclusión nos ayuda a saber una frecuencia promedio con la que se presentan las averías.

**2.13.2** *Tiempo promedio para reparar (TMPR)*. Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Dicho de otra manera, el TMPR mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por una falla, dentro de un período de tiempo determinado, y considerando al tiempo de fallo igual al tiempo para reparar. Este indicador en conclusión nos ayuda a saber el tiempo promedio que se demora el personal de mantenimiento en reparar las averías, es decir desde que aparece la avería hasta su solución.

**2.13.3** *Disponibilidad ( $A_0$ )*. Se define como la capacidad del equipo o instalación para realizar una función requerida bajo condiciones específicas sobre un período de tiempo determinado, asumiendo que los recursos externos requeridos son suministrados. Es un indicador determinístico que traduce los resultados de las acciones de mantenimiento a un índice combinado para un equipo o sistema. Se basa en la pregunta, "¿Está disponible el equipo en condiciones de trabajo cuando se le necesita?".

**2.13.4** *Fiabilidad ( $Rt$ )*. Es uno de los principales atributos que determinan la efectividad de un equipo o sistema. Se define como la probabilidad de que un equipo o sistema desempeñe satisfactoriamente la función que se requiere de él, bajo condiciones específicas de operación, durante un período de tiempo determinado.

## **2.14 Análisis de restricciones**

La teoría de restricciones o T.O.C por sus siglas en inglés (Theory of Constraints), es una filosofía de gestión de sistemas o empresas que se crea sobre una guía y se diseña para lograr un proceso de mejora continua. La única manera de mejorar es identificar y eliminar restricciones de forma sistémica, y continua de manera de mantener un equilibrio en todas las áreas del proceso.

La TOC, se basa principalmente en las siguientes ideas:

- La meta de cualquier empresa con fines de lucro es ganar dinero de forma sostenida; esto es, satisfaciendo las necesidades de los clientes y accionistas.
- Si no gana una cantidad ilimitada es porque algo se lo está impidiendo, es decir por sus restricciones.

**2.14.1 Definición de restricción.** Una restricción es cualquier elemento que impida al sistema alcanzar la meta de ganar más dinero, también conocido como cuello de botella que es la estación de trabajo más lenta, es lógico pensar que a la entrada de la misma se formará una fila o “cola” de elementos tangibles para ser procesados, la cantidad de elementos presentes en esta fila es directamente proporcional a la velocidad de las estaciones anteriores al cuello de botella.

### **2.14.2 Pasos de focalización**

1) *Identificar las restricciones del sistema.* Cualquiera sea el sistema y su meta, siempre hay unos pocos elementos que determinan su capacidad, sin importar cuán complejo o complicado sea. Una restricción es una variable que condiciona.

2) *Subordinar todo a la restricción anterior.* Este paso consiste en obligar al resto de los recursos a funcionar al ritmo que marcan las restricciones del sistema (tambor), según fue definido en el paso anterior. Como la empresa es un sistema, existe interdependencia entre los recursos que la componen. Por tal motivo no tiene sentido exigir a cada recurso que actúe obteniendo el máximo rendimiento respecto de su capacidad, sino que se le debe exigir que actúe de tal manera que las restricciones puedan ser explotadas según lo decidido en el paso 2.

3) *Elevar las restricciones del sistema.* Para seguir mejorando es necesario aumentar la capacidad de las restricciones, éste es el significado de elevar para así crear un programa de mejoramiento del nivel de actividad de la restricción.

Se deber seguir los siguientes pasos:

- a) Mejorar la manera de ser operado.
- b) Mejorar la manera de ser mantenido mediante un mantenimiento más riguroso.
- c) Eliminar tiempos ociosos.
- d) Poner máquinas en paralelo para así reducir inventarios.

4) *Si en las etapas previas se elimina una restricción, volver al paso 1.* En cuanto se ha elevado una restricción debemos preguntarnos si ésta sigue siendo una restricción. Si se rompe la restricción es porque ahora existen otros recursos con menor capacidad; entonces debemos volver al paso 1, comenzando nuevamente el proceso. En otras palabras, se trata de entrar en un proceso de mejora continua.(LARREA, y otros, 2008)

El método de análisis de restricciones contribuye a encontrar de una manera efectiva las limitaciones existentes en el proceso productivo teniendo como referencia a las limitaciones como son equipos, instalaciones o recursos, entre otros, que evitan que el sistema cumpla con su meta para el que ha sido diseñado dentro de un contexto operacional específico.

## **2.15 Análisis de criticidad**

**2.15.1 Definición.** Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Sin importar el tipo o tamaño de una empresa, este análisis constituye el primer paso que debe realizarse como punto de partida a nivel de ingeniería de mantenimiento.

**2.15.2 Matriz y flujograma de criticidad.** La matriz de criticidad envuelve aspectos gerenciales y criterios de decisión que tratan de abordar los aspectos de impacto global con miras a descubrir los ítems donde deberíamos atacar las consecuencias de las fallas, alineándonos de esta manera con los paradigmas modernos del mantenimiento.

El análisis se efectúa a través de una matriz (ver tabla 8) que contiene siete áreas de impacto con los criterios respectivos que ubica a cada ítem en una de tres posibilidades:

A Riesgo alto; B Riesgo medio; C Riesgo bajo

Para el desarrollo del análisis de criticidad se utiliza la Matriz de criticidad (tabla 8) y se analiza en conjunto con el personal de mantenimiento quienes por experiencia y conocimiento del proceso y equipos, son los más idóneos para el análisis de las diferentes áreas de impacto.

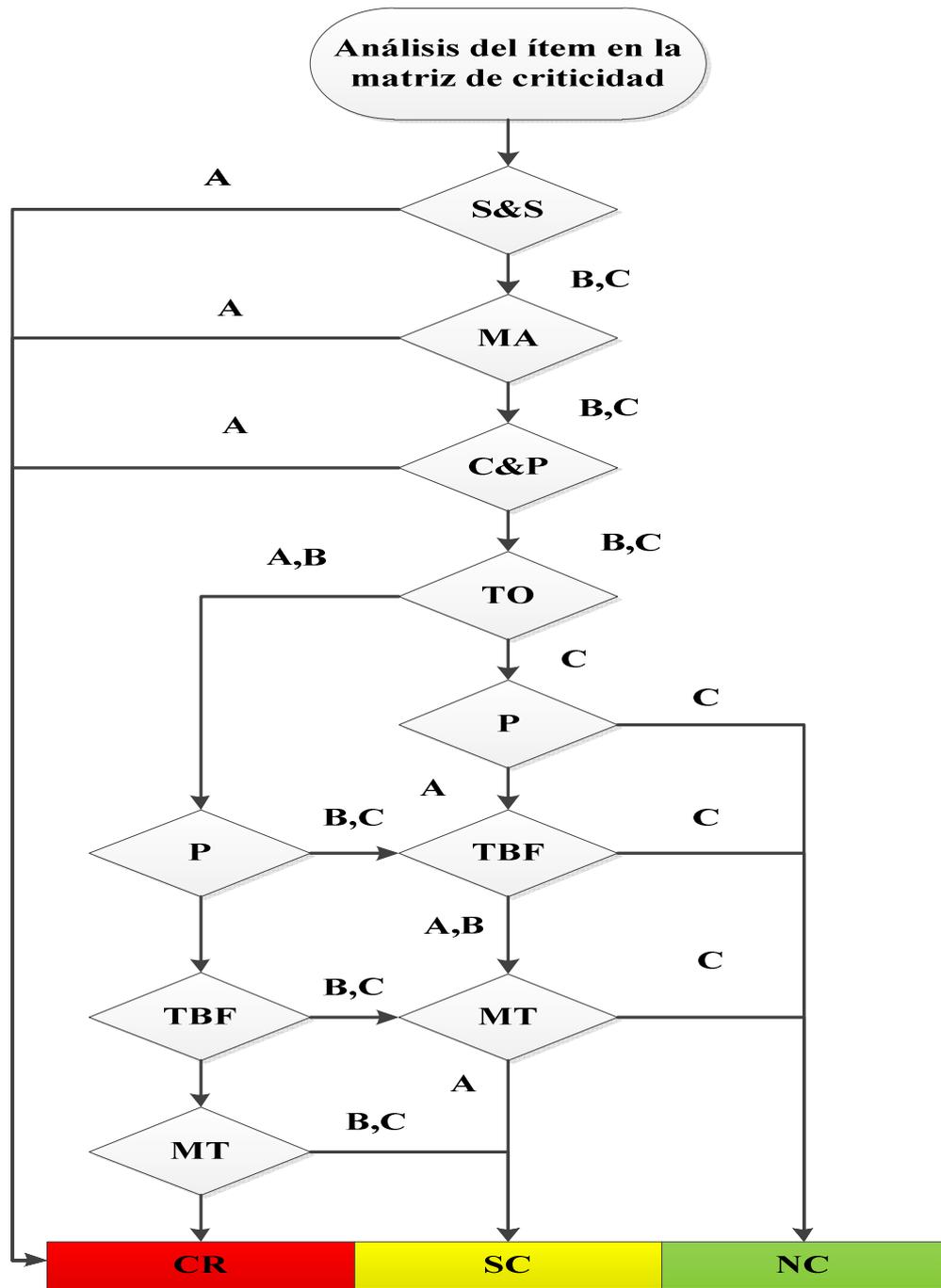
Tabla 8. Matriz de criticidad

<b>MATRIZ DE CRITICIDAD</b>			
<b>CAUSAS DE PARADAS NO PLANEADAS</b>			
<b>Área de Impacto</b>	<b>A Riesgo Alto</b>	<b>B Riesgo Medio</b>	<b>C Riesgo medio</b>
<b>Seguridad y Salud (S&amp;S)</b>	Alto riesgo de vida del personal	Riesgo de vida significativa del personal	No existe riesgo de salud ni daños al personal
	Daños graves en la salud del personal	Daños menores en la salud del personal	
<b>Medio Ambiente (MA)</b>	Altos excedentes de los límites permitidos de derrames y fugas	Excedente de los límites permitidos y repetitivos de derrames y fugas	Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos
<b>Calidad y Productividad (C&amp;P)</b>	Defectos de producción	Variación en las especificaciones de calidad y producción	Sin efectos
	Reducción de velocidad		
	Reducción de la producción		
<b>Producción (P)</b>	Parada de todo el proceso	Parada de una parte del proceso	Sin efectos
<b>OPERACIÓN DE EQUIPOS</b>			
<b>Área de Impacto</b>	<b>A Riesgo Alto</b>	<b>B Riesgo Medio</b>	<b>C Riesgo medio</b>
<b>Tiempos de operación (TO)</b>	24 horas diarias	2 turnos u horas normales de trabajo	Ocasionalmente o no es un equipo de producción
<b>Intervalos entre actividades (TBF)</b>	Menos de 6 meses	En promedio una vez al año	Raramente
<b>Tiempos y Costos de Mantenimiento (MT)</b>	Tiempo y/o costos de reparación altos	Tiempos y/o costos de reparación razonable	Tiempos y/o costos de reparación irrelevantes

Fuente: Henry Juárez. Análisis de criticidad

Una vez analizado los equipos en cada una de las áreas de impacto del cual se obtiene un cuadro de resultados, como paso siguiente se realiza el estudio mediante el flujograma (figura 37) y se sigue las líneas del flujo en función de los resultados obtenidos anteriormente y así se determina y enmarca a los equipos como críticos semicríticos y no críticos.

Figura 37. Flujograma de criticidad



Fuente: Henry Juárez. Análisis de criticidad

## 2.16 Equipo de diagnóstico vibracional VIBRACHECK ABG-200

VibraCHECK ABG-200 es un poderoso analizador portátil de vibraciones mecánicas de dos canales, pensado para controlar confiabilidad y diagnosticar problemas en máquinas.

### 2.16.1 Descripción del equipo

Figura 38. Analizador vibracional VIBRACHECK ABG-200



Fuente: Manual de usuario VIBRACHECK ABG-200, Idear

- *Entrada para acelerómetro.* Esta entrada permite conectar todo tipo de acelerómetros energizados por corriente con salida de tensión (Piezoeléctrico integrado electrónico IEPE).
- *Conector Multipin.* Esta entrada permite conectar el fototacómetro y posee otras entradas y salidas para futuras aplicaciones del equipo.
- *Conector USB.* Este conector permite la comunicación con PC mediante el cable USB <-> Mini USB provisto con el equipo o con cualquier cable usado para cámaras fotográficas, teléfonos celulares y otros dispositivos portátiles.

- *Conector de carga de baterías.* La carga de baterías se realiza conectando la fuente de 12 voltios (V), 1 Amperio provista con el equipo en este conector.

**2.16.2 Configuraciones y manejo.** VibraCHECK permite realizar diversas configuraciones para las mediciones, ajuste de contraste, entre otras, a partir de la opción CONFIGURACIÓN del menú principal.

- *Variable.* Selecciona la variable a medir con los espectros o formas de onda: aceleración, velocidad, desplazamiento y envolvente.

Figura 39. Presentación del menú del equipo y sus opciones



Fuente: Manual de usuario VIBRACHECK ABG-200, Idear

- *Frecuencia.* Define la frecuencia máxima de los espectros. Para el caso de aceleración, pueden efectuarse mediciones de espectros de 10000 Hz para máquinas o de 300 Hz para estructuras o exposición del cuerpo humano. Para las variables velocidad, desplazamiento y envolvente, se pueden seleccionar frecuencias de 1200 Hz, 300 Hz, 150 Hz, 75 Hz y 37.5Hz.
- *Rango.* Define el rango de medición de velocidad y desplazamiento. Para el caso en que se use un acelerómetro de 100 milivoltios/gravedad (mV/g), los rangos son:

Tabla 9. Rangos para velocidad y desplazamiento

VARIABLE	RANGO NORMAL	RANGO EXTENDIDO
Velocidad	80 mm/s	320 mm/s
Desplazamiento	200 micrones	800 micrones

Fuente: Manual de usuario VIBRACHECK ABG-200

- *Promedios.* Permite seleccionar la cantidad de promedios a realizar con los espectros entre 1 y 100, para eliminar los ruidos aleatorios y definir mejor a las componentes.
- *Envolvente.* Permite configurar las características del demodulador de señales con el fin de adaptarlo a la necesidad de cada máquina. Si bien es posible, configurar estos parámetros manualmente, cuando se trabaja en rutas, el equipo realiza estos ajustes automáticamente en función de los filtros A, B, C o D elegidos.
- *Pasa altos.* Ajusta la frecuencia mínima de medición. El valor por defecto es de 2000 Hz.
- *Pasa bajos.* Ajusta la frecuencia máxima de medición. El valor por defecto es de 5000 Hz (IDEAR, 2006).

**2.16.3 Características y ventajas.** Las características y ventajas del equipo de análisis vibracional se muestran a continuación:

#### **Características**

- Acelerómetros o sensores de proximidad.
- Mide aceleración, velocidad, desplazamiento y envolvente.
- Mide espectros, formas de onda y órbitas.
- Analiza fase, espectros cruzados, coherencia, registra arranques y paradas para analizarlos con *MAINTraQ Analyzer*.
- Balancea en uno y dos planos.
- Protegido contra ingreso de polvo y humedad IP65.

#### **Ventajas**

- Un solo equipo que funciona como colector, balanceador o analizador.
- Es extremadamente rápido para la recolección de mediciones en rutas.
- Es liviano y fácil de transportar.
- Realiza mediciones detalladas de forma simple.

## CAPÍTULO III

### 3. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS EQUIPOS

#### 3.1 Contexto operacional de los equipos del sistema productivo

El contexto operacional es el entorno donde funciona el equipo es muy importante, debido a que las estrategias de mantenimiento deberían ser distintas en el caso de que equipos (iguales en diseño) estén instalados en ambientes diferentes.

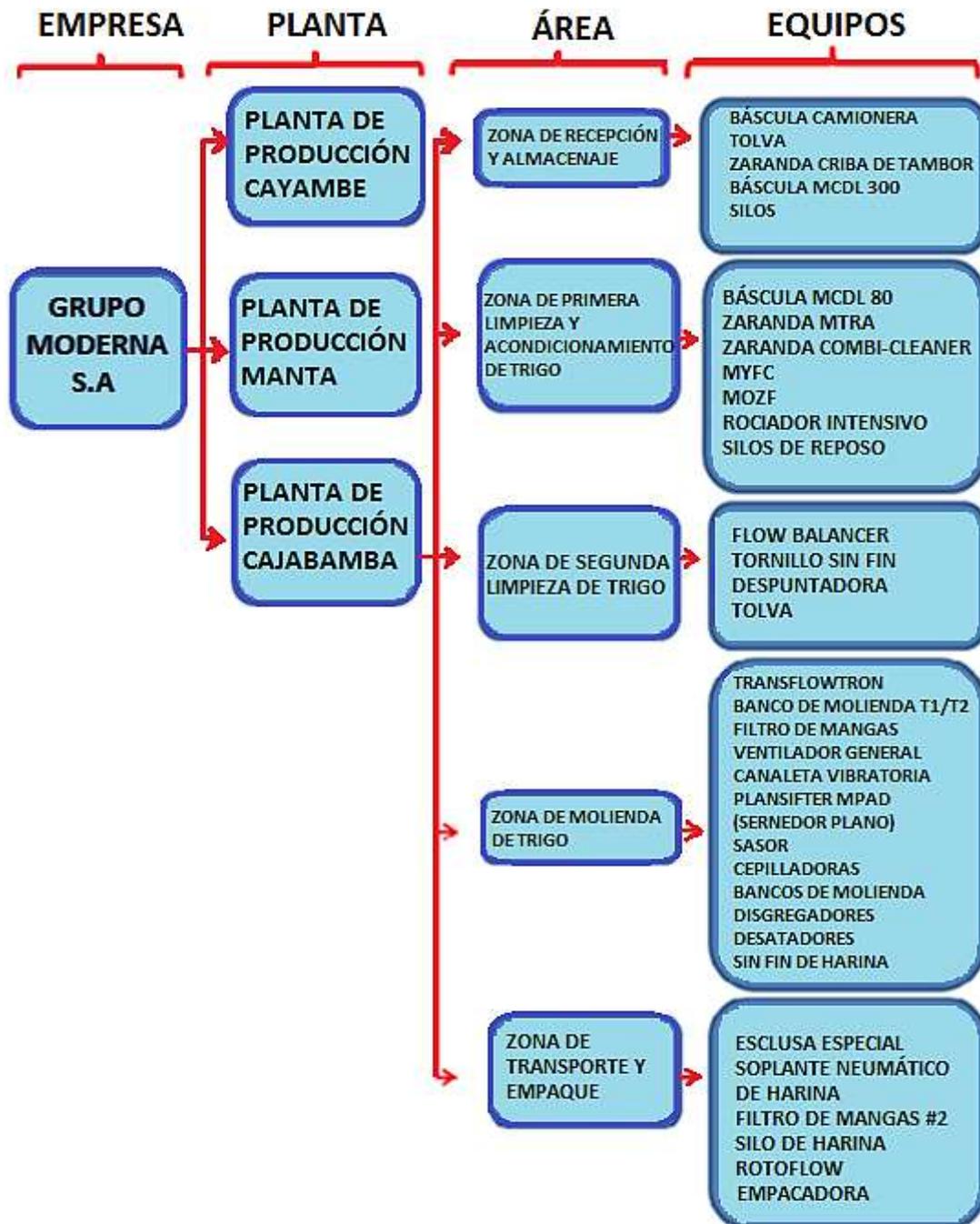
**3.1.1 Jerarquización del sistema.** La empresa Grupo Moderna posee a nivel nacional tres sucursales que están situadas en varias ciudades del país. En Manta, Cajabamba, Cayambe se realiza las operaciones de producción y en otras ciudades hay centros de logística y de negocios para la jerarquización lo realizaremos a nivel de plantas, zonas, equipos y en lo posterior para el análisis correspondiente desarrollaremos la jerarquización a nivel de componentes.

Figura 40. Planta Moderna Alimentos S.A



**Fuente:** Documentación técnica, Departamento de Producción, Moderna Alimentos S.A

Figura 41. Jerarquización a nivel de componente



**Fuente:** Documentación técnica, Departamento de Producción, Moderna Alimentos S.A

**3.1.2 Descripción funcional del proceso.** El proceso inicia con la recepción del trigo, previamente se le realiza el pesaje y control de calidad antes de ser transportado hacia los silos de almacenaje, luego es sometido a una pre-limpieza en donde se elimina la mayoría de impurezas como piedras, metales, basuras u otros granos, entre otros. Aquí el trigo pasa por una serie de tamices y zarandas en donde por granulometría se

separa las partículas de mayor tamaño para luego ser almacenado en los silos, posteriormente se realiza la primera limpieza donde el trigo pasa por equipos similares a la pre-limpieza para sacar del proceso elementos indeseados que se pasaron de la zona anterior a más de pasar también por el selector de gravedad, en el cual se separa la sustancia según su peso y densidad. Una vez que el trigo está limpio es sometido a el acondicionamiento en donde al grano se le somete a tratamientos de humedad y calor para lograr un grano homogéneo de fácil trituración, apariencia y transporte con un contenido de humedad del 16% - 17% aproximadamente. Luego el trigo es llevado a la segunda limpieza donde se elimina arena y tierra adherida al grano.

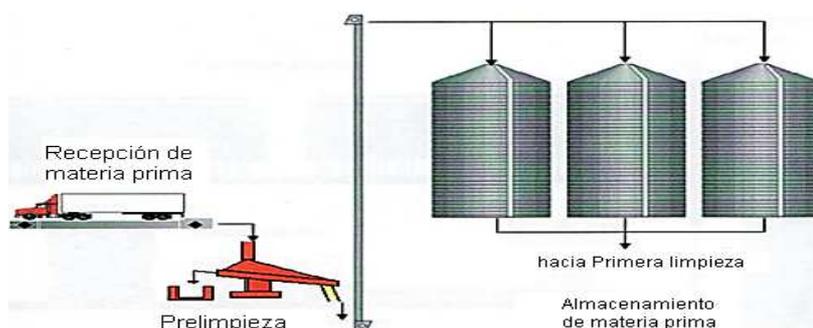
Al momento que el trigo pasa a la zona de molienda el mismo tiene que ser triturado y comprimido. En la trituración, el grano es partido por medio de rodillos estriados, luego este producto pasa a la compresión, en donde el producto es pulverizado mediante cilindros lisos; luego, de este procedimiento todo el producto molido es cernido en donde los elementos más gruesos regresan a los bancos de molienda mientras que los más fino (harina) se traslada directamente hacia los purificadores.

En la etapa final, la harina es transportada hacia los dosificadores de químicos en donde se le añade vitaminas y minerales, después la misma es homogenizada quedando lista para el empaclado y posterior almacenaje.

**3.1.1.1 Zona de recepción y almacenaje.** En esta zona se recepta toda la cantidad de trigo necesaria para tener una producción continua, esta materia prima luego es sometida a una selección del grano que consiste en sacar todo lo que sea materia extraña como palos, tierra que vino del campo más lo que se sumó en el acopio y que pueden afectar a las etapas próximas del proceso, luego de esto el trigo es almacenado en silos donde permanece hasta que el sistema lo requiera y lo transporte hasta la siguiente etapa.

En el caso de la empresa Moderna Alimentos S.A la materia prima que procesan es de origen nacional e internacional pues el 97% del trigo lo importan de Canadá y Estados Unidos mientras que el 3% restante es de procedencia nacional desde las ciudades de Alausí y Guaranda, entre las más representativas.

Figura 42. Recepción y almacenaje del trigo



Fuente: Documentación técnica, Departamento Mantenimiento, Moderna Alimentos

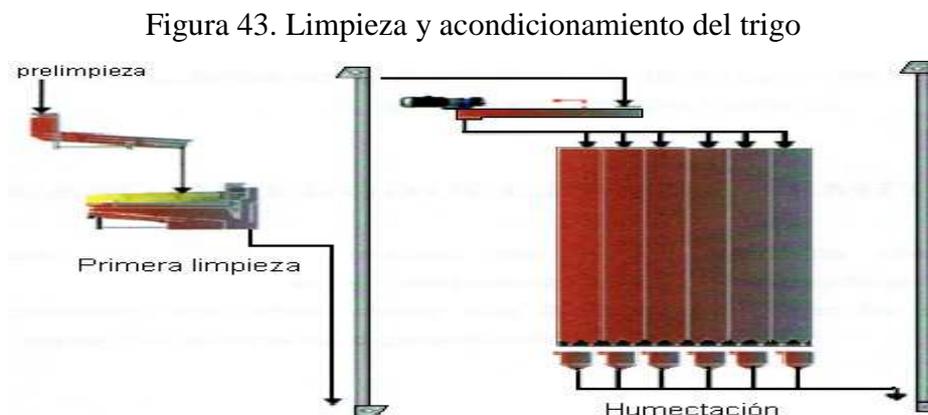
*Componente que intervienen en la zona*

- a) *Báscula camionera.* La función de la báscula camionera es la de pesar la materia prima (trigo) junto con el camión que lo transporta para de esta manera saber exactamente la cantidad de trigo que fue descargado en la planta.
- b) *Tolva.* Se encarga de almacenar todo el trigo que ha sido descargado de los camiones.
- c) *Transportador.* Transporta el trigo entero desde la tolva de recepción hasta llegar al elevador.
- d) *Elevador.* Eleva el trigo proveniente de la tolva de recepción hacia la zaranda de tambor.
- e) *Imán.* La función del imán es impedir que los objetos metálicos que se encuentran en el flujo de trigo continúen en el proceso ya que estos podrían causar daños en las máquinas o contaminación del producto final.
- f) *Zaranda criba de tambor.* Su función es la de sacar los contaminantes o desperdicios gruesos que contiene el trigo como pueden ser papeles, cartones, plásticos, otros tipos de granos, entre otros.
- g) *Báscula MCDL 300.* Esta máquina cumple la función de pesar la cantidad exacta de trigo sin los desperdicios que fueron eliminados por la máquina anterior para de esta manera saber qué cantidad de trigo se encuentra ingresando a cada silo.
- h) *Transportador de cadena.* Transporta el trigo entero mediante una cadena desde la báscula hasta llegar al elevador.
- i) *Elevador.* Eleva el trigo proveniente de la báscula hasta descargar en los silos.

- j) *Silos.* Los silos cumplen la función de almacenar toda la cantidad de trigo que ha logrado pasar de las etapas anteriores de selección del grano para su posterior acondicionamiento y molido. La empresa Moderna Alimentos actualmente cuenta con 7 silos para dicha función.

**3.1.1.2 Zona de primera limpieza y acondicionamiento del trigo.** En esta etapa se receipta el trigo que ha sido almacenado anteriormente en los silos para realizarle una nueva limpieza al grano, también se extrae elementos extraños como piedras y demás elementos que no sean trigo para luego almacenarlo nuevamente en los silos de reposo en donde se le da la humedad necesaria y la temperatura adecuada al trigo para que quede listo para su última limpieza y poder pasar a la molienda.

La empresa Moderna Alimentos S.A cuenta con máquinas adecuadas y sofisticadas para la selección por granulometría del grano y el acondicionamiento para que las distintas partes del grano adquieran distintas propiedades físicas y así facilitar una mejor separación entre ellas.



Fuente: Documentación técnica, Departamento Mantenimiento, Moderna Alimentos S.A

*Componentes que intervienen en la zona*

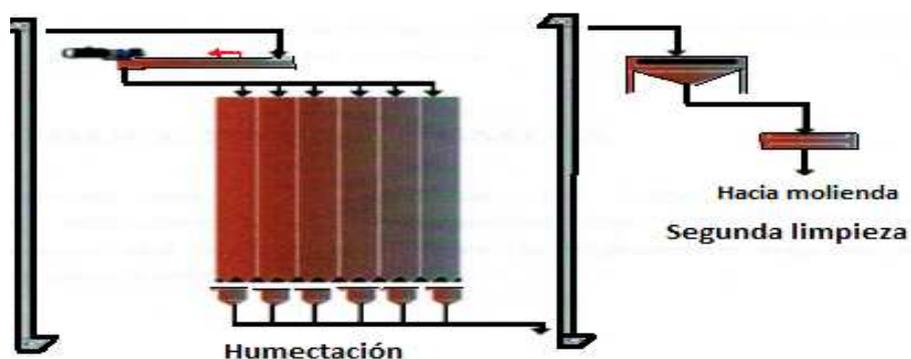
- a) *Báscula MSDL 80.* Pesa la cantidad de trigo que será acondicionado.
- b) *Zaranda MTRA.* Este tipo de zaranda tiene la función de sacar e impedir que pasen productos gruesos, basuras, morocho que pasaron de la anterior zaranda.
- c) *Canal de aspiración.* Absorbe los polvos de trigo generados en el tamizaje.
- d) *Zaranda COMBI-CLEANER.* Esta es una máquina combinada cuya función es la

de sacar piedras y demás productos que no sean trigo.

- e) *MYFC*. Es un dispositivo electrónico que mide algunas características del trigo como la humedad y ordena a la *MOZF* que cantidad de agua debe agregar al trigo para su posterior reposo en los silos.
- f) *Elevador*. Eleva el trigo proveniente de la *COMBI-CLEANER* hasta descargar en los diferentes silos de reposo.
- g) *MOZF*. Es un dispositivo electrónico cuya función es determinar y proporcionar la cantidad adecuada de agua que se debe agregar al trigo para que este alcance la humedad óptima, esta señal es receptada por el rociador intensivo.
- h) *Rociador intensivo*. La función de este es rociar el agua y hacer que el trigo se mezcle con la misma de una manera homogénea luego de haber recibido la señal del *MOZF*.
- i) *Silos de reposo*. Los silos cumplen la función de almacenar y dar el reposo adecuado a toda la cantidad de trigo que ha sido humedecido para que el trigo quede acondicionado antes de que el trigo pase a la siguiente etapa. La empresa Moderna Alimentos actualmente cuenta con 6 silos para dicha función.

**3.1.1.3 Zona de segunda limpieza del trigo.** En esta etapa se realiza la última selección, revisión y la segunda limpieza del grano, aquí también se saca brillo al grano de trigo mediante una especie de rascado del grano para así lograr una mejor limpieza del grano que pasará a la zona de molienda y será determinante a la hora de obtener un producto final de calidad.

Figura 44. Limpieza del trigo



Fuente: Documentación técnica, Departamento Mantenimiento, Moderna Alimentos S.A

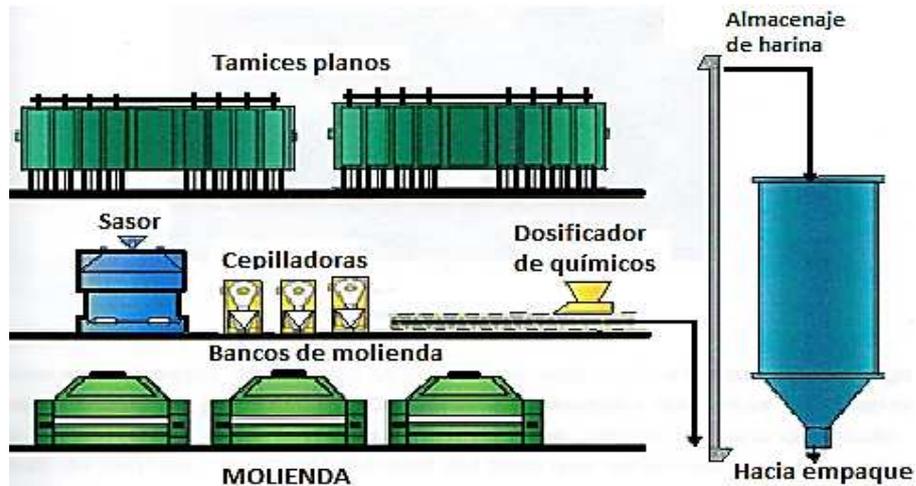
### *Componentes que intervienen en la zona*

- a) *Flow balancer*. Esta máquina tiene como función dosificar desde los 6 silos de reposo la cantidad exacta de trigo que tiene que pasar a la etapa de molienda dependiendo del tipo de producto (harina) que se necesite fabricar.
- b) *Tornillo sin fin*. Su función es la de transportar el trigo que sale de los silos hacia un elevador.
- c) *Elevador*. Eleva el trigo proveniente del tornillo sin fin hasta llegar al piso en donde se encuentra la despuntadora.
- d) *Despuntadora*. Esta máquina tiene la función de sacar brillo al grano de trigo ya que realiza una especie de rascado del grano para así lograr una mejor limpieza del grano.
- e) *Imán*. La función del imán es impedir que los objetos metálicos que se encuentran en el flujo de trigo continúen en el proceso, ya que estos podrían causar daños en las máquinas o contaminación del producto final.
- f) *Canal de aspiración*. Absorbe los polvos de trigo generados en la despuntadora y los polvos generados por el transporte del trigo mismo.
- g) *Tolva*. Se encarga de desmenuzar el trigo que ira hacia la etapa de molienda para evitar aglutinamiento entre los granos.

**3.1.1.4 Zona de molienda y sub-zona de aspiración neumática.** En esta zona se realiza la dosificación adecuada del trigo que pasara a los diferentes bancos de molienda pudiendo estos ser de trituración y compresión, en primer lugar el trigo proveniente de la zona anterior llega hasta el banco T1/T2-C1/C2, donde es triturado y comprimido, luego este producto si está bien triturado es cernido en los diferentes sasores, tamices y cepilladoras para luego pasar a los siguientes bancos de molienda caso contrario estas partículas regresan a ser molidas nuevamente hasta que el producto tenga la granulometría correcta y pase directamente.

En la sub-zona de aspiración neumática se filtra el aire proveniente de todos los bancos para que el aire que sale a la atmósfera salga lo más puro posible, es decir sin partículas de harina contenidas en el aire.

Figura 45. Zona de molienda y sub-zona de aspiración



Fuente: Documentación técnica, Departamento Mantenimiento, Moderna Alimentos S.A

#### *Componentes que intervienen en la zona*

- Transflowtron.* Realiza la regulación del flujo de entrada del trigo que ingresa a la molienda, además pesa el trigo y almacena este dato para saber el dato exacto de trigo que entra al molino.
- Banco doble de molienda T1/T2-C1/C2.* Este molino tiene la función de triturar y comprimir el trigo. El trigo entero ingresa al molino y pasa por los rodillos T1/T2 realizando la trituración, luego este trigo triturado pasa por los rodillos C1/C2 realizando la compresión del mismo.
- Ciclón.* Su función es hacer que la harina comprimida que sale del molino forme un remolino para el aglutinamiento de la harina.
- Esclusa.* Su función es evitar que haya aspiración desde el plansifter hacia la parte del molino.

#### *Sub-zona de aspiración neumática*

- Filtro de mangas.* Filtra el aire proveniente de todos los bancos de molienda para que el aire que sale a la atmósfera sea totalmente limpio, no producir ningún tipo de contaminación y aprovechar al máximo la producción de harina sin desperdicio alguno. Esta máquina tiene 96 mangas por donde circula el aire con harina y lo que hace es retener la harina en dichas mangas hasta que caiga por gravedad al fondo y el aire puro lo deja pasar hacia el exterior de la planta.

- f) *Esclusa del filtro de mangas.* Su función es evitar que haya aspiración desde el ventilador general hacia la parte donde se encuentra la canaleta vibratoria.
- g) *Ventilador general.* Aspira el aire de todas las partes del proceso con el fin de filtrar el mismo.
- h) *Canaleta vibratoria.* Vibra para que el producto caiga desde el filtro de mangas para luego ser absorbido nuevamente y llegue al sistema ciclón- esclusa de tal manera que éste en lo posible se reincorpore al sistema y evitar desperdicio de producto.
- i) *Plansifter MPAD (cernedor plano).* Realiza el cernido del producto comprimido desde el banco T1/T2-C1/C2 para luego enviar a los demás bancos pudiendo éstos ser de trituración o compresión o a los sasores.
- j) *Sasor.* Este es un cernedor de sémolas, partículas más gruesas que la harina.
- k) *Cepilladoras.* Es otro tipo de cedazo que retiene las partículas gruesas producto de la molienda en su interior y las separa, mientras que las partículas finas pasan libremente, la empresa actualmente cuenta con tres máquinas de esta naturaleza.
- l) *Bancos de molienda.* Receptan el grano molido y cernido de la primera trituración y compresión para dar el acabado final al producto y que pueda seguir avanzando en el proceso.
- m) *Disgregadores.* Éstos realizan la pulverización del producto molido para que el mismo se desintegre y no aglutine a través de sus alabes que son impulsados por un motor.
- n) *Desatadores.* Ayuda a eliminar las placas que se producen en la compresión.
- o) *Sin fin de harina.* Junta todas las harinas de los diferentes pasajes de los plansifter para luego transportarlos a la tolva de producto terminado.
- p) *Elevador de harina.* Eleva la harina proveniente del tornillo sin fin de harina hasta llegar al Plansifter de control.
- q) *Plansifter de control.* Realiza el último tamizaje de la harina y nos permite asegurarnos que objetos extraños como partes de máquinas o partículas metálicas pasen directamente en el producto terminado.
- r) *Báscula TUBEX.* Esta pesa la cantidad de harina total que sale como resultado.

- s) *Tolva de harina.* Recapta todo el producto terminado y lo conduce hacia la zona de empaque.

**3.1.1.5 Zona de transporte y empaque.** Esta zona comienza con el transporte neumático del producto terminado que ha salido de los bancos de molienda hasta llegar a depositarlo en los silos de almacenaje con el fin de proporcionar un flujo constante de harina para el empaqueo de la misma.

En la bodega de la empresa Moderna Alimentos S.A de producto terminado se realiza la clasificación y apilado según las diferentes marcas de harina, semita y afrecho que se producen, entre las más importantes se muestran en la figura 46.

Figura 46. Zona de transporte y empaque



Fuente: Documentación técnica, Departamento Mantenimiento, Moderna Alimentos

*Componentes que intervienen en la zona*

- a) *Esclusa especial.* Esta esclusa está destinada a evitar que el aire que suministra el soplante ingrese a la tolva, sino que la dirección del aire sea únicamente hacia el silo de harina.
- b) *Soplante neumático de harina.* Transporta toda la harina fabricada hacia la zona de empaque mediante la aplicación de aire de baja presión y elevado caudal.
- c) *Filtro de mangas #2.* Separa el aire de la harina que se ha generado una mezcla aire-harina por el funcionamiento del soplante.

- d) *Silo de harina.* Almacena todo el producto terminado con el fin de proporcionar un flujo constante de harina para el empaqueo.
- e) *Rotoflow.* Este equipo vibra para que la harina que se encuentra en el silo caiga uniformemente hacia la empacadora.
- f) *Empacadora.* Empaca el producto terminado en los respectivos contenedores dependiendo el tipo de harina para luego ser almacenado y apilados en las distintas bodegas que pasee la planta para su posterior embarque.

Figura 47. Área de empaque



Fuente: Documentación técnica, Departamento Mantenimiento, Moderna Alimentos

**3.1.3 Estado técnico de equipos.** Para la elaboración de fichas de estado técnico se realizó una inspección a todos los equipos de la planta procesadora Moderna Alimentos S.A como el primer paso al momento de ingresar a la empresa, ya que mediante los resultados de las mismas se determinará si el sistema de mantenimiento utilizado actualmente es positivo para los activos o existen falencias en dicho sistema que hay que mejorarlas.

En estas tablas se realiza la evaluación de los aspectos más importantes que pueden afectar al normal funcionamiento del activo, estos serán calificados como: Bueno, Regular o Malo según el estado en que fueron encontrados, esto se basa en algunos valores ponderados que se muestran a continuación:

- BUENO = 1
- REGULAR = 0.80
- MALO = 0,50

Una vez determinados estos valores se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Realizar la sumatoria por separado de todos los aspectos evaluados y después multiplicar el total de aspectos buenos, regulares o malos por el valor ponderado según corresponda.
- Todos los resultados obtenidos después de la multiplicación se los suman sin ninguna diferenciación y se los divide para el número de aspectos evaluados.
- El resultado obtenido se lo multiplica por cien y se lo enmarca dentro de los rangos expresados en la siguiente tabla para determinar el estado técnico general del activo.

Tabla 10. Criterios para determinar el estado técnico

<b>BUENO</b>	<b>(90 – 100) %</b>
<b>REGULAR</b>	<b>(75 – 89) %</b>
<b>MALO</b>	<b>(50 – 74) %</b>
<b>MUY MALO</b>	<b>Menos del 50 %</b>

Fuente: MOROCHO, M. Administración del Mantenimiento.

Al analizar el estado técnico de todos los equipos de la planta procesadora Moderna Alimentos S.A y tomando como referencia a diez de los equipos más importantes del sistema, se pudo determinar que debido a la buena aplicación de la gestión del mantenimiento en la empresa, todas las máquinas del proceso productivo están en un estado técnico BUENO, pero hay que tomar muy en cuenta que aunque la máquina se encuentre en un estado técnico general BUENO existen ciertos aspectos que se calificaron como regular o malo, entonces para estos es recomendable planificar tareas de mantenimiento adecuadas para tratar de mitigarlos.

Tabla 11. Estado técnico de zaranda criba de tambor

		<b>FICHA DE ESTADO TÉCNICO DE EQUIPOS</b>		Código: DOC-DM-ET-01	
				Versión: 1	
				Fecha elaboración: 01-06-2013	
				Fecha modificación: 01-06-2013	
ELABORA: Daniel CH. y Jairo S.		REVISAR: Ing. Eduardo Hernández		APRUEBA: Ing. Germán Llamuca	
				FECHA INSPECCIÓN: 06/06/2013	
<b>ACTIVO: ZARANDA CRIBA DE TAMBOR</b>					
MARCA: 			RESPONSABLE DE MANTENIMIENTO: ❖ Tlg. Raúl Logroño		
CÓDIGO TÉCNICO: CM1 - RE - MKZM01			SIGNIFICADO: Cajabamba Molino 1- Zona de Recepción - Codificación de fabricación BUHLER #01		
<b>MANUALES:</b>		<b>PLANOS:</b>		<b>REPUESTOS:</b>	
SI	X	SI	X	SI	X
NO		NO		NO	
<b>ESTADO TÉCNICO:</b>		<b>MÉTODO UTILIZADO</b>	<b>MALO</b>	<b>REGULAR</b>	<b>BUENO</b>
Estado de motor.		Visual, Oído, Tacto, Oler			X
Estado de tamiz.		Visual		X	
Estado de la carcasa.		Visual, Tacto			X
Estado del anclaje.		Visual			X
Limpieza total.		Visual			X
Estado de conexiones eléctricas.		Visual			X
Estado del tablero de control.		Visual			X
Estado pernos de tapa principal.		Visual, Tacto			X
Lubricación.		Visual			X
Ruidos extraños.		Oído			X
Temperatura.		Tacto			X
<b>RESULTADOS:</b>			<b>IMAGEN DE MÁQUINA:</b>		
$\Sigma$ BUENO= 10 10x 1=10 $\Sigma$ REGULAR= 1 1x 0.80=0.80		<b>SUMATORIA:</b> $\Sigma$ = Bueno + Regular $\Sigma$ = 10 + 0.80= 10.80			
<b>ÍNDICE DE ESTADO TÉCNICO:</b> $IE = (\Sigma/11) * 100\%$ $IE = (10.80/11) * 100\%$ IE= 98,2 %		<b>CONCLUSIÓN:</b> <b>ESTADO TÉCNICO BUENO</b>			
<b>TIPO DE MANTENIMIENTO RECOMENDADO:</b> ❖ Realizar inspecciones periódicas dando seguimiento a los elementos que se calificaron como Regular o Malo para programar actividades en la próxima parada de la planta.					

Fuente: Autores

Tabla 12. Estado técnico de zaranda combi-cleaner

		<b>FICHA DE ESTADO TÉCNICO DE EQUIPOS</b>		Código: DOC-DM-ET-01	
				Versión: 1	
				Fecha elaboración: 01-06-2013	
				Fecha modificación: 01-06-2013	
ELABORA: Daniel CH. y Jairo S.		REVISAR: Ing. Eduardo Hernández		APRUEBA: Ing. Germán Llamuca	
				FECHA INSPECCIÓN: 06/06/2013	
<b>ACTIVO:ZARANDA COMBI-CLEANER</b>					
<b>MARCA:</b> 			<b>RESPONSABLE DE MANTENIMIENTO:</b> ❖ Tlg. Raúl Logroño		
<b>CÓDIGO TÉCNICO:</b> CM1 - LI - MTKB01			<b>SIGNIFICADO:</b> Cajabamba Molino 1- Zona de Limpieza - Codificación de fabricación BUHLER #01		
<b>MANUALES:</b>		<b>PLANOS:</b>		<b>REPUESTOS:</b>	
SI	X	SI	X	SI	X
NO		NO		NO	
<b>ESTADO TÉCNICO:</b>			<b>MÉTODO UTILIZADO</b>	<b>MALO</b>	<b>REGULAR</b>
Estado de vibro-motores.			Visual,Oído, Tacto, Oler		X
Estado de tamices.			Visual		X
Estado de la carcasa.			Visual, Tacto		X
Estado del anclaje.			Visual		X
Limpieza total.			Visual		X
Estado de conexiones eléctricas.			Visual		X
Estado de instalaciones neumáticas y ventilador.			Visual,Oído, Tacto, Oler		X
Estado de visores de producto.			Visual		X
Estado de conductos de aspiración y superficie filtrante.			Visual		X
Ruidos extraños.			Oído		X
Temperatura.			Tacto		X
<b>RESULTADOS:</b>			<b>IMAGEN DE MÁQUINA:</b>		
$\Sigma$ BUENO= 10 10x 1=10 $\Sigma$ REGULAR= 1 1x 0.80=0.80		<b>SUMATORIA:</b> $\Sigma$ = Bueno + Regular $\Sigma$ = 10 + 0.80= 10.80			
<b>ÍNDICE DE ESTADO TÉCNICO:</b> $IE= (\Sigma/11) * 100\%$ $IE= (9.80/11) * 100\%$ IE= 98,2 %		<b>CONCLUSIÓN:</b> <b>ESTADO TÉCNICO BUENO</b>			
<b>TIPO DE MANTENIMIENTO RECOMENDADO:</b> ❖ Realizar inspecciones periódicas dando seguimiento a los elementos que se calificaron como Regular o Malo para programar actividades en la próxima parada de la planta.					

Fuente: Autores

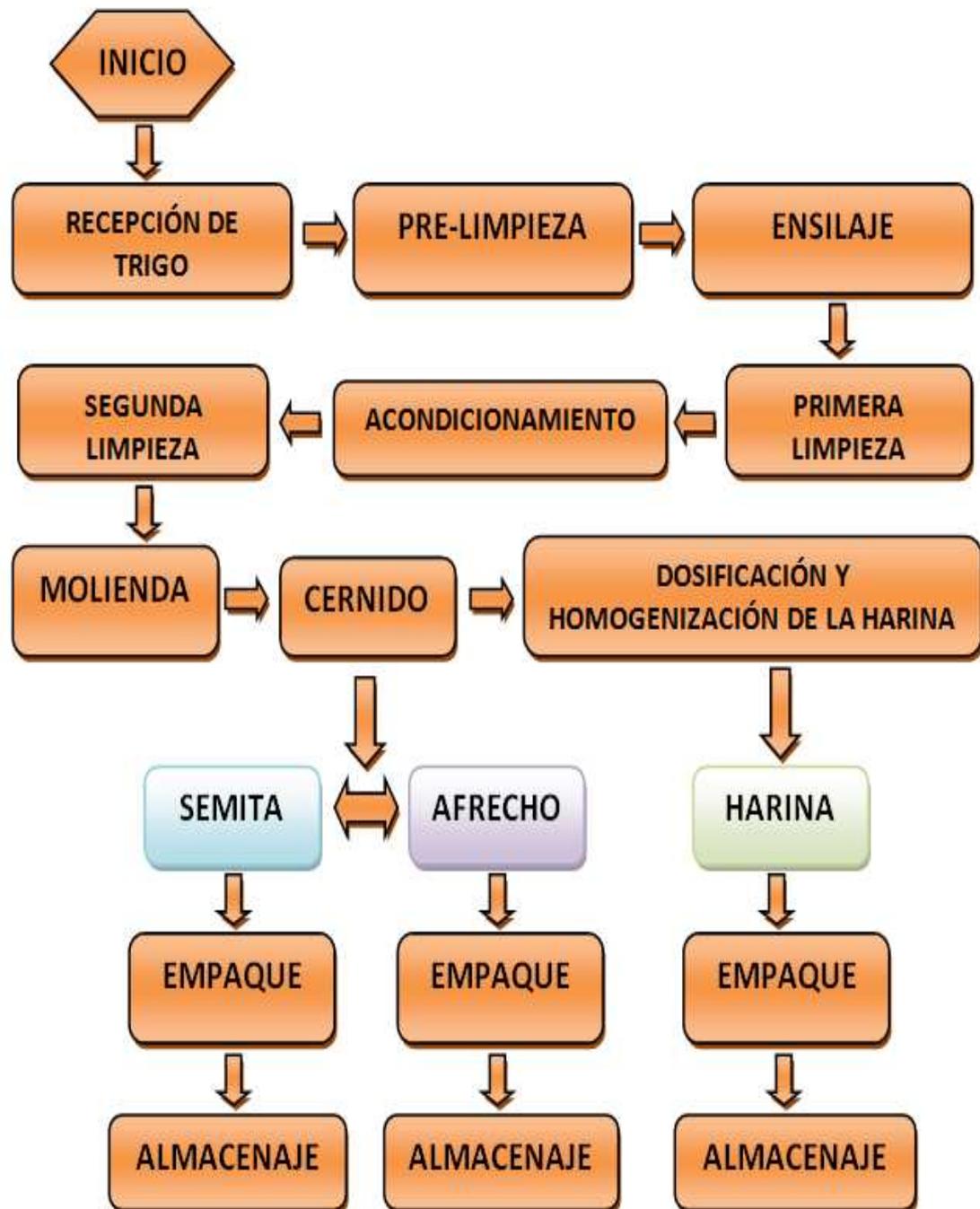
Tabla 13. Estado técnico de transportador de cadena T6

		<b>FICHA DE ESTADO TÉCNICO DE EQUIPOS</b>		Código: DOC-DM-ET-01	
				Versión: 1	
				Fecha elaboración: 01-06-2013	
				Fecha modificación: 01-06-2013	
ELABORA: Daniel CH. y Jairo S.		REVISAR: Ing. Eduardo Hernández		APRUEBA: Ing. Germán Llamuca	
				FECHA INSPECCIÓN: 06/06/2013	
<b>ACTIVO:TRANSPORTADOR DE CADENA T6</b>					
MARCA: 			RESPONSABLE DE MANTENIMIENTO: ❖ Tlg. Raúl Logroño		
CÓDIGO TÉCNICO:  CM1 – LI - TRAN08			SIGNIFICADO: Cajabamba Molino 1- Zona de Limpieza- Codificación de transportadores #08		
MANUALES:		PLANOS:		REPUESTOS:	
SI	X	SI	X	SI	X
NO		NO		NO	
<b>ESTADO TÉCNICO:</b>			<b>MÉTODO UTILIZADO</b>	<b>MALO</b>	<b>REGULAR</b>
Estado de motor.			Visual,Oído, Tacto, Oler		X
Estado de anclaje de motor.			Visual		X
Estado de anclaje del transportador.			Visual		X
Estado de la carcasa.			Visual, Tacto		X
Estado de cadena transportadora.			Visual		X
Estado de ductos de carga y descarga.			Visual		X
Limpieza total.			Visual	X	
Estado de conexiones eléctricas.			Visual		X
Estado del tablero de control.			Visual		X
Lubricación.			Visual		X
Ruidos extraños.			Oído		X
Temperatura.			Tacto		X
<b>RESULTADOS:</b>			<b>IMAGEN DE MÁQUINA:</b>		
$\Sigma$ BUENO= 11 $11 \times 1=11$ $\Sigma$ REGULAR= 1 $1 \times 0.80=0.80$		<b>SUMATORIA:</b> $\Sigma = \text{Bueno} + \text{Regular}$ $\Sigma = 11 + 0.80 = 11.80$			
<b>ÍNDICE DE ESTADO TÉCNICO:</b> $IE = (\Sigma/12) * 100\%$ $IE = (11.80/12) * 100\%$ $IE = 98,3\%$		<b>CONCLUSIÓN:</b>  <b>ESTADO TÉCNICO BUENO</b>			
<b>TIPO DE MANTENIMIENTO RECOMENDADO:</b> ❖ Realizar inspecciones periódicas dando seguimiento a los elementos que se calificaron como Regular o Malo para programar actividades en la próxima parada de la planta.					

Fuente: Autores

**3.1.4 Descripción del proceso productivo de harina.** En la empresa Moderna Alimentos S.A. el principal producto que se obtiene mediante el procesamiento del trigo es la harina, pero también se produce en mínimas cantidades productos derivados como son el afrecho y la semita. A continuación se presenta el diagrama de bloques en donde consta todo el proceso que debe pasar el grano de trigo hasta convertirse en harina.

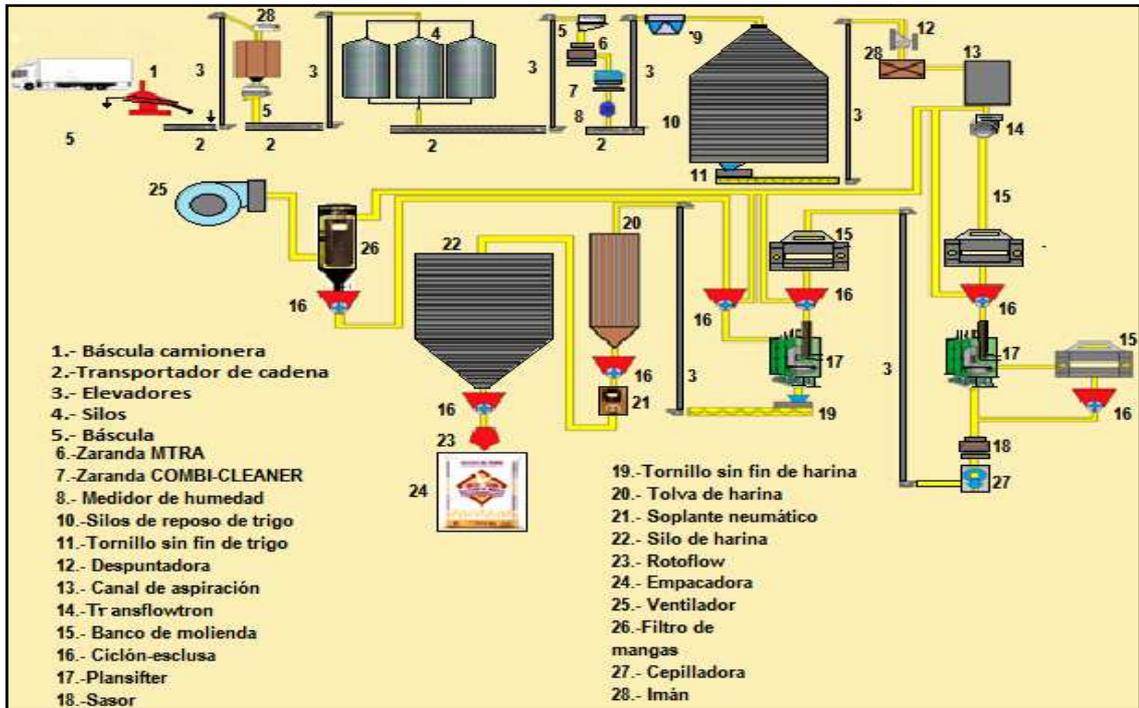
Figura 48. Proceso de producción de harina



Fuente: Autores

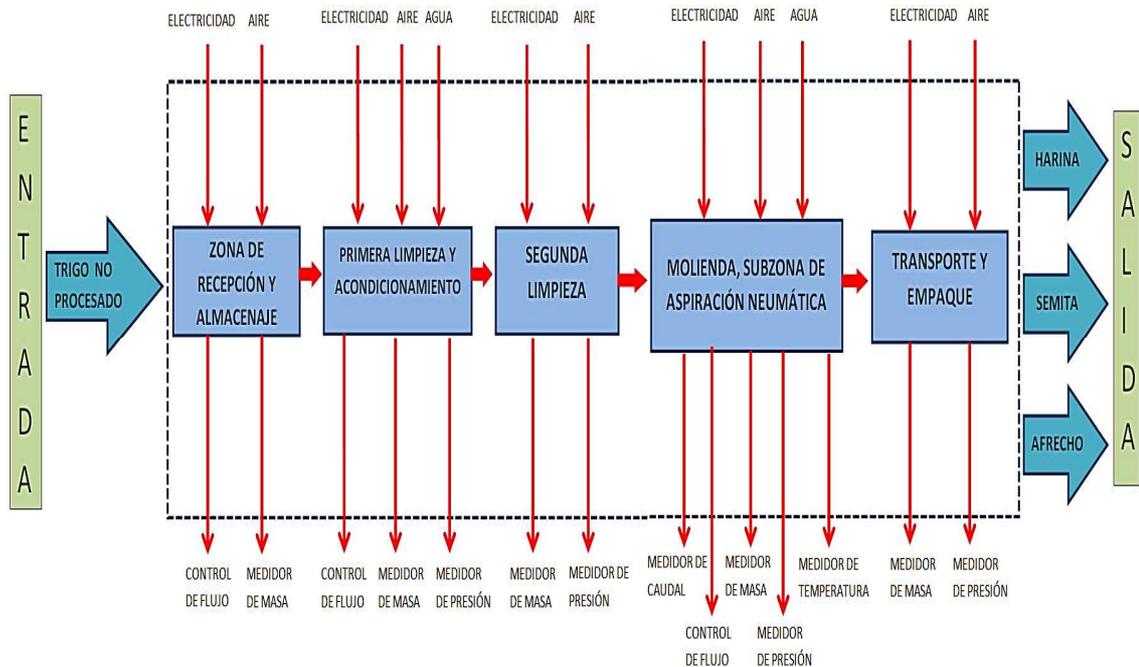
### 3.1.5 Diagrama de proceso productivo

Figura 49. Diagrama de proceso productivo de harina



Fuente: Autores

Figura 50. Diagrama de entrada proceso salida (EPS)



Fuente: Autores

**3.1.6 Personal.** En este punto se detalla cuáles son las particularidades existentes en el departamento de mantenimiento, lo referente a los turnos y de qué forma está estructurado el organigrama.

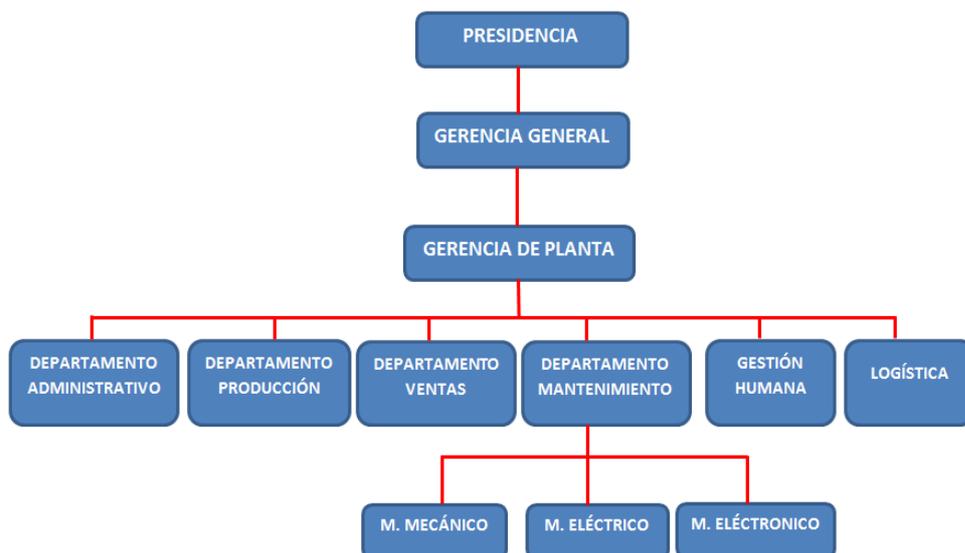
**3.1.6.1 Turnos rotativos.** Existen dos turnos de mantenimiento en cada uno de ellos interviene dos mecánicos y un eléctrico.

Un turno es de Sábado a Martes y el otro de Lunes a Viernes, adicional a ello existen turnos de horas no laborales que contempla una disposición de 24 horas para cualquier eventualidad que se pueda presentar en la planta.

**3.1.6.2 Operaciones.** El proceso es automático, pero existen tres supervisores y tres ayudantes de supervisor quienes trabajan en turnos rotativos en los cuales se desempeña un supervisor con su respectivo ayudante.

**3.1.6.3 Mantenimiento**

Figura 51. Organigrama del departamento de mantenimiento



Fuente: Autores

Existen ocho personas en el departamento de mantenimiento que se enlista a continuación:

- 1 Jefe de mantenimiento.
- 4 Asistentes mecánicos.
- 2 Asistentes eléctricos.
- 1 Técnico en automatización.

**3.1.6.4** *Parámetros de calidad.* La empresa posee una certificación BPM (Buenas Prácticas de Manufactura) avalada por el Estado, esta certificación es el primer paso para las empresas que manufacturan insumos o productos terminados para la industria alimenticia, para consumo humano o animal, artículos de cuidado personal o belleza, como son los fabricantes de químicos, fragancias, sabores, aromas, colores, empaques, telas, entre otras.

Figura 52. Sello de parámetro de calidad



Fuente: [www.grupomoderna.com/](http://www.grupomoderna.com/)

**3.1.6.5** *Definición de los límites de los sistemas.* Los límites para nuestro estudio abarcaran todas las áreas que conforman la empresa Moderna Alimentos S.A. el cual está identificado desde el área de recepción y almacenaje hasta el área de empaclado comprendiendo así todas las máquinas que intervienen en el proceso productivo para la obtención de harina de trigo.

**3.1.6.6** *Listado de componentes para cada sistema analizado.* En la presente tabla se detalla de forma general los componentes que conforman las máquinas con su codificación respectiva lo cual ayuda al área de mantenimiento para una mejor organización tanto para realizar las tareas de mantenimiento como para poder abastecerse de repuesto de las máquinas más importantes para el proceso.

Tabla 14. Inventario técnico de máquinas de laPlanta “CAJABAMBA MOLINO 1”

INVENTARIO TÉCNICO MAQUINARIA Y EQUIPO					
Cod.Loc.	Desc.Loc.	Cod.A.r.	Desc.A.r.	Cod.M/E	Desc.M/E
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	TOLV01	TOLVA DE RECEPCIÓN
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	BASC01	BÁSCULA CAMIONERA DESCARGA DE TRIGO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	TECL01	TECLE DESCARGUE DE TRIGO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	TRAC01	TRANSPORTADOR DE CADENA T1
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	TRAC02	TRANSPORTADOR DE CADENA T2
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	TRAC03	TRANSPORTADOR DE CADENA T3
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	TRAC04	TRANSPORTADOR DE CADENA T4
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	TRAN01	ROSCA SIN FIN T10 SOBRE SILOS METÁLICOS 200-600TM
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	ELEV01	ELEVADOR DE CANGILONES E1
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	ELEV02	ELEVADOR DE CANGILONES E2
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	ELEV03	ELEVADOR DE CANGILONES E3
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	MKZM01	CRIBA MKZM 9510/90
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	MVSG01	CANAL DE ASPIRACIÓN MSVG-150
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	MSDL01	BÁSCULA PESA GRANELES MSDL 300
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	VENT02	VENTILADOR ASPIRACIÓN FILTRO DE MANGAS
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	VENT01	VENTILADOR MHTD-355.11 CICLÓN SEPARADOR
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	CICL01	CICLÓN SEPARADOR
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	MPSA01	ESCLUSA MPS CICLÓN SEPARADOR
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	FILT04	FILTRO DE MANGAS
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	MPSA02	ESCLUSA MPSA FILTRO DE MANGAS
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	SILO01	SILO 1 600TM
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	SILO02	SILO 2 200TM
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	SILO03	SILO 3 200TM
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	SILO04	SILO 4 2000TM
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	SILO05	SILO 5 1000 TM
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	TRAN05	TRANSPORTADOR DE CADENA T8 SOBRE SILOS METÁLICOS 1000TM
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	FILT01	FILTRO DE MANGAS TRANSPORTADOR DE CADENA T8 SOBRE SILOS METÁLICOS 1000TM
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	TRAN06	TRANSPORTADOR DE CADENA T9 SOBRE SILO NUEVA RECEPCIÓN 2000TM
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	SILU01	SISTEMA ILIMINACION Y FUERZA RECEPCIÓN DE TRIGO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	ELEV04	ELEVADOR DE CANGILONES E5
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	FILT03	FILTRO DE MANGAS ELEVADOR E5
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	RE	NUEVA RECEPCIÓN	COMP01	COMPUTADORA RECEPCIÓN
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	TRAN01	ROSCA SIN FIN BAJO SILOS (200-600 T) (TUNEL) TRANPORTADOR T11
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	TRAN03	TRANSPORTADOR DE CADENA T5 (SILO #4 2000TM)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	TRAN04	ROSCA SOBRE LOS SILOS HÚMEDOS
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	TRAN05	ROSCA MZAF (1)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	TRAN06	ROSCA MZAF (2)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	TRAN02	ROSCA DE COMUNICACIÓN
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	ELEV01	ELEVADOR E6
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	EVEV02	ELEVADOR E7 MYFC
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	ELEV03	ELEVADOR # 5
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MTKB01	ZARANDA COMBICLEANER
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MTRA01	ZARANDA MTRA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MHTM02	VENTILADOR CICLÓN COMBICLEANER
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MYFA01	MÁQUINA MYFA ( RETIRADO 20-04-2011)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MOZF01	REGULADOR DE HUMEDAD (MOZF)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MYFC01	REGULADOR DE HUMEDAD (MYFC)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	BOMB01	BOMBA DE AGUA MOZF ML-426
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MOZI01	ROSCA INTENSIVA HUMIFICADORA MOZF
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MVSG01	CANAL DE ASPIRACIÓN T1
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MZAF01	DOSIFICADOR MZAF (1) 036
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MZAF02	DOSIFICADOR MZAF (2) 037
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MZAF03	DOSIFICADOR MZAF (3) 035
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MZAF04	DOSIFICADOR MZAF (4) 006
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MZAF05	DOSIFICADOR MZAF (5) 007
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MZAF06	DOSIFICADOR MZAF (6) 008
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MHTM01	VENTILADOR GENERAL DEL CICLÓN 1
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MHXS01	DESPUNTADORA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MPSA01	ESCLUSA DE LA MANA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	SILO01	SILO DE HORMIGÓN CELDA HUMEDA 1
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	SILO02	SILO DE HORMIGÓN CELDA HUMEDA 2
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	SILO03	SILO DE HORMIGÓN CELDA HUMEDA 3
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	SILO04	SILO DE HORMIGÓN CELDA HUMEDA 4
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	SILO05	SILO DE HORMIGÓN CELDA HUMEDA 5
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	SILO06	SILO DE HORMIGÓN CELDA HUMEDA 6
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MPS_02	ESCLUSA CICLÓN ASPIRACIÓN GENERAL
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MPS_03	ESCLUSA CICLÓN COMBICLEANER
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	BASC01	BÁSCULA MOJADA GALLO DE ORO(RETIRADA)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	BALZ00	BALANZA OHAUS

Tabla 14. (Continuación)

Cod.Loc.	Desc.Loc.	Cod.A.r.	Desc.A.r.	Cod.M/E	Desc.M/E
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	MSDL01	BÁSCULA AUTOMÁTICA MSDL 80
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	TRAN07	TRANSPORTADOR DE CADENA T7
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	FILT01	FILTRO DE MANGAS TRANSPORTADOR T7
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	TRAN08	TRANSPORTADOR DE CADENA T6
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	ELEV04	ELEVADOR DE CANGILONES E4
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	FILT02	FILTRO DE MANGAS ELEVADOR E4
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	VENT01	VENTILADOR ASPIRACIÓN POLVOS MOJADA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LI	LIMPIEZA	COMP01	COMPUTADORA SCADA LIMPIEZA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDDK01	BANCO DE MOLIENDA MDDK 4 CILINDROS BUHLER C6-C7
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDDK02	BANCO DE MOLIENDA MDDK 4 CILINDROS BUHLER C4-T4G
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDDB01	BANCO DE MOLIENDA MDDB 4 CILINDROS BUHLER C8-C9
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDDB02	BANCO DE MOLIENDA MDDB 4 CILINDROS BUHLER T4 FINO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDDL01	BANCO DE MOLIENDA MDDL 8 CILINDROS BUHLER T1-T2 Y C1- C2
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDDP01	BANCO DE MOLIENDA MDDP 4 CILINDROS BUHLER AIRTRONIC C3-C5
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDDP02	BANCO DE MOLIENDA MDDP 4 CILINDROS BUHLER AIRTRONIC C1B-T3
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MWBG01	TRANSFLOWTRON
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MPAD01	PLANSIFTER MPAD
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MPAG01	PLANSIFTER MPAG
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDLA01	DESATADOR C1/C2
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDL_01	DESATADOR C4
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDL_02	DESATADOR C5
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDL_03	DESATADOR C6
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDL_04	DESATADOR C7
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MDL_05	DESATADOR C1B
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MJZE01	DISGREGADOR DIV 1
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MJZE02	DISGREGADOR C3
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MJZE03	DISGREGADOR C8
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MJZE04	DISGREGADOR C9
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MKLA01	CEPILLADORA # 1
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MKLA02	CEPILLADORA # 2
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MKLA03	CEPILLADORA # 3
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MPAR01	PLANSIFTER DE CONTROL NOVA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MWBL01	BÁSCULA AUTOMÁTICA TUBEX
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MZDG01	ESCLUSA DE HARINA TUBEX
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MKZD01	TAMIZADORA (TURBO TAMIZ)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MQRFO1	SASOR BUHLER
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MPS_01	ESCLUSA FILTRO DE MANGAS 1
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MPSN01	ESCLUSA DEL FILTRO DE MANGAS 2
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MVRS01	FILTRO DE MANGAS 1 39/24
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MVRT02	FILTRO DE MANGAS 2 52/24
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MPS_02	GRUPO 1 DE ESCLUSAS
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MPS_03	GRUPO 2 DE ESCLUSAS
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MPS_04	GRUPO 3 DE ESCLUSAS
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MPS_05	GRUPO 4 DE ESCLUSAS
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	ELEV01	ELEVADOR DE HARINA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	TOLV01	TOLVA DE HARINA DE MADERA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	TRAN01	ROSCA DE HARINA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	DOSQ01	DOSIFICADORA DE QUÍMICOS/VITAMINAS
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	DOSQ02	DOSIFICADORA DE QUÍMICOS/VITAMINAS RESEARCH PRODUCTS COMPANY
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	DOSQ03	DOSIFICADORA DE QUÍMICOS/VITAMINAS RESEARCH PRODUCTS COMPANY
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	DOSQ04	DOSIFICADORA DE QUÍMICOS/VITAMINAS RESEARCH PRODUCTS COMPANY (NUEVA)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MAUB01	VÁLVULA MAUB (220V)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MHTR01	VENTILADOR DE LA NEUMÁTICA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	MPSH01	ESCLUSA TRANSPORTE P NEUMÁTICO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	SOPLO1	SOPLANTE DE MANGAS BOMBA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	ILUM01	SISTEMA ILUMINACIÓN SOTANO MOLIENDA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	ILUM02	SISTEMA ILUMINACIÓN PISO 1 MOLIENDA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	ILUM03	SISTEMA ILUMINACIÓN PISO 2 MOLIENDA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	ILUM05	SISTEMA ILUMINACIÓN PISO 5 MOLIENDA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	MO	MOLIENDA	COMP01	COMPUTADOR CONTROL SCADA MOLIENDA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	MPSH01	ESCLUSA DEL TRANSPORTE NEUMÁTICO AFRECHO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	MPSN01	ESCLUSA FILTRO DE AFRECHO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	COSE01	COSEDORA FISCHBEIN 400 PRO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	EMPA01	EMPACADORA GALLO DE ORO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	MFBV01	VIBRADOR ROTOFLOW
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	SOPLO3	SOPLANTE TRANSPORTE NEUMÁTICO DEL AFRECHO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	MPS_01	ESCLUSA GRANILLO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	MWPE01	EMPACADORA BUHLER
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	SIL001	SIL0 DE HARINA GALLO DE ORO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	MVRN01	FILTRO DE HARINA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	MVRN02	FILTRO DE AFRECHO

Tabla 14. (Continuación)

Cod.Loc.	Desc.Loc.	Cod.A.r.	Desc.A.r.	Cod.M/E	Desc.M/E
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	BASC01	BÁSCULA POMAX DE AFRECHO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	BASC02	BÁSCULA POMAX DE GRANILLO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	MZDV01	VIBRADOR
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	SIL002	SIL0 AFRECHO
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	IMPR02	IMPRESORA JET 2 SE+ LEIBINGER (SACOS DE HARINA)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	IMPR03	IMPRESORA CODIFICADORA FOX JET V7 (SACOS DE SUBPRODUCTOS)
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	EM	EMPACADO Y CODIFICADO	COSE02	COSEDORA MANUAL FISHENBEIN
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	BO	BODEGA PRODUCTO TERMINADO	MONT03	MONTACARGAS CATERPILLAR PRODUCCIÓN
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	BO	BODEGA PRODUCTO TERMINADO	MONT04	MONTACARGAS CATERPILLAR LOGÍSTICA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	BO	BODEGA PRODUCTO TERMINADO	MONT02	MONTACARGA YALE
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	BO	BODEGA PRODUCTO TERMINADO	PALE01	PALETS
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	BO	BODEGA PRODUCTO TERMINADO	TROZ01	TRONZADORA DEWALT 14"
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LA	LABORATORIOS	MOLI01	MOLINO DE CEREALES SAMAP
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LA	LABORATORIOS	MOLI02	MOLINO CICLONE SAMPLE MILL
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	LA	LABORATORIOS	FALN01	FALLING NUMBER 1200
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	SG	GENERALES	CANA01	CANALETAS DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS SECCIÓN MOLIENDA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	SG	GENERALES	CANA02	CANALETA DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS SECCIÓN LIMPIEZA
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	SG	GENERALES	CANA03	CANALETA DE CONDUTORES ELÉCTRICOS SECCIÓN RECEPCION
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	SG	GENERALES	CANA04	CANALETAS DE CONDUCTORES ELECTRICOS GENERADOR - TRANSFORMADOR- TABLERO TRANSFER
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	SG	GENERALES	TABL01	TABLERO CONTROL ESCLAVO 1
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	VE	VEHICULOS	VEHI01	CAMIÓN FRHEITLINER PLACAS PTL 250
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	VE	VEHICULOS	VEHI02	CAMIONETA LUV DMAX PLACAS XCB-126 2.4CC
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	ED	EDIFICIOS	NAVE01	NAVE BODEGA # 1
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	ED	EDIFICIOS	NAVE02	NAVE BODEGA # 2
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	ED	EDIFICIOS	NAVE03	NAVE BODEGA # 3
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	ED	EDIFICIOS	COME01	COMEDOR
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	TA	TALLERES	TALA01	TALADRO DE PEDESTAL REXON
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	TA	TALLERES	SOLD01	SOLDADORA TR 250
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	TA	TALLERES	SOLD02	SOLDADORA BOMBAZZI 250 A
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	TA	TALLERES	SOLD03	SOLDADORA BOMBAZZI 430A
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	TA	TALLERES	ROLA01	ROLADORA TSMC
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	TA	TALLERES	DOBL01	DOBLADORA TSMC
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	TA	TALLERES	COMP01	COMPRESOR SUP
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	TA	TALLERES	COMP02	COMPRESOR CENTURY
CM1	CAJABAMBA MOLINO 1	TA	TALLERES	ESME01	ESMERIL SEARS CRAFTSMAN

Fuente: Registro de inventario en el software SisMAC, Moderna Alimentos S.A

### 3.2 Proceso actual de mantenimiento empleado en los equipos

El plan con el que cuenta la empresa Moderna Alimentos S.A para realizar el mantenimiento de sus activos se basa en el mantenimiento preventivo planificado mediante software, este software se llama SisMAC que es de fabricación nacional, es muy efectivo ya que programa diariamente las actividades de mantenimiento, lleva un excelente registro de toda la documentación del departamento de mantenimiento y la correcta emisión de los mismos como son ordenes de trabajo, egresos e ingresos de bodega, historial de actividades correctivas, entre otras.

Este plan de mantenimiento mediante SisMAC se lo implantó dos años atrás, con el objetivo de mejorar la gestión del mantenimiento y efectivizar las labores tanto correctivas como preventivas; además, este software es utilizado a manera de un

servidor mediante la interconexión entre todas las filiales de la empresa que se encuentran distribuidas en las distintas ciudades, de esta manera se puede acceder a cualquier información de las distintas plantas sin importar en que planta uno se encuentre.

Uno de los actuales requerimientos que presenta este plan de mantenimiento es que no cuenta con actividades de mantenimiento predictivo, puesto que no cuentan con el equipamiento necesario para llevar a cabo dichas actividades y la aplicación del mismo sería de gran ayuda ya q la planta labora las 24 horas del día y requiere de una confiabilidad y disponibilidad optima de todas las máquinas que conforman la línea de producción.

Figura 53. Programa de mantenimiento SisMAC.



Fuente: Registro de inventario en el software SisMAC, Moderna Alimentos S.A

**3.2.1 Plan de mantenimiento.** A continuación se detalla un modelo de formato, el mismo que se genera en el software SisMAC para poder llevar el plan de mantenimiento de acuerdo a los activos presentes en la empresa, el cronograma de la ejecución detalla la última fecha en que se realizó una determinada tarea de mantenimiento y también indica la siguiente tarea en que el departamento de mantenimiento debe entrar en acción.



**3.2.2** *Historial de averías.* El contar con un historial de averías a largo plazo es importante por los siguientes motivos:

- Por razones de seguridad, ya que se debe archivar las actividades de mantenimiento realizadas, en vista que en ocasiones se debe probar la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo.
- El historial de un equipo contiene información importante sobre el comportamiento de la máquina, de las paradas y de la frecuencia de averías, es por eso que el historial influye directamente en las proyecciones de nuevas inversiones.
- Un historial ordenado y detallado genera muchos beneficios para la planificación de mantenimiento, pues con el análisis de las órdenes de trabajo concluidas permite la comparación entre departamentos, sistemas, equipos o conjuntos para poder definir nuevas estrategias de mantenimiento.

El historial de averías usado en la empresa Moderna Alimentos S.A se mostrará en la tabla 23 donde se detallan varios indicadores, tales como el responsable de la obra, los tiempos de planificación, el tipo de mantenimiento, las causas de la avería, entre otros.

El motivo de los trabajos de mantenimiento realizados se lo interpreta mediante la siguiente nomenclatura.

**PIN:** Plan de inspección

**DTR:** Deterioro

**IPM:** Imprevisto

**PSV:** Plan de servicio (programado)

**MON:** Montaje

Tabla 16. Historial de averías de Moderna Alimento S.A

HISTORIAL DE AVERIAS DE LA PLANTA MODERNA ALIMENTOS S.A CAJABAMBA														
Solicita	Ejecuta	#OT	Estado	Tipo	Fecha em.	Fech Prg.Ini.	Fech Prg.Fin.	Días.Prg	Trabajo a realizar	Motivo Trabajo	Tm.Rsp.	Tm.Rpt.	Tm.Ent.	Tm.Tot.
C-PRO/MOL	C-PRO/MOL	2	Cerrada	COR	19/05/2010 14:57	19/05/2010	19/05/2010	1	Cambio de vocin de la rosca derecepcion	DTR	-14:57	24:00:00	24:00:00	9:03
C-MAN/MM	C-MAN/MM	27	Cerrada	COR	22/05/2010 8:46	22/05/2010	22/05/2010	1	Arreglo cabezal elevador # 5	DTR	-8:45	72:00:00	72:00:00	63:13:00
C-MAN/MM	C-MAN/MM	28	Cerrada	COR	22/05/2010 9:56	22/05/2010	22/05/2010	1	Arreglo elevador en cabezal colocar recubrimiento	DTR	-9:55	72:00:00	72:00:00	62:04:00
C-MAN/MM	C-MAN/MM	35	Cerrada	COR	31/05/2010 10:07	31/05/2010	31/05/2010	1	Arreglo montacarga caterpillar 2 tn.	DTR		72:00:00	72:00:00	1309:52:00
C-MAN/ME	C-MAN/ME	36	Cerrada	COR	31/05/2010 10:26	31/05/2010	31/05/2010	1	Arreglo montacargas Yale	DTR	-10:25	360:00:00	360:00:00	349:34:00
C-MAN/MM	C-MAN/MM	37	Cerrada	COR	01/06/2010 11:25	01/06/2010	01/06/2010	1	Rectificado de chaveta de la polea del motor 063 que mueve al banco de molienda C9	DTR	-11:25	0:00	0:00	-11:25
C-MAN/MM	C-MAN/MM	41	Cerrada	COR	04/06/2010 11:12	04/06/2010	04/06/2010	1	Mantenimiento sin fin en el tunel bajo silos metalicos ruido extraño.	DTR		0:00	0:00	1212:48:00
C-MAN/ME	C-MAN/ME	74	Cerrada	COR	24/08/2010 17:20	24/08/2010	24/08/2010	1	Cambio de electroválvula báscula mojada de trigo	DTR	-7:19	181:00:00	182:00:00	174:40:00
C-MAN/MM	C-MAN/MM	105	Aprobada	COR	30/09/2010 12:19	30/09/2010	30/09/2010	1	Cambio del sistema de engranajes por moto reductor de 5 HP.	DTR				
C-MAN/MM	C-MAN/MM	117	Cerrada	COR	27/10/2010 14:52	19/10/2010	19/10/2010	1	Arreglo de la polea y chaveta del desatador C7	DTR	-198:52	-12:0	-8:0	-206:52
C-MAN/MM	C-MAN/MM	5	Cerrada	COR	19/04/2011 11:55	19/04/2011	19/04/2011	1	Cambio de final de carrera neumatico banco lado T4 grueso	DTR	-1:55	-10:30	-10:0	-11:55
C-MAN	C-MAN/ME	1	Cerrada	COR	20/04/2011 9:41	30/03/2011	30/03/2011	1	Cambio de motor electrico banco c2	DTR	-513:40	-23:58	0:00	-513:40
C-MAN/ME	C-MAN/ME	16	Cerrada	COR	05/05/2011 16:35	05/05/2011	05/05/2011	1	Cambio final de carrera en rosca sobre silos metalicos	DTR	-7:34	-0:31	0:28	-7:6
C-MAN/ME	C-MAN/ME	17	Cerrada	COR	10/05/2011 14:13	10/05/2011	10/05/2011	1	Cambio de sensor maxima silo de afrecho	DTR	-4:33	-0:45	-0:5	-4:37
C-PRO/MOL	C-PRO/MOL	2	Cerrada	COR	13/05/2011 16:04	15/05/2011	16/05/2011	2	Arreglo de caja de cambio en el elevador # 3.	DTR	41:55:00	26:22:00	50:23:00	92:19:00
C-MAN/ME	C-MAN/MM	33	Aprobada	COR	18/07/2011 12:13	18/07/2011	18/07/2011	1	CAMBIAR BASE ELEVADOR Nº 3	DTR	-0:1			
M-MAN/MG	M-MAN/MG	595	Cerrada	COR	28/07/2011 19:02	28/07/2011	28/07/2011	1	Reemplazo de motor compresor 3	IMP	-19:1	104:16:00	105:16:00	86:13:00
C-MAN/MM	C-MAN/MM	161	Aprobada	COR	14/01/2012 7:25	14/01/2012	14/01/2012	1	Adecuación rosca transportadora sobre silos de metal corte de aletas en el ingreso de cada silo	PSV	-0:25			

Tabla 23. (Continuación)

Solicita	Ejecuta	#OT	Estado	Tipo	Fecha em.	Fech Prg.Ini.	Fech Prg.Fin.	Días.Prg	Trabajo a realizar	Motivo Trabajo	Tm.Rsp.	Tm.Rpt.	Tm.Ent.	Tm.Tot.
C-MAN/MM	C-MAN/MM	163	Aprobada	COR	16/01/2012 14:38	15/01/2010	15/01/2010	1	cambio de motoreductor rosca sobre silos metalicos	DTR	-17550:37			
C-MAN/MM	C-MAN/MM	164	Aprobada	COR	17/01/2012 8:29	17/01/2012	17/01/2012	1	cambio de motoreductor ml425 3hp rosca sobre silos humedos	PSV	0:31			
C-MAN/MM	C-MAN/MM	165	Aprobada	COR	17/01/2012 12:05	17/01/2012	17/01/2012	1	reparación motoreductor 3hp ML425	PSV	-0:5			
C-MAN/ME	C-MAN/ME	176	Cerrada	COR	27/01/2012 15:42	23/01/2012	23/01/2012	1	Cambio de motor eléctrico banco C6	PSV	-95:42	21:57	24:57:00	-70:45
C-MAN/MM	C-MAN/MM	182	Aprobada	COR	07/02/2012 10:11	07/02/2012	07/02/2012	1	Cambio de banda A48 desatador C1-C2	IMP	-10:10			
C-MAN/MM	C-MAN/MM	184	Cerrada	COR	06/03/2012 10:50	06/03/2012	06/03/2012	1	cambio de diafragma filtro de mangas harina	PSV	-10:49	8767:03:00	8777:16:00	8766:26:00
C-MAN/MM	C-MAN/MM	190	Aprobada	COR	09/04/2012 11:17	09/04/2012	09/04/2012	1	Reparación de reten y mantenimiento tecele descargue de trigo	DTR	-1:16			
C-MAN/MM	C-MAN/MM	192	Aprobada	COR	17/04/2012 15:01	17/04/2012	17/04/2012	1	cambio de bandas ventilador sasor	IMP	-7:1			
C-MAN/MM	C-MAN/MM	193	Aprobada	COR	18/04/2012 15:04	18/04/2012	18/04/2012	1	Cambio de casquillos sasor MQRF	PIN	-6:4			
C-MAN/ME	C-MAN/ME	227	Aprobada	COR	19/07/2012 12:39	18/07/2012	18/07/2012	1	cambio de motor electrico plansifter grande motor m339 y bandas	IMP	-29:9			
C-MAN/MM	C-MAN/MM	228	Aprobada	COR	19/07/2012 14:22	03/06/2012	03/06/2012	1	Cambio de motor electrico 339 plansifter MPAG	MON	-1112:22			
C-MAN/ME	C-MAN/ME	232	Aprobada	COR	18/08/2012 8:27	03/08/2012	03/08/2012	1	Cambio de contactos auxiliares para arranque estrella triangulo motor T4 A-B	DTR	-360:3			
M-MAN/MG	M-MAN/MG	2053	Cerrada	COR	26/11/2012 17:02	26/11/2012	26/11/2012	1	REPARACION DE VALVULA DE ASPIRACION BASCULA GRANEX	IMP	-8:2	6:03	8:03	0:01
C-MAN/MM	C-MAN/MM	245	Aprobada	COR	16/02/2013 13:47	14/02/2013	14/02/2013	1	CAMBIO DE VALVULA DE EMBOLO BANCO DE MOLIENDA T4G	IMP	-61:46			
C-MAN/MM	C-MAN/MM	246	Aprobada	COR	19/02/2013 10:27	16/01/2013	16/01/2013	1	REEMPLAZO DE COMPRESOR COMPA AIR	DTR	-817:27			
C-PRO/MOL	C-PRO/MOL	10	Cerrada	COR	19/04/2013 11:31	19/04/2013	19/04/2013	1	fallo en contactor arranque estrella no permite el encendido del motor ML319	DTR	-3:31	1:49	3:49	0:19
C-MAN/ME	C-MAN/ME	256	Aprobada	COR	24/04/2013 15:09	24/04/2013	24/04/2013	1	CAMBIO DE MOTOR COSEDORA MANUAL FISHNBEIN	IMP	-0:9			
C-MAN/ME	C-MAN/ME	260	Aprobada	COR	27/04/2013 9:49	27/04/2013	27/04/2013	1	cambio de condensad	DTR	-9:49			
C-PRO/MOL	C-PRO/MOL	2366	Cerrada	COR	13/05/2013 15:07	13/05/2013	13/05/2013	1	Cambio de chavetas en grupo 1 de exclusas (pasajes C-6, C-5)	DTR	-5:7	221:36:00	222:36:00	217:28:00
C-PRO/MOL	C-PRO/MOL	13	Cerrada	COR	21/05/2013 15:03	21/05/2013	21/05/2013	1	Modificación de niveles de mallas de sasor 1	IMP	-0:3	24:49:00	25:19:00	25:16:00

Fuente: Registro de inventario en el software SisMAC, Moderna Alimentos S.A

### 3.3 Documentos actuales utilizados para mantenimiento

Para mantenimiento se maneja el software SisMAC en el cual se genera diferentes tipos de documentos para la ejecución de mantenimiento entre los más utilizados tenemos:

**3.3.1 Solicitud de trabajo de mantenimiento** Este formato es el inicio de la documentación para la ejecución de las tareas de mantenimiento, donde se especifica el activo, área y tipo de trabajo que se va a realizar.

Figura 54. Solicitud de servicio de mantenimiento

SOLICITUD DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO	
Jefe de Mantenimiento _____ por este medio le solicito programar el mantenimiento	
Correctivo _____ Preventivo _____ del equipo que se describe:	
Fecha: / /	Nombre del equipo: _____ Modelo/año: _____
Serie del motor: _____	Serie de la carcasa: _____
Período de Mantto. Prev. _____ meses _____ horas _____	Km. cambio de lubricante _____ meses
Mantenimiento correctivo descripción: _____	
Sin mas a que referirme , le saludo	
Atte.	
Ing. _____	Unidad Administrativa solicitante _____
Cargo a proyecto: _____	

Fuente: Registro software SisMAC, Moderna Alimentos S.A

**3.3.2 Orden de trabajo.** Una orden de trabajo es la conjunción de todas las informaciones necesarias para realizar un trabajo de mantenimiento determinado. Una orden de trabajo puede ser generada por varias razones:

- Debido a un trabajo planificado.
- Debido a un trabajo esporádico o imprevisto.

Figura 55. Orden de trabajo para mantenimiento

<b>MODERNA ALIMENTOS S.A</b>		Planta Cajabamba POMP-R 01		
<b>ORDEN DE TRABAJO</b>		N.- 270		
<b>DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:</b> Mantenimiento soplantes molino		<b>FECHA PROG.</b> 08/06/2013	<b>FECHA INICIO</b> 08/06/2013	<b>FECHA FIN.</b> 08/06/2013
<b>UBICACIÓN:</b> CM1-MO MOLIENDA		<b>PROGRAMACIÓN:</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>DIRECTA:</b>		
<b>SOLICITA:</b> C-MAN/MM	<b>EJECUTA:</b> C-MAN/MM	<b>PRIORIDAD:</b> Normal <input checked="" type="checkbox"/> <b>Importante</b> <b>Urgente</b>		
<b>TAREAS:</b>				(+)
CM1-MO-SOPL01-MST01 Inspección de nivel de aceite				
(+ CM1-MO-SOPL01-MST01 Limpieza del filtro				
(+ CM1-MO-SOPL01-MST01 Limpieza de rejillas de ventilación				
(+ CM1-MO-SOPL01-MST01 Revisión y mantenimiento de componentes del soplante				
(+ CM1-EM-SOPL02-MST01 Inspección de nivel de aceite				
(+ CM1-EM-SOPL02-MST01 Limpieza del filtro				
<b>MATERIALES/REPUESTOS:</b>		<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> Lamiña Alfredo -AL 001(4.0)		
<b>DATOS ADICIONALES:</b> Revisar el estado de filtros, rejillas y también el nivel de aceite.				
<b>OBSERVACIONES DE SEGURIDAD:</b> Utilizar los equipos de protección personal y también seguir los procedimientos.				
<b>Aprueba:</b> Diego Mejía DM001	<b>Ejecuta:</b> Diego Mejía DM001	<b>Cierra:</b> Diego Mejía DM001		
FINAL LISTADO TAREAS OT #270 (11/07/2013 12:28)				

Fuente: Registro software SisMAC, Moderna Alimentos S.A

**3.3.3 Egreso de bodega.** Es un documento mediante el cual nos permite controlar la existencia de equipos y/o materiales en nuestra bodega, para poder realizar oportunamente el plan de mantenimiento.

Adicional a esto nos facilita el control de inventarios para prevenir que componentes escaseen con mayor facilidad que otros.



### 3.3.5 Procedimiento de operaciones de mantenimiento preventivo (POMP).

Documento que detalla la secuencia que el ejecutor de la tarea debe seguir con el fin de resguardar su integridad personal, asegurar el óptimo desarrollo de la tarea, optimizar el tiempo de intervención de la mano de obra.

Figura 58. Procedimiento de operaciones de mantenimiento preventivo (POMP)

MANTENIMIENTO DEL VENTILADOR DE LA NEUMÁTICA		PLANTA CAJABAMBA
		CÓDIGO POMP-1 03
		PÁGINA 1 DE 1
1.Pedir la respectiva orden de trabajo, a mantenimiento (SISMAC) . 2.La planta se debe encontrar apagada. 3.Tener listo las herramientas y repuestos necesarios. 4.Tener a la mano el respectivo manual de instrucciones 66536-1-es. 5.Comprobar que el porta fusibles este desconectado. 6.Si es el caso y si tiene alguna llave de seguridad en el tablero eléctrico retirarla. 7.Desconectar el cableado eléctrico del motor si es necesario. 8.Aspiración de polvos y limpieza del ventilador . 9.Proceder a efectuar el respectivo mantenimiento. 10.Luego de terminado el mismo comprobar que todas las conexiones eléctricas estén bien, que no haya cortos. 11. Conectar nuevamente el porta fusibles. 12.Arrancar el motor en vacío y ver que el mismo este trabajando normalmente. 13.Verificar el sentido de giro y comprobar el consumo de corriente eléctrica en las tres fases . 14.Si todo esta normal apagar el ventilador. 15.juntar todas las herramientas y dejar limpio el lugar de trabajo. 16.Verificar una vez más las corrientes en cada fase cuando el motor este trabajando ya a plena carga. 17.Reportamos a mantenimiento alguna novedad presentada en el transcurso del mantenimiento del ventilador.  18.Comunicamos a mantenimiento la terminación del trabajo para cerrar en el sistema (SISMAC) la respectiva orden de trabajo. <b>NOTAS:</b> *Este trabajo lo realizará solo personal autorizado. * Se deberá usar todos los elementos de protección personal como zapatos dieléctricos ,overol, mascarilla,		

Fuente: Registro software SisMAC, Moderna Alimentos S.A

**3.3.6 Control de ejecución de tareas.** Este documento tiene el propósito de controlar la correcta ejecución de las tareas, en él se acota cuan efectivo fue la acción del personal de mantenimiento y observaciones sobre las actividades que no llegaron a completarse.

Figura 59. Control de ejecución de tareas

VERIFICACIÓN DE TAREAS							
#T	TAREA	Op	Tiempo	prd.	Observaciones	Hecho	
			previo	total		SI [ ]	NO [ ]
			[h]	[h]			
CM1-MO-MDDL01-MBM01	BANCO DE MOLIENDA T1					SI [ ]	NO [ ]
TB01	Cambio de cilindros estriados de banco de molienda T1	—	—	—		B [ ]	M [ ] R [ ]
CM1 -MO-MDDL02-MBM01	BANCO DE MOLIENDA C1B					SI [ ]	NO [ ]
TB01	Cambio de cilindro de banco de molienda	—	—	—		B [ ]	M [ ] R [ ]
CM1 -MO-MDDL01-MBM02	BANCO DE MOLIENDA T2					SI [ ]	NO [ ]
TB01	Cambio de cilindros estriados de banco molienda T2	—	—	—		B [ ]	M [ ] R [ ]
CM1 -MO-MDDL01-MBM03	BANCO DE MOLIENDA C1					SI [ ]	NO [ ]
TB03	Cambio de rodamientos	—	—	—		B [ ]	M [ ] R [ ]
<b>FINAL LISTADO TAREAS OT #262 [ 11/07/2013 13:03]</b>							

Fuente: Registro software SisMAC, Moderna Alimentos S.A

**3.3.7** *Check list para mantenimiento.* Este listado contiene las revisiones diarias antes y después del turno de trabajo indicando las condiciones del equipo, si llegará a existir algún problema, se detectaría antes de empezar a utilizar el equipo y así darle un mantenimiento preventivo y no correctivo lo cual se lo debe detallar en el documento para la futura planificación de tareas de mantenimiento en caso de ser necesario.

Figura 60. Check list para mantenimiento

CHECK LIST				Planta Cajabamba			
Control de movimientos en motores eléctricos molienda				Código: POMP-R 13			
Frecuencia: Quincenal				página 1 de 4			
Sección Molienda		Elaborado por:		Elaborado por:			
		Revisado por:		Revisado por:			
MODERNA ALIMENTOS S.A		Fecha:		Fecha:			
# Motor	Descripción	OK	DEFEC.	OBSERVACIONES	OK	DEFEC.	OBSERVACIONES
M204	Esclusa filtro de mangas						
M306	Soplante de mangas						
M407	Ventilador del filtro de Mangas						
M409	Grupo 1 de Esclusas						
M410	Grupo 2 de Esclusas						
MA11	Grupo 3 de Esclusas						
M412	Grupo 4 de Esclusas						
M414	Ventilador de Neumática						
M015	Disgregador C9						
M016	Disgregador C8						
M017	Detacher C4						

Fuente: Registro software SisMAC, Moderna Alimentos S.A

**3.3.8** *Ingreso de repuestos a bodega.* Es el documento de control de materiales que extiende el jefe de bodega con el fin de llevar el control de inventarios, con el fin de mantener en inventario los materiales y repuestos necesarios para tal operación.

Figura 61. Ingreso de repuestos a bodega

INGRESO DE BODEGA			No.	1178
TIPO :C				
BODEGA ORIGEN :BODG			FECHA: 17/08/2012	
<b>ORIGEN:</b>				
EGRESO .N.- BODEGA: PROVEEDOR: PROVEEDORA DE RULIMANES				
FACTURA .No.-0001 SECCIÓN: 0 COMPRA No.				
SOLICITUD No.0 EQUIPO:				
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO
IN-0114	WAYPE	UN	1	66,96
RR-0130	RODAMIENTO 22315-E1-KC3	UN	4	325,89
ME-0119	BANDA A60		8	4,46
ME-0136	BANDA PIX A48 13X122CLI		12	3,58
ME-0128	BANDA A80		20	5,89
ME-0130	BANDA A50		8	3,75
	X-X-X-X-X-X-X-X-X-X-X-X-X-X-X-X			
<b>INGRESADO POR: DIEGO MEJIA</b>				

Fuente: Registro software SisMAC, Moderna Alimentos S.A

### 3.4 Indicadores actuales de mantenimiento

Mediantes los indicadores se podrá determinar el rendimiento del departamento de mantenimiento de Moderna Alimentos S.A, al no contar con un organización correcta de la información requerida en los documentos que se utiliza en las tareas, no posee una base de datos confiable para poder hacer el análisis de los indicadores debido a errores de programación en la herramienta informática; además, que el departamento de mantenimiento solo lleva unos cuantos registro de las actividades propias del departamento y no se considera los paros que tienen los activos por planificación del departamento de producción puede ser por motivo de cambios de turnos, cuando se requiere cambiar la calidad del producto dependiendo de la demanda, es necesario realizar limpieza de los activos que tienen contacto directo con el producto procesado entre otros factores de fuerza mayor por los cuales los tiempos operativos o de buen funcionamiento sufren un decremento.

### **3.5 Conclusiones de la gestión actual de mantenimiento**

En el análisis de la gestión actual de mantenimiento de Moderna Alimentos S.A podemos apreciar que el departamento de mantenimiento juega un papel importante en la empresa y existe una gran coordinación con las demás áreas que la conforman.

El departamento de mantenimiento está conformado por un equipo de trabajo, con lo que se garantiza el logro de los objetivos que la empresa persigue de manera óptima y eficiente, a continuación se detalla los aspectos en que fundamentamos para realizar el análisis.

- La política de mantenimiento que se encuentra ejecutando es en su mayoría un sistema preventivo planificado, teniendo en cuenta que si se presenta paros imprevistos entra en acción el sistema correctivo.
- El plan de mantenimiento preventivo planificado se aplica a los activos de la empresa en su totalidad; además, está respaldado por la aplicación del software de mantenimiento SisMAC.
- El software SisMAC constituye uno de los pilares fundamentales como auxiliares de la gestión aplicada en la empresa, logrando así una mejor organización del plan de mantenimiento, mediante la correcta planeación, programación, control y evaluación de las funciones de mantenimiento.
- La ejecución de tareas de mantenimiento se las realiza con una secuencia cronológica que empieza desde la emisión de la orden de trabajo, donde se designa las tareas de mantenimiento a realizarse, registrar los materiales y herramientas, mano de obra idónea, registro de los repuestos necesarios para cada una de las actividades de mantenimiento, las mismas que se registran en el software.
- Poseen documentación para la evaluación de la gestión de mantenimiento pero los registros no son llevados correctamente, como para poder generar una evaluación veraz y real.
- El departamento de mantenimiento mediante la utilización de las herramientas a su alcance permite ejecutar las tareas de mantenimiento de una manera eficaz, lograr un mejor rendimiento de la mano de obra y reducir los tiempos medios entre fallas (TMEF) ya que cuenta con suficiente stock de repuestos.

- Los activos que conforman el proceso productivo disponen de documentación técnica como son manuales de operación, mantenimiento y elementos de replazo.

El mantenimiento predictivo es de vital importancia, debido a que Moderna Alimentos S.A tiene un proceso productivo en serie, en donde si falla una de sus máquinas esto tendría como consecuencia un paro general del proceso, por lo cual la empresa no puede correr el riesgo de que sus máquinas fallen o pierdan su funcionalidad por tal razón se propone la aplicación de mantenimiento predictivo utilizando la técnica de análisis vibracional con el propósito de mejorar tiempos improductivos, confiabilidad y disponibilidad de la planta.

Teniendo presente que la gestión de mantenimiento aplicada actualmente se considera como una de gran nivel organizacional debido a que los resultados obtenidos son positivos tanto como departamento de mantenimiento, como objetivos que persigue la empresa, cabe recalcar que mediante la aplicación de análisis vibracional se puede optimizar el plan de mantenimiento con tareas predictivas con las que se puede lograr un mejor aprovechamiento del ciclo de vida de cada uno de los elementos de los activos, en lo referente a los repuestos se puede sugerir que en lugar de tener los “suficientes” repuestos lo ideal sería tener los “necesarios” lo cual representa una reducción de los costos en ese aspecto, considerando los tiempos medios entre fallos (TMEF) se podría abastecer con un stock de repuestos preciso para los activos que presenten síntomas que podrían necesitar cambios futuros.

## CAPÍTULO IV

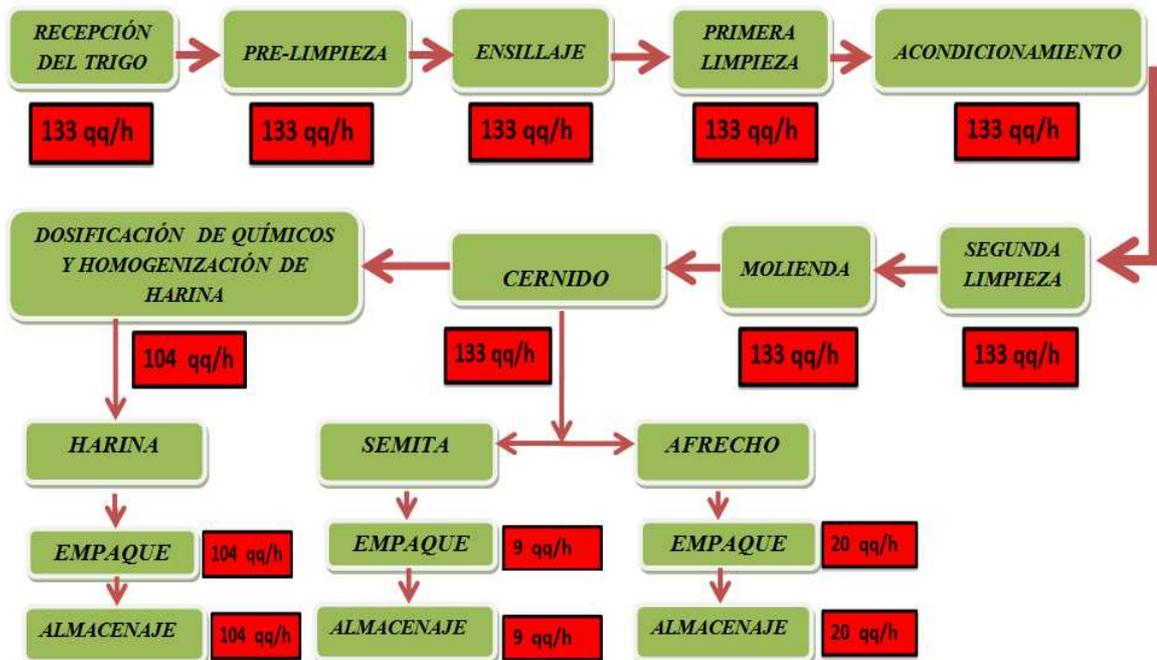
### 4. ANÁLISIS VIBRACIONAL DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA PROCESADORA MODERNA ALIMENTOS S.A

#### 4.1 Análisis de restricciones

Moderna Alimentos S.A es un grupo empresarial de la industria de alimentos que busca el éxito comercial responsable sirviendo al mercado industrial, mayorista y de consumo con productos y servicios innovadores y de alta calidad. Teniendo como prioridad constante innovar los productos y servicios para desarrollar el negocio del trigo a través de la selección de las mejores materias primas y de un servicio profesional y diferenciado, ofreciendo una cadena completa, desde la producción hasta la comercialización de productos relacionados al trigo. A continuación detallamos las velocidades de producción con las cuales opera el proceso de molinero de trigo.

##### 4.1.1 Diagrama de velocidades del sistema

Figura 62. Velocidades del sistema de producción



Fuente: Autores

Para el primer paso identificamos la restricción del sistema en nuestro caso debido a los requerimientos de la planta y los diseños realizados por la empresa alemana BÜHLER no se encuentran restricciones o cuellos de botella, ya que se trata de un proceso continuo que trabaja las 24 horas teniendo una velocidad de producción de 6,6 toneladas/ hora es decir 133 qq/h, considerando en las áreas hasta llegar a las zona de cernido en la cual se separa la materia procesada en harina, semita y afrecho teniendo una velocidad en cada una de 104 qq/h, 9 qq/h y 200 qq/h respectivamente.

En vista que no existe acumulación de inventarios en ninguna área analizaremos en que parte del sistema se debe realizar calibraciones de los activos para poder incrementar la velocidad de producción y en caso de haberlas, se las considerará a éstas como restricciones del sistema.

a) *Identificamos la restricción*

Al revisar los manuales determinamos que una calibración en el banco doble de molienda T1/T2-C1/C2 del área de molienda puede representar un incremento sustancial de la velocidad ya que la capacidad del proceso es de 160 toneladas/día, y la capacidad máxima de las instalaciones es de 170 toneladas/día.

b) *Elevamos la velocidad de la restricción*

Para elevar la velocidad de la restricción tenemos que realizar una calibración del paso de la materia prima en los rodillos de lo cual generará una mayor capacidad de producción ya que si se aumenta la capacidad del banco doble de molienda T1/T2-C1/C2, cabe mencionar que el resto de los activos no deben ser calibrados ya que estos pueden operar normalmente para alcanzar la capacidad máxima del proceso. Además existe un activo electrónico denominado Transflowtron, al mismo que se le debe manipular su programación.

c) *Buscamos nuevas restricciones*

Una vez que se ha analizado y solucionado la restricción se debe regresar al primer paso para la búsqueda de nuevas restricciones ya que en muchos de los casos son varias las restricciones presentes en un sistema.

## 4.2 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad se realizará a nivel de máquina en toda la planta Moderna Alimentos S.A, ésta es una herramienta de gestión del mantenimiento que permite determinar la importancia de una máquina respecto de otras en el proceso productivo, su análisis se basa en las consecuencias que acarrearía una falla cuando el equipo está en servicio.

En este caso el análisis de criticidad ayudará a determinar a qué máquinas resulta rentable la aplicación de la técnica predictiva basada en vibraciones y también a determinar su óptima frecuencia de monitoreo, puesto que cualquier técnica predictiva debido a sus elevados costos de utilización no es aplicable a todas las máquinas de un proceso productivo sino únicamente a las máquinas críticas para así evitar un desperdicio de tiempo y dinero lo cual repercutirá negativamente en la consecución de los objetivos de la empresa.

### *Modo de aplicación*

Inicialmente se debe contar con un listado de todos los activos del proceso productivo a los que se les va a someter al análisis, en el caso de Moderna Alimentos S.A se tomó en cuenta los 28 equipos que conforman todo su proceso productivo, luego de esto se debe evaluar a los mismos en las siete áreas de impacto y calificarlos según nuestros criterios dentro de las tres posibilidades existentes por cada área, siendo estas:

- A= Riesgo Alto.
- B= Riesgo Medio.
- C= Riesgo Bajo.

El resultado de los criterios emitidos al momento de evaluar todos los activos en estudio en las siete áreas de impacto se muestran a continuación en la tabla 24, cabe recalcar que para la emisión de criterios es fundamental la revisión y aplicación de la tabla 8.

Cuadro de criterio para análisis de criticidad

Tabla 17. Análisis de criticidad

		CUADRO DE CRITERIOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD				Código: DOC-DM-AC-01	
						Versión: 1	
ELABORA:		REVISA:		APRUEBA:		FECHA INSPECCIÓN:	
Santos Jairo; Daniel Cholango		Ing. Eduardo Hernández		Ing. Germán Llamuca		06/06/2013	
PLANTA CAJABAMBA MOLINO 1							
	SEGURIDAD Y SALUD	AMBIENTE	CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD	TIEMPO DE OPERACIÓN (TO)	PRODUCCIÓN	INTERVALOS ENTRE ACTIVIDADES	TIEMPO Y COSTOS DE MANTENIMIENTO
<b>BÁSCULA CAMONERA</b>	C: Al momento de descargar la materia prima el personal no tiene contacto con la máquina por lo tanto no representa riesgo para la integridad y salud del personal.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que puedan fugarse o derramarse.	C: Su funcionamiento no incide en la calidad del producto final ya que ésta máquina solo recepta la materia prima tal y como viene desde los proveedores.	C: El funcionamiento de esta máquina es ocasional es decir solo cuando hay llegada de materia prima.	C: Del funcionamiento de ésta máquina no depende la producción total o parcial de la planta ya que su régimen normal d trabajo no es continuo.	C: El funcionamiento es continuo ya que el equipo es nuevo es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser mediano o razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempos considerables.
<b>ZARANDA KRIBA DE TAMBOR</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que puedan fugarse o derramarse.	A: Su mal funcionamiento incide directamente en la calidad del producto ya que esta elimina elementos extraños del trigo.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y sin paros es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempos considerables.
<b>BÁSCULA MCDL-300</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que puedan fugarse o derramarse.	C: Su funcionamiento no incide en la calidad del producto final (harina).	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	C: Del funcionamiento de esta máquina no depende la producción total o parcial de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y sin paros es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	C: El costo de mantenimiento resulta ser irrelevante debido a que los repuestos son comunes y se encuentran en el mercado nacional; además, el tiempo que se demora en la corrección de fallas es mínimo.
<b>BÁSCULA MSDL- 80</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que puedan fugarse o derramarse.	B: Su mal funcionamiento produciría variaciones en las especificaciones de calidad del producto como la adecuada homogeneidad.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	C: Del funcionamiento de esta máquina no depende la producción total o parcial de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y sin paros es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	C: El costo de mantenimiento resulta ser irrelevante debido a que los repuestos son comunes y se encuentran en el mercado nacional; además, el tiempo que se demora en la corrección de fallas es mínimo.

Tabla 17. (Continuación)

	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>	<b>AMBIENTE</b>	<b>CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD</b>	<b>TIEMPO DE OPERACIÓN (TO)</b>	<b>PRODUCCIÓN</b>	<b>INTERVALOS ENTRE ACTIVIDADES</b>	<b>TIEMPO Y COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>
<b>ZARANDA MTRA</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que puedan fugarse o derramarse.	A: Su mal funcionamiento incide directamente en la calidad del producto ya que esta elimina elementos extraños del trigo.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempo considerables.
<b>ZARANDA COMBICLINER</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que puedan fugarse o derramarse.	A: Su mal funcionamiento incide directamente en la calidad del producto ya que esta elimina elementos extraños del trigo.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y con paros raramente es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto debido a que los repuestos son costosos e importados, además el tiempo que se demora en la corrección de fallas es elevado.
<b>ROCIADOR INTENSIVO</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	B: Su mal funcionamiento ocasionaría variaciones en las especificaciones de calidad del producto final.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y con paros raramente es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempo considerables.
<b>FLOW BALANCER</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	B: Su mal funcionamiento ocasionaría variaciones en las especificaciones de calidad del producto final.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempos considerables.
<b>TRANSPORTADORES DE CADENA</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	C: Su funcionamiento no incide en la calidad del producto final (harina).	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempo considerables.

Tabla 17. (Continuación)

	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>	<b>AMBIENTE</b>	<b>CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD</b>	<b>TIEMPO DE OPERACIÓN (TO)</b>	<b>PRODUCCIÓN</b>	<b>INTERVALOS ENTRE ACTIVIDADES</b>	<b>TIEMPO Y COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>
<b>DESPUNTADORA</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	B: Su mal funcionamiento ocasionaría variaciones en las especificaciones de calidad del producto final.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempos considerables.
<b>BANCO DOBLE DE MOLIENDA T1 /T2-C1/C2</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	B: Tiene un riesgo medio para el ambiente ya que tiene una caja reductora que contiene aceite que al fugarse contaminará el ambiente.	A: Tiene riesgo alto ya que es la restricción del sistema y este equipo impone su velocidad de producción al sistema completo.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	B: El promedio de fallas según el historial de averías es una vez al año entonces el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es de 1 año.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto debido a que los repuestos son costosos e importados, además el tiempo que se demora en la corrección de fallas es elevado.
<b>FILTRO DE MANGAS</b>	B: Su funcionamiento representa un riesgo medio ya que podría ocasionar lesiones temporales a los trabajadores	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen su alrededor.	B: Su mal funcionamiento ocasionaría variaciones en la producción total ya que habría partículas de harina que saldrían al ambiente.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y con paros raramente es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempos considerables.
<b>VENTILADOR GENERAL</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	A: Una falla en esta máquina ocasionaría una parada total de planta ya que la sub-zona neumática de aspiración no estaría trabajando.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto debido a que los repuestos son costosos e importados, además el tiempo que se demora en la corrección de fallas es elevado.
<b>CANALETA VIBRATORIA</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	B: Su mal funcionamiento ocasionaría variaciones en la producción total ya que se saturaría más rápidamente al filtro de mangas.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y con paros raramente es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto debido a que los repuestos son costosos e importados, además el tiempo que se demora en la corrección de fallas es elevado.

Tabla 17. (Continuación)

	SEGURIDAD Y SALUD	AMBIENTE	CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD	TIEMPO DE OPERACIÓN (TO)	PRODUCCIÓN	INTERVALOS ENTRE ACTIVIDADES	TIEMPO Y COSTOS DE MANTENIMIENTO
<b>PLANSIFTER MPAD (SERNEADOR PLANO)</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	B: Su mal funcionamiento ocasionaría variaciones en las especificaciones de calidad del producto final.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	B: El promedio de fallas historial de averías es una vez al año entonces el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es de 1 año.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto debido a que los repuestos son costosos e importados, además el tiempo que se demora en la corrección de fallas es elevado.
<b>SASOR MQRF</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	B: Su mal funcionamiento ocasionaría variaciones en las especificaciones de calidad del producto final.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta ya que no existe máquinas en stand-by o redundantes.	B: El promedio de fallas según el historial de averías es una vez al año entonces el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es de 1 año.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto debido a que los repuestos son costosos e importados, además el tiempo que se demora en la corrección de fallas es elevado.
<b>CEPILLADORA</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	A: Una falla en esta máquina ocasionaría una disminución de la producción pues no se separaría adecuadamente el afrecho de la harina.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y con paros raramente es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempos considerables.
<b>BANCOS DE MOLIENDA</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos ya que todos sus componentes están protegidos con guardas y la mayoría de tareas de mantenimiento se las hace en frío.	B: Tiene un riesgo medio para el ambiente ya que tiene una caja reductora que contiene aceite que al fugarse contaminara el ambiente.	B: Su mal funcionamiento ocasionaría variaciones en las especificaciones de calidad del producto final y traería como consecuencia un producto mal molido.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Al fallar esta máquina ocasionaría una parada total de planta debido a que el trigo necesariamente debe pasar por todos los bancos para transformarse en harina.	B: El promedio de fallas según el historial de averías es una vez al año por cada banco entonces el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es de 1 año de todos los bancos.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto debido a que los repuestos son costosos e importados únicamente por los fabricantes, además el tiempo que se demora en la corrección de fallas es elevado.
<b>TRANSFLOWTRON</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos ya que es una máquina electrónica y no tiene elementos móviles.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	A: Tiene riesgo alto ya que es la restricción del sistema ya que a esta máquina es a la que se debe calibrar para variar la velocidad de producción.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta.	C: El funcionamiento es bueno y con paros raramente es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto debido a que los repuestos son costosos e importados únicamente por los fabricantes.

Tabla 17. (Continuación)

	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>	<b>AMBIENTE</b>	<b>CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD</b>	<b>TIEMPO DE OPERACIÓN (TO)</b>	<b>PRODUCCIÓN</b>	<b>INTERVALOS ENTRE ACTIVIDADES</b>	<b>TIEMPO Y COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>
<b>DISGREGADORES</b>	B: Su funcionamiento puede ocasionar daños menores en la salud del personal ya que una parte de la harina que disgrega sale al ambiente del piso donde está instalada y podría causar problemas respiratorios.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	A: Su mal funcionamiento ocasionaría defectos en la calidad del producto final y traería como consecuencia un producto agrumado o mezclado con otros derivados del trigo anteriormente elaborados.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Al fallar esta máquina ocasionaría una parada total de planta debido a que para realizar cualquier actividad de mantenimiento se debe parar los bancos previamente y por ende la planta sufriría una parada total.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempos considerables
<b>DESATADORES</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos ya que todos sus componentes están cubiertos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	B: Su mal funcionamiento ocasionaría variaciones en las especificaciones de calidad del producto final y traería como consecuencia un producto mal molido.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Al fallar esta máquina ocasionaría una parada total de planta debido a que para realizar cualquier actividad de mantenimiento se debe parar los bancos previamente y por ende la planta sufriría una parada total.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que no es una maquina muy compleja o de gran tamaño sin embargo la misma se debe importar desde el país de origen de los fabricantes.
<b>TORNILLO SIN FIN DE HARINA</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos ya que todos sus componentes que representen riesgo están protegidos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que solo transporta harina y no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	C: Su funcionamiento no incide en la calidad del producto final ya que es una máquina cuya función es únicamente transportar la harina.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta ya que no existe otra máquina similar que realice su función.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempo considerables.
<b>PLANSIFTER DE CONTROL</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos ya que todos sus elementos móviles están protegidos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja ninguna sustancia ya que es solo una máquina de control electrónico.	B: Su mal funcionamiento ocasionaría variaciones en las especificaciones de calidad del producto final ya que este regula el flujo de trigo que ingresa los bancos.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta ya que este es el último tamizaje del producto y no existe máquinas en stand-by o redundantes.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto debido a que los repuestos son costosos e importados únicamente por los fabricantes, además el tiempo que se demora en la corrección de fallas es elevado.

Tabla 17. (Continuación)

	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>	<b>AMBIENTE</b>	<b>CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD</b>	<b>TIEMPO DE OPERACIÓN (TO)</b>	<b>PRODUCCIÓN</b>	<b>INTERVALOS ENTRE ACTIVIDADES</b>	<b>TIEMPO Y COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>
<b>BÁSCULA TUBEX</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos ya que todos sus elementos móviles están protegidos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja ninguna sustancia ya que es solo una máquina de control electrónico.	C: Su funcionamiento no incide en la calidad del producto final ya que esta máquina solo permite tener un control de la cantidad d harina producida.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	C: El funcionamiento de esta máquina no tiene impacto en la producción total o parcial de la planta ya que esta máquina unicamente pesa el producto final.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempo considerables.
<b>SOPLANTE NEUMÁTICO DE HARINA</b>	B: Su funcionamiento representa un riesgo significativo para la salud del personal ya que produce altos niveles de ruido.	B: Tiene un riesgo medio para el ambiente ya que tiene una caja de transmisión entre lóbulos que contiene aceite que al fugarse contaminara el ambiente.	C: Su funcionamiento no incide en la calidad del producto final ya que esta máquina solo permite transportar el harina hasta el empaque.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta ya que no existe otra máquina similar que realice su función.	A: El promedio de fallas según el historial de averías es de 2 fallas en el año entonces el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es aproximadamente de 6 meses.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto debido a que los repuestos son costosos e importados unicamente por los fabricantes, además el tiempo que se demora en la corrección de fallas es elevado.
<b>FILTRO DE MANGAS # 2</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos ya que todos sus componentes móviles están protegidos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias que al fugarse contaminen el ambiente.	C: Su funcionamiento no incide en la calidad del producto final ya que esta máquina solo filtra el aire que proporciona el soplante.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta ya que tendria que parar obligadamente el soplante y por ende toda la planta.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	B: El costo de mantenimiento resulta ser razonable debido a que solo algunos repuestos se los puede adquirir en el mercado nacional y generalmente sus reparaciones tardan tiempo considerables.
<b>ROTOFLOW</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos ya que es una máquina vibratoria pequeña e inofensiva.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que su funcionamiento en su mayoría es eléctrico.	C: Su funcionamiento no incide en la calidad del producto final ya que esta máquina unicamente vibra para la caída del producto hacia la empacadora.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta ya que no podría llegar el producto hasta la empacadora y colapsaría.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto debido a que los repuestos son costososy los poseen unicamente los fabricantes, además el tiempo que se demora en la corrección de fallas es significativo.
<b>EMPACADORA</b>	C: Su funcionamiento no representa peligro para la vida del personal ni para la salud de los mismos.	C: No representa ningún riesgo para el ambiente ya que no maneja sustancias contaminantes.	C: Su funcionamiento no incide en la calidad del producto final ya que esta máquina unicamente empa en sacos el producto terminado.	A: El funcionamiento de esta máquina es continuo, es decir las 24h.	A: Del funcionamiento de esta máquina depende la producción continua de la planta ya que el producto terminado no tendría ser empacado.	C: El funcionamiento es bueno y raramente se presentan fallos es decir el Tiempo Medio entre Fallos (TMF) es superior a 1 año.	A: El costo de mantenimiento resulta ser alto, debido a que los repuestos son costosos y solo los poseen los fabricantes, además el tiempo que se demora en la corrección de fallas es elevado por la complejidad de la misma.

Fuente: Autores

Una vez realizado la evaluación de criterios, con estos resultados obtenidos se procede a seguir el flujograma de criticidad (figura 37), el mismo que se lo utiliza de forma descendente evaluando por área según su calificación hasta llegar a la parte inferior en donde finalmente se determina si la máquina es Crítica (C), Semi-Crítica (SC) o No crítica (NC). El resumen de los criterios con los que se realizó el seguimiento al flujograma de criticidad y con el cual se llegó a determinar la criticidad de todas las máquinas se presenta en la tabla 25.

### *Resultados de análisis de criticidad*

Los resultados finales que arrojó el análisis de criticidad se explican a continuación:

- Cuatro máquinas no críticas a las cuales se debe disminuir notablemente el costo de mantenimiento para lo cual se recomienda continuar con el sistema de mantenimiento preventivo planificado y también el mantenimiento correctivo cuando se presenten fallas esporádicas.
- Quince máquinas semi-críticas a las cuales se debe disminuir levemente el costo de mantenimiento hasta un punto que no afecte a la disponibilidad de los mismos, para lo cual se recomienda aplicar al menos una técnica de mantenimiento predictivo pero a frecuencias más elevadas y solo en caso necesario, continuar con el sistema de mantenimiento preventivo planificado y también el mantenimiento correctivo cuando se presenten fallas imprevistas.
- Nueve máquinas críticas las cuales se deben mantener con una máxima disponibilidad sin escatimar costo alguno, para lo cual se recomienda aplicar varias técnica de mantenimiento predictivo, en este caso se aplicará un monitoreo mediante análisis de vibraciones, continuar con el sistema de mantenimiento preventivo planificado y el mantenimiento correctivo en caso de reparaciones imprevistas.

De los 9 tipos de máquinas críticas encontradas se tomarán únicamente 5 ya que la técnica predictiva basada en vibraciones es aplicable solo a maquinaria rotativa y las 4 máquinas restantes tienen otros sistemas de movimiento. En conclusión las máquinas a analizar son: 1 banco de molienda doble, 4 disgregadores, 1 ventilador general, 1 cepilladora y 1 soplante neumático, teniendo un total de 8 equipos para éste análisis.

Tabla 18. Tabla de resultados de análisis de criticidad

			<b>CUADRO DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD</b>					Código: DOC-DM-AC-02 Versión: 1 Fecha elaboración: 01-07-2013 Fecha modificación: 01-07-2013		
ELABORA: Santos Jairo; Daniel Cholango			REVISAR: Ing. Eduardo Hernández		APRUEBA: Ing. Germán Llamuca		FECHA INSPECCIÓN: 06/06/2013			
Nº	ÁREA	EQUIPO	SEGURIDAD Y SALUD (S&S)	AMBIENTE (A)	CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD (C&P)	TIEMPO DE OPERACIÓN (TO)	PRODUCCIÓN (P)	INTERVALOS ENTRE ACTIVIDADES (TBF)	TIEMPO Y COSTOS DE MANTENIMIENTO (MT)	CRITICIDAD
1	Almac. y Recepción	Báscula camionera	C	C	C	C	C	C	B	NC
2	Almac. y Recepción	Zaranda CRIBA de tambor	C	C	A	A	A	C	B	C
3	Almac. y Recepción	Báscula MCDL-300	C	C	C	A	C	C	C	NC
4	1ra Limpieza y Acondicionamiento	Báscula MSDL- 80	C	C	B	A	C	C	C	NC
5	1ra Limpieza y Acondicionamiento	Zaranda MTRA	C	C	A	A	A	C	B	C
6	1ra Limpieza y Acondicionamiento	Zaranda COMBICLINER	C	C	A	A	A	C	A	C
7	1ra Limpieza y Acondicionamiento	Rociador intensivo	C	C	B	A	A	C	B	SC
8	2da Limpieza	Flow Balancer	C	C	B	A	A	C	B	SC
9	2da Limpieza	Transportadores de cadena	C	C	C	A	A	C	B	SC
10	2da Limpieza	Despuntadora	C	C	B	A	A	C	B	SC
11	Molienda	Banco doble de molienda T1 /T2- C1/C2	C	B	A	A	A	B	A	C
12	Molienda	Filtro de mangas	B	C	B	A	A	C	B	SC
13	Molienda	Ventilador general	C	C	A	A	A	C	A	C
14	Molienda	Canaleta vibratoria	C	C	B	A	A	C	A	SC
15	Molienda	Plansifter MPAD (Sernedor plano)	C	C	B	A	A	B	A	SC
16	Molienda	Sasor MQRF	C	C	B	A	A	B	A	SC
17	Molienda	Cepilladora	C	C	A	A	A	C	B	C
18	Molienda	Bancos de molienda	C	B	B	A	A	B	A	SC
19	Molienda	TRANSFLOWTRON	C	C	A	A	A	C	A	C
20	Molienda	Disgregadores	B	C	A	A	A	C	B	C
21	Molienda	Desatadores	C	C	B	A	A	C	B	SC
22	Molienda	Tornillo sin fin de harina	C	C	C	A	A	C	B	SC
23	Molienda	Plansifter de control	C	C	B	A	A	C	A	SC
24	Molienda	Báscula TUBEX	C	C	C	A	C	C	B	NC
25	Empacado	Soplante neumático de harina	B	B	C	A	A	A	A	C
26	Empacado	Filtro de mangas #2	C	C	C	A	A	C	B	SC
27	Empacado	ROTOFLOW	C	C	C	A	A	C	A	SC
28	Empacado	Empacadora	C	C	C	A	A	C	A	SC

Fuente: Autores

#### 4.3 Diseño de fichas técnicas y datos de referencia vibracional

Una vez que se han determinado los equipos críticos de todo el proceso productivo de Moderna Alimentos S.A se procede a elaborar la ficha técnica para cada uno de dichos activos, en dicha ficha se podrá editar los datos y parámetros de funcionamiento más importantes y sobresalientes de la máquina, para de esta manera eliminar los desplazamientos hacia la máquina por parte del personal de mantenimiento; además, con

esto evitaríamos la pérdida de información importante que se encuentra en las placas del fabricante ya que en la práctica esto es muy frecuente, el diseño de estas fichas en alguna herramienta informática cobra vital importancia ya que así se evita cualquier manipulación o modificación indeseada de la información.

Tabla 19. Ficha técnica y datos de referencia vibracional de cepilladora MKLA01

		<b>FICHA TÉCNICA Y DATOS DE REFERENCIA VIBRACIONAL</b>				Código: DOC-DM-FT-01		
						Versión: 1		
						Fecha de elaboración: 10/06/2013		
						Fecha de modificación: 10/06/2013		
Elabora: Daniel Ch. ; Jairo S.		Revisa: Ing. Eduardo Hernández				Aprueba: Ing. Germán Llamuca		
Nombre del equipo:		Cepilladora						
Área:	MOLIENDA	Código del equipo:	MKLA 01	<b>DATOS DE REFERENCIA VIBRACIONAL</b>				
Fabricante:	BUHLER	Proveedor:	BUHLER	Tipo de piso	Madera			
Marca:	BUHLER	Serie:		Lubricación	Mobil th SHC 100			
Modelo:	MKLA 30/80	Año:		Cód. rodamientos	2211 CK			
				Tipo de sistema	Rígido			
<b>Estado del equipo</b>				Unidades de velocidad	mm/s			
Bueno	X	Regular		Malo		Tipo de transductor	Acelerómetro	
<b>Datos Generales</b>								
Tamaño de la camisa	800 mm	Rendimiento Kg/h	1800	Peso aproximado ( Kg)	320			
Rpm de rotor batidor	1100	Aire de aspiración	7 m3/min	Vol. con embalaje (m3)	2,3			
<b>Equipos eléctricos que lo conforman</b>								
Equipo	Marca	Serie	Modelo	Voltaje (V)	Potencia (HP)	RPM	I (A)	cos φ
Motor	BUHLER		M-224	220	5	1740	16,9	0.87
<b>FOTOGRAFÍA DE LA MÁQUINA</b>								
								

Fuente: Autores

Tabla 20. Ficha técnica y datos de referencia vibracional banco de molienda T1/T2-  
C1/C2

		<b>FICHA TÉCNICA Y DATOS DE REFERENCIA VIBRACIONAL</b>				Código: DOC-DM-FT-02			
						Versión: 1			
						Fecha de elaboración: 10/06/2013			
						Fecha de modificación: 10/06/2013			
Elabora: Daniel Ch. ; Jairo S.		Revisa: Ing. Eduardo Hernández				Aprueba: Ing. Germán Llamuca			
Nombre del equipo:		Banco de Molienda Doble T1/T2 - C1/C2							
Área:		MOLIENDA	Código del equipo:		MDDL	DATOS DE REFERENCIA VIBRACIONAL			
Fabricante:		BUHLER	Proveedor:		BUHLER	Tipo de piso		Madera	
Marca:		BUHLER	Serie:		65520- S	Lubricación		Mobil th SHC 100	
Modelo:		MDDL 1000-250	Año:		1960	Cód. rodamientos		22315 CK	
						Tipo de sistema		Rígido	
Estado del equipo						Unidades de velocidad		mm/s	
Bueno	X	Regular		Malo		Tipo de transductor		Acelerómetro	
Datos Generales									
Niveles de ruido				Poleas para el accionamiento principal					
Nivel de presión acústica equivalente al entorno de la máquina	Leq=	75 dB(A)	86 dB(A)	Poleas planas		360*125 anchas			
	Nivel de potencia acústica	Lw=	92 dB(A)	103 dB(A)	Poleas acanaladas		<input type="checkbox"/> 355 con 6 y 8 ranuras para correas trapezoidales estrechas SPA		
Dimensión de la superficie medida		Ws=	17 dB	17 dB			<input type="checkbox"/> 355 con 6 ranuras para correas trapezoidales estrechas SPB		
					<input type="checkbox"/> 355 con 6 ranuras para correas trapezoidales 5V				
Condiciones de explotación				Rpm de cilindros estriados y lisos		Refrigeración por agua			
Producto	Roturas de trigo		Harina de trigo		Cilindros □ 250	350-800 (según pasada)	Consumo de agua	300 litros/horas	
Pasada	T1	T2	C1	C2	Multiplicación de cilindros (según pasada)		°T de entrada de agua	°T ambiente min 2 bar	
P. motriz (Kw)	23,8	14,1	11,9	14,7			Aire comprimido		
Potencias de mando				Tipo	Cilindros □ 250	Presión de trabajo y mando		6 bar	
Pasadas de trituración		máx. 55 Kw		C. estriado	1:1,5 a 1:2,64	Consumo de aire comprimido		3 m3/h	
Pasadas de reducción		max 22Kw		C. lisos	1:1,05 a 1:1,5				
Lubricación de partes motrices									
Cojinetes	Grasa	ASEOL LITEA EP 806	Rodillos de alimentación	Aceite	ISO VG 680-680	Ruedas dentadas	Aceite	ISO VG 680-680	
Equipos eléctricos que lo conforman									
Equipo	Marca	Serie	Modelo	Potencia (Hp)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	RPM	cos φ	
Motor eléctrico T1	WEG	----	-----	75	440	90	1180	-----	
Motor eléctrico T2	WEG	----	2265MO49	60	220/380/441	132/76/66	1180	0,8	
Motor eléctrico C1	WEG	----	200L0493	40	220/380/442	100/58/50	1180	0,85	
Motor eléctrico C2	WEG	----	200L0493	40	220/380/443	100/58/50	1180	0,85	
FOTOGRAFÍA DE LA MÁQUINA									
									

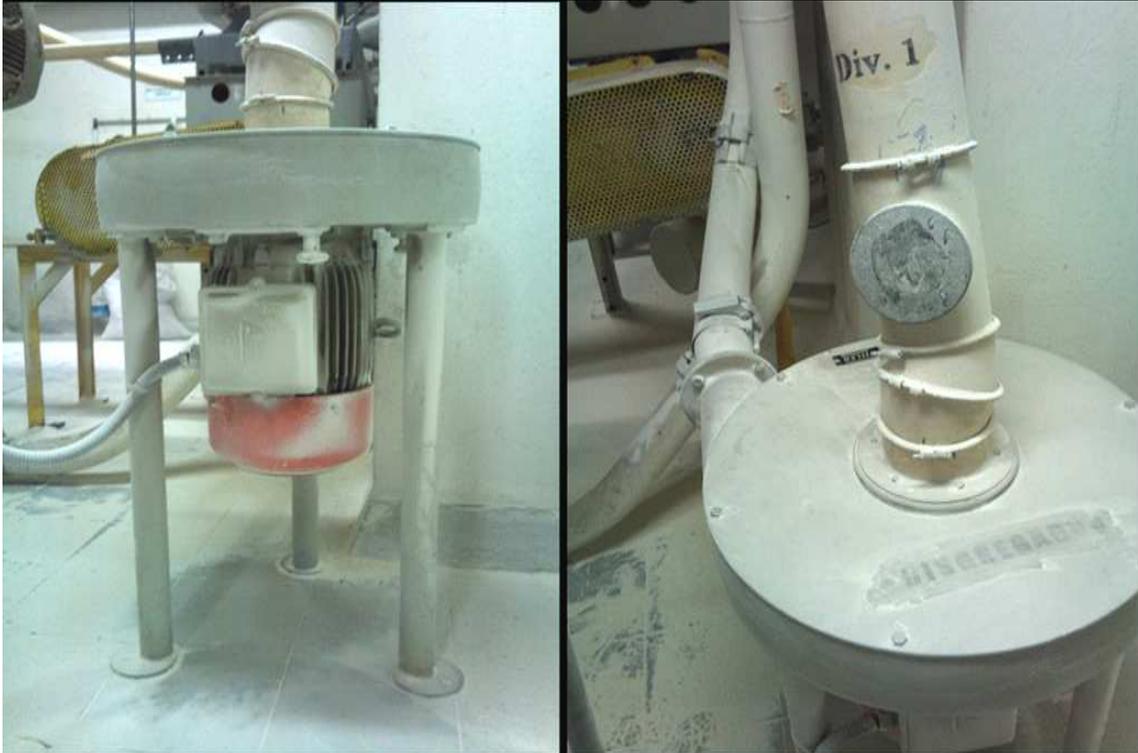
Fuente: Autores

Tabla 21. Ficha técnica y datos de referencia vibracional soplante neumático de harina

	<b>FICHA TÉCNICA Y DATOS DE REFERENCIA VIBRACIONAL</b>					Código: DOC-DM-FT-03		
						Versión: 1		
						Fecha de elaboración: 10/06/2013		
						Fecha de modificación: 10/06/2013		
Elabora: Daniel Ch. ; Jairo S.		Revisa: Ing. Eduardo Hernández			Aprueba: Ing. Germán Llamuca			
Nombre del equipo:		Soplante Neumático de Harina						
Área:		EMPAQUETADO	Código del equipo:		SOPL 02	DATOS DE REFERENCIA VIBRACIONAL		
Fabricante:		BUHLER	Proveedor:		BUHLER	Tipo de Piso		Hormigon
Marca:		BUHLER	Serie:		735356	Lubricación		Mobil th SHC 100
Modelo:		MG10S	Año:		1997	Cod. cojinetes		AS, AW GLSA 10
						Tipo de Sistema		Rígido
Estado del equipo						Unidades de velocidad		mm/s
Bueno	X	Regular		Malo		Tipo de transductor		Acelerómetro
Datos Generales								
Presiones de trabajo		Q1= 11m3/min		Lubricación		Tolerancia de marcha de los acoplamientos		
P1= 0,6921 bar		ΔP= 0,43 bar		Walzero 4 SKF		Radial		máx. 0,05 mm. de desviación del árbol
P2= 0,43 bar		Pstat=11,3 (KPa)		Avania 3 Shell		Axial		máx. 0,05 mm. de la envoltura
Equipos eléctricos que lo conforman								
Equipo	Marca	Serie	Modelo	Voltaje (V)	Potencia (HP)	RPM	I (A)	cos φ
Motor eléctrico	Siemens	LA7166-2AA90	160LIMB3	440	25	3535	31	0,87
FOTOGRAFIA DE LA MÁQUINA								
								

Fuente: Autores

Tabla 22. Ficha técnica y datos de referencia vibracional disgregador MJZE

	<b>FICHA TÉCNICA Y DATOS DE REFERENCIA VIBRACIONAL</b>				Código: DOC-DM-FT-04			
					Versión: 1			
					Fecha de elaboración: 10/06/2013			
					Fecha de modificación: 10/06/2013			
Elabora: Daniel Ch. ; Jairo S.		Revisa: Ing. Eduardo Hernández		Aprueba: Ing. Germán Llamuca				
Nombre del equipo:		Disgregador						
Área:		MOLIENDA	Código del equipo:		MJZE	DATOS DE REFERENCIA VIBRACIONAL		
Fabricante:		BUHLER	Proveedor:		BUHLER	Tipo de piso		Hormigón
Marca:		BUHLER	Serie:			Lubricación		-----
Modelo:		MJZE 36	Año:			Cód. rodamientos		-----
						Tipo de sistema		Rígido
Estado del equipo						Unidades de velocidad		mm/s
Bueno	X	Regular		Malo		Tipo de transductor		Acelerómetro
Datos Generales								
Rodete del rotor		<input type="checkbox"/> 36 mm	Capacidad (t/h)		4	Peso(Kg)		155
Ciclos ( Hz)		60	Q = 7 m3 de aire por minuto					
Equipos eléctricos que lo conforman								
Equipo	Marca	Serie	Modelo	Potencia (Hp)	Voltaje (V)	I (A)	RPM	cos $\phi$
Motor eléctrico	BBC normelec	1325BB7	GT2669134	5,5	220/380	20/11,5	3510	0.89
FOTOGRAFÍA DE LA MÁQUINA								
								

Fuente: Autores

Tabla 23. Ficha técnica y datos de referencia vibracional ventilador general de la neumática

		FICHA TÉCNICA Y DATOS DE REFERENCIA VIBRACIONAL				Código: DOC-DM-FT-05				
						Versión: 1				
						Fecha de elaboración: 10/06/2013				
						Fecha de modificación: 10/06/2013				
Elabora: Daniel Ch ; Jairo S.		Revisa: Ing. Eduardo Hernández				Aprueba: Ing. Germán Llamuca				
Nombre del equipo:		VENTILADOR GENERAL DE LA NEUMÁTICA								
Área:		ASPIRACIÓN		Código del equipo:		MHTM01		DATOS DE REFERENCIA VIBRACIONAL		
Fabricante:		BUHLER		Proveedor:		BUHLER		Tipo de piso		
Marca:		BUHLER		Serie:		60490302.02		Lubricación		
Modelo:		MHTM SW 400.23-30.0-33				Cod. rodamientos		6316/ C3		
Año		2006				Tipo de sistema		Rígido		
Estado del equipo								Unidades de velocidad		mm/s
Bueno		X	Regular			Malo			Tipo de transductor	
										Acelerómetro
Datos Generales										
Régimen de trabajo				Lubricación				Peso	665 (Kg)	
Caudal		Q= 2,67 m3/s		ESSO		Unirax N2, N3 or S3		Cantidad de grasa 35 gramos en cada punto de engrase		
Δ Ptot		11,05 (Kpa)		SKF		LGHQ 3				
Δ Pstat		10,75 (Kpa)		SHELL		Albida EMS2				
Temperatura		80°C		MOBIL		Mobili th SHC 100				
Pw		41,5 Kw		FAG		Arcanol TEMP 110				
Equipos eléctricos que lo conforman										
Equipo	Marca	Serie	Modelo	Potencia (Hp)	Voltaje (V)	I (A)	RPM	cos φ		
Motor eléctrico	ABBO Y MOTORS	PW 209001	M3BP280 MB2B3	115	440	13,4	3575	0.89		
FOTOGRAFÍA DE LA MÁQUINA										
										

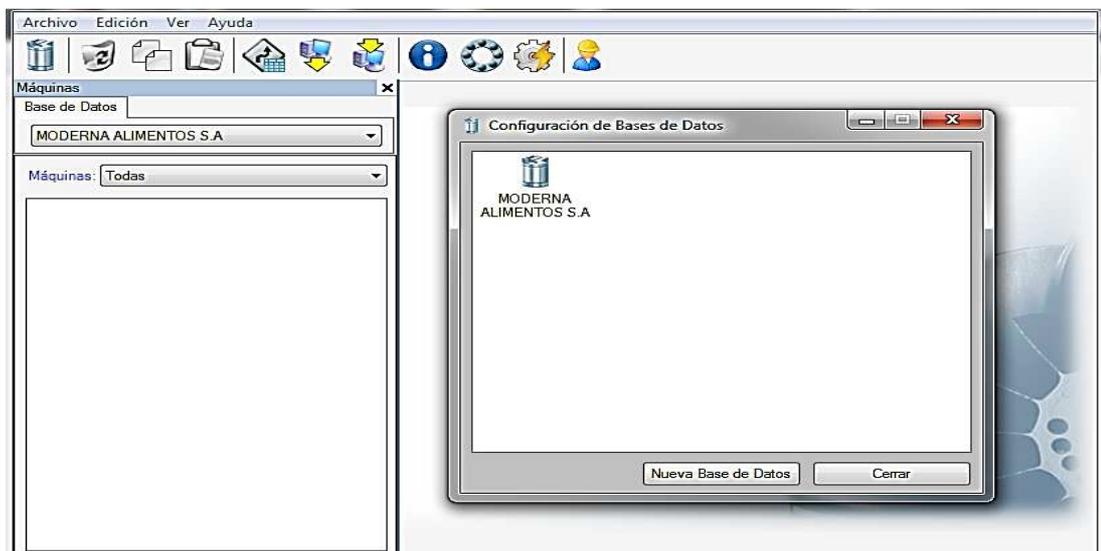
Fuente: Autores

#### 4.4 Configuración del sistema

En la configuración del sistema se crea una base de datos de la planta Moderna Alimentos S.A en la cual conste con detalles la información que se recopiló de cada uno de los equipos críticos.Teniendo en cuenta de los beneficios que nos brinda VibraCHECK ABG-200 que es un poderoso analizador portátil de vibraciones mecánicas de dos canales, pensado para controlar confiabilidad y diagnosticar problemas en máquinas rotativas, se realiza una configuración del sistema de manera que nos proporcione información necesaria para determinar las condiciones de dichos equipos.Para la configuración del sistema de debe seguir los siguientes pasos:

Se ingresa al software MAINTraq Predictive, se crea una nueva base de datos dando clic en **archivo** y se selecciona la opción **configurar base de datos** en este caso se denomina Moderna Alimentos S.A.

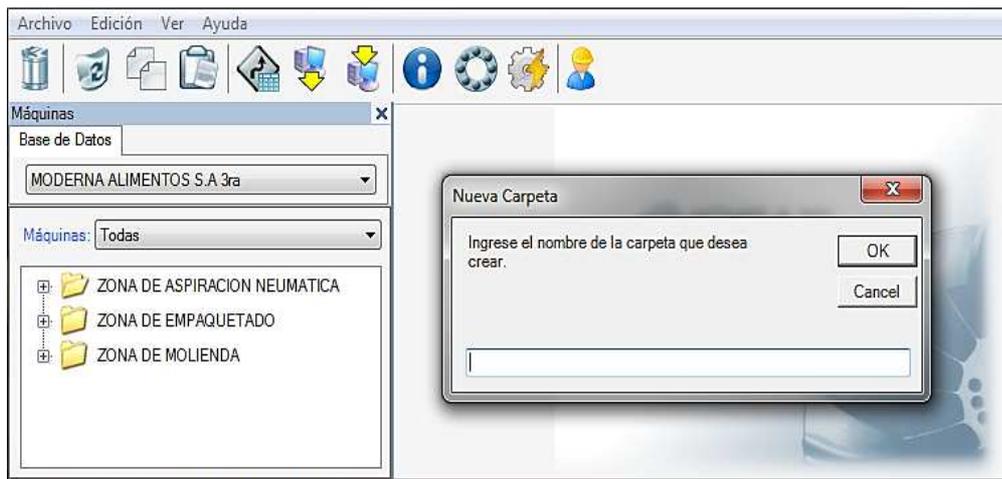
Figura 63. Creación de la base de datos (paso 1)



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Una vez creada la base de datos, el siguiente paso es añadir áreas en donde se encuentran los equipos catalogados como críticos por ende se tiene la zona de molienda, zona aspiración neumática y zona de empaquetado, para ello se da clic en **archivo** y selecciona la opción **nueva carpeta raíz** y se asigna la mencionada nomenclatura.

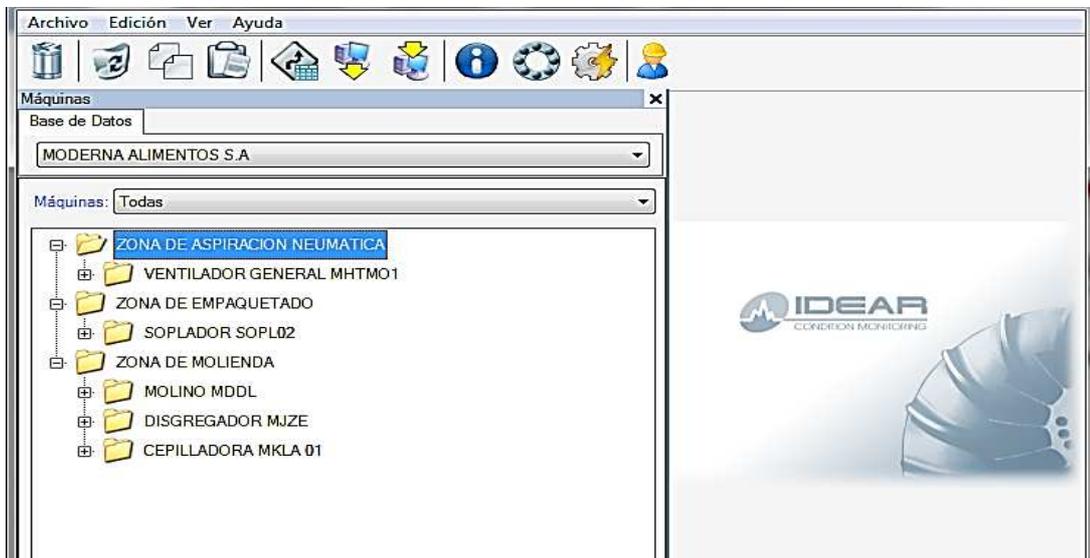
Figura 64. Creación de la base de datos (paso 2)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Consecutivamente se da clic sobre la carpeta creada, se selecciona **nueva carpeta** y las se denomina de acuerdo a las máquinas de cada una de las áreas, de esta manera se tiene una mejor apreciación de cómo están distribuidos los equipos en estudio.

Figura 65. Creación de la base de datos (paso 3)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Una vez creado cada una de las carpetas necesarias se crean las máquinas, para ello se da clic derecho sobre la carpeta denominada con nombre de la máquina y se selecciona **nueva máquina** en este punto se detalla de tal manera que las rutas no creen confusión durante la transferencia de datos al VibraCHECK ABG-200.

## 4.5 Creación de rutas de medición

Al momento de la creación de las rutas se debe estructurar de manera que el análisis sea secuencial para tener una mejor apreciación de la toma de datos y poder relacionar algún efecto que tengan una medición con la siguiente.

Para empezar la configuración se da clic sobre la carpeta raíz se elige *nueva carpeta* y dentro de ella se repite el paso y se selecciona *nueva máquina* y así se crean todas las máquinas que se vaya a analizar.

Figura 66. Creación de las rutas de medición.



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Previo a ello se debe contar con la mayor información posible acerca de las máquinas la cual es registrada en una plantilla del software, con el propósito de conocer el principio de funcionamiento y que componentes interactúan en él, para facilitar así el análisis respectivo.

Información de las máquinas a ser monitoreadas.

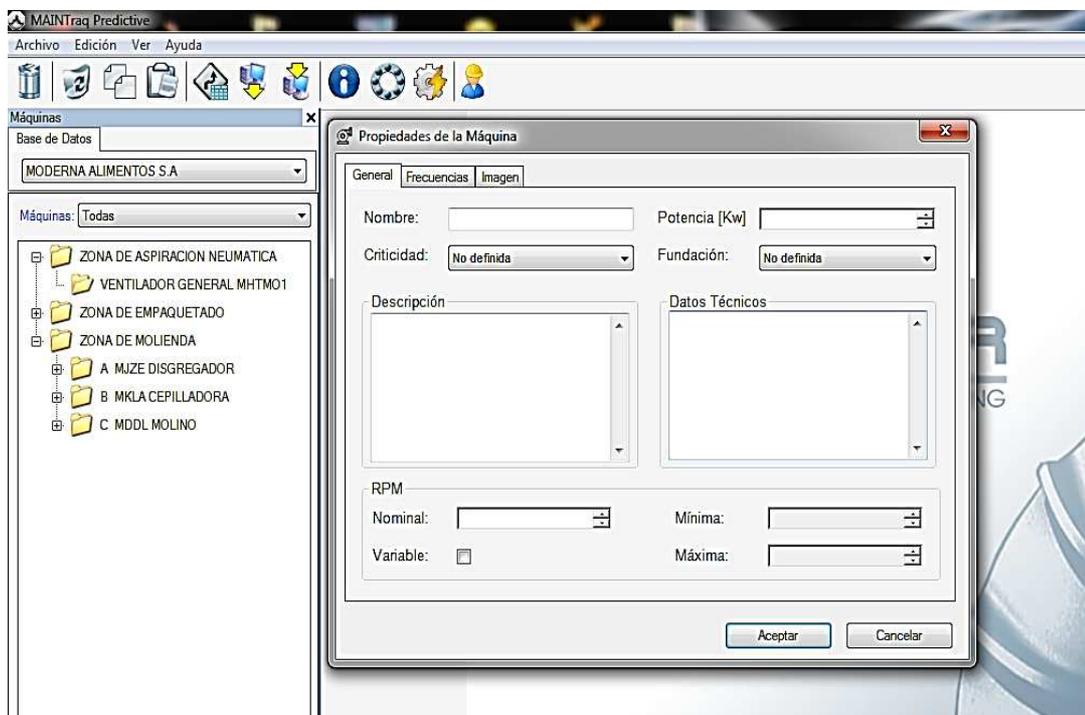
- Dibujo o fotografía de la máquina.
- Potencia (kW).
- RPM de placa y medidas reales.
- Descripción de sus principales componentes.

- Tipo de rodamientos.
- Puntos de medición.

#### 4.6 Configuración de rutas de medición

Para la configuración de las rutas se debe tener en cuenta muchos factores para lo cual se tiene como referencia las siguientes para la confección de la base de datos, al realizar el paso anterior se despliega esta pantalla.

Figura 67. Configuración de las rutas de medición (paso 1)



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Inicialmente se configura el ítem **General**, en la sección de **nombre** se recomienda colocar el código de la máquina dentro de la empresa, el parámetro de **criticalidad** se lo define con el análisis ya realizado anteriormente en la tabla 27, la sección **fundación** depende del tipo de máquina, que generalmente dentro del ámbito industrial es **rígida**.

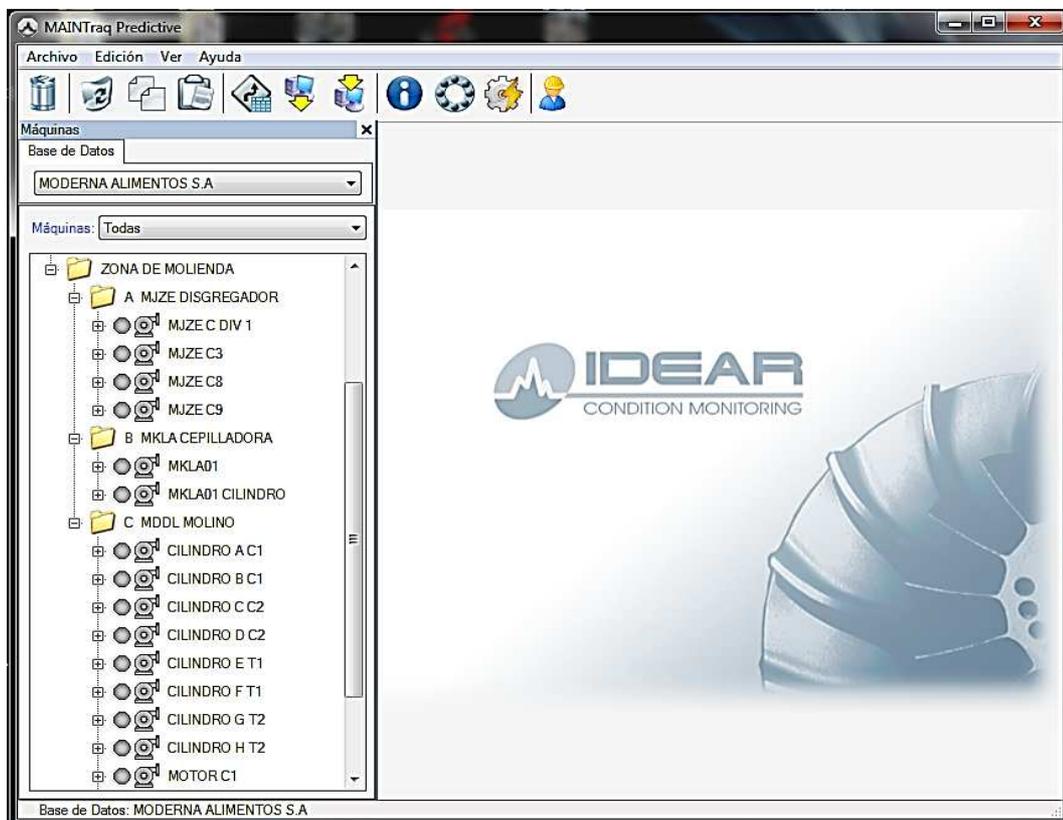
En el campo de **Descripción** se debe detallar en forma general como trabaja la máquina, como es la transmisión de movimiento o particularidades que sean descriptivas de los

elementos móviles de las máquinas.

En la sección **Datos técnicos** se deberá describir de ser posible la numeración del tipo de rodamientos, tipo de bandas, acoples entre otros dependiendo del activo que se esté analizando, también se debe registrar las velocidades reales.

En el ítem de **Imagen** se puede adjuntar la figura y en la cual una vez que se cree los puntos se podrá ubicarlos dentro de la imagen de forma que se puede tener una mejor apreciación. Se debe realizar un procedimiento repetitivo para las máquinas a analizar, luego de ello se empezará a crear los puntos de medición.

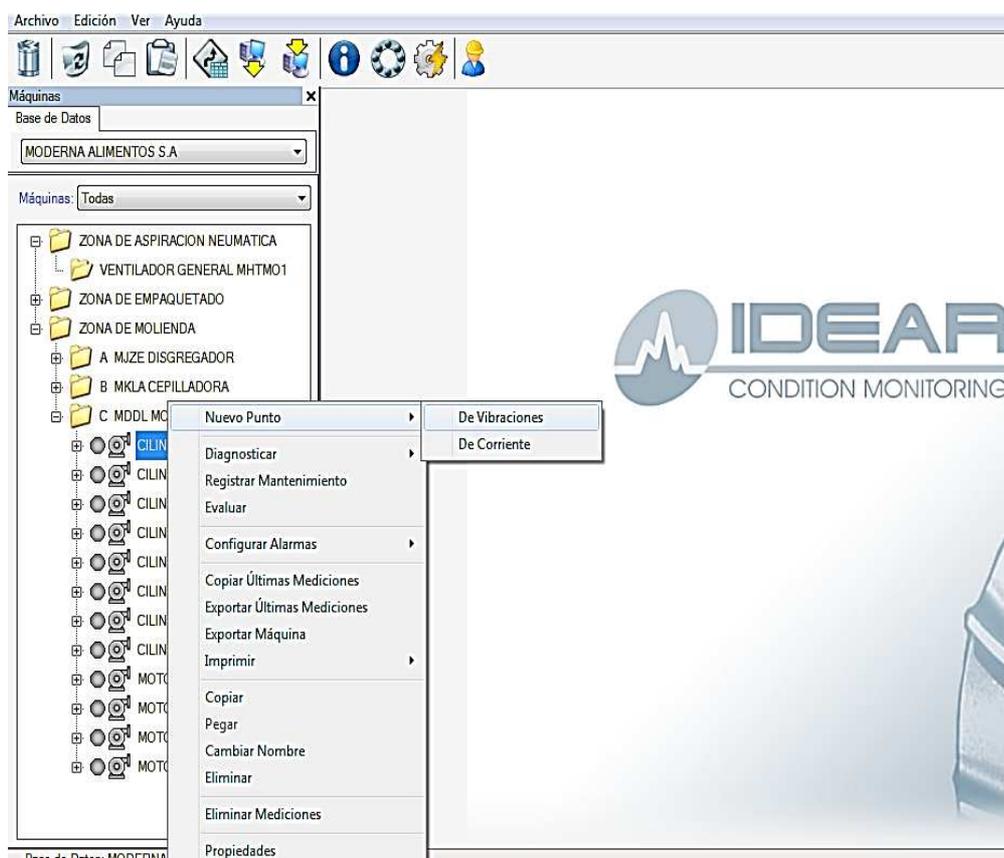
Figura 68. Configuración de las rutas de medición (paso 2)



Fuente: MAINTraQ Predictive, Analizador vibracional VIBRACHECK ABG-200

Así se da clic sobre la máquina creada y se selecciona la opción **Nuevo punto** y para esta aplicación se escogela opción **de vibración**, en esta parte de la configuración es importante plasmar datos reales ya que son los fundamentos para la base de datos y para el análisis.

Figura 69. Configuración de las rutas de medición (paso 3)

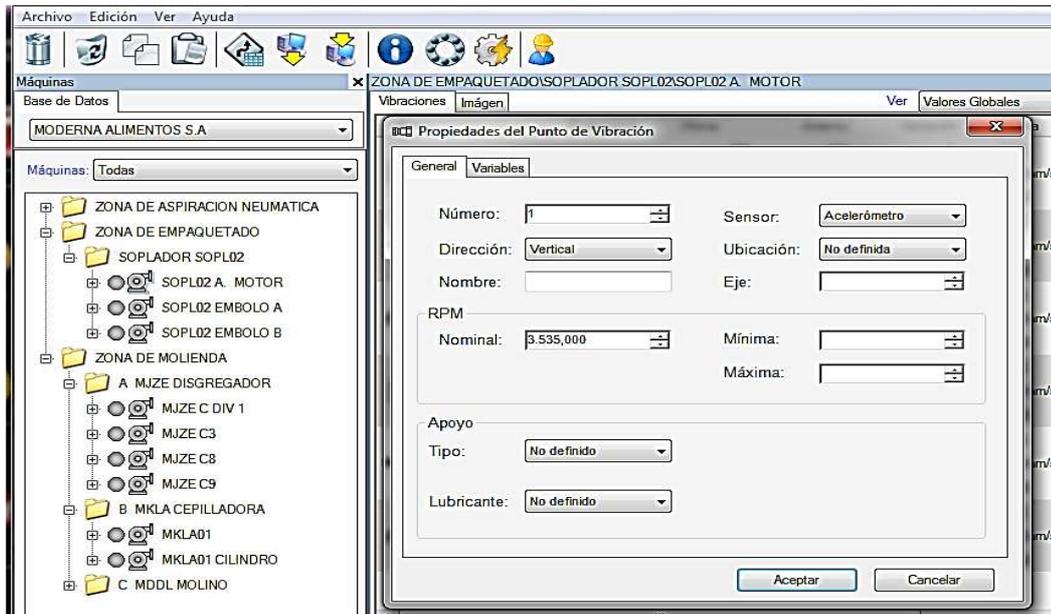


Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Al realizarlo se despliega una nueva ventana, la configuración es en la ventanilla **General** en la cual se debe realizar la denominación o **nombre** del punto, va a variar en función de cómo el usuario la designe. En la sección **dirección** debemos elegir el sentido (vertical, horizontal o axial), en la sección **sensor** se tienen los acelerómetros que ya está definido por defecto.

Lo referente a la **ubicación** se determinará generalmente **unidad motriz** si es caso del motor y **unidad conducida** si es el caso de una transmisión de movimiento como es el caso de poleas, ruedas dentadas entre otros. Las **rpm** se designan por defecto ya que las se estipuló en la creación de las máquinas, la sección **apoyo** permite enmarcar el tipo de apoyo de la máquina y qué tipo de lubricante se utiliza.

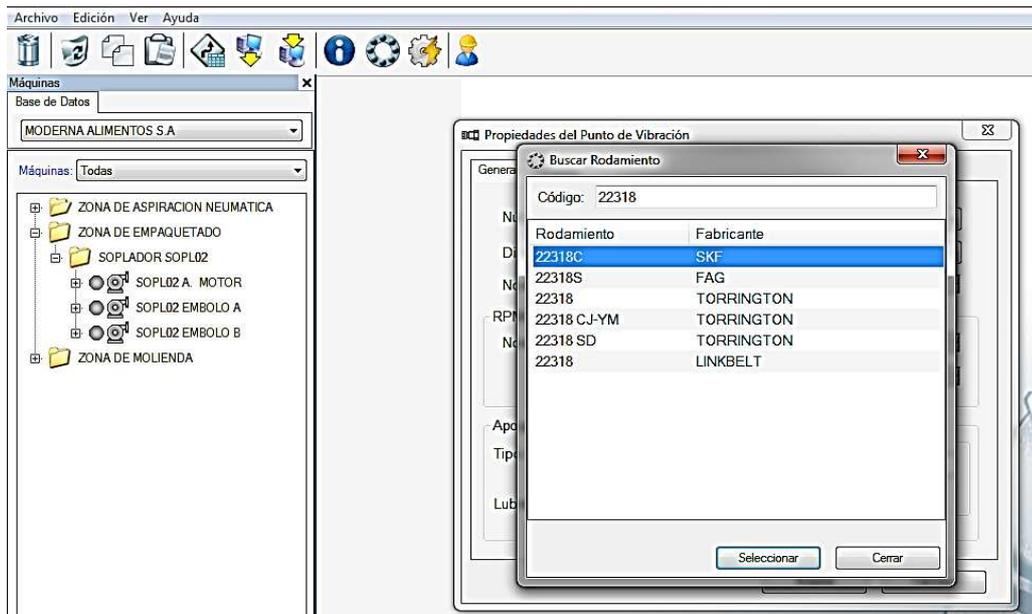
Figura 70. Configuración de las rutas de medición (paso 4)



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Ahora en caso de tener el tipo de rodamiento es muy conveniente registrarlo, para ello se da clic en *seleccionar*, aquí se navega y escoge por la designación y saldrán opciones tanto en la marca **FAG** y **SKF** generalmente, finalmente se selecciona uno y se da clic en *aceptar*.

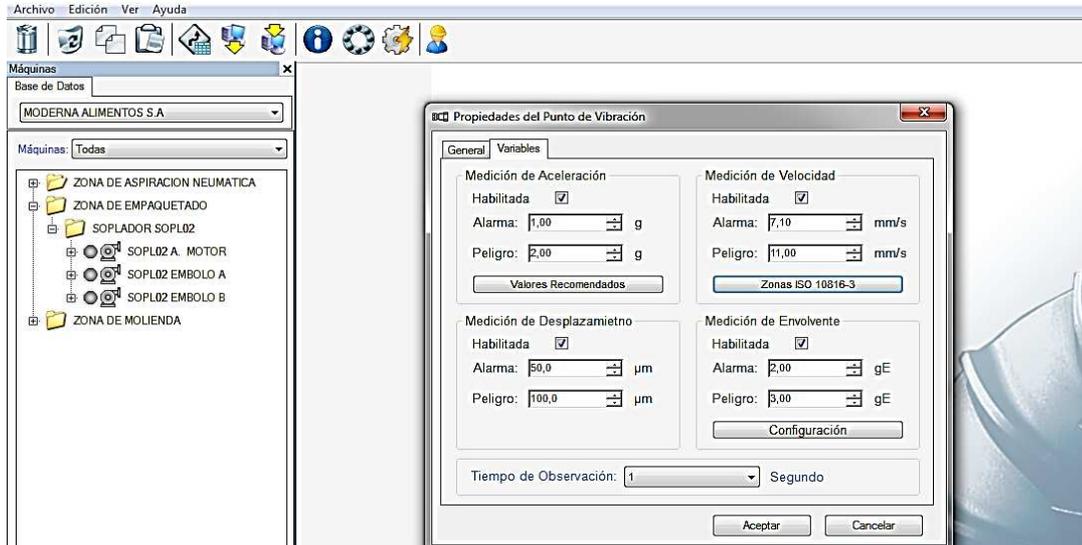
Figura 71. Configuración de las rutas de medición (paso 5)



Fuente: Software MAINTraq Predictive

El siguiente paso es dar clic sobre la opción *variables* se despliega una ventana, que se indica a continuación.

Figura 72. Configuración de las rutas de medición (paso 6)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

#### 4.6.1 Configuración de criterios de severidad (variables)

a) *Desplazamiento de la vibración  $\mu\text{m}$ , rms.*

Para determinar estos rangos se debe considerar la distancia perpendicular del eje a la cimentación, la potencia que posee el activo, y el tipo de base sea rígida o flexible y así poder enmarcar dentro del grupo que reúna todas las características, para ello se debe guiar en la tabla de vibración en desplazamiento (Ver tabla 3).

b) *Velocidad de la vibración mm/s, rms.*

Para seleccionar los rangos de alerta y peligro en la velocidad, tenemos dos opciones:

La primera opción se basa en la tabla TECHNICAL ASSOCIATES OR CHARLOTTE P.C(Ver tabla 7), donde se enmarca dentro de un grupo de máquinas entre las más comunes dentro de la industria, relacionando algunas de las características de las mismas y de allí se toma los valores correspondientes.

La segunda opción es utilizar la tabla de la Norma ISO 10816-3 donde se debe considerar los mismos parámetros que se revisó en la opción de desplazamiento.

c) Aceleración de la vibración g, rms.

Para seleccionar los rangos de alerta y peligro en la aceleración se debe tomar en consideración las RPM del activo se las enmarca dentro cierto grupo y se toma los valores correspondientes(Ver tabla 6).

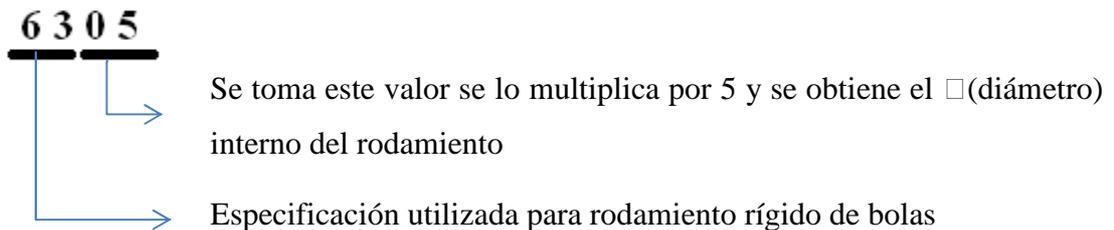
ALARMA = REGULAR

PELIGRO = EXCEDIDO

d) Envolvente de la vibración gE.

Para el cálculo de estos rangos se utilizará una hoja de Excel(Ver tabla 7),en donde se debe ubicar los datos de Fmax (frecuencia máxima en Hz del espectro computacional) que se utiliza para la mayoría de las máquinas, las rpm del activo y el diámetro interior de los rodamientos para este último requerimiento, se debe realizar el siguiente cálculo:

Ejemplo:



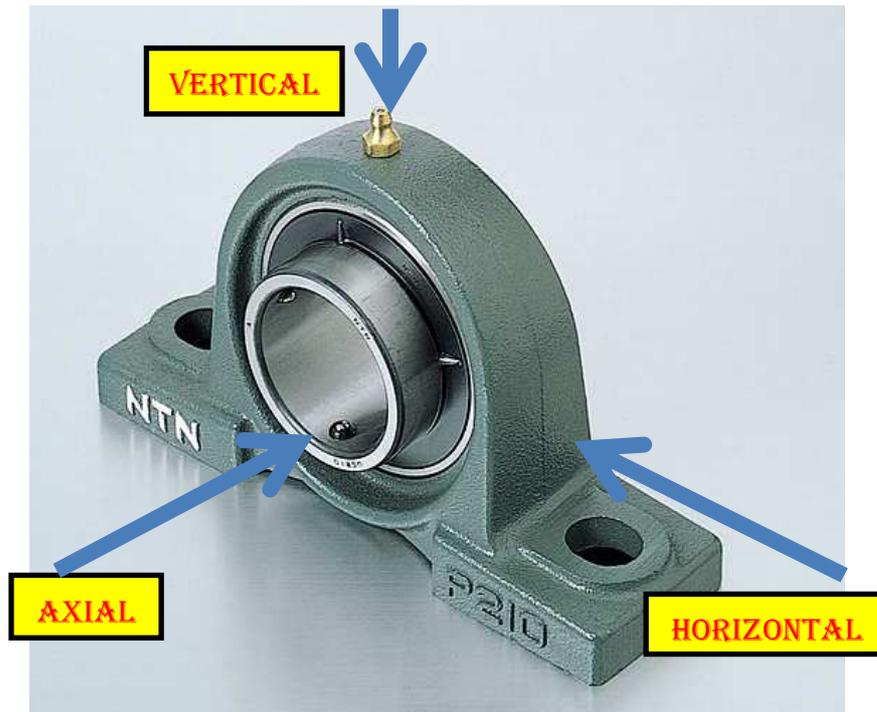
Así tenemos:  $05 \times 5 = 25$  mm

Y se ubica los valores en la hoja de Excel, aquí se calcula los rangos correspondientes.

#### 4.7 Sentidos de medición

La vibración se tomará generalmente en los rodamientos de la máquina o puntos donde sea más probable un fallo por acoplamiento, equilibrio, puntos donde se transmitan fuerzas vibratorias. Los tres sentidos principales son: Vertical, Horizontal y Axial, los dos primeros son mediciones radiales y se toman a 90° del eje de rotación, y el axial se toma en paralelo.

Figura 73. Sentidos de medición



Fuente: Autores

En los activos del proceso de Moderna Alimentos S.A se pudo tomar las mediciones en los tres sentidos, excepto en las partes donde la seguridad estaba en peligro, las partes donde no había buenas características de manteneabilidad, también en el caso de la mayoría de motores eléctricos en el lado libre se pudo tomar solamente los dos sentidos radiales y no en el sentido axial, a pesar de ello se puede realizar un buen análisis de los fallos presentes.

#### **4.8 Identificación y determinación de los puntos de medición**

Para el desarrollo de este ítem se toma como referencia reglas que se recomienda para garantizar una mayor confiabilidad de las mediciones, las cuales se detalla en el marco teórico.

Figura 74. Identificación y determinación de puntos en los rodillos de banco de molienda MDDL

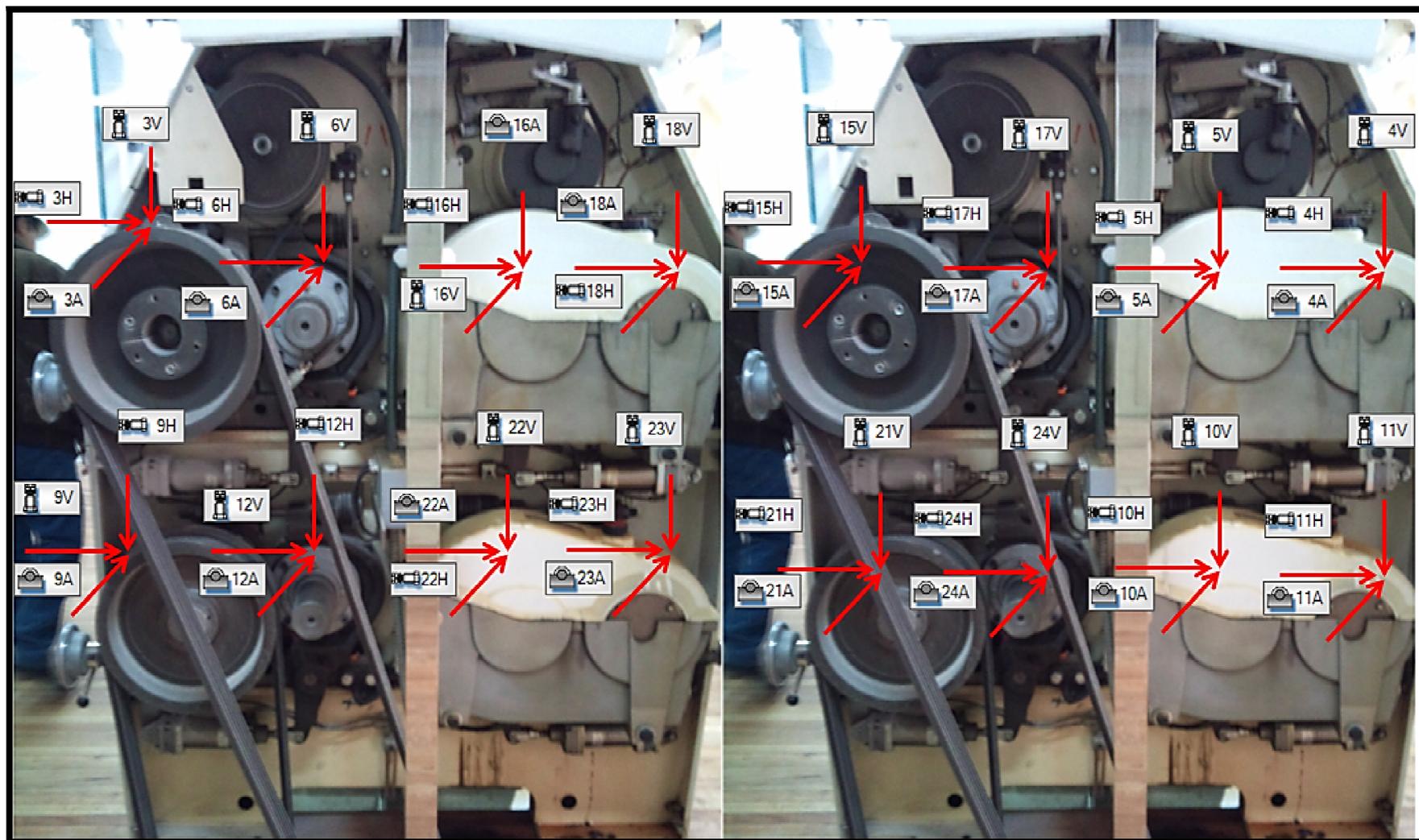
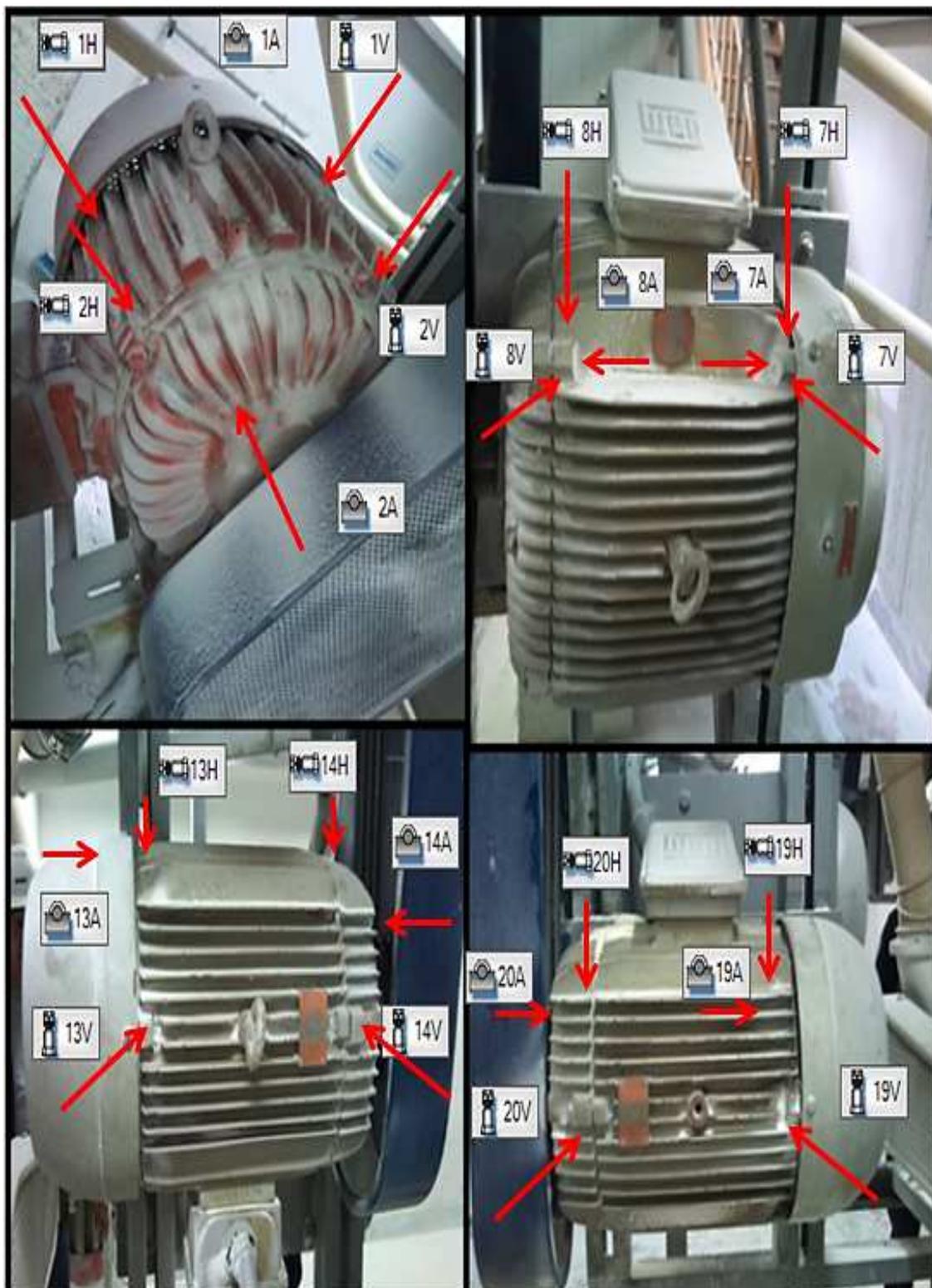
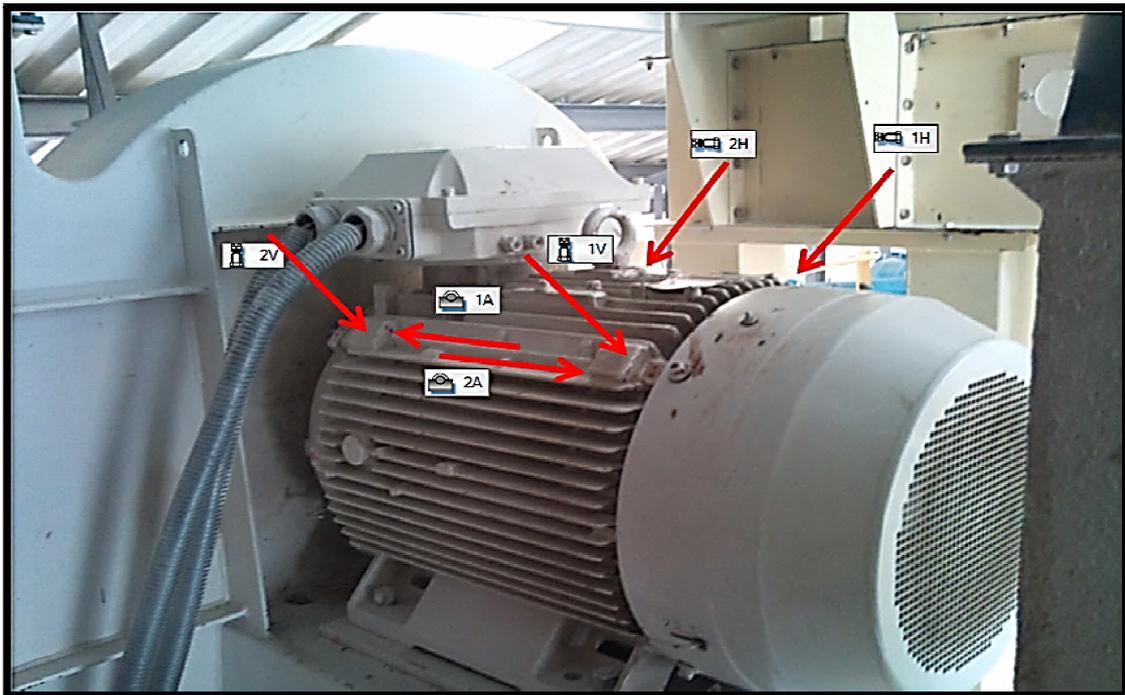


Figura 75. Identificación y determinación de puntos en los motores de banco de molinero MDDL



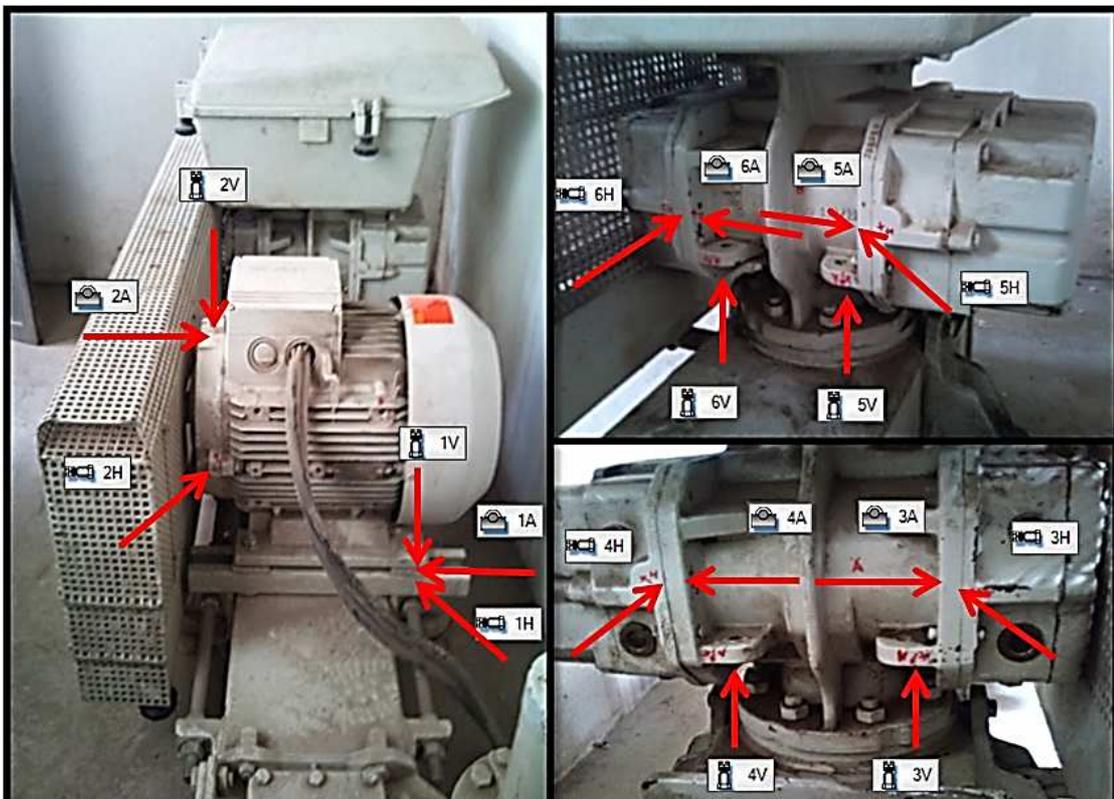
Fuente: Autores

Figura 76. Identificación y determinación de puntos en ventilador general MHTL



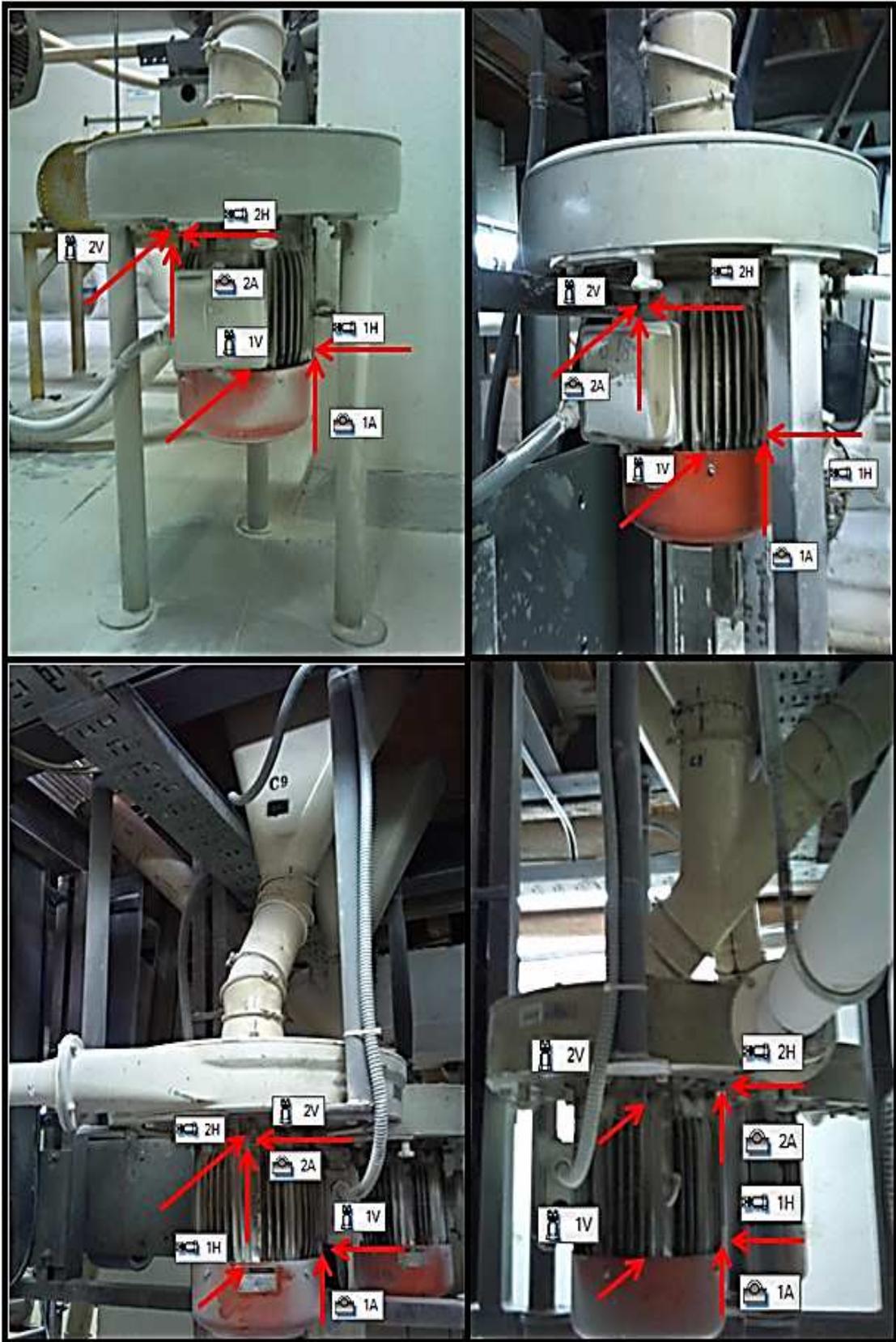
Fuente: Autores

Figura 77. Identificación y determinación de puntos soplante neumático de harina



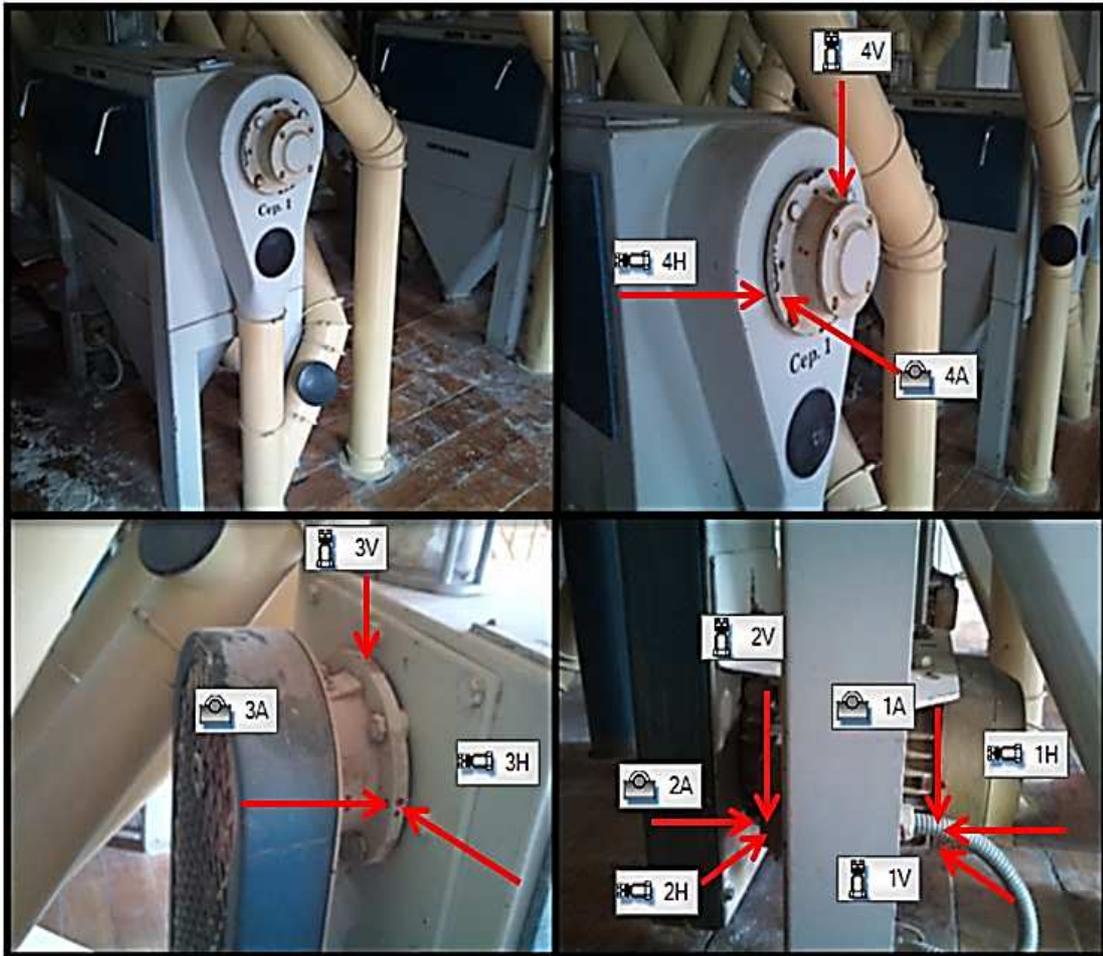
Fuente: Autores

Figura 78. Identificación y determinación de puntos en disgregadores MJZE



Fuente: Autores

Figura 79. Identificación y determinación de puntos en cepilladora MKLA



Fuente: Autores

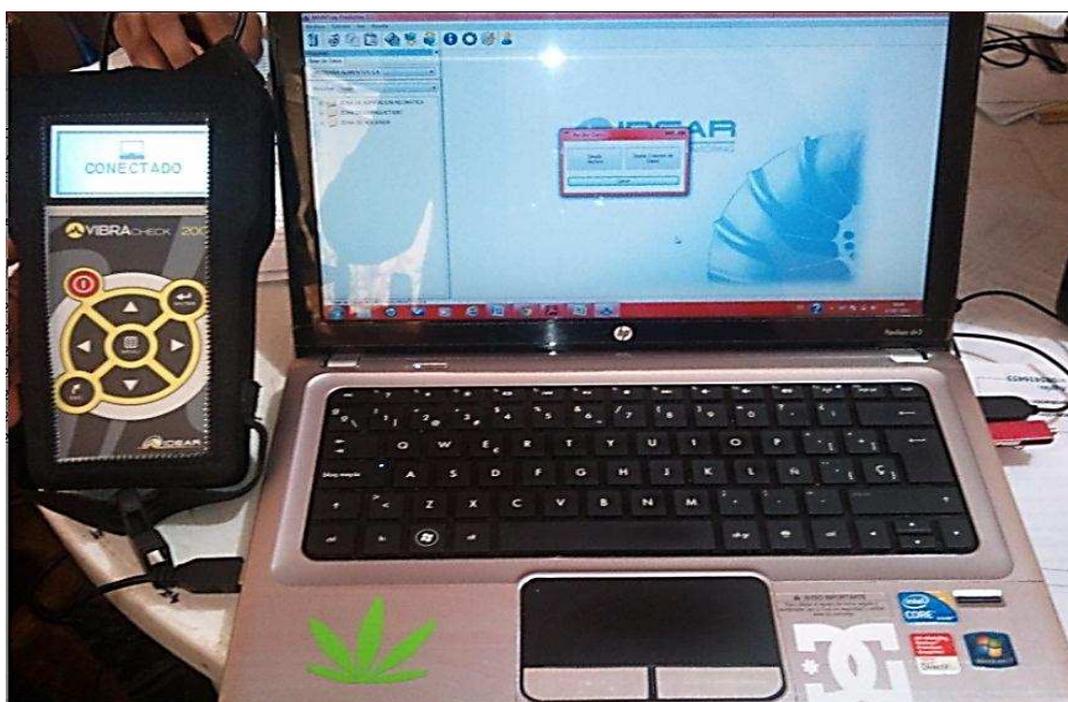
#### 4.9 Transferencia de datos al equipo VIBRACHECK ABG-200

Al realizar la transferencia de datos hacia el analizador tenemos dos opciones, realizarlo en función a una ruta o en función a máquinas.

**4.9.1. Carga de rutas.** VibraCHECK puede cargar rutas de mediciones desde MAINTraqPredictive.

La memoria de 8 Mbyte permite almacenar hasta 50 rutas, 1000 máquinas, 6000 espectros de 400 líneas de resolución, 3000 espectros de 800 líneas, 1500 de 1600 líneas o 750 espectros de 3200 líneas. Para la transferencia se debe constatar que el programa este correctamente instalado y en las versiones actualizadas.

Figura 80. Transferencia de datos al equipo VIBRACHECK ABG-200



Fuente: Autores

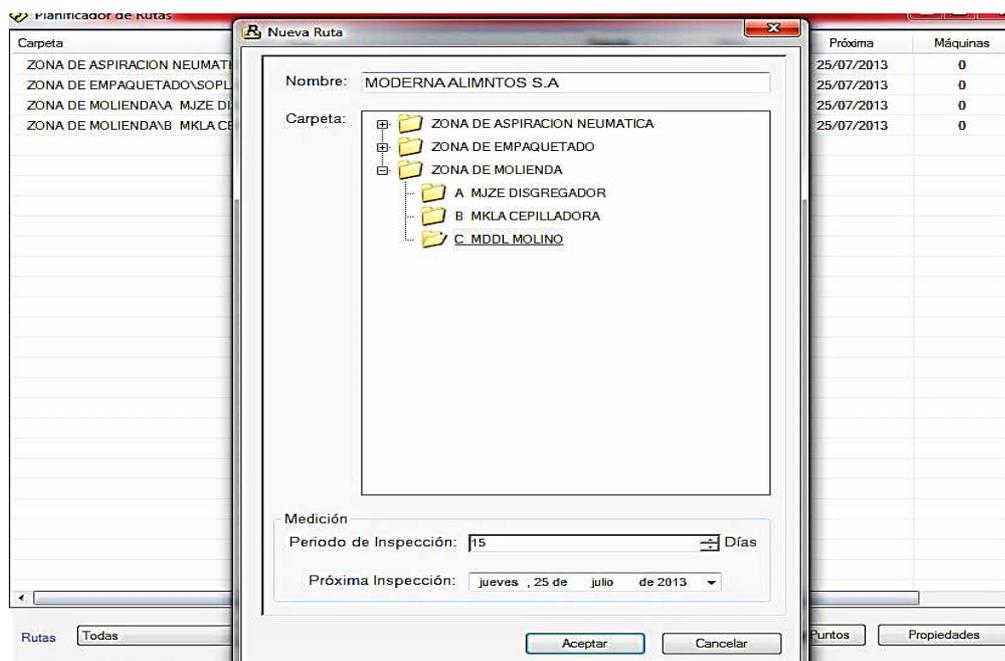
#### 4.9.1.1 Carga de rutas desde MAINTraq

- 1 Conecte VibraCHECK con la computadora usando el cable USB.
- 2 Encienda VibraCHECK y seleccione la opción COMUNICACIÓN.
- 3 Abra el formulario de *VibraCHECK*.
- 4 Seleccione las rutas de interés arrastrándolas a la lista de RUTAS.
- 5 Presione el botón de carga de VibraCHECK.

Para realizar, en este caso la transferencia como rutas se recomienda el siguiente procedimiento.

Primero crear la ruta, para lo cual en el menú principal del software se da clic sobre la opción **Planificador de rutas**, donde se despliega otra pantalla y se selecciona la opción **nueva carpeta**, aquí se presenta las carpetas que se ha creado anteriormente, aquí se plasma una denominación en este caso Moderna Alimentos S.A, se agrega cada una de las carpetas existentes y se da clic en **cerrar**.

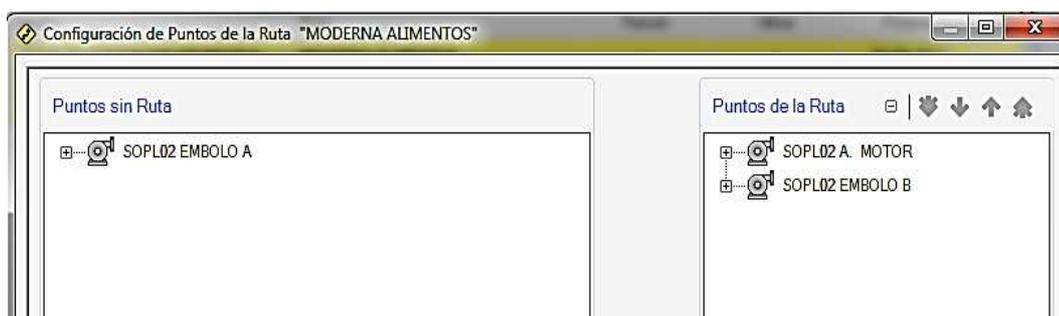
Figura 81. Configuración de rutas de medición (paso 7)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Consecuentemente se da clic en la opción *configurar puntos* y se agrega los puntos a cada una de las rutas de medición de la parte designada punto sin ruta se arrastra toda la máquina a la sección punto con ruta.

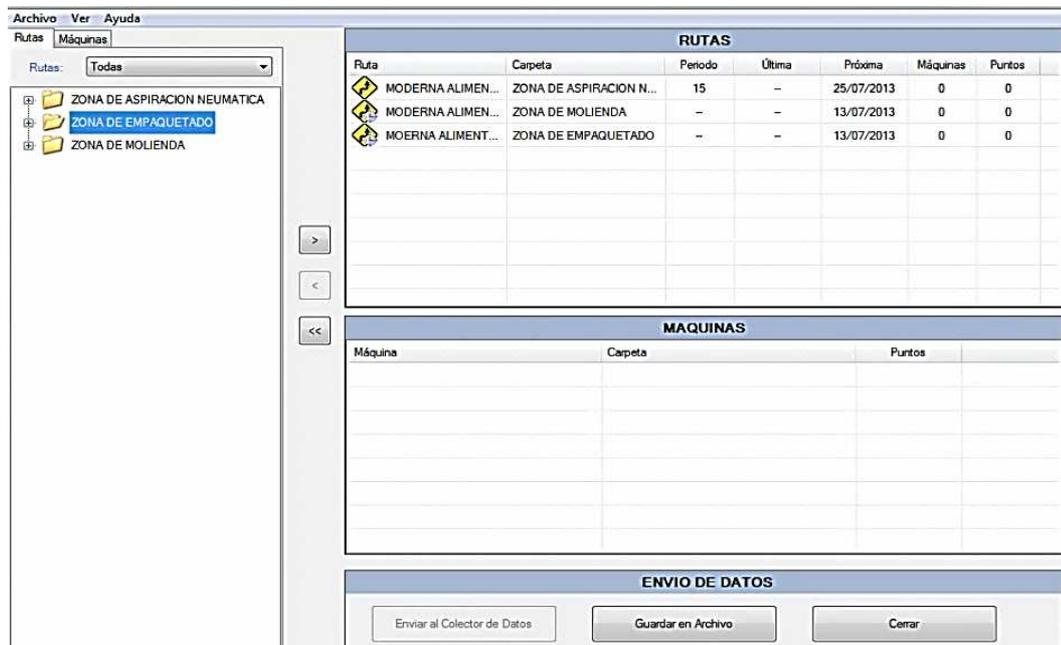
Figura 82. Configuración de rutas de medición (paso 8)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Concluido este paso la ruta esta lista para ser transferida al VibraCHECK ABG-200. Para el paso siguiente se selecciona la opción *Envío de Datos*, aquí aparece las rutas que se creó anteriormente, se arrastra a la parte superior derecha. Una vez realizado esto y constatado que se ha configurado todos los parámetros se da clic en la opción *enviar datos al colector* y finaliza con la opción *cerrar*.

Figura 83. Configuración de rutas de medición (paso 9)



Fuente: Software MAINTraq Predictive

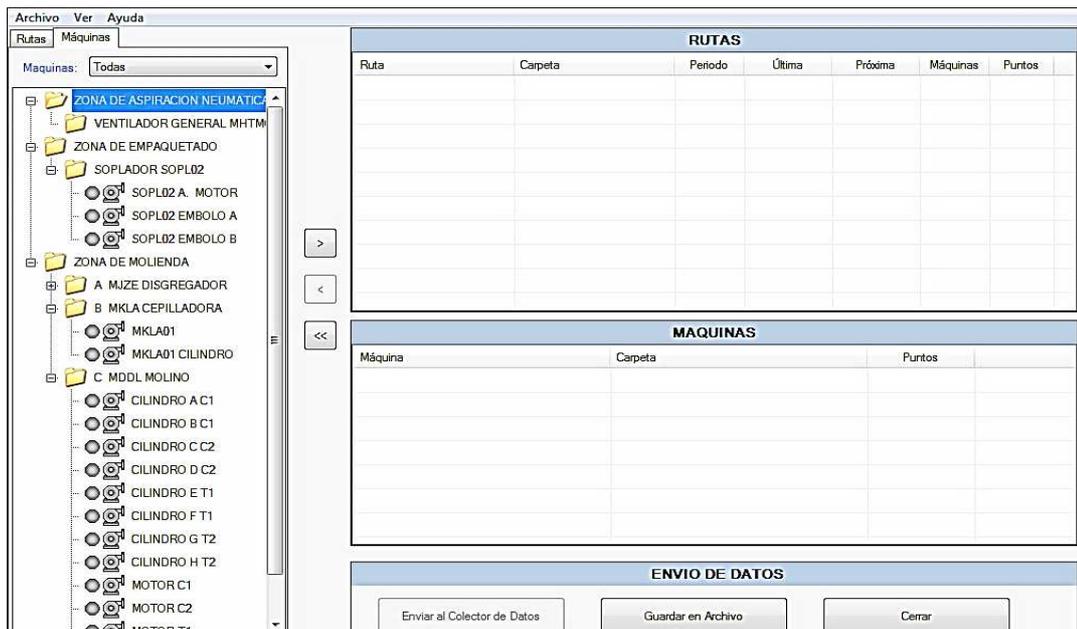
**4.9.1.2 Carga de máquinas desde MAINTraq.** VibraCHECK permite la carga de máquinas definidas en MAINTraq que no hayan sido incluidas en ninguna ruta, en ese caso, el instrumento creará una ruta llamada FUERA DE RUTA donde pondrá a todas las máquinas seleccionadas.

El procedimiento de carga de máquinas es el siguiente:

- Conecte VibraCHECK con la computadora usando el cable USB.
- Encienda VibraCHECK y seleccione la opción COMUNICACIÓN.
- Abra el formulario de *VibraCHECK*.
- Presione el primer botón para cambiar a la vista de *Máquinas*.
- Seleccione las rutas de interés arrastrándolas a la lista de rutas.
- Presione botón de carga de VibraCHECK.

Para realizar esta configuración se selecciona la opción **Envío de Datos**, se despliega una ventana en la parte superior y se encuentra dos íconos, por defecto se ubica sobre el ícono **rutas** se da clic sobre el ícono **máquina**.

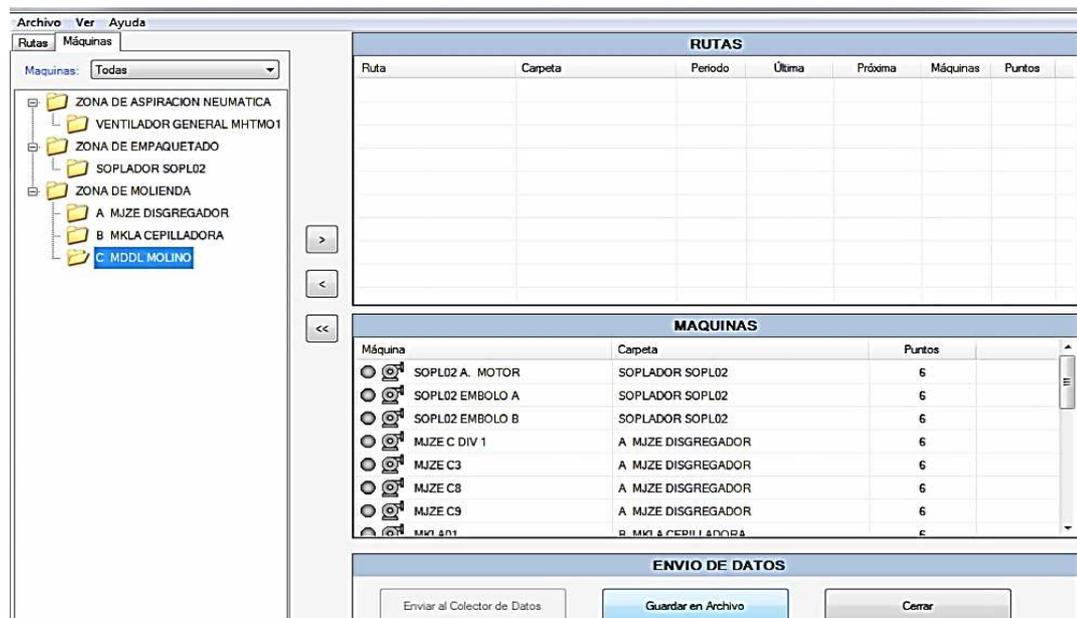
Figura 84. Configuración de rutas de medición



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

En esta pantalla aparece las máquinas que se creó anteriormente, se las arrastra a la parte inferior derecha, una vez realizado esta acción y constatado que se ha configurado todos los parámetros dar clic en la opción *enviar al colector de datos* y finalizar con la opción *cerrar*.

Figura 85. Configuración de rutas de medición



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

#### **4.10 Recopilación de datos**

Para la recopilación de datos iniciaremos con los siguientes pasos:

- Conectar el acelerómetro.
- Encender VibraCHECK.
- Seleccionar la opción RUTAS del menú.
- Seleccionar la ruta FUERA DE RUTA y presionar Enter.
- Seleccionar la máquina MHTL y presionar Enter.
- Seleccionar el punto MOTOR LADO LIBRE y presionar Enter.
- Presionar ENTER para comenzar a medir.
- Presionar ENTER para grabar todas las mediciones (Valores globales, espectros y formas de onda) configuradas para el punto.
- Presionar ESC hasta salir de la ruta y apagar VibraCHECK.

**4.10.1 Selección de puntos en el equipo.** Una vez que haya elegido a la máquina de interés, utilice las teclas ARRIBA y ABAJO para seleccionar el punto que desea medir. Los puntos se presentan en el orden definido en MAINTraQ. De todos modos, es posible realizar las mediciones en el orden que resulte conveniente.

**4.10.2 Grabación de mediciones.** Para la toma de mediciones se procede de la siguiente manera:

- Ubique el acelerómetro en el punto elegido.
- Luego, presione ENTER para comenzar a medir.

El equipo VibraCHECK presentará en la pantalla los valores globales para que se observe antes de grabar.

- Tenga especial cuidado en que las mediciones se establezcan antes de grabarlas, para evitar lecturas y evaluaciones incorrectas.
- Utilice las teclas < y > para cambiar de variable.
- Utilice la tecla MENÚ y seleccione el rango extendido en los casos en que existan sobrecargas por altas vibraciones.

#### 4.11 Recopilación de medidas vibracionales

Figura 86. Toma de medidas vibracionales



Fuente: Autores

Figura 87. Toma de medidas vibracionales

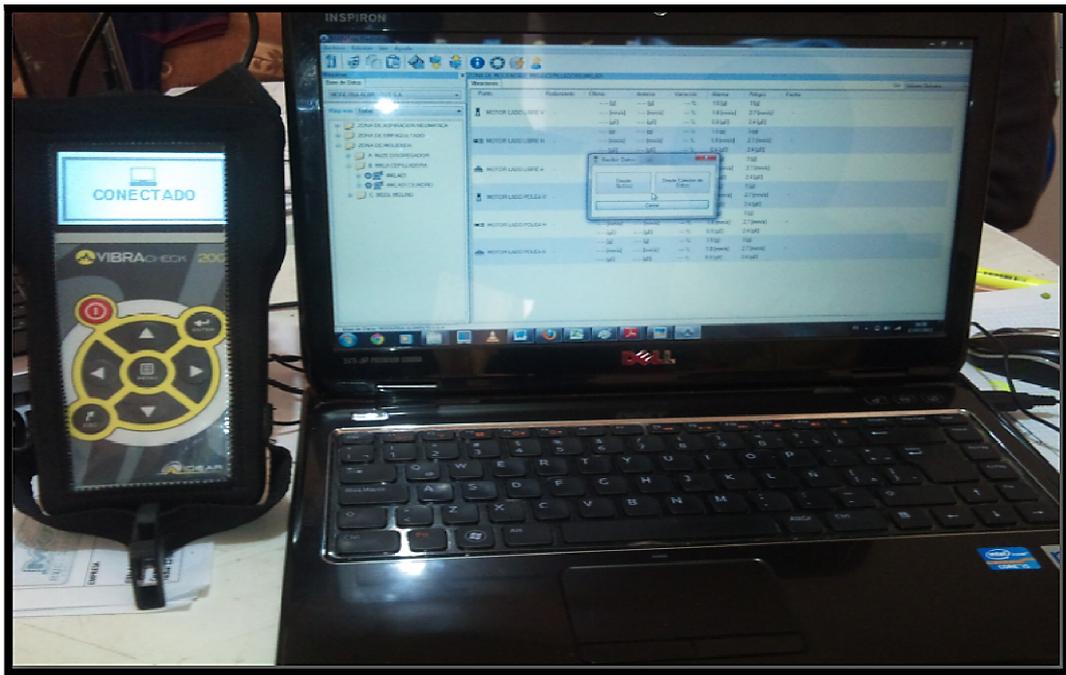


Fuente: Autores

#### 4.12 Transferencia de datos al software de vibraciones

Para la transferencia de datos hacia el software se debe realizar de forma parecida al paso anterior. Una vez que se realiza esta acción se procede a realizar el análisis de cada uno de los espectros.

Figura 88. Transferencia de datos al software MAINTraq Predictive



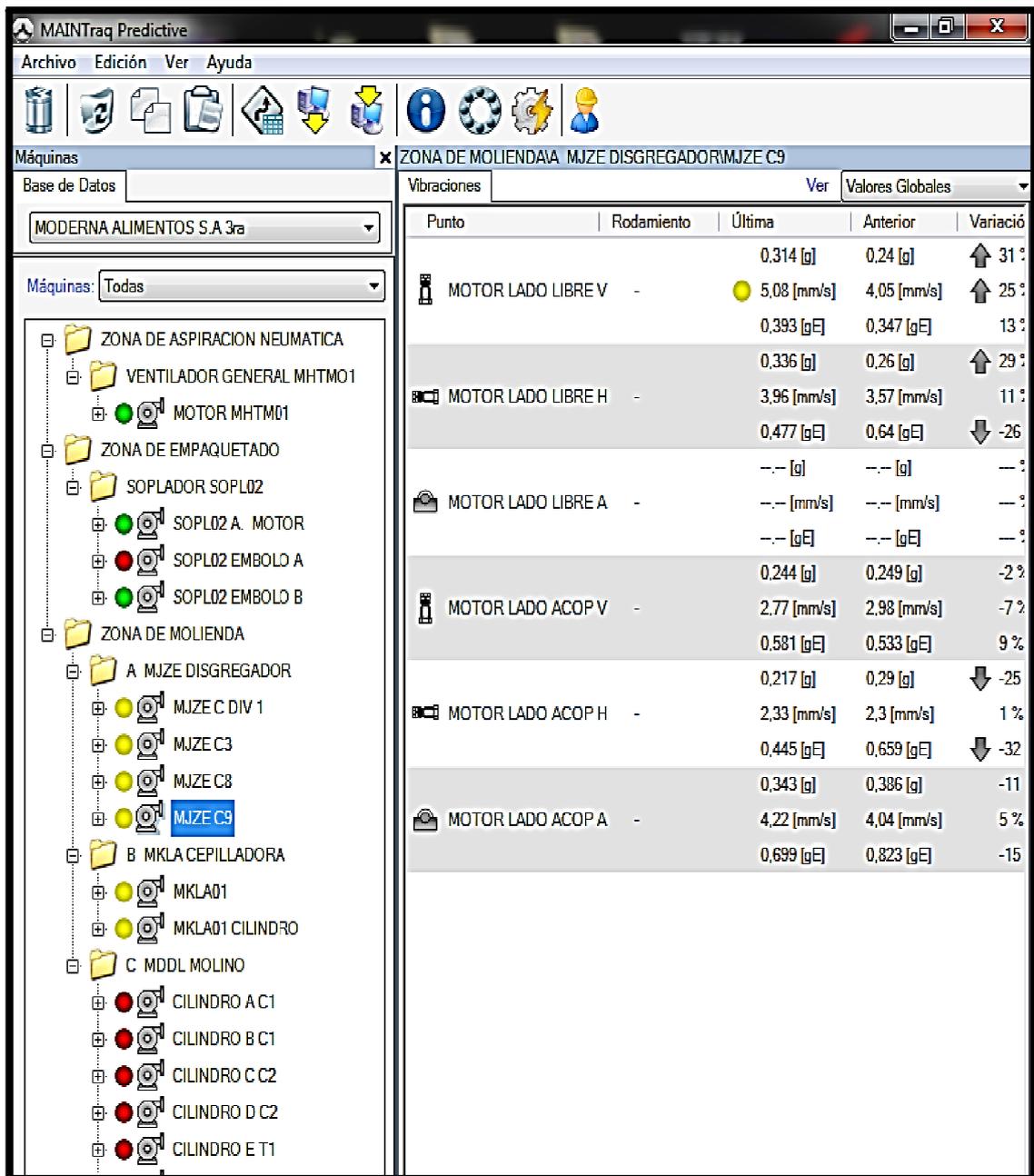
Fuente: Autores

#### Descarga de mediciones

Para descargar las mediciones en MAINTraq realice los siguientes pasos:

- a) Conecte VibraCHECK a la PC usando el cable USB.
- b) Encienda VibraCHECK y seleccione la opción COMUNICACIÓN.
- c) Abra MAINTraq y seleccione la base de datos donde desea descargar las mediciones. MAINTraq verificará que los datos que está intentando descargar pertenezcan a la base de datos correcta para que no se cometan errores.
- d) Presione el botón de VibraCHECK ubicado en la barra de herramientas.
- e) Presione el botón de descarga de VibraCHECK y aguarde a que se complete la transferencia.

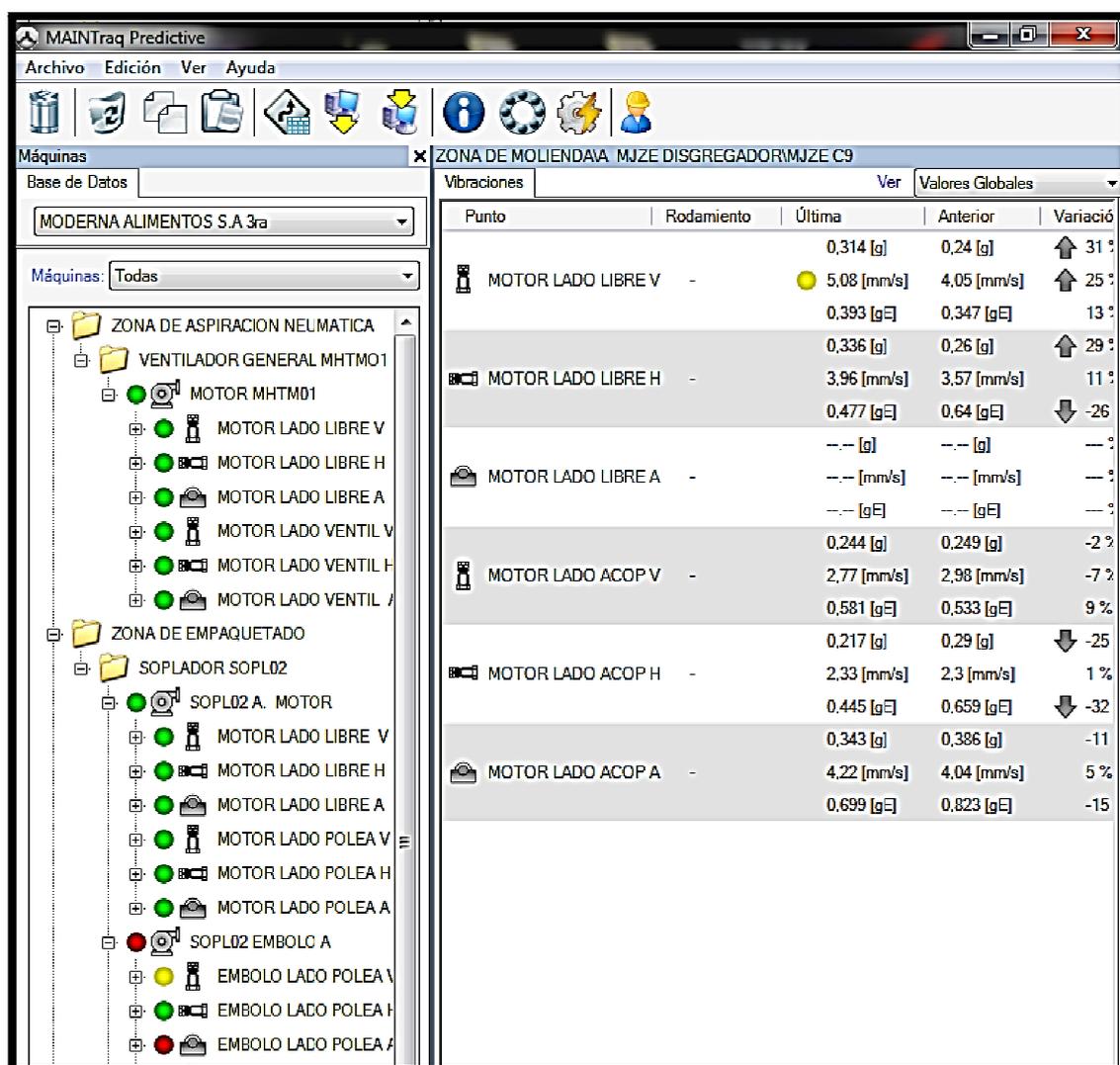
Figura 89. Visualización a nivel de equipos



Fuente: Software MAINTraq Predictive

En la figura se puede apreciar a nivel de máquinas la recepción de las medidas, teniendo presente que el color verde representa que los valores de vibración son menores a las alarmas establecidas en la configuración, el color amarillo indica que los valores de vibración alcanzan a la pre-alarma establecida y el color rojo indica que ya sobrepasa los niveles permisibles de acuerdo a las alarmas estipuladas.

Figura 90. Visualización a nivel de puntos



Fuente: Software MAINTraq Predictive

En esta figura se puede ver más detalladamente los puntos de cada una de las máquinas, de la misma forma los colores representan dentro de que valores está en aquella dirección.

Es importante mencionar que los puntos debido a condiciones de mala manteneabilidad y accesibilidad no es posible tomar la medición, por defecto el software le asigna color verde al punto no medido.

## CAPÍTULO V

### 5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL

#### 5.1 Resumen de resultados del análisis vibracional en Moderna Alimentos S.A

Para iniciar el análisis vibracional partimos de una clasificación de las máquinas de acuerdo a sus niveles de vibración, con ello enmarcamos las máquinas que van dentro del análisis de tendencias y vibraciones.

Tabla 24. Resumen de análisis vibracional

				<b>RESUMEN DE RESULTADO DE ANÁLISIS VIBRACIONAL DE LA PLANTA MODERNA ALIMENTOS S.A</b>			Código: DOC-MAN-AB-01			RESULTADO
							Versión: 1			
<b>ELABORA:</b> Cholango Daniel; Santos Jairo				<b>REVISAR:</b> Ing. Eduardo Hernández		<b>APRUEBA:</b> Ing. Germán Ullamca		FECHA		
								MONITOREO:	INICIO	FINAL
<b>EVALUACION</b>				<b>SM</b> <b>CP</b> <b>SP</b>			<b>PUNTO SIN MEDIR</b> <b>PUNTO CON PROBLEMA</b> <b>PUNTO SIN PROBLEMA</b>			
				ITEM	PLANTA	ÁREA	EQUIPO	# DE PUNTO	CÓDIGO	NOMBRE DEL PUNTO
							Aceleración RMS (g)	Velocidad RMS (mm/s)	Envolvente RMS (gE)	
1	CM1	ASPIRACIÓN	MHTR01	1	1V	MOTOR LADO LIBRE V	0,287	1,476	0,108	SP
2	CM1	ASPIRACIÓN	MHTR01		1H	MOTOR LADO LIBRE H	0,323	1,848	0,152	
3	CM1	ASPIRACIÓN	MHTR01		1A	MOTOR LADO LIBRE A	0,188	2,893	0,49	
4	CM1	ASPIRACIÓN	MHTR01	2	2V	MOTOR LADO VENTI V	0,512	4,563	0,186	SP
5	CM1	ASPIRACIÓN	MHTR01		2H	MOTOR LADO VENTI H	0,449	1,374	0,18	
6	CM1	ASPIRACIÓN	MHTR01		2A	MOTOR LADO VENTI A	0,225	3,288	0,083	
7	CM1	EMPAQUE	SOPL02	1	1V	MOTOR LADO LIBRE V	1,739	3,996	0,54	SP
8	CM1	EMPAQUE	SOPL02		1H	MOTOR LADO LIBRE H	0,803	2,055	0,325	
9	CM1	EMPAQUE	SOPL02		1A	MOTOR LADO LIBRE A	---	---	---	
10	CM1	EMPAQUE	SOPL02	2	2V	MOTOR LADO POLEA V	0,553	3,785	0,246	SP
11	CM1	EMPAQUE	SOPL02		2H	MOTOR LADO POLEA H	0,466	4,72	0,146	
12	CM1	EMPAQUE	SOPL02		2A	MOTOR LADO POLEA A	---	---	---	
13	CM1	EMPAQUE	SOPL02	3	3V	LÓBULO A LADO POLEA V	3,528	1,691	1,122	CP
14	CM1	EMPAQUE	SOPL02		3H	LÓBULO A LADO POLEA H	0,81	3,039	0,301	
15	CM1	EMPAQUE	SOPL02		3A	LÓBULO A LADO POLEA A	8,572	1,168	2,859	
16	CM1	EMPAQUE	SOPL02	4	4V	LÓBULO A LADO ENGRAN V	2,683	2,481	0,718	CP
17	CM1	EMPAQUE	SOPL02		4H	LÓBULO A LADO ENGRAN H	2,629	3,528	1,533	
18	CM1	EMPAQUE	SOPL02		4A	LÓBULO A LADO ENGRAN A	8,314	0,948	3,769	
19	CM1	EMPAQUE	SOPL02	5	5V	LÓBULO B LADO POLEA V	0,831	1,963	0,233	SP
20	CM1	EMPAQUE	SOPL02		5H	LÓBULO LADO POLEA H	0,551	3,116	0,288	
21	CM1	EMPAQUE	SOPL02		5A	LÓBULO B LADO POLEA A	1,126	1,326	0,468	
22	CM1	EMPAQUE	SOPL02	6	6V	LÓBULO B LADO ENGRAN V	1,019	2,261	0,291	SP
23	CM1	EMPAQUE	SOPL02		6H	LÓBULO B LADO ENGRAN H	0,746	3,11	0,288	
24	CM1	EMPAQUE	SOPL02		6A	LÓBULO B LADO ENGRAN A	1,22	1,582	0,565	
25	CM1	MOLIENDA	MJZE DIV 01	1	1V	MOTOR LADO LIBRE V	0,446	8,03	0,134	CP
26	CM1	MOLIENDA	MJZE DIV 01		1H	MOTOR LADO LIBRE H	0,396	3,442	0,112	
27	CM1	MOLIENDA	MJZE DIV 01		1A	MOTOR LADO LIBRE A	---	---	---	
28	CM1	MOLIENDA	MJZE DIV 01	2	2V	MOTOR LADO POLEA V	0,404	2,964	0,144	CP
29	CM1	MOLIENDA	MJZE DIV 01		2H	MOTOR LADO POLEA H	0,408	2,611	0,153	

Tabla 24. (Continuación)

ITEM	PLANTA	ÁREA	EQUIPO	# DE PUNTO	CÓDIGO	NOMBRE DEL PUNTO	VALORES GLOBALES DE MEDICIÓN			RESULTADO
							Aceleración RMS(g)	Velocidad RMS(mm/s)	Envolvente RMS (gE)	
31	CM1	MOLIENDA	MJZE C3	1	1V	MOTOR LADO LIBRE V	0,259	5,955	0,041	CP
32	CM1	MOLIENDA	MJZE C3		1H	MOTOR LADO LIBRE H	0,206	4,357	0,048	
33	CM1	MOLIENDA	MJZE C3		1A	MOTOR LADO LIBRE A	----	----	----	
34	CM1	MOLIENDA	MJZE C3	2	2V	MOTOR LADO POLEA V	0,344	4,767	0,072	CP
35	CM1	MOLIENDA	MJZE C3		2H	MOTOR LADO POLEA H	0,184	4,506	0,051	
36	CM1	MOLIENDA	MJZE C3		2A	MOTOR LADO POLEA A	0,238	1,567	0,079	
37	CM1	MOLIENDA	MJZE C8	1	1V	MOTOR LADO LIBRE V	0,554	5,526	0,058	CP
38	CM1	MOLIENDA	MJZE C8		1H	MOTOR LADO LIBRE H	0,407	6,317	0,067	
39	CM1	MOLIENDA	MJZE C8		1A	MOTOR LADO LIBRE A	----	----	----	
40	CM1	MOLIENDA	MJZE C8	2	2V	MOTOR LADO POLEA V	0,188	2,137	0,086	CP
41	CM1	MOLIENDA	MJZE C8		2H	MOTOR LADO POLEA H	0,195	1,272	0,087	
42	CM1	MOLIENDA	MJZE C8		2A	MOTOR LADO POLEA A	0,463	8,125	0,114	
43	CM1	MOLIENDA	MJZE C9	1	1V	MOTOR LADO LIBRE V	0,263	4,539	0,067	CP
44	CM1	MOLIENDA	MJZE C9		1H	MOTOR LADO LIBRE H	0,465	3,981	0,075	
45	CM1	MOLIENDA	MJZE C9		1A	MOTOR LADO LIBRE A	----	----	----	
46	CM1	MOLIENDA	MJZE C9	2	2V	MOTOR LADO POLEA V	0,228	2,826	0,067	SP
47	CM1	MOLIENDA	MJZE C9		2H	MOTOR LADO POLEA H	0,21	2,874	0,06	
48	CM1	MOLIENDA	MJZE C9		2A	MOTOR LADO POLEA A	0,322	4,277	0,089	
49	CM1	MOLIENDA	MKLA01	1	1V	MOTOR LADO LIBRE V	0,225	7,926	0,077	CP
50	CM1	MOLIENDA	MKLA01		1H	MOTOR LADO LIBRE H	0,199	2,708	0,08	
51	CM1	MOLIENDA	MKLA01		1A	MOTOR LADO LIBRE A	0,21	5,202	0,043	
52	CM1	MOLIENDA	MKLA01	2	2V	MOTOR LADO POLEA V	0,229	3,975	0,089	SP
53	CM1	MOLIENDA	MKLA01		2H	MOTOR LADO POLEA H	0,229	2,792	0,098	
54	CM1	MOLIENDA	MKLA01		2A	MOTOR LADO POLEA A	----	----	----	
55	CM1	MOLIENDA	MKLA01	3	3V	CILINDRO LADO POLEA V	0,428	2,054	0,16	SP
56	CM1	MOLIENDA	MKLA01		3H	CILINDRO LADO POLEA H	0,377	3,927	0,127	
57	CM1	MOLIENDA	MKLA01		3A	CILINDRO LADO POLEA A	----	----	----	
58	CM1	MOLIENDA	MKLA01	4	4V	CILINDRO LADO LIBRE V	0,412	4,459	0,118	CP
59	CM1	MOLIENDA	MKLA01		4H	CILINDRO LADO LIBRE H	0,405	7,828	0,142	
60	CM1	MOLIENDA	MKLA01		4A	CILINDRO LADO LIBRE A	0,509	2,365	0,151	
61	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2	1	1V	MOTOR T1 LADO LIBRE V	0,299	3,396	0,171	CP
62	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		1H	MOTOR T1 LADO LIBRE H	0,19	8,939	0,08	
63	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		1A	MOTOR T1 LADO LIBRE A	----	----	----	
64	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2	2	2V	MOTOR T1 LADO POLEA V	0,652	3,608	0,32	CP
65	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		2H	MOTOR T1 LADO POLEA H	0,202	6,956	0,087	
66	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		2A	MOTOR T1 LADO POLEA A	0,134	5,083	0,049	
67	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2	3	3V	CILINDRO T1 A LADO POLEA V	----	----	----	SP
68	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		3H	CILINDRO T1 A LADO POLEA H	2,323	3,164	0,88	
69	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		3A	CILINDRO T1 A LADO POLEA A	0,776	2,026	0,323	
70	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2	4	4V	CILINDRO T1 A LADO ENGRAN V	2,894	2,849	1,7	SP
71	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		4H	CILINDRO T1 A LADO ENGRAN H	2,994	3,604	0,365	
72	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		4A	CILINDRO T1 A LADO ENGRAN A	1,07	2,587	0,534	
73	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2	5	5V	CILINDRO T1 B LADO POLEA V	3,478	2,901	2,24	SP
74	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		5H	CILINDRO T1 B LADO POLEA H	1,179	3,266	0,462	
75	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		5A	CILINDRO T1 B LADO POLEA A	0,545	3,183	0,241	
76	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2	6	6V	CILINDRO T1 B LADO ENGRAN V	1,648	3,363	0,813	SP
77	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		6H	CILINDRO T1 B LADO ENGRAN H	1,424	3,594	0,799	
78	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		6A	CILINDRO T1 B LADO ENGRAN A	1,931	4,042	1,075	
79	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2	7	7V	MOTOR T2 LADO LIBRE V	0,649	10,403	0,32	CP
80	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		7H	MOTOR T2 LADO LIBRE H	0,647	14,057	0,283	
81	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		7A	MOTOR T2 LADO LIBRE A	0,636	5,511	0,419	
82	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2	8	8V	MOTOR T2 LADO POLEA V	0,528	17,111	0,215	CP
83	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		8H	MOTOR T2 LADO POLEA H	0,417	29,445	0,186	
84	CM1	MOLIENDA	MDDL T1/T2-C1/C2		8A	MOTOR T2 LADO POLEA A	0,641	5,346	0,256	

Tabla 24. (Continuación)

ITEM	PLANTA	ÁREA	EQUIPO	# DE PUNTO	CÓDIGO	NOMBRE DEL PUNTO	VALORES GLOBALES DE MEDICIÓN			RESULTADO
							Aceleración RMS(g)	Velocidad RMS(mm/s)	Envolvente RMS (gE)	
85	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	9	9V	CILINDRO T2 C LADO POLEA V	0,635	2,082	0,238	SP
86	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		9H	CILINDRO T2 C LADO POLEA H	0,444	3,547	0,12	
87	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		9A	CILINDRO T2 C LADO POLEA A	---	---	---	
88	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	10	10V	CILINDRO T2 C LADO ENGRAN V	0,87	2,205	0,391	SP
89	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		10H	CILINDRO T2 C LADO ENGRAN H	1,57	3,046	1,154	
90	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		10A	CILINDRO T2 C LADO ENGRAN A	0,354	3,041	0,12	
91	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	11	11V	CILINDRO T2 D LADO POLEA V	1,527	2,498	0,63	SP
92	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		11H	CILINDRO T2 D LADO POLEA H	0,507	3,784	0,33	
93	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		11A	CILINDRO T2 D LADO POLEA A	0,333	4,667	0,063	
94	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	12	12V	CILINDRO T2 D LADO ENGRAN V	0,657	3,243	0,382	SP
95	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		12H	CILINDRO T2 D LADO ENGRAN H	0,396	3,143	0,153	
96	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		12A	CILINDRO T2 D LADO ENGRAN A	---	---	---	
97	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	13	13V	MOTOR C1 LADO LIBRE V	2,631	2,378	0,436	SP
98	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		13H	MOTOR C1 LADO LIBRE H	0,941	3,072	0,33	
99	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		13A	MOTOR C1 LADO LIBRE A	---	---	---	
100	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	14	14V	MOTOR C1 LADO POLEA V	1,767	1,993	0,304	SP
101	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		14H	MOTOR C1 LADO POLEA H	1,601	4,455	0,375	
102	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		14A	MOTOR C1 LADO POLEA A	1,14	4,824	0,514	
103	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	15	15V	CILINDRO C1 E LADO POLEA V	---	---	---	SP
104	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		15H	CILINDRO C1 E LADO POLEA H	1,747	3,796	0,716	
105	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		15A	CILINDRO C1 E LADO POLEA A	2,585	2,017	1,423	
106	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	16	16V	CILINDRO C1 E LADO ENGRAN V	1,62	3,761	0,486	SP
107	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		16H	CILINDRO C1 E LADO ENGRAN H	1,996	2,661	0,611	
108	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		16A	CILINDRO C1 E LADO ENGRAN A	0,858	1,839	0,229	
109	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	17	17V	CILINDRO C1 F LADO POLEA V	2,133	2,081	0,738	SP
110	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		17H	CILINDRO C1 F LADO POLEA H	1,411	3,166	0,554	
111	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		17A	CILINDRO C1 F LADO POLEA A	0,942	2,467	1,121	
112	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	18	18V	CILINDRO C1 F LADO ENGRAN V	2,24	2,768	0,92	SP
113	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		18H	CILINDRO C1 F LADO ENGRAN H	1,457	3,382	0,467	
114	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		18A	CILINDRO C1 F LADO ENGRAN A	1,747	1,706	0,486	
115	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	19	19V	MOTOR C2 LADO LIBRE V	0,485	1,913	0,186	SP
116	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		19H	MOTOR C2 LADO LIBRE H	0,814	2,178	0,271	
117	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		19A	MOTOR C2 LADO LIBRE A	---	---	---	
118	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	20	20V	MOTOR C2 LADO POLEA V	1,425	2,105	0,293	SP
119	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		20H	MOTOR C2 LADO POLEA H	0,696	4,013	0,285	
120	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		20A	MOTOR C2 LADO POLEA A	0,976	3,83	0,573	
121	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	21	21V	CILINDRO C2 G LADO POLEA V	5,854	3,669	5,943	CP
122	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		21H	CILINDRO C2 G LADO POLEA H	4,073	4,049	1,75	
123	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		21A	CILINDRO C2 G LADO POLEA A	---	---	---	
124	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	22	22V	CILINDRO C2 G LADO ENGRAN V	3,115	5,402	1,458	SP
125	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		22H	CILINDRO C2 G LADO ENGRAN H	3,796	3,44	1,162	
126	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		22A	CILINDRO C2 G LADO ENGRAN A	2,992	3,318	1,379	
127	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	23	23V	CILINDRO C2 H LADO POLEA V	---	---	---	SP
128	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		23H	CILINDRO C2 H LADO POLEA H	3,635	5,204	1,686	
129	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		23A	CILINDRO C2 H LADO POLEA A	2,323	5,973	1,082	
130	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2	24	24V	CILINDRO C2 H LADO ENGRAN V	7,73	7,841	4,515	CP
131	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		24H	CILINDRO C2 H LADO ENGRAN H	---	---	---	
132	CM1	MOLIENDA	MDDL TVT2-CVC2		24A	CILINDRO C2 H LADO ENGRAN A	4,776	2,573	1,757	

Fuente: Software MAINTraQ Predictive

En la tabla de resumen se detallan las medidas que se obtuvieron durante la última medición, se presentan valores de aceleración (g), velocidad (mm/s), y de envolvente (gE), del mismo modo se identifica la condición en la que se encuentra cada punto mediante la siguiente nomenclatura:

- **CP** se refiere a puntos con problemas.
- **SM** para puntos que no se realizó las mediciones.
- **SP** para puntos sin problemas ya que están dentro del rango admisible de vibraciones.

Con esta tabla se permite seleccionar los equipos a los cuales se les realizará el análisis, el cual se estudiará en la variable de velocidad en donde se tiene una mejor apreciación de los problemas existentes y adicional a ello se analizará la variable de aceleración conjuntamente con envolvente ya que en ésta se puede evidenciar problemas en rodamientos, engranajes y desgastes excesivos que sucede en altas frecuencias y que en velocidad no se los puede apreciar.

Para evaluar los equipos se regirá en la siguiente tabla de valores admisibles.

Tabla 25. Rangos admisibles para evaluación de severidad

RANGOS ADMISIBLES PARA EVALUACIÓN DE SEVERIDAD				
NÚMERO	EQUIPO	ACELERACIÓN (g)	VELOCIDAD (mm/s)	ENVOLVENTE (g)
4	DISGREGADOR MIJZE	0 - 4	0 - 4,5	0 - 9,8
1	VENTILADOR MHTM	0 - 4	0 - 4,95	0 - 6
1	CEPILLADORA MKLA01	0 - 4	0 - 4,5	0 - 5,5
1	SOPLANTE SOPL	0 - 4	0 - 8,1	0 - 2,3
1	BANCO DE MOLIENDA MDDL01	0 - 4	0 - 6,75	0 - 2,8

Fuente: Autores

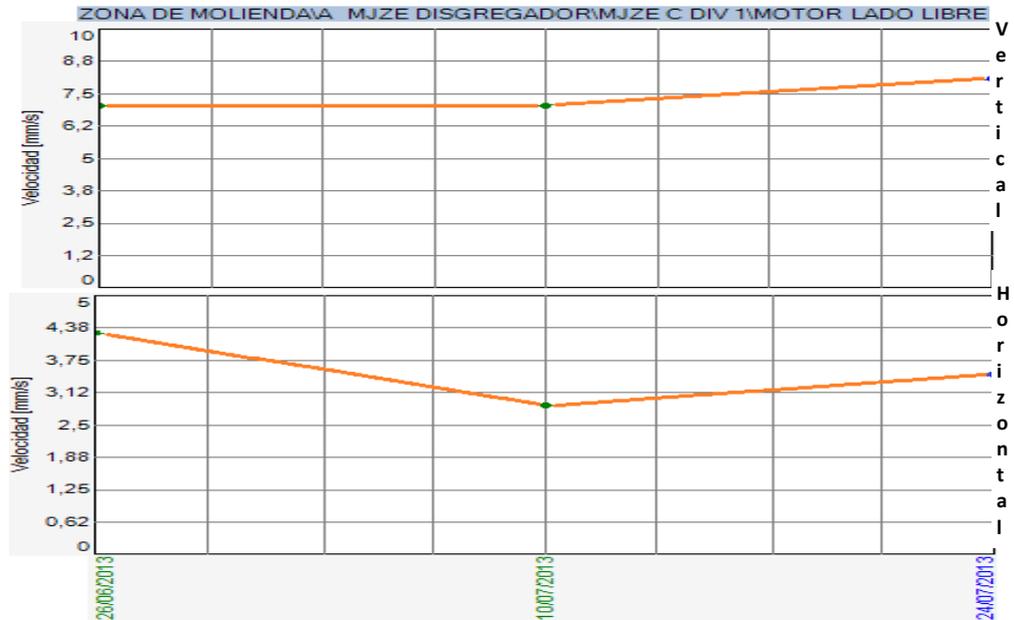
En esta tabla se establecen los valores admisibles para realizar la evaluación, para la elaboración de la misma se tomó en cuenta la NORMA ISO10816-3 y las CARTAS DE CHARLOTTE, así se tiene que para definir los valores de aceleración se elegirá en función de las RPM de la máquina, referente a los valores de velocidad se hará en función a la potencia y el tipo de máquina y con respecto a la envolvente se definirá en función de las RPM y al diámetro interno del rodamiento.

## 5.2 Análisis de tendencia y diagnóstico vibracional

### 5.2.1 Tendencias y espectros obtenidos endisgregador DIV1-MJZE 01

#### 5.2.1.1 Tendencias del punto 1 motor lado libre

Figura 91. Tendencias punto 1 motor lado libre (vertical y horizontal)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se presenta una tabla que indica las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar cómo sigue desarrollándose el problema.

Tabla 26. Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de DIV1-MJZE 01

		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS(mm/s)	Vertical	6,993	7,004	8,03
	Horizontal	4,257	2,851	3,442
	Axial	-	-	-

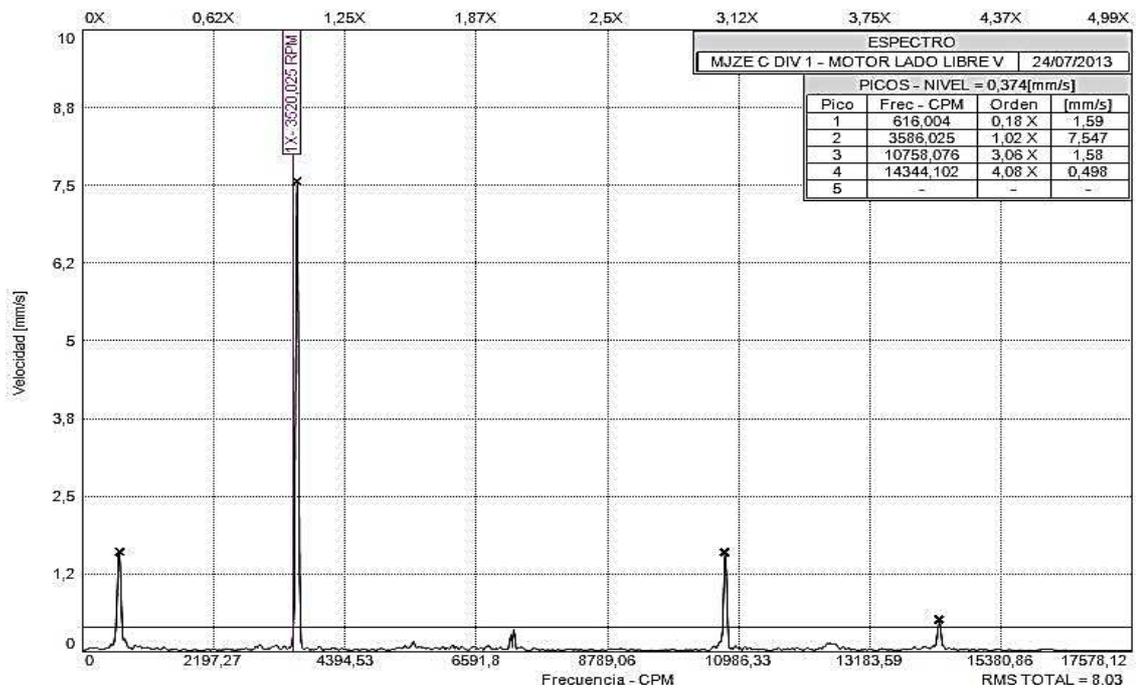
Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** Se observa que el nivel de vibración global no sufre una variación considerable hasta la segunda medición en las componentes vertical y horizontal pero, la componente vertical en mínimas cantidades se incrementa mientras que la horizontal disminuye; por otro lado en la componente vertical se muestra un valor de 8,03 mm/s, el cual se analizará su espectro para determinar el modo de falla que representa.

El decremento en la componente horizontal está justificado por la ejecución de tareas de mantenimiento (Ver anexo C).

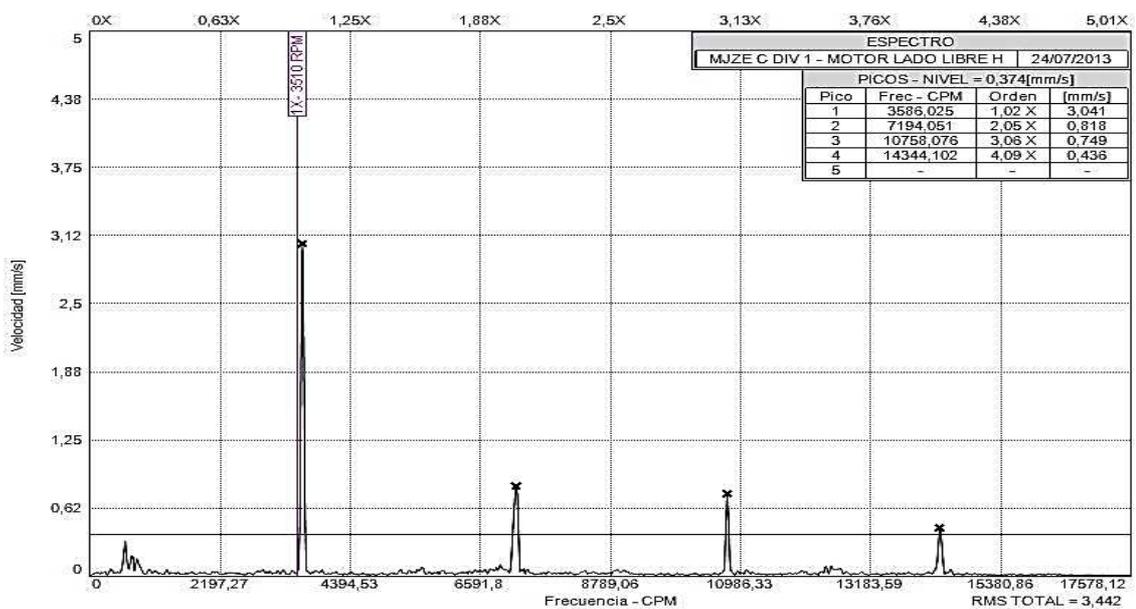
### 5.2.1.2 Espectros del punto 1 motor lado libre

Figura 92. Espectro punto 1 motor lado libre vertical



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura 93. Espectro punto 1 motor lado libre horizontal



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se observa que se presenta armónicos síncronos ya que el pico más relevante coincide con el valor de las rpm de la máquina en los dos sentidos de medición, presentando en la componente 1XV un valor pico de 7,547 mm/s y en la componente 1XH un valor de pico de 3,041 mm/s, en este punto se puede notar que el plano predominante es el vertical porque es mayor que los otros planos; además, es evidente que en el plano horizontal y vertical existe armónicos síncronos hasta el orden de 5X presentes en los dos sentidos de medición.

**DIAGNÓSTICO.** Por la característica de los espectros y los valores de vibración alcanzados se determina que presenta una holgura en el rodamiento acompañado de desbalanceo del disgregador.

**RECOMENDACIONES.** Para poder minimizar los efectos de holgura en el rodamiento se debe realizar una inspección en las tapas del disgregador donde se alojan los rodamientos, para revisar si existe un ajuste o montaje inadecuado eje-rodamiento o a su vez existe un desgaste en los alojamientos, ya que este tipo de espectro evidencia una holgura mecánica y desbalanceo.

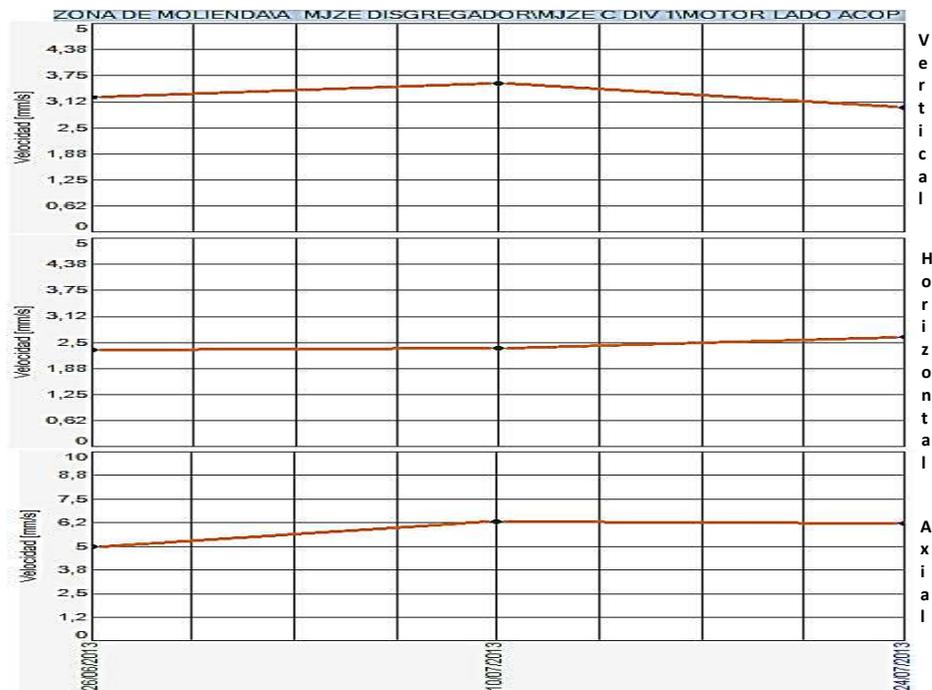
Como se pudo observar físicamente en la máquina también se debe realizar tareas de mantenimiento con respecto a la cimentación de la máquina, para de esta manera tener una mayor firmeza y estabilidad en los soportes donde descansa el disgregador, también revisar el estado de los pernos de anclaje.

Se recomienda realizar tareas de limpieza del disco disgregador ya que puede haber acumulación de harina en el disco; además, una realizar una inspección para verificar el correcto estado físico del mismo.

Si una vez realizado todas estas recomendaciones el problema persiste, se debe realizar el balanceo del disgregador.

### 5.2.1.3 Tendencias del punto 2 motor lado acoplado

Figura 94. Tendencias punto 2 motor lado acoplado (vertical, horizontal y axial)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se muestra una tabla con las medidas obtenidas durante el monitoreo para poder determinar cómo sigue evolucionando el problema.

Tabla 27. Interpretación de valores en velocidad RMS lado acoplado de DIV1-MJZE 01

		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS (mm/s)	Vertical	3,212	3,548	2,964
	Horizontal	2,308	2,348	2,611
	Axial	4,945	6,27	6,115

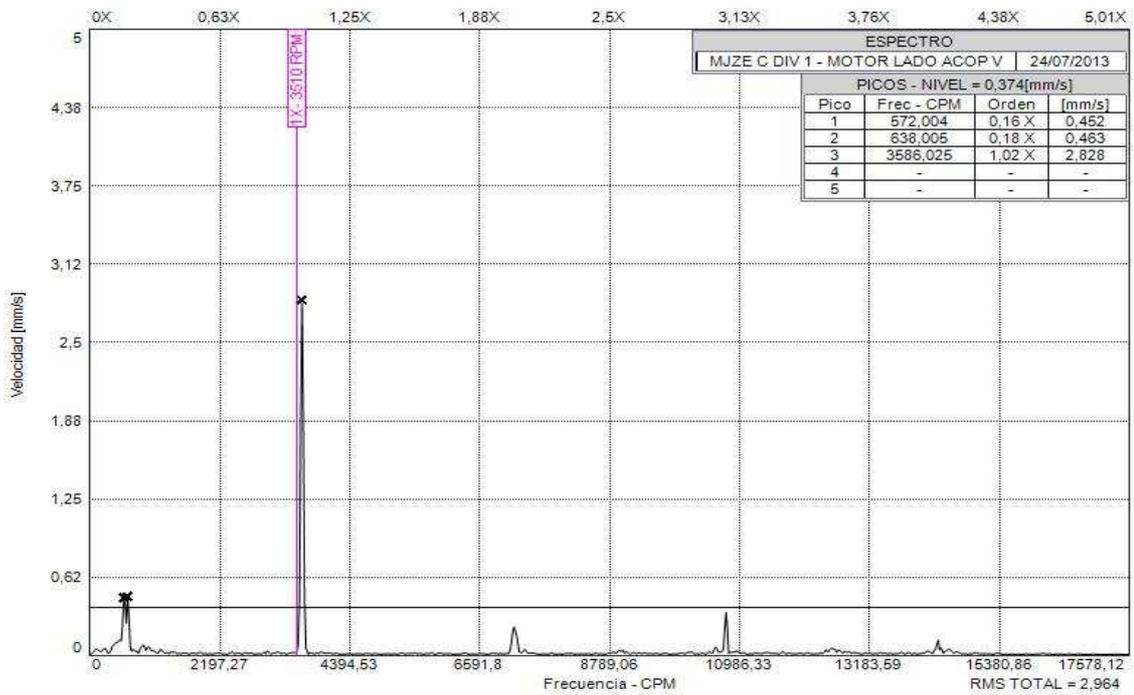
Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** Se observa que el nivel de vibración global no sufre una variación considerable hasta la segunda medición, ya que existe una oscilación de valores en una unidad mm/s como máximo en los sentidos vertical, axial y horizontal, por otro lado en el lado axial se muestra un valor de 6,115 mm/s y a través del monitoreo de

vibraciones se pudo predecir que una falla se encontraba desarrollándose moderadamente lo cual podría producir un paro súbito de la máquina.

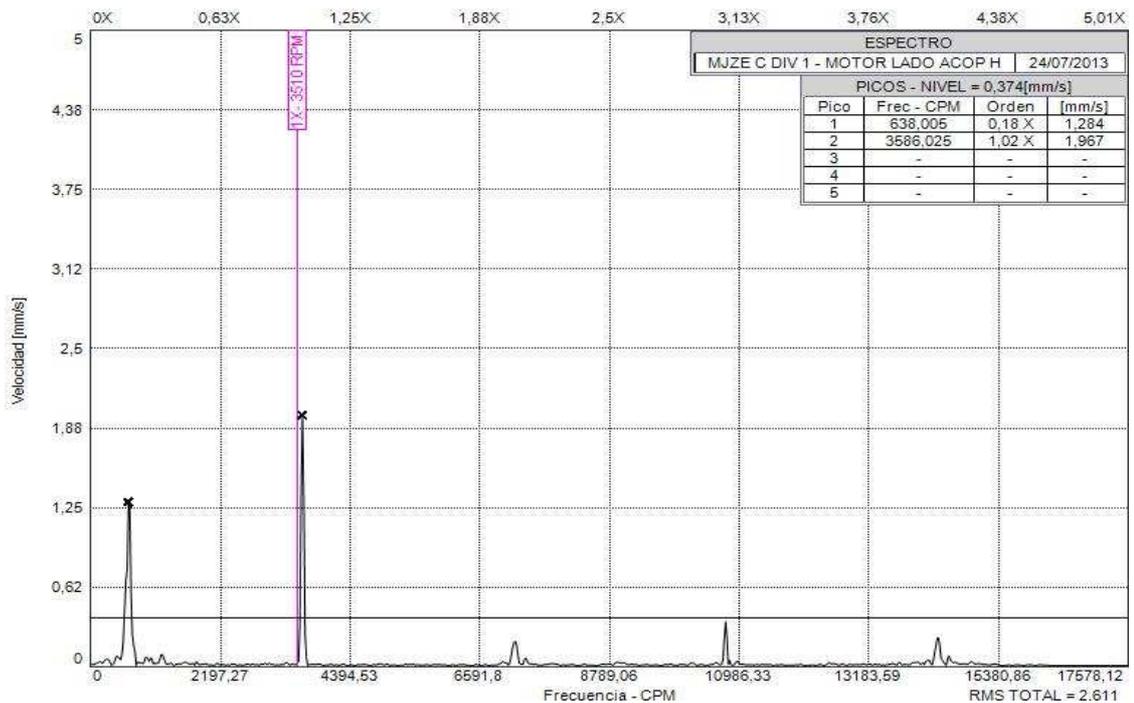
#### 5.2.1.4 Espectros del punto 2 motor lado acoplado

Figura 95. Espectro punto 2 motor lado acoplado vertical



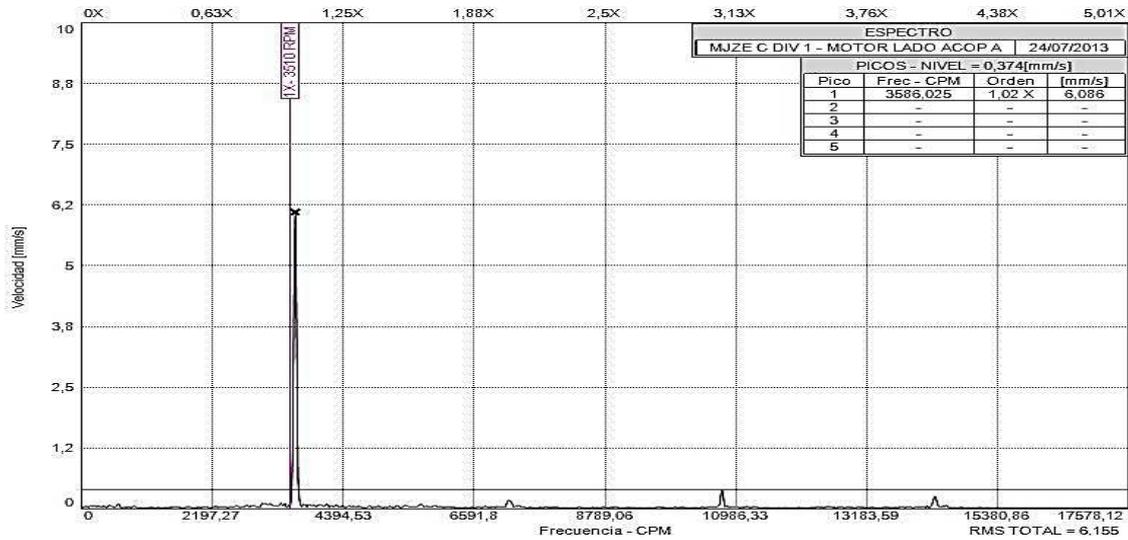
Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura96.Espectro punto 2 motor lado acoplado horizontal



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura97.Espectro punto 2 motor lado acoplado axial



Fuente: Software MAINTraq Predictive

**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se observa que el espectro presenta armónicos síncronos; además, la componente 1XV tiene un valor pico de 2,828 mm/s, la componente 1XH tiene un valor pico de 1,957 mm/s y la componente 1XA con un valor pico de 6,086 mm/s, entonces en este punto se puede notar claramente que el plano predominante es el axial; además, se puede notar que en el plano horizontal y vertical existe armónicos síncronos hasta el orden de 4X, es decir están presentes en ambos lados del motor tal y como se pudo observar en cada uno de los espectros.

**DIAGNÓSTICO.** Por las características de los espectros y los valores alcanzados se determina que presenta un desbalanceo de rotor en voladizo e indicios de holgura en el rodamiento.

**RECOMENDACIONES.** Se recomienda realizar tareas de limpieza del disco disgregador debido a que puede haber acumulación de harina en el disco, además una inspección para verificar el estado físico del mismo. Si el problema persiste se debe realizar el balanceo del disgregador.

Para poder reducir los efectos de holgura en el rodamiento se debe realizar una

inspección en los alojamientos de los rodamientos, para revisar si existe un montaje inadecuado de eje-rodamiento o un desgaste excesivo en los alojamientos.

## 5.2.2 Tendencia y espectros obtenidos en el disgregador C3-MJZE 02

### 5.2.2.1 Tendencias del punto 1 motor lado libre

Figura 98. Tendencias punto 1 motor lado libre (vertical y horizontal)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se presenta una tabla que muestra las medidas obtenidas durante el monitoreo para observar la evolución del problema.

Tabla 28. Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de C3-MJZE 03

		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS (mm/s)	Vertical	3,981	6,099	5,955
	Horizontal	4,456	5,496	4,357
	Axial	-	-	-

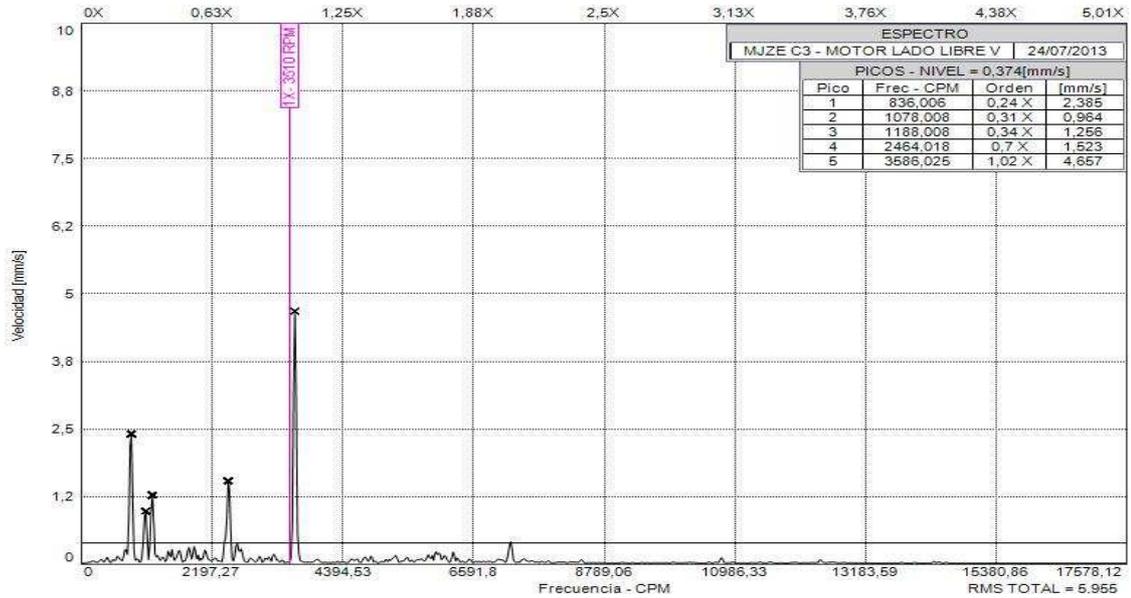
Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias en el punto 1 se observa el nivel de vibración global, aquí se presenta una oscilación de dos unidades mm/s en el sentido vertical y en el sentido horizontal una variación de una unidad mm/s, estas variaciones muestran un desarrollo lento de algún modo de falla y en la tercera medición se nota una estabilidad en los valores ya que decrecen pero sin embargo muestra valores que se debe considerar

para el análisis, esto indica que una falla se encuentra en etapa de desarrollo.

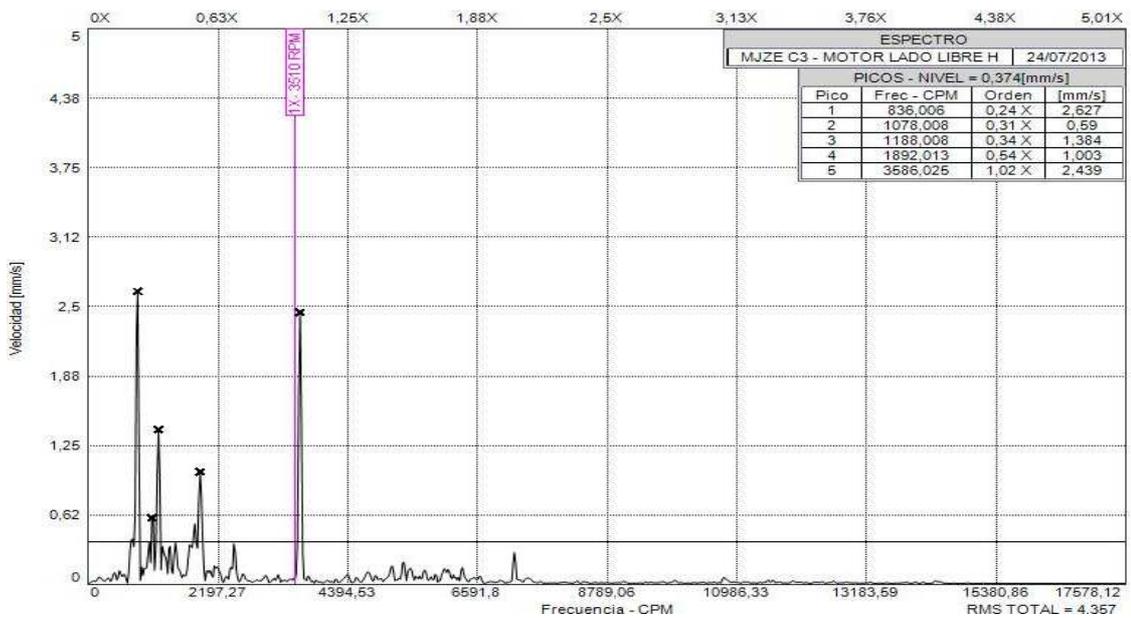
### 5.2.2.2 Espectros del punto 1 motor lado libre

Figura 99. Espectropunto 1 motor lado librevertical



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura100.Espectropunto 1 motor lado librehorizontal



Fuente: Software MAINTraq Predictive

**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se presenta armónicos síncronos ya que el

pico más relevante coincide con el valor de rpm de la máquina en todos los sentidos de medición, también se observa la componente 1XV con un valor pico de 4,123 mm/s y la componente 1XH con un valor pico de 0,956 mm/s, en este punto se puede notar que el plano predominante es el vertical; además, existe presencia de sub-armónicos de 1X en los dos sentidos.

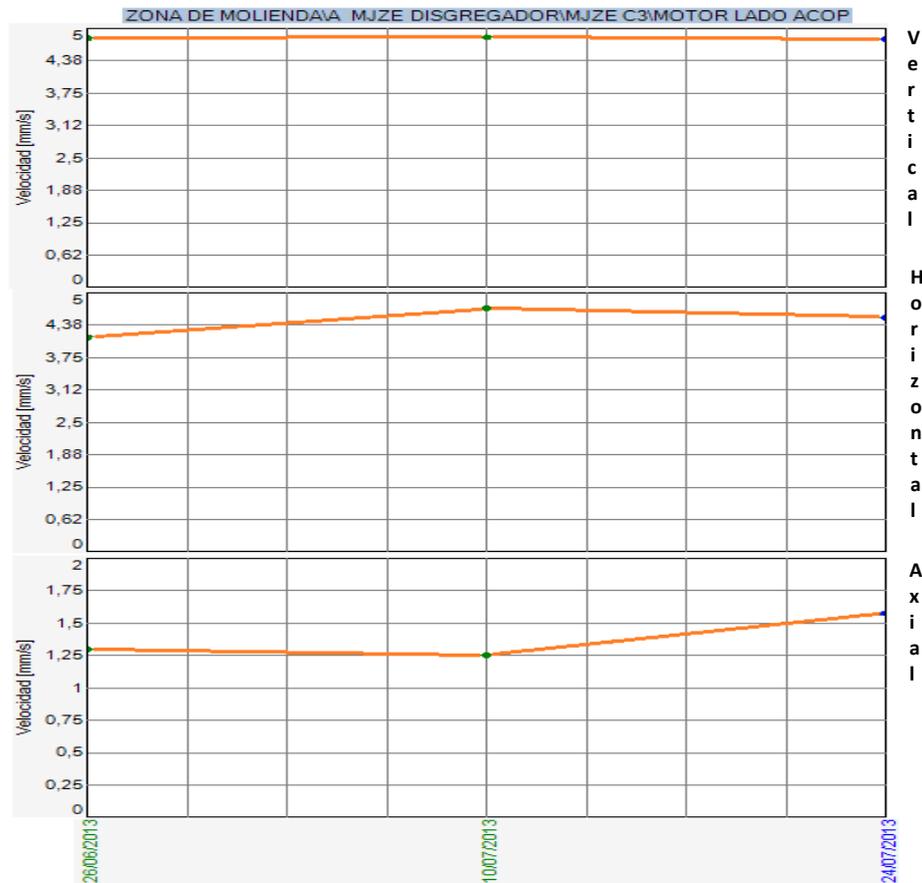
**DIAGNÓSTICO.** Por las características de los espectros y los valores alcanzados se determina que presenta un desbalanceo dinámico y rozamiento del rotor, porque existen picos elevados menores a 1X.

**RECOMENDACIONES.** Realizar la limpieza del disco disgregador debido que puede haber acumulación de harina, luego de ello balancear el rotor del motor.

Para el rozamiento del rotor revisar el correcto montaje de los elementos rodamientos o desgaste en las tapas del motor donde se aloja el rodamiento.

### **5.2.2.3** *Tendencias del punto 2 motor lado acoplado*

Figura 101. Tendencias punto 2 motor lado acoplado (vertical, horizontal y axial)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se presenta una tabla que indica las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar el comportamiento del problema a través del tiempo.

Tabla 29. Interpretación de valores en velocidad RMS lado acoplado de C3-MJZE 03

		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS (mm/s)	Vertical	4,788	4,808	4,767
	Horizontal	4,118	4,678	4,506
	Axial	1,287	1,245	1,567

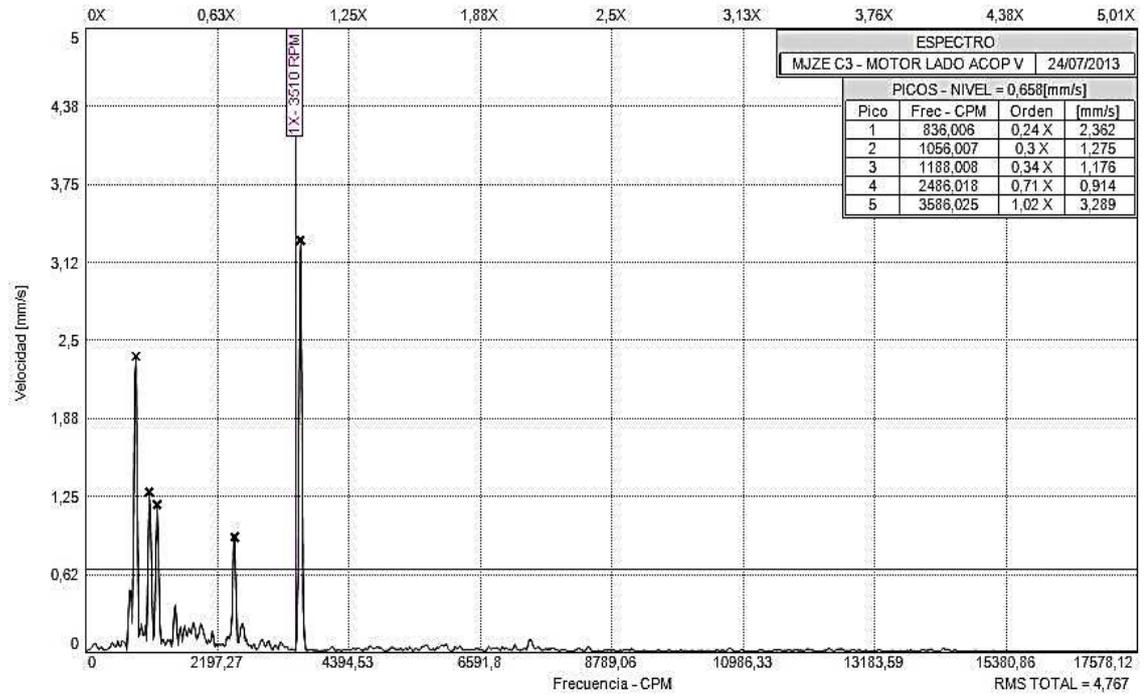
Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias en el punto 2 se observa que en el nivel de vibración global existe una oscilación menor a una unidad mm/s en los sentidos vertical y horizontal, estas variaciones muestran un desarrollo lento del modo de falla y en la tercera medición se nota una estabilidad en los valores a pesar de tener un decrecimiento

mínimo.

### 5.2.2.4 Espectros del punto2 motor lado acoplado

Figura 102. Espectro punto 2 motor lado acoplado vertical



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura103.Espectro punto 2 motor lado acoplado horizontal

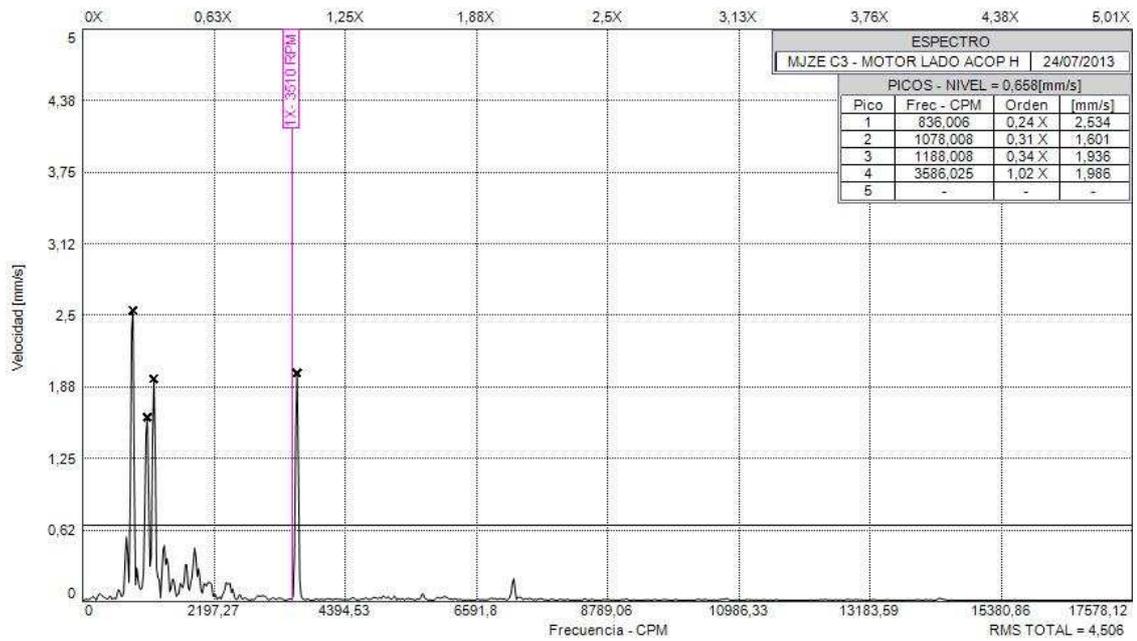
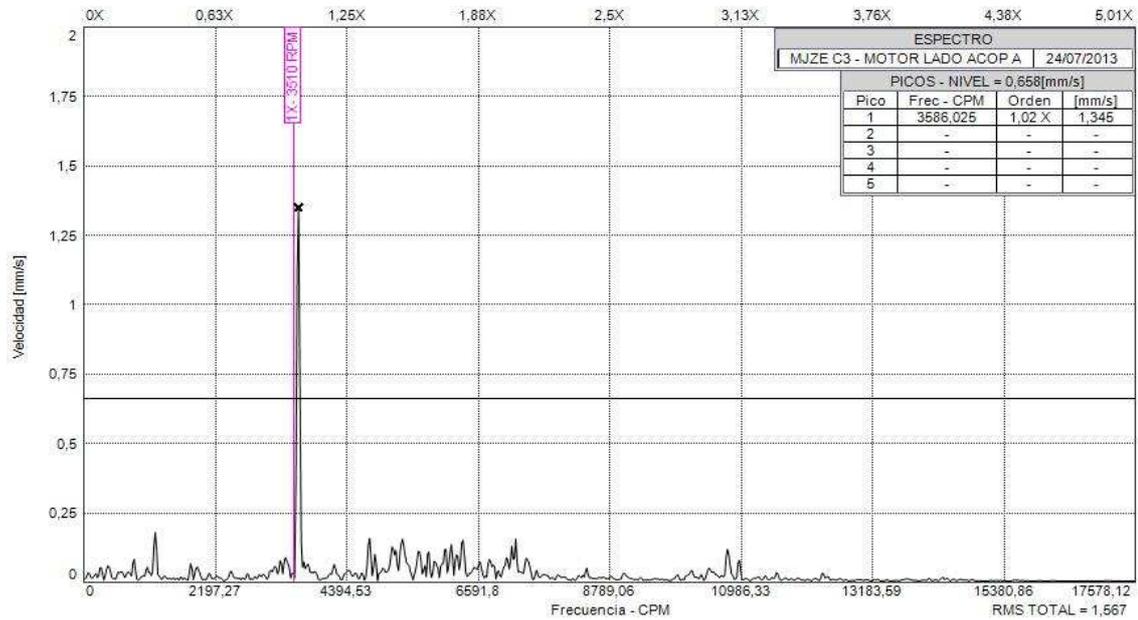


Figura104.Espectro punto 2 motor lado acoplado axial



**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se observa la presencia de armónicos síncronos ya que el pico más relevante coincide con el valor de rpm de la máquina en todos los sentidos de medición, es decir la componente 1XV con un valor pico de 3,289 mm/s, la componente 1XH con un valor de pico de 0,956 mm/s y la componente 1XA con un valor de pico de 1,345 mm/s, en este punto se puede notar que el plano predominante es el vertical porque es mayor que los otros planos; además, existen presencia de sub-armónicos de 1X en los sentidos 1XV y 1XH.

**DIAGNÓSTICO.** Por las características de los espectros y los valores alcanzados se determina que se presenta principalmente rozamiento del rotor, acompañado de desbalanceo dinámico.

**RECOMENDACIONES.** Se debe programar tareas de limpieza del disco disgregador debido que puede haber acumulación de harina, luego de ello balancear el rotor del disgregador.

Para el rozamiento del rotor revisar el correcto montaje de los rodamientos y verificar si existe desgaste en las tapas del motor en los alojamientos de rodamientos.

### 5.2.3 Tendencia y espectros obtenidos en el disgregador C8- MJZE 03

#### 5.2.3.1 Tendencias del punto 1 motor lado libre

Figura 105. Tendencias punto 1 motor lado libre (vertical y horizontal)



Fuente: MAINTraQ Predictive, Analizador vibracional VIBRACHECK ABG 200

A continuación se presenta una tabla que indica las medidas obtenidas durante el monitoreo, para dar seguimiento al desarrollo del problema.

Tabla 30. Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de C8-MJZE 02

		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS(mm/s)	Vertical	6,613	5,712	5,526
	Horizontal	5,681	6,958	6,317
	Axial	-	-	-

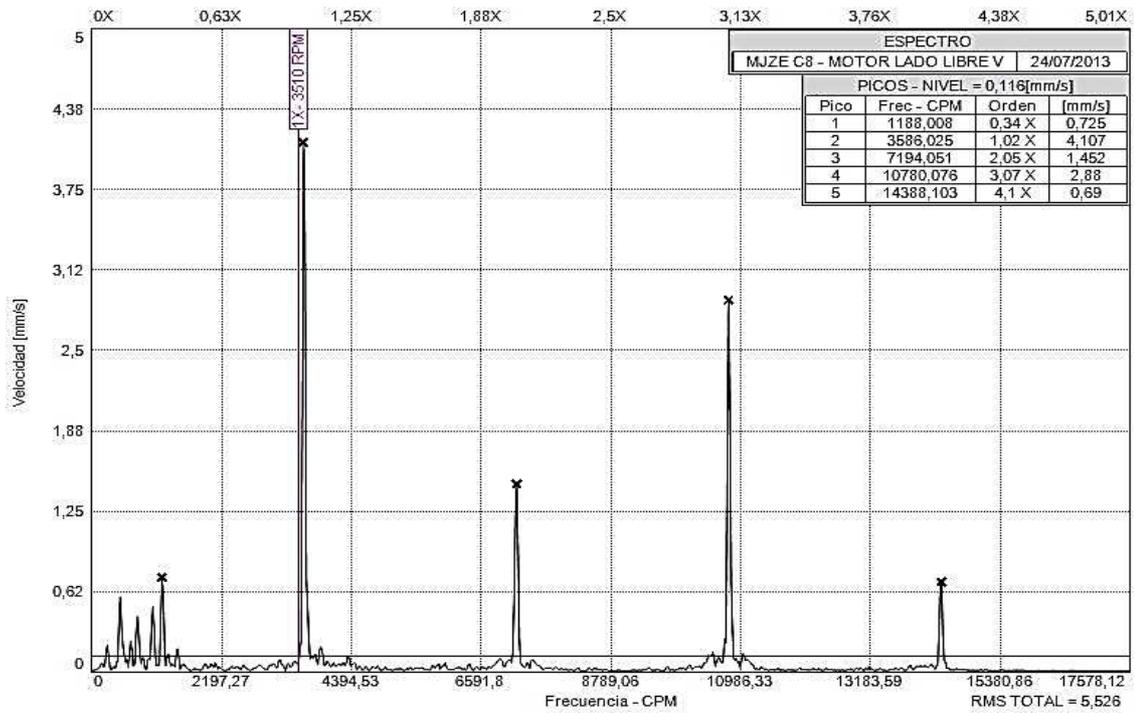
Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias del punto 1 se observa que en el nivel de vibración global existe una oscilación menor a una unidad mm/s en los sentidos vertical y horizontal, estas variaciones muestran un desarrollo paulatino del modo de falla y en la

tercera medición se nota un leve decremento, sin embargo muestra valores que se debe considerar para el análisis en los sentidos vertical y horizontal.

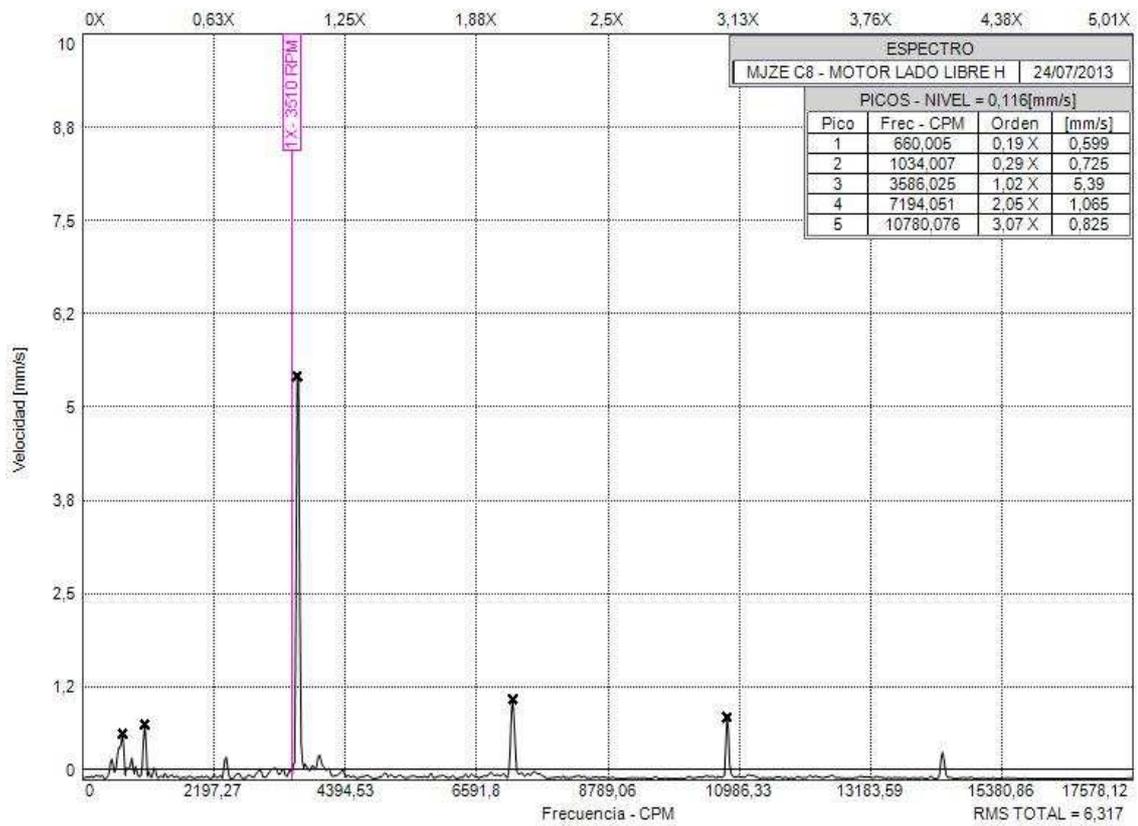
### 5.2.3.2 Espectros del punto 1 motor lado libre

Figura 106. Espectro punto 1 motor lado libre vertical



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura107.Espectro punto 1 motor lado libre horizontal



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se observa armónicos síncronos, por tal motivo el pico más relevante coincide con el valor de rpm de la máquina en los dos sentidos de medición.

La componente 1XV con un valor pico de 4,107 mm/s y la componente 1XH con un valor de pico de 5,39 mm/s, en este punto se puede notar que el plano predominante es el horizontal ya que es mayor que el vertical; además, se aprecia que en los dos sentidos de medición existen armónicos síncronos hasta el orden de 4X, aunque los mismos son de una amplitud baja.

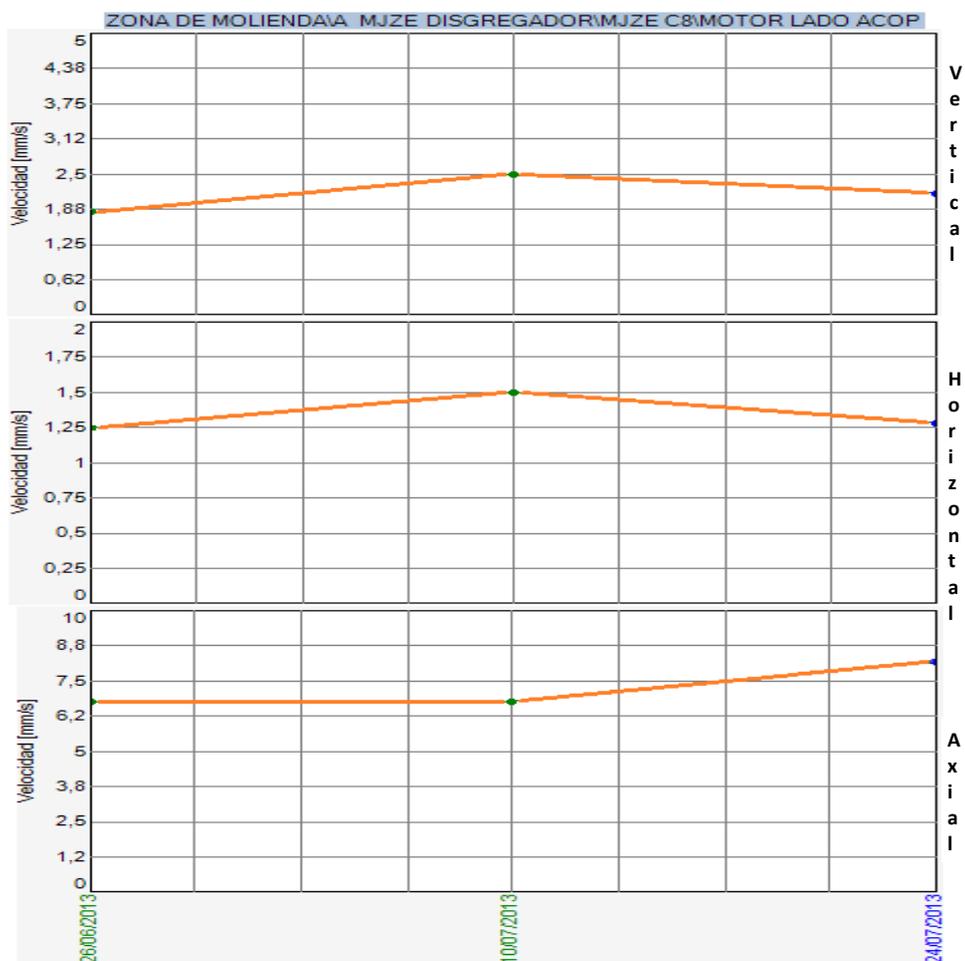
**DIAGNÓSTICO.** Por la característica de los espectros y por los valores alcanzados se determina que este disgregador presenta problemas de holgura en el rodamiento combinado con flexibilidad transversal.

**RECOMENDACIONES.** Para poder disminuir los efectos de holgura en el rodamiento se debe realizar una inspección, para determinar si existe un ajuste o montaje inadecuado de eje-rodamiento debido a que el patrón del espectro evidencia holgura mecánica.

Se deben planificar tareas de mantenimiento con respecto a la cimentación de la máquina, para lograr tener una mayor firmeza en los soportes donde está empotrado el disgregador y verificar si los pernos de anclaje tienen el torque adecuado para contrarrestar los efectos de flexibilidad transversal.

### 5.2.3.3 Tendencias del punto 2 motor lado acoplado

Figura 108. Tendencias punto 2 motor lado acoplado (vertical, horizontal y axial)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se muestra una tabla con las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar cómo se sigue evolucionando el problema.

Tabla 31. Interpretación de valores en velocidad RMS lado acoplado de C8-MJZE 02

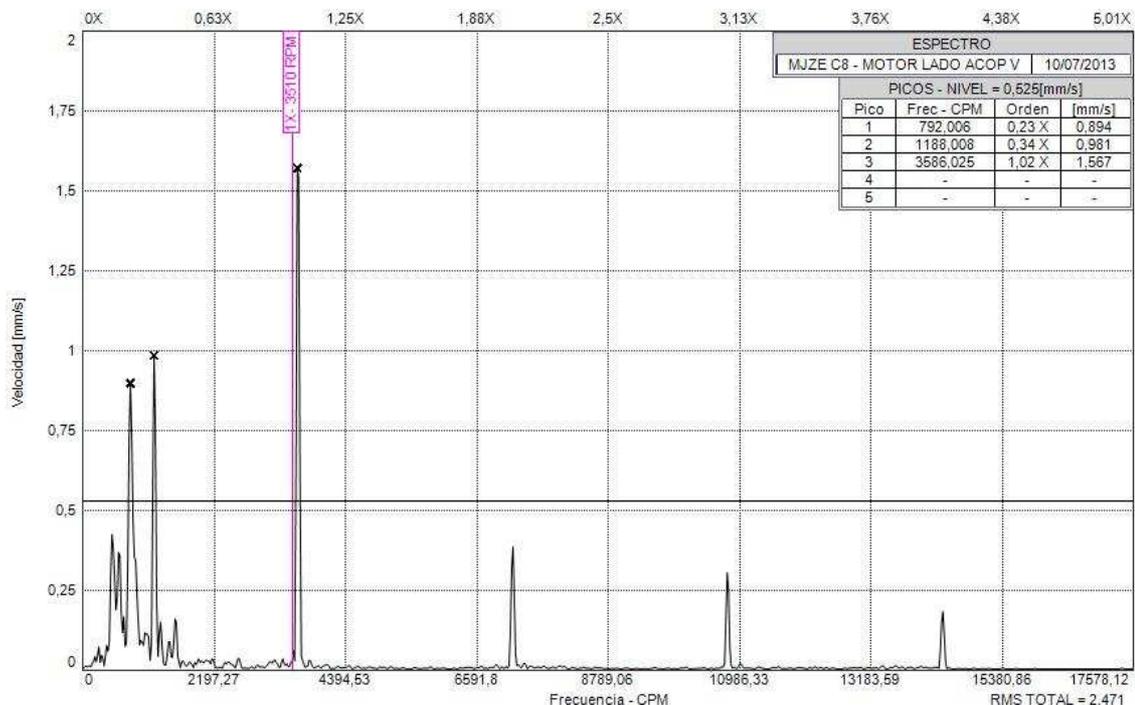
		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS(mm/s)	Vertical	1,809	2,471	2,137
	Horizontal	1,24	1,492	1,272
	Axial	6,72	6.731	8,125

Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias del punto 2 se observa que el nivel de vibración global presenta una oscilación mínima en los sentido vertical y horizontal, que son relativamente bajos, sin embargo el sentido axial en la primera medición muestra un valor elevado que durante el monitoreo evidencia un leve incremento, mismo que representa que la falla se encuentra desarrollando.

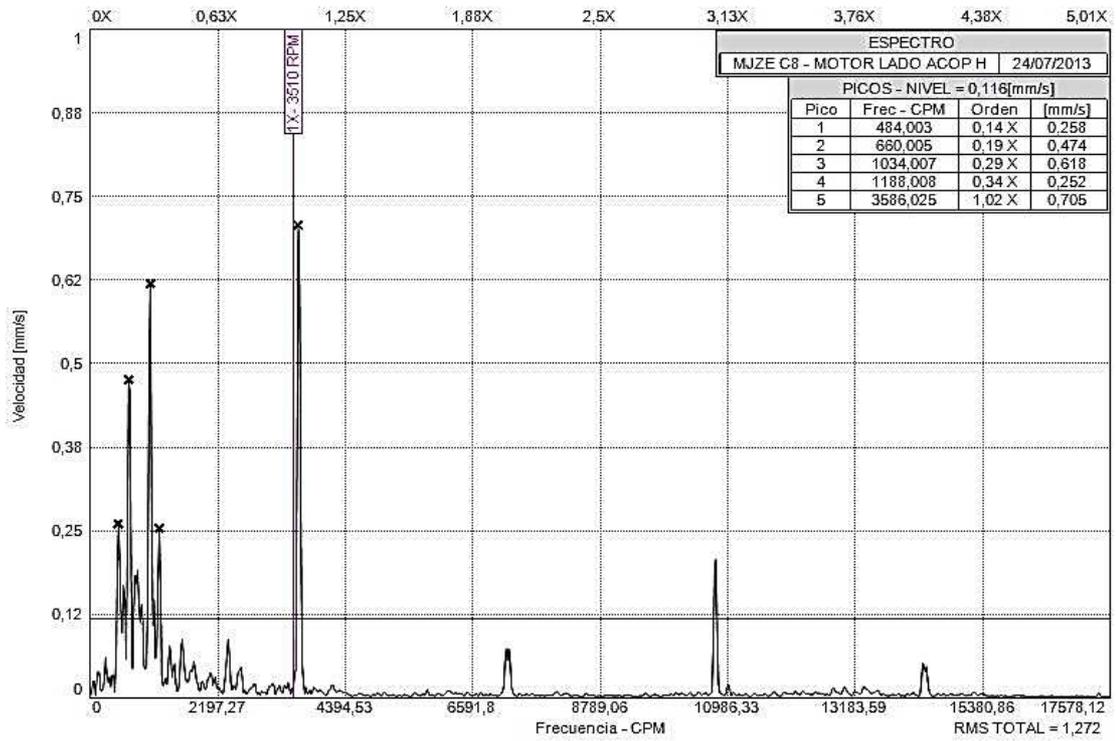
#### 5.2.3.4 Espectro del punto 2 motor lado acoplado

Figura 109. Espectro punto 2 motor lado acoplado vertical



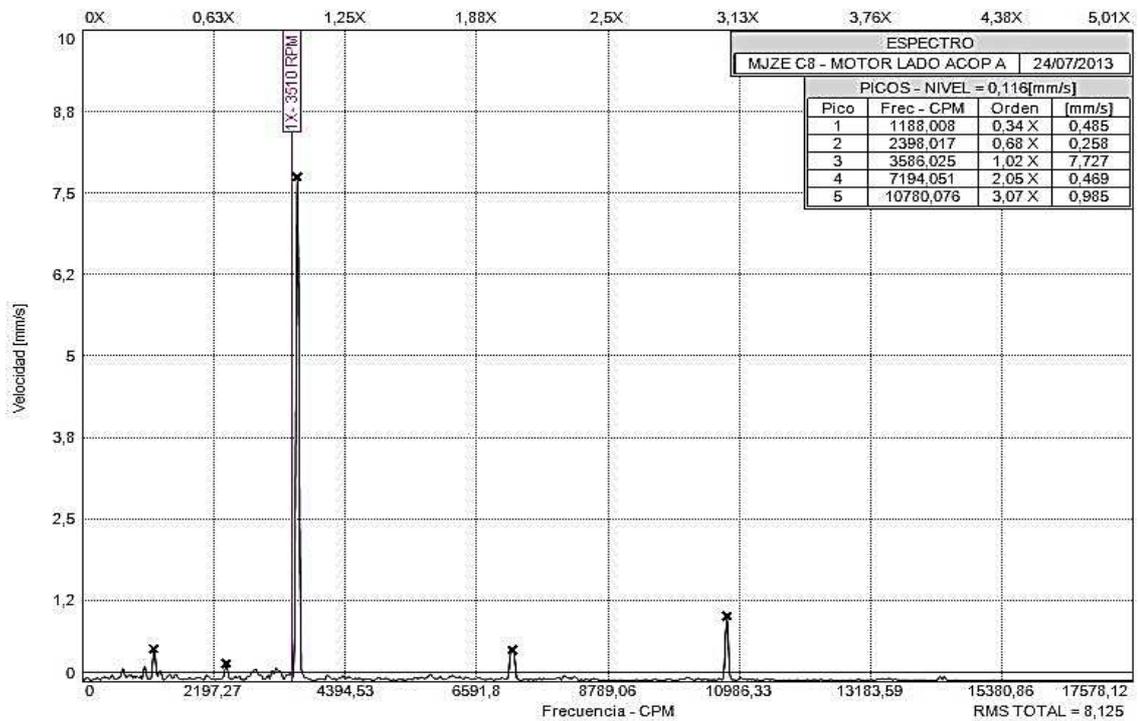
Fuente: MAINTraQ Predictive, Analizador vibracional VIBRACHECK ABG 200

Figura 110. Espectro punto 2 motor lado acoplado horizontal



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura 111. Espectro punto Motor lado acoplado axial



Fuente: Software MAINTraq Predictive

**ANÁLISIS.** En el análisis para determinar el modo de falla se observan armónicos síncronos, ya que el pico más relevante coincide con el valor de rpm de la máquina en los tres sentidos de medición.

La componente 1XV con un valor pico de 1,657 mm/s, la componente 1XH con un valor de pico de 0,705 mm/s y la componente 1XA con un valor de pico de 7,727 mm/s por lo antes descrito, en este punto se puede notar que el plano predominante es el axial por su valor elevado.

Los picos que acompañan a los armónicos síncronos alcanzan valores relativamente bajos por lo que se descarta que sean característicos de algún modo de fallo.

**DIAGNÓSTICO.** Por la característica de los espectros y los valores de vibración alcanzados se determina que el disgregador presenta principalmente flexibilidad transversal acompañado deholgura en el rodamiento.

**RECOMENDACIONES.** Para contrarrestar los efectos deholgura en el rodamiento se debe planificar tareas de mantenimiento para verificar que el ajuste o montaje del conjunto eje-rodamiento sean los correctos y revisar si existe desgaste en el alojamiento de los rodamientos, los mismos que se encuentran ubicados en las tapas del motor.

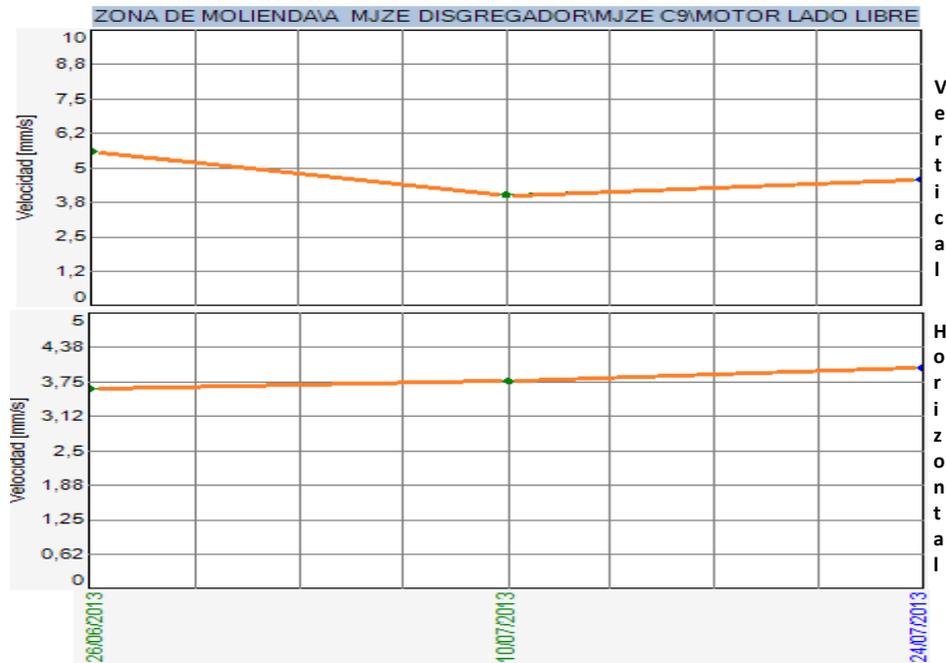
Como se pudo observar físicamente en la máquina también se deben realizar tareas de mantenimiento para mejorar la estabilidad de la máquina, para así lograr tener una mayor firmeza en las patas donde descansa el disgregador, también se aconseja revisar el estado de los pernos de anclaje.

Realizar un monitoreo continuo para poder observar la evolución de los armónicos síncronos a 1X.

## 5.2.4 Tendencia y espectros obtenidos en el disgregador C9- MJZE 04

### 5.2.4.1 Tendencias del punto 1 motor lado libre

Figura 112. Tendencias punto 1 motor lado libre (vertical y horizontal)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se presenta una tabla que muestra las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar el desarrollo del problema en el tiempo.

Tabla 32. Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de C9-MJZE 04

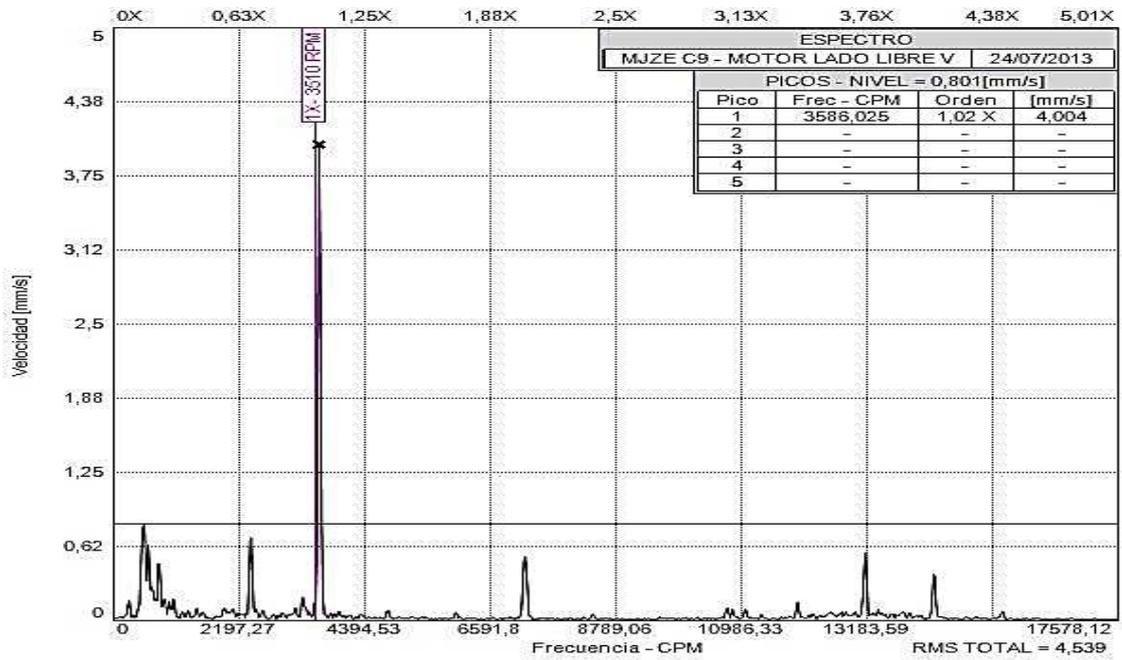
		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS (mm/s)	Vertical	5,556	3,987	4,539
	Horizontal	3,608	3,745	3,481
	Axial	-	-	-

Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias en el punto 1 se observa que en el nivel de vibración global existe decremento en el sentido vertical sin embargo valores que se debe considerar para el análisis en este sentido y determinar el modo de fallo que se encuentra presente, en el sentido horizontal solo se presenta una variación leve y las variaciones del sentido horizontal son propia del régimen de trabajo.

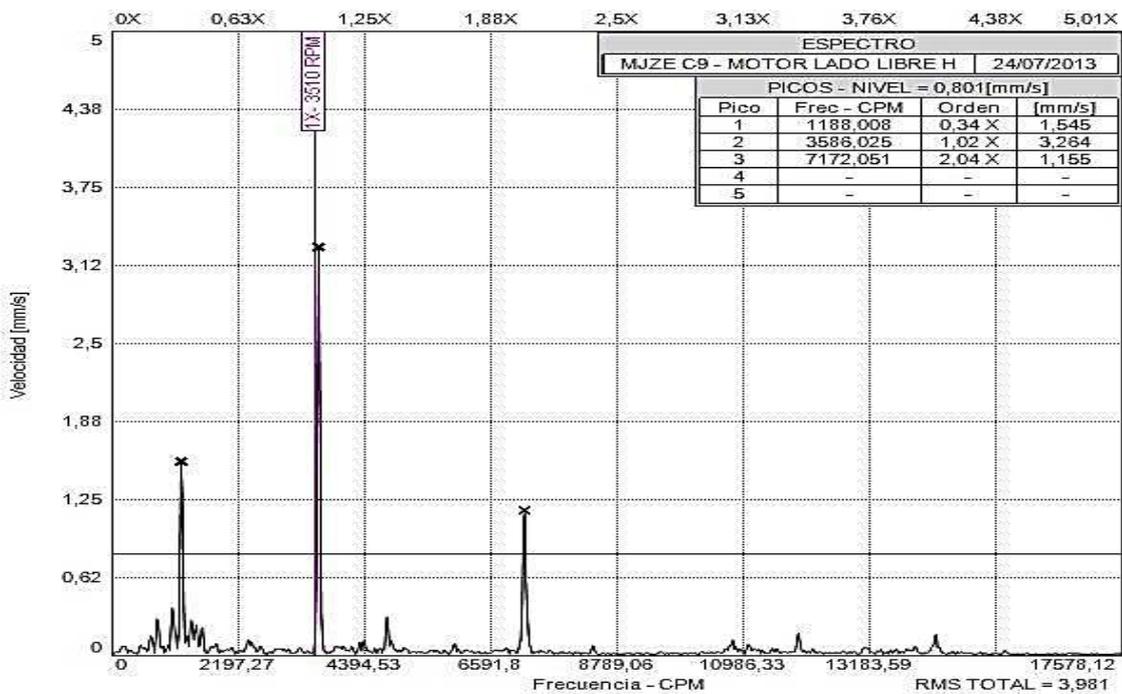
### 5.2.4.2 Espectro del punto1 motor lado libre

Figura 113. Espectro punto 1 motor lado libre vertical



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura 114. Espectro punto 1 motor lado libre horizontal



Fuente: Software MAINTraq Predictive

**ANÁLISIS.** Para la determinación del modo de falla, primeramente se puede observar armónicos síncronos ya que el pico más relevante coincide con el valor de rpm de la máquina en todos los sentidos de medición.

La componente 1XV con un valor pico de 4,004 mm/s y la componente 1XH con un valor de pico de 3,264 mm/s, nos muestra que en este punto el plano predominante es el vertical.

Los picos que acompañan a los armónicos síncronos presentan valores bajos, es decir se descarta algún modo de fallo por tal efecto.

**DIAGNÓSTICO.** Por las características de los espectros en el sentido vertical se dice que este punto presenta un desbalanceo dinámico combinado con una holgura de base presente en el sentido horizontal.

**RECOMENDACIONES.** Realizar la limpieza del disco disgregador, debido a que puede haber acumulación de harina en su estructura, además es necesario verificar el correcto estado físico del disco disgregador para descartar la presencia de algún tipo de desgaste o torcedura, luego de ello se debe realizar un balanceo del rotor del motor.

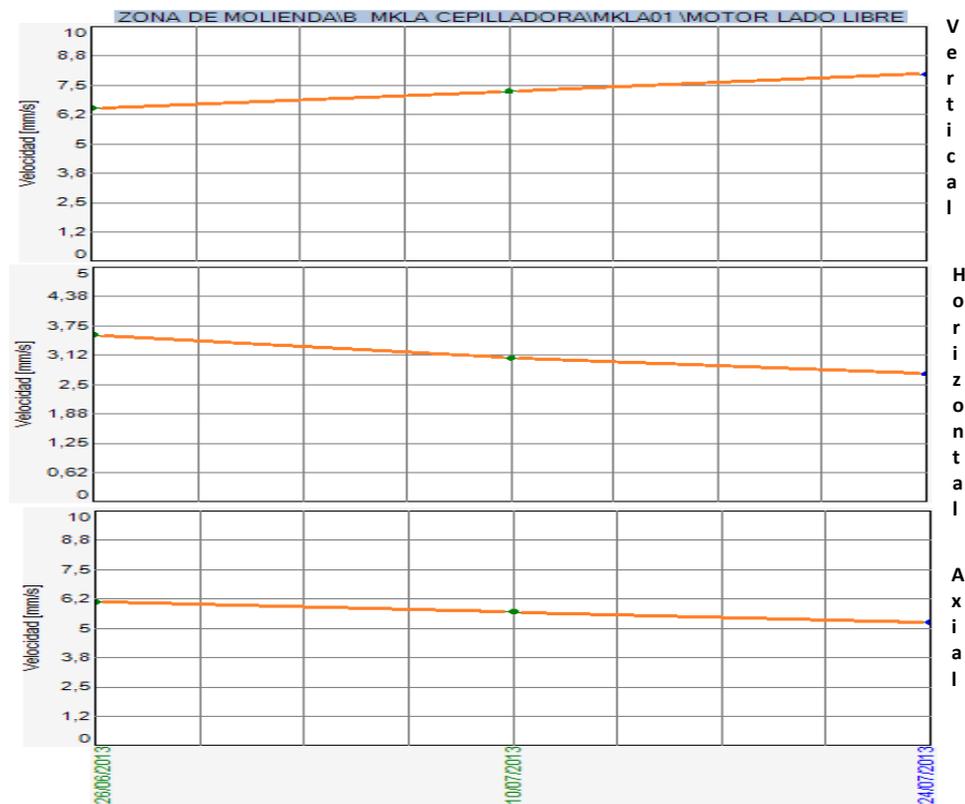
Como se pudo observar físicamente en la máquina también se debe efectuar tareas de mantenimiento con respecto a su cimentación para lograr una mayor estabilidad y fijeza del disgregador, también revisar que los pernos de anclaje tengan el torque adecuado para mitigar el problema de holgura de base.

Realizar un monitoreo continuo para poder observar la evolución de los armónicos síncronos a 1X ya que por el momento sus valor son sumamente bajos.

## 5.2.5 Tendencia y espectros obtenidos en la cepilladora MKLA 01

### 5.2.5.1 Tendencias del punto 1 motor lado libre

Figura 115. Tendencias punto 1 motor lado libre (vertical horizontal y axial)



Fuente: Software MAINTraq Predictive

A continuación se presenta una tabla que indica las medidas obtenidas durante el monitoreo para observar la evolución del problema.

Tabla 33. Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de MKLA 01

		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS(mm/s)	Vertical	6,495	7,205	7,926
	Horizontal	3,537	3,043	2,708
	Axial	6,088	5,592	5,202

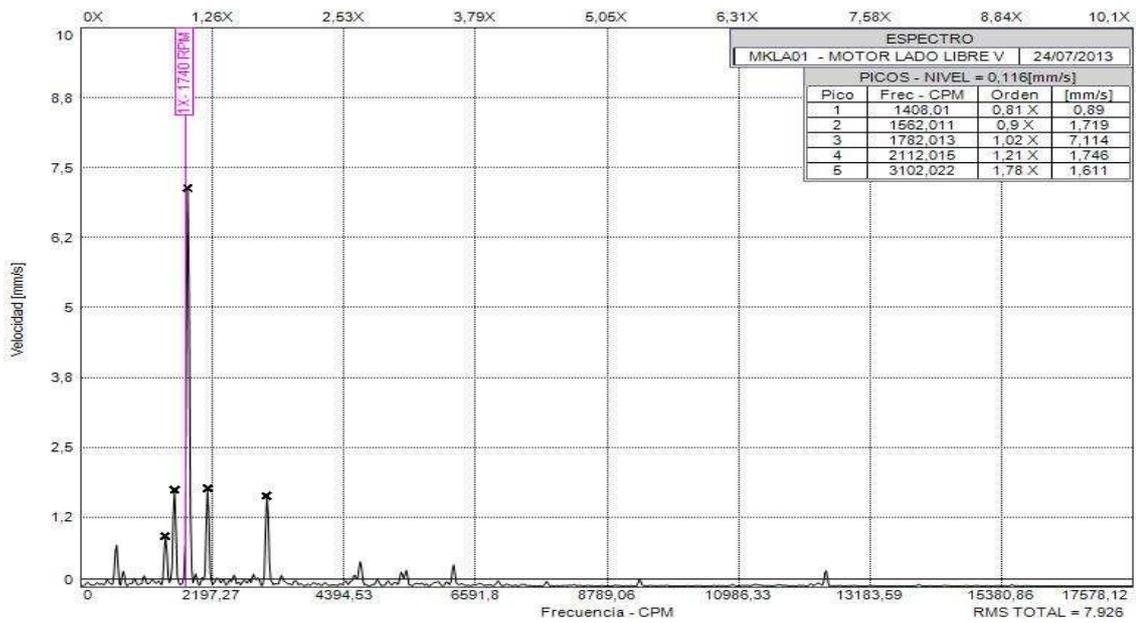
Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias en el punto 1 se aprecia que en el nivel de vibración global existe valores elevados en los sentido vertical y axial, así muestra valores que se deben considerar para el análisis en estos sentidos y determinar qué

modo de falla está presente, en el sentido horizontal se identifica una variación leve que es propia del régimen de trabajo de la máquina.

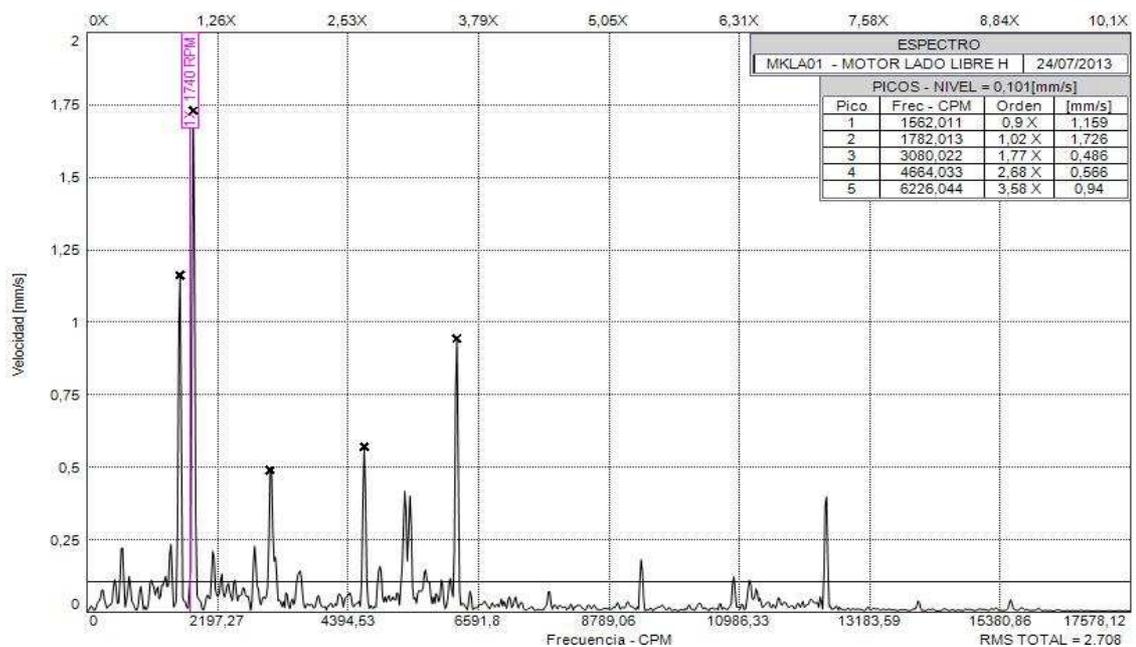
### 5.2.5.2 Espectros del punto 1 motor lado libre

Figura 116. Espectro punto 1 motor lado libre vertical



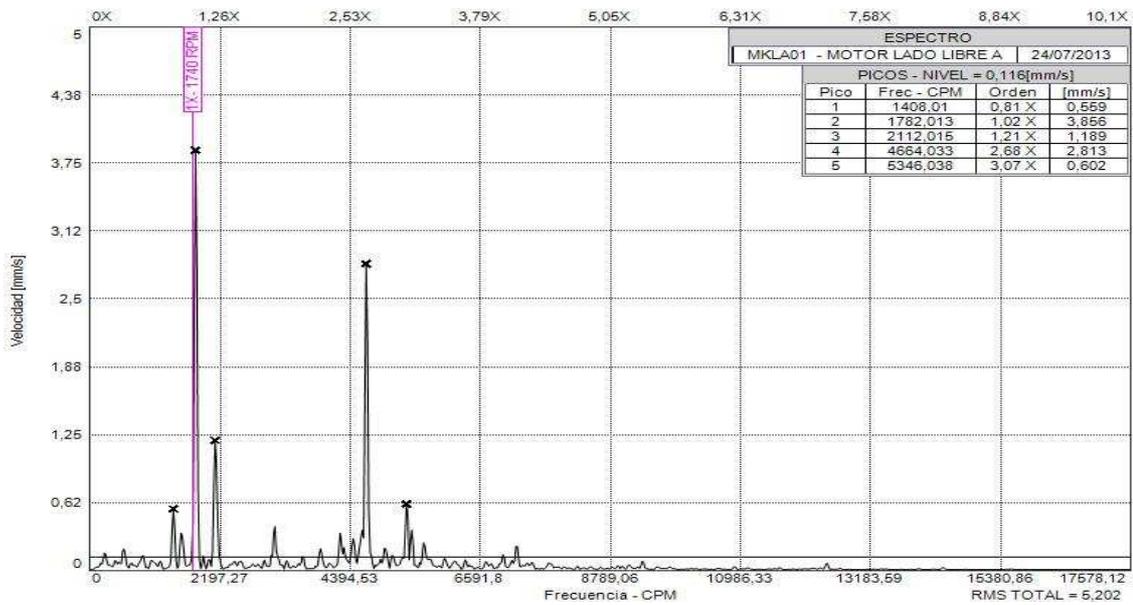
Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura 117. Espectro punto 1 motor lado libre horizontal



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura 18. Espectro punto 1 motor lado libre axial



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

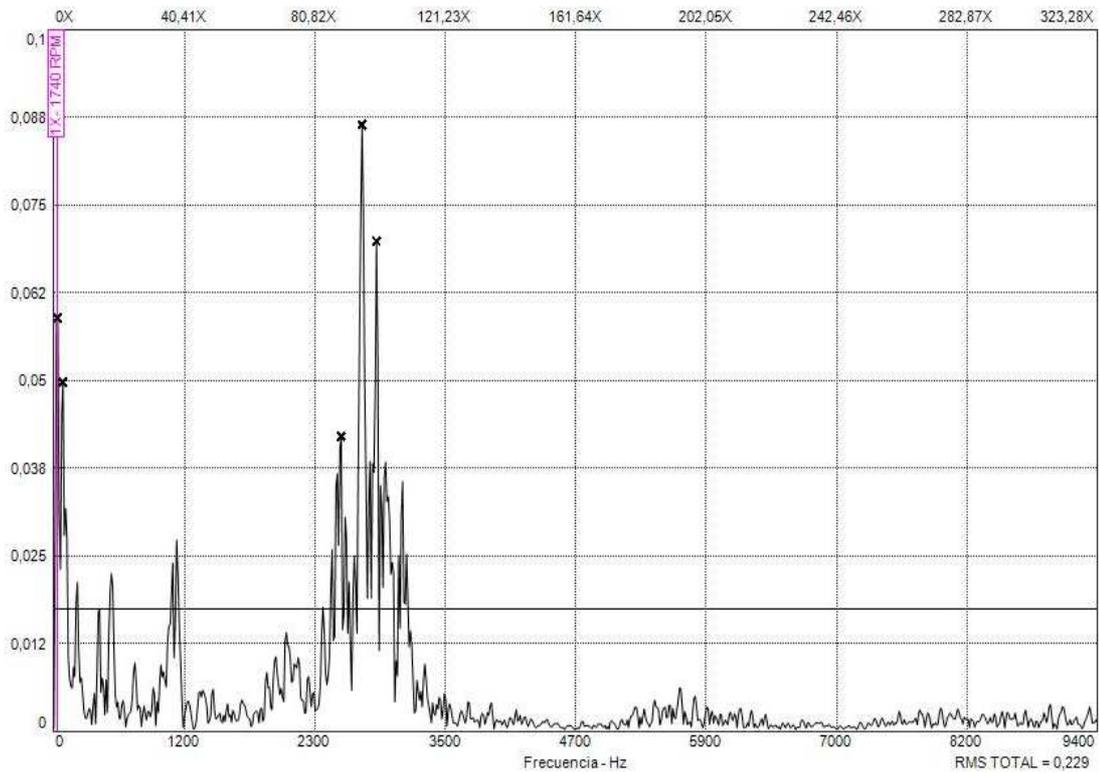
**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se puede observar armónicos no síncronos, la componente 1XV con un valor pico de 7,114mm/s, la componente 1XH con un valor de pico de 1,725mm/s y la componente 1XA con un valor de pico de 3,856mm/s, entonces en este punto se observa claramente que el plano dominante es el vertical.

Los armónicos no síncronos son evidentes en un rango desde 1,5X hasta 3X, todo ello acompañado por bandas laterales, por la característica de los espectros se analizara el espectro de envoltura para mejor apreciación del problema.

Según lo expuesto se procede a activar la función automática de búsqueda de frecuencias de fallas en rodamientos donde se puede observar: que en el espectro se evidencia la frecuencia natural de rodamiento acompañado por múltiples armónicos con valores relativamente bajos evidencia que hay indicios de que en el futuro pueda aparecer problemas en los componentes del rodamiento.

El análisis se lo realizó tomando en cuenta una escala 30 KCPM (kilocpm) es decir 500 Hz, en donde se puede apreciar con mayor exactitud la presencia de frecuencias relacionadas con problemas en los rodamientos.

Figura 119. Espectro de envolvente punto 1 motor lado libre vertical



Fuente: MAINTraQ Predictive, Analizador vibracional VIBRACHECK ABG 200

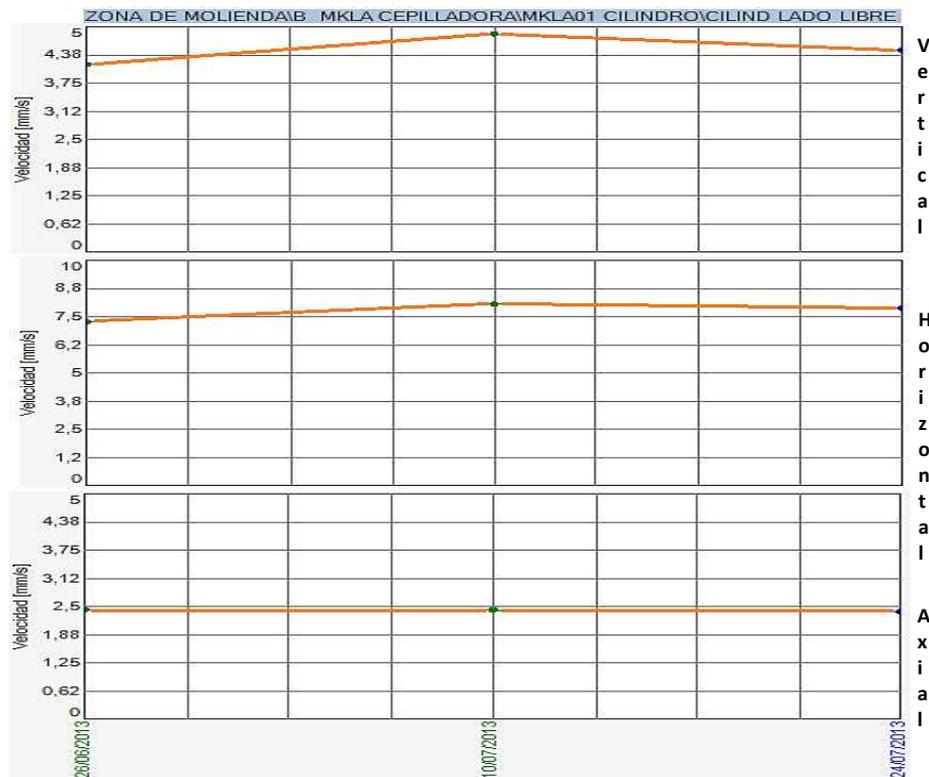
**DIAGNÓSTICO.** Se determina que existe un problema en los rodamientos, ya que por medio del análisis de espectros en el espectro de velocidad se evidenció una falla en los elementos rodantes y analizando el espectro de envolvente se determina que esta falla se encuentra en la ETAPA UNO de daño.

Por la característica de los espectros y los valores alcanzados se determina que también presenta desbalanceo en el motor.

**RECOMENDACIONES.** Teniendo en cuenta el tipo de problema encontrado, se debe realizar un cambio de rodamiento, independientemente de las amplitudes de las frecuencias de defecto del rodamiento; además, se debe planificar la ejecución de un balanceo del rotor del motor ya que este puede ser la causa potencial de daño en los rodamientos.

### 5.2.5.3 Tendencias del punto 4 cilindro lado libre

Figura 120. Tendencias punto 4 cilindro lado libre (vertical, horizontal y axial)



Fuente: Software MAINTraq Predictive

A continuación se muestra una tabla con las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar cómo se sigue evolucionando el problema.

Tabla 34. Interpretación de valores en velocidad RMS lado libre de MKLA 01

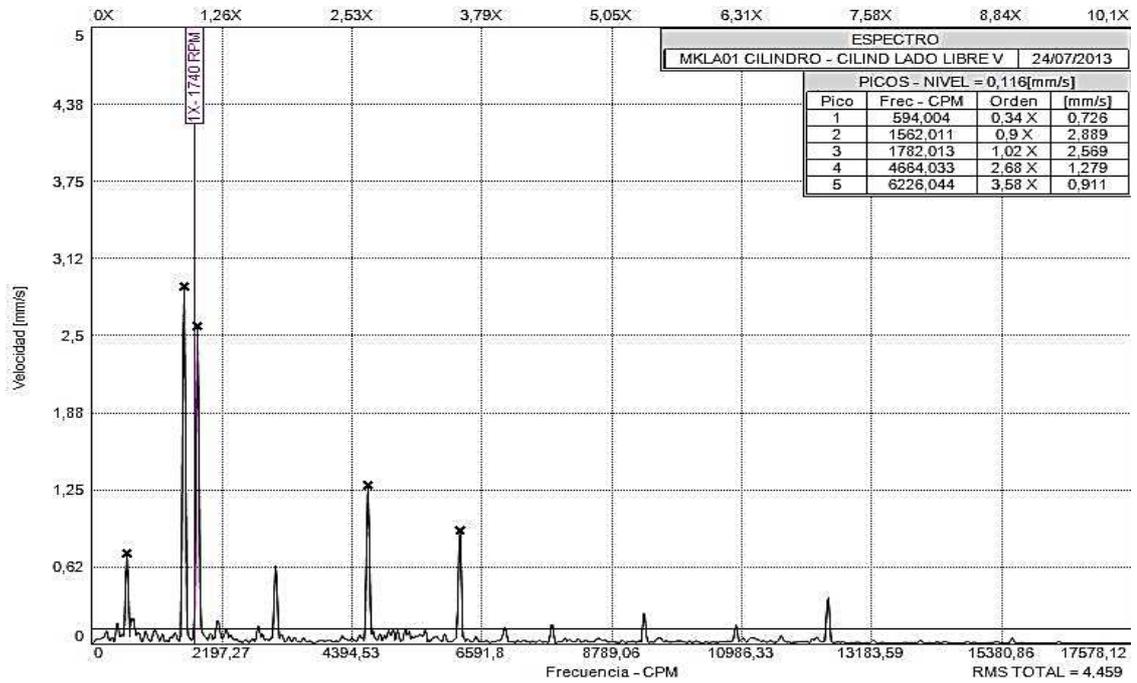
		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS(mm/s)	Vertical	4,143	4,819	4,459
	Horizontal	7,234	8,019	7,828
	Axial	2,409	2,4	2,365

Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias en el punto 4 se observa que en el nivel de vibración global no sufre una variación considerable en el sentido vertical y en el sentido axial, por otro lado el sentido horizontal muestra valores que se debe considerar para el análisis y determinar el modo de falla presente.

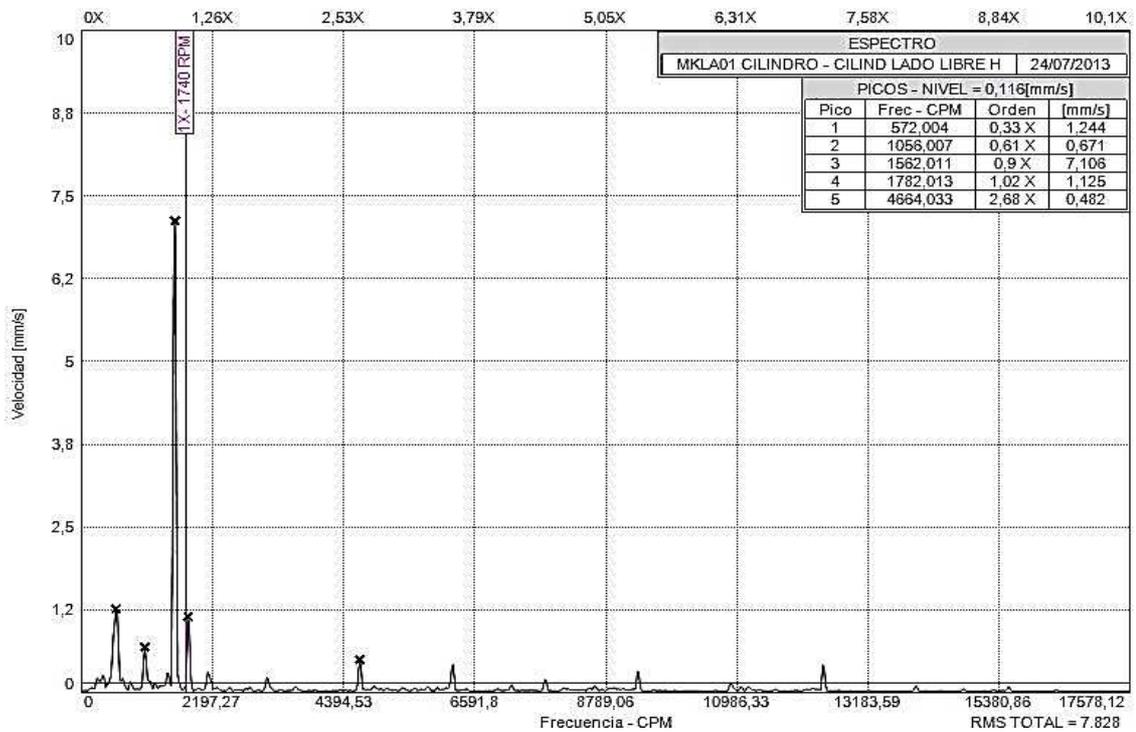
### 5.2.5.4 Espectros del punto4 cilindro lado libre

Figura 121. Espectro punto 4cilindro lado libre vertical



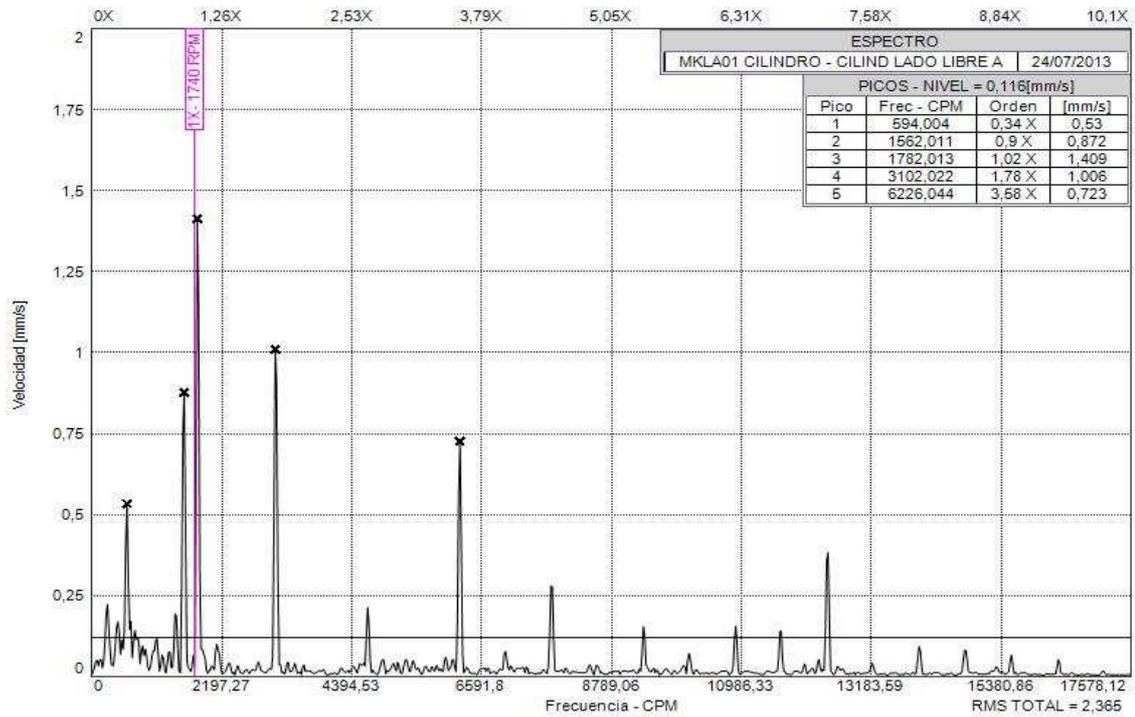
Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura122.Espectro punto 4 cilindro lado libre horizontal



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura123.Espectro punto 4 cilindro lado libre axial



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se evidencia la presencia de armónicos síncronos ya que el pico más relevante coincide con el valor de rpm de la máquina en los tres sentidos de medición.

La componente 1XV con un valor pico de 2,889 mm/s, la componente 1XH con un valor de pico de 7,106 mm/s, la componente 1XA con un valor de pico de 1,006 mm/s, en este punto se observa que el plano predominante es el horizontal por los valores alcanzados.

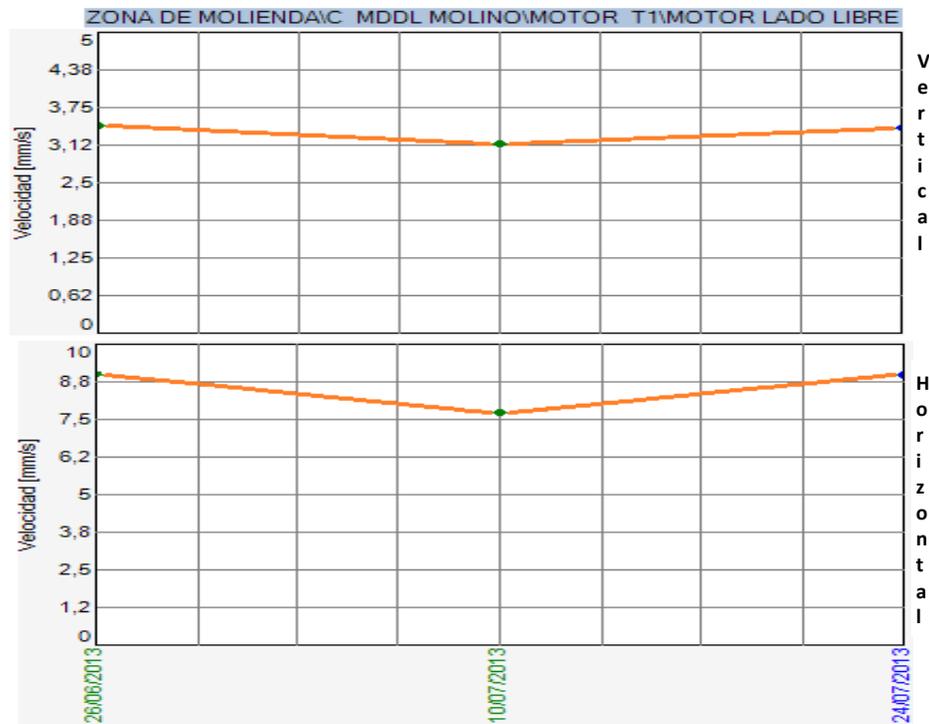
**DIAGNÓSTICO.** Por la característica de los espectros y los valores alcanzados se determina la existencia de holgura de base.

**RECOMENDACIONES.** Planificar tareas de mantenimiento para comprobar el torque adecuado en los pernos de anclaje del cilindro-tamiz.

## 5.2.6 Tendencia y espectros obtenidos en el banco de molienda MDDL 01

### 5.2.6.1 Tendencias del punto 1 motor T1 lado libre

Figura 124. Tendencias punto 1 motor T1 lado libre (vertical y horizontal)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se presenta una tabla que muestra las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar cómo se sigue desarrollando el problema.

Tabla 35. Interpretación de valores en velocidad RMS T1 lado libre de MDDL 01

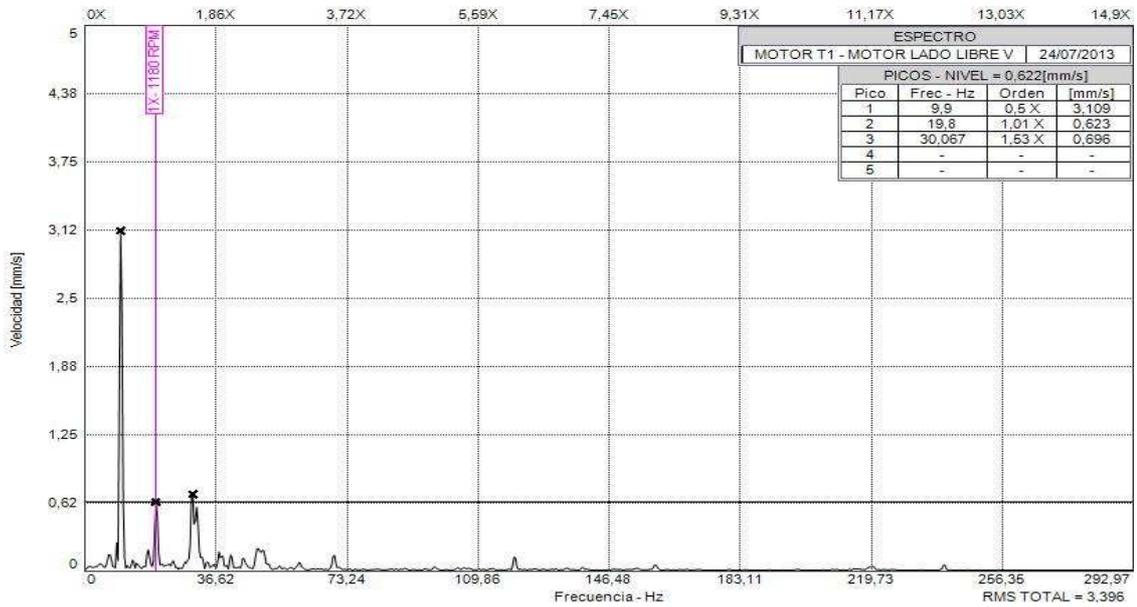
		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS(mm/s)	Vertical	3,436	3,125	3,396
	Horizontal	8,967	7,68	8,939
	Axial	-	-	-

Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias del punto 1 el nivel de vibración global no sufre una variación considerable en el sentido vertical, por otro lado el sentido horizontal presenta un valor elevado con variaciones leves, lo que indica que una falla se encuentra desarrollándose de manera moderada.

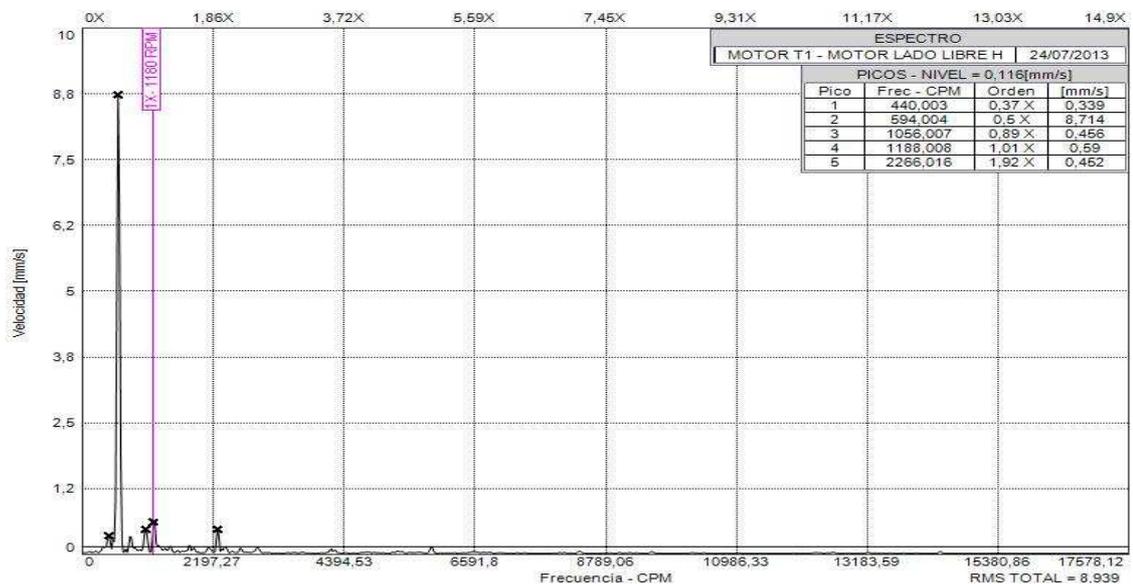
### 5.2.6.2 Espectros del punto 1 motor T1 lado libre

Figura 125. Espectro punto 1 motor T1 lado libre vertical



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura126.Espectro punto 1 motor T1 lado libre horizontal



Fuente: Software MAINTraq Predictive

**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se observa armónicos no síncronos y se caracteriza por ser múltiplo de B (frecuencia de banda), la componente vertical presenta un armónico 1B de 9,9 Hz, correspondiente a la frecuencia de rotación de la banda, con un valor pico de 3,109 mm/s, un armónico 2B con una

frecuencia de 19,8 Hz que coincide con la frecuencia del motor y un armónico 3B con un valor de 30 Hz.

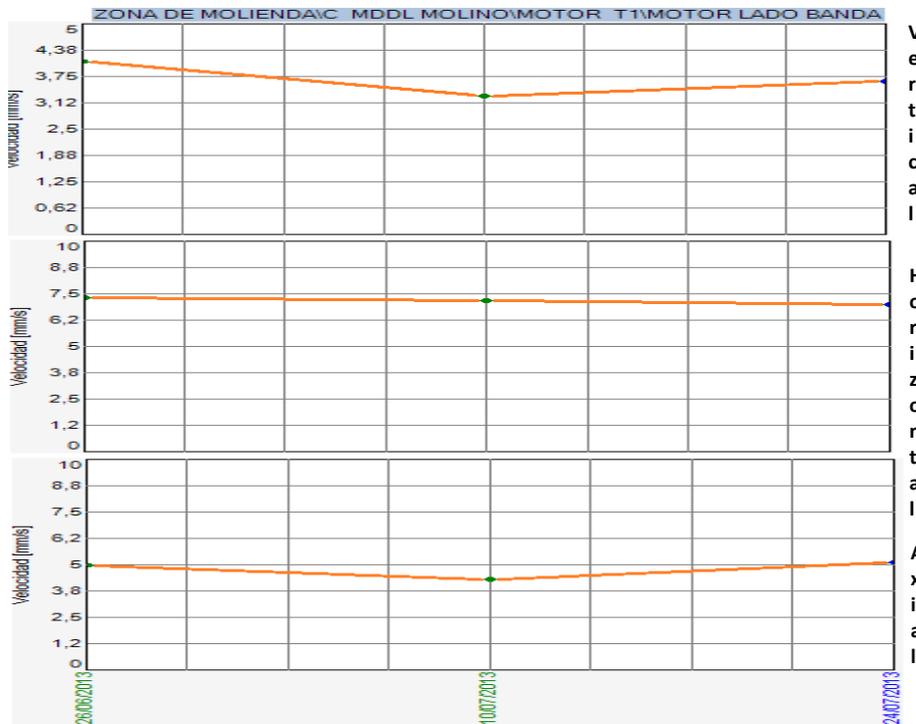
La componente horizontal presenta un armónico 1B con un valor de pico de 8,714 mm/s y una frecuencia de 9,9 Hz, en este punto se puede percibir que el plano predominante es el horizontal.

**DIAGNÓSTICO.** Por la característica de los espectros, presencia de los múltiplos de frecuencia de banda B y los valores alcanzados se determina un problema de bandas desgastadas, flojas o mal emparejadas.

**RECOMENDACIONES.** Planificar tareas de mantenimiento para el cambio de bandas, y realizar una inspección periódica para revisar tensión de las mismas, calibrar regularmente para prevenir bandas flojas o con ajuste excesivo.

**5.2.6.3 Tendencias del punto 2 motor T1 lado banda**

Figura 127. Tendencias punto 2 motor T1 lado banda (vertical, horizontal y axial)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se muestra una tabla con las medidas obtenidas durante el monitoreo para observar el desarrollo del problema.

Tabla 36. Interpretación de valores en velocidad RMS T1 lado banda de MDDL 01

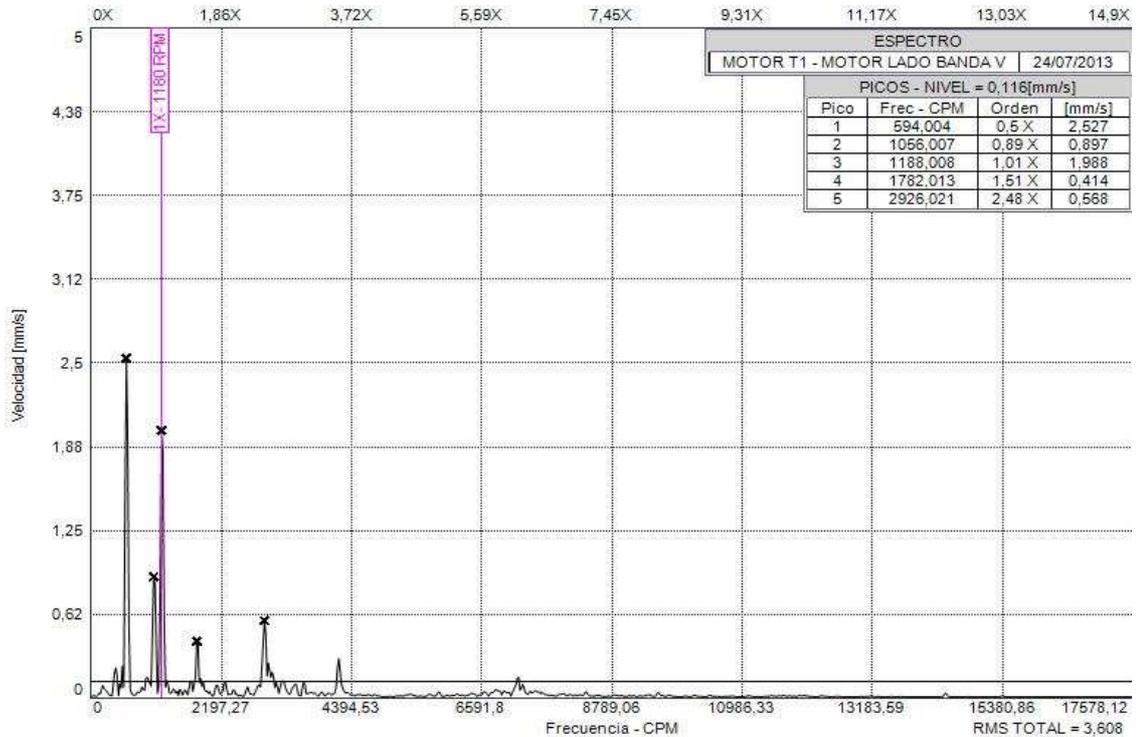
		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS(mm/s)	Vertical	4,088	3,266	3,608
	Horizontal	7,29	7,14	6,956
	Axial	4,941	4,279	5,083

Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias en el punto 2 el nivel de vibración global no sufre una variación considerable en el sentido vertical y axial, por otro lado el sentido horizontal muestra valores elevados con un leve decremento que se debe considerar para el análisis y esto nos indica que una falla está presente.

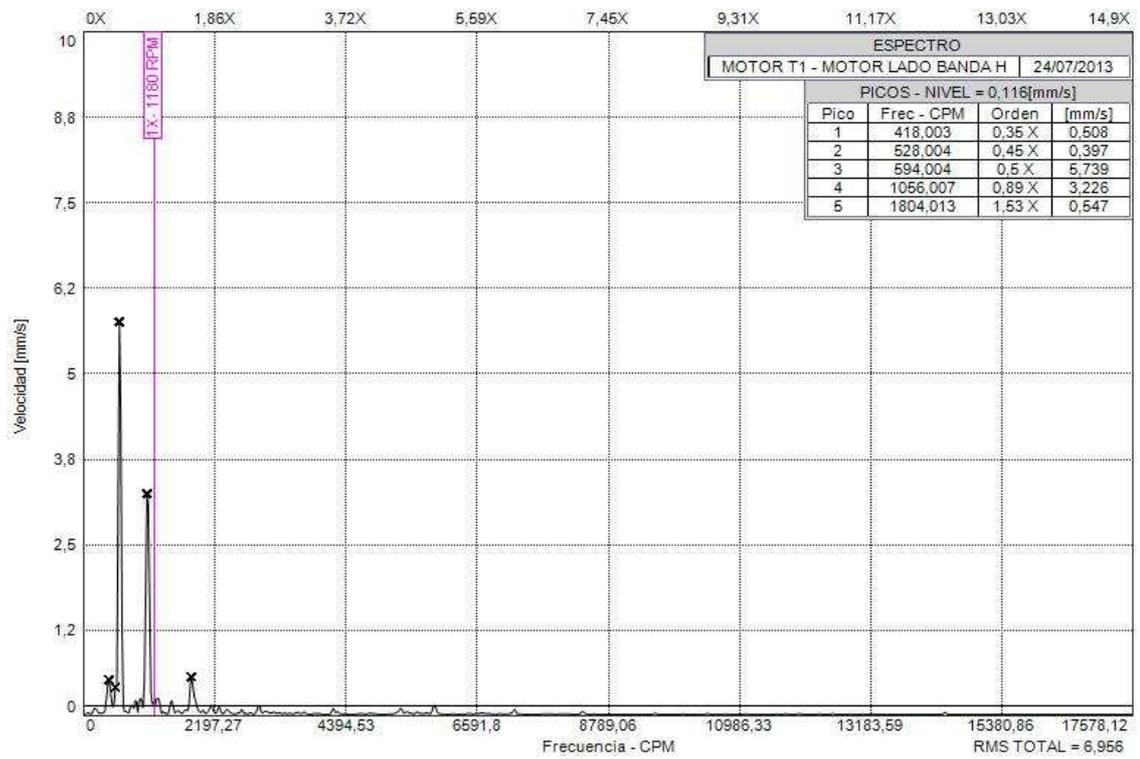
#### 5.2.6.4 Espectros del punto 2 motor T1 lado banda

Figura 128. Espectro punto 2 motor T1 lado banda vertical



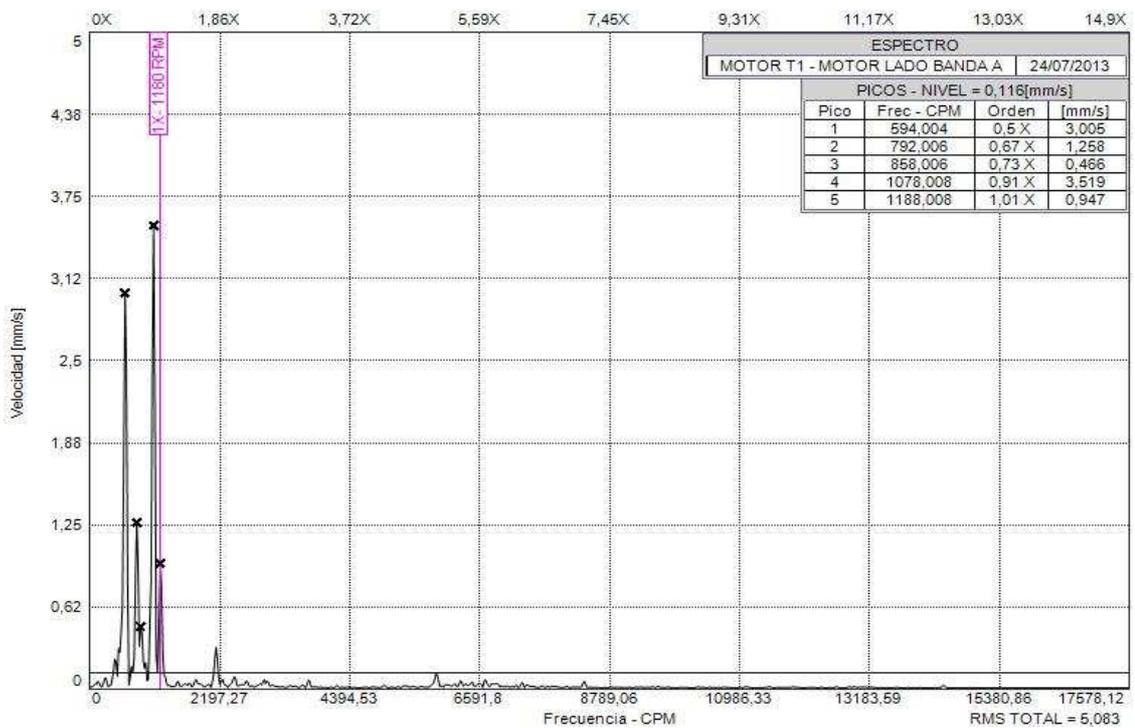
Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura129.Espectro punto 2 motor T1 ladobanda horizontal



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura130.Espectro punto 2 motor T1 ladobanda axial



Fuente: Software MAINTraq Predictive

**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se observa armónicos no síncronos y se caracteriza por ser múltiplo de B (frecuencia de banda), la componente vertical presenta un armónico 1B de 9,9 Hz correspondiente a la frecuencia de rotación de la banda  $f = (\pi * d * N)/L$ , con un valor pico de 1,988 mm/s, un armónico 2B con una frecuencia de 19,9 Hz que coincide con la frecuencia del motor.

La componente horizontal presenta un armónico 1B con un valor de pico de 5,739 mm/s a una frecuencia de 9,9 Hz además hay un armónico 2B con una frecuencia de 19,9 Hz con un valor pico de 3,226 mm/s.

La componente axial presenta un armónico 1B con valor de pico de 3,005 mm/s a una frecuencia de 9,9 Hz además hay un armónico 2B con una frecuencia de 19,9 Hz con un valor pico de 3,519 mm/s. con presencia de una serie de sub-armónicos antes de 1X. En este punto se puede distinguir que el plano predominante es el horizontal ya que en relación a los otros planos tiene un valor superior.

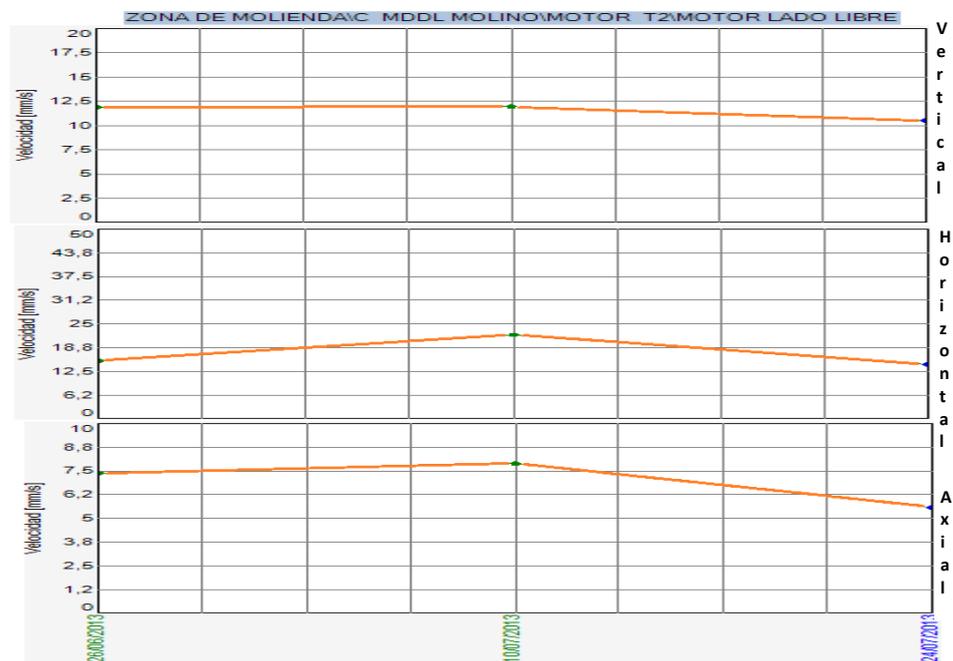
**DIAGNÓSTICO.** Debido a la presencia de múltiplos de frecuencia de banda B y los valores alcanzados se diagnostica un problema de bandas desgastadas, flojas o mal emparejadas.

Además se determina que existe holgura de base que generalmente es causada por un ajuste inadecuado de los soportes, originando muchas armónicas debido a la respuesta no lineal de las partes sueltas con respecto a las fuerzas dinámicas del rotor.

**RECOMENDACIONES.** Comprobar que el torque en los pernos de anclaje sea el adecuado, realizar tareas de mantenimiento con respecto a la estructura donde se encuentra montada de la máquina para logra una mayor estabilidad de la misma. Planificar tarea de mantenimiento para reemplazo de bandas e inspeccionar periódicamente la tensión de bandas.

### 5.2.6.5 Tendencias del punto 7 motor T2 lado libre

Figura 131. Tendencias punto 7 motor T2 lado libre (vertical horizontal y axial)



Fuente: Software MAINTraq Predictive

A continuación se presenta una tabla que muestra las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar cómo se sigue desarrollando el problema.

Tabla 37. Interpretación de valores en velocidad RMS T2 lado banda de MDDL 01

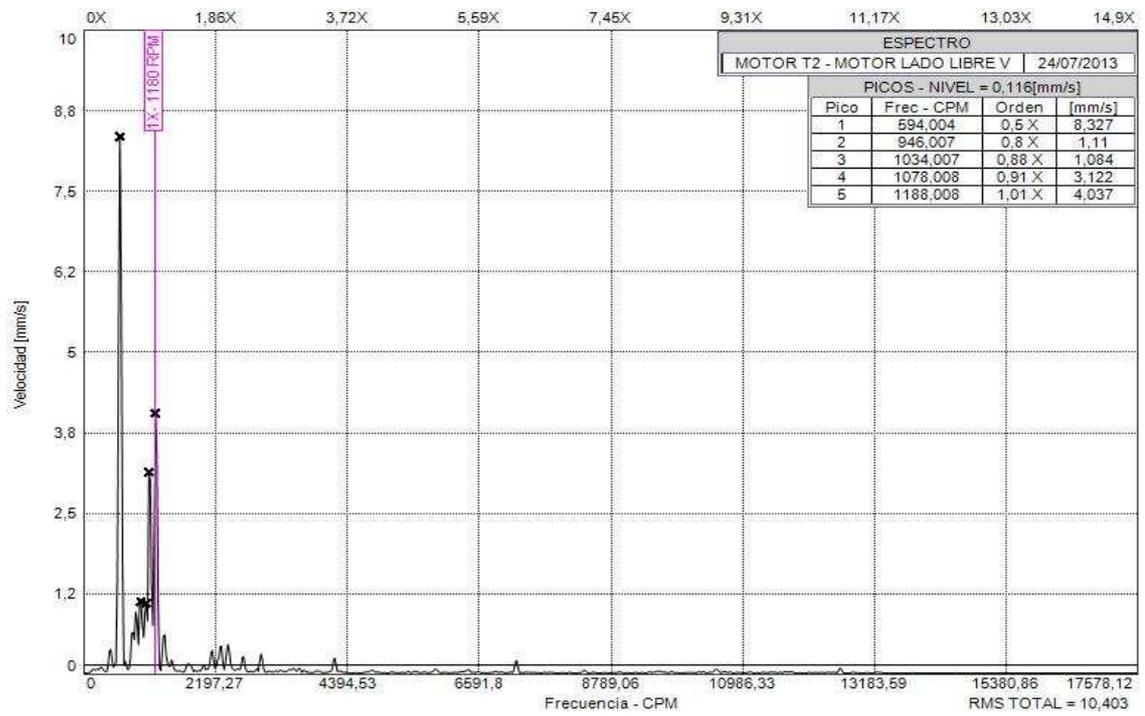
		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS(mm/s)	Vertical	11,823	11,865	10,403
	Horizontal	15,083	21,933	14,057
	Axial	7,326	7,851	5,511

Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** La gráfica de tendencias del punto 7 muestra un nivel de vibración global elevado que no sufre variación considerable en el sentido vertical y axial pero son valores críticos, con respecto al sentido horizontal marca un valor elevado que se incrementa en la segunda medición y en la tercera medición el valor decrece, dicho decremento se debe a la intervención del departamento de mantenimiento. En este punto la atención debe ser inmediata ya que sus valores están fuera del rango y el equipo está propenso a fallar por las condiciones del régimen de trabajo actual.

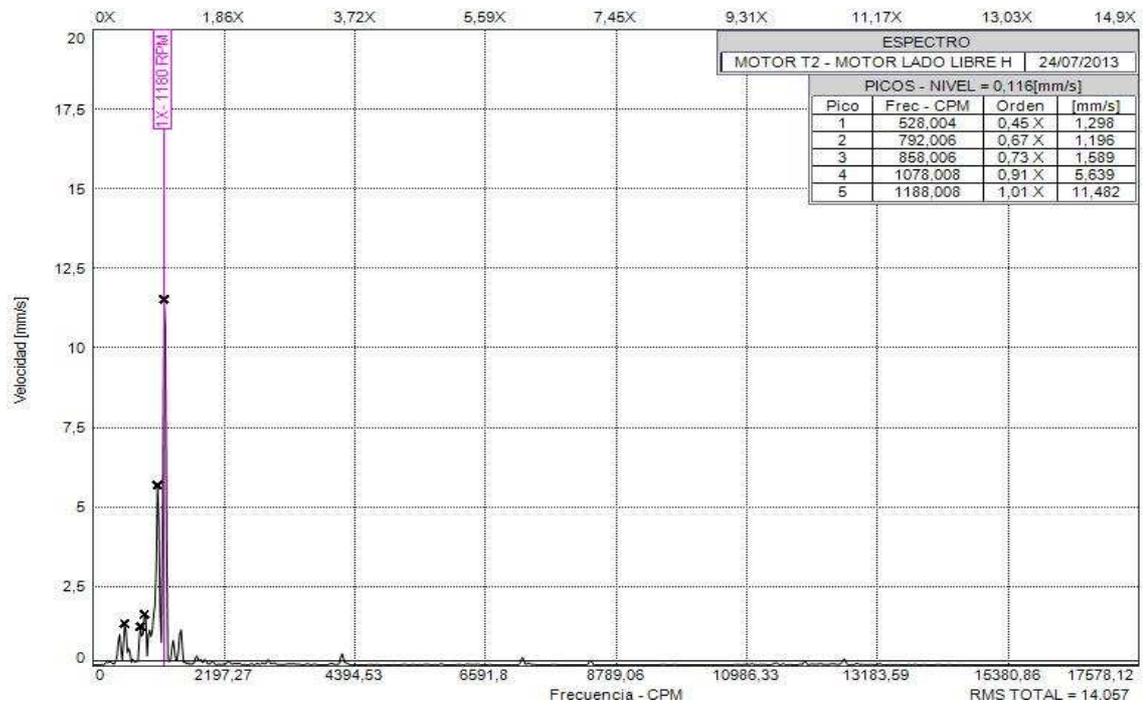
### 5.2.6.6 Espectros del Punto 7 motor T2 lado libre

Figura 132. Espectro punto 7 motor T2 lado libre vertical



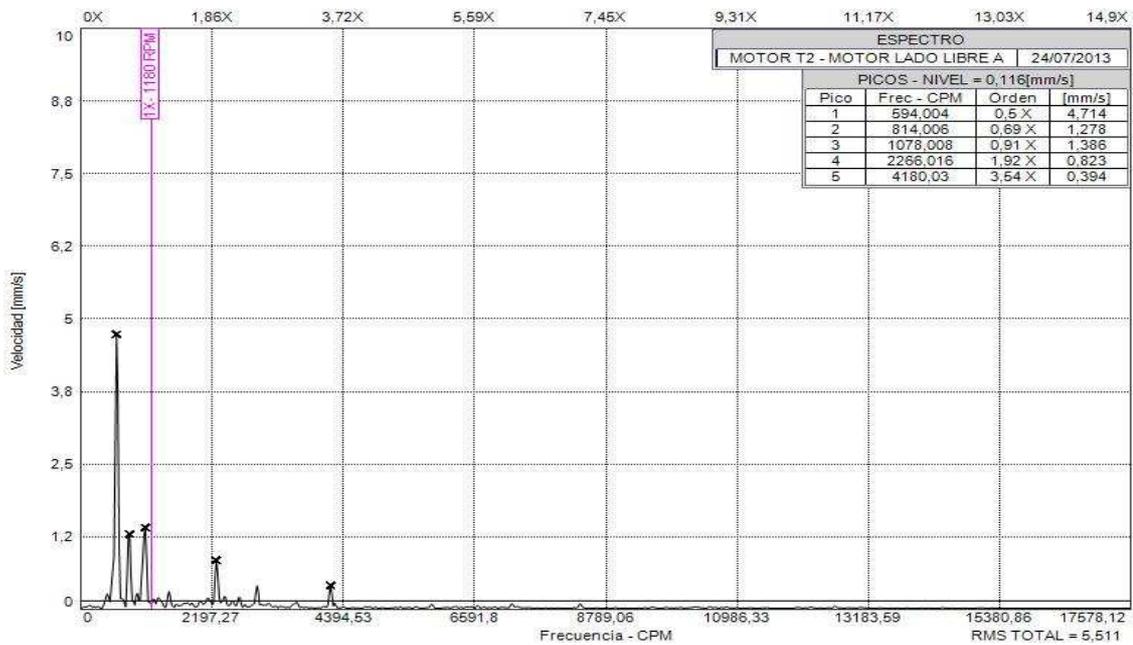
Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura133.Espectro punto 7 motor T2 lado libre horizontal



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura134.Espectro punto 7 motor T2 lado libre axial



Fuente: Software MAINTraq Predictive

**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se observa armónicos no síncronos y se caracteriza por ser múltiplo de B, la componente vertical presenta un armónico 1B de 9,9 Hz correspondiente a la frecuencia de rotación de la banda , con un valor pico de 8,327 mm/s; además, hay un armónico 2B a una frecuencia de 19,9 Hz que coincide a la frecuencia del motor. La componente horizontal presenta un pico síncrono de 11,482mm/s acompañado de leves sub-armónicos menores de 1X. La componente axial presenta un armónico 1B con valor de pico de 4,714 mm/s a una frecuencia de 9,9 Hz y un armónico 2B a una frecuencia de 19,9 Hz con un valor pico de 1,278 mm/s y adicional a esto con presencia de sub-armónicos antes de 1X.

En este punto el plano predominante es el horizontal ya que en relación a los otros planos tiene un valor superior.

**DIAGNÓSTICO.** Por la característica de los espectros, presencia de los múltiplos de frecuencia de banda B y los valores alcanzados se determina un problema de bandas desgastadas, flojas o mal emparejadas, durante el monitoreo se pudo percibir una temperatura del motor elevada; además, se determina que existe holgura de base porque se evidenciaba una vibración no acorde con su régimen de trabajo.

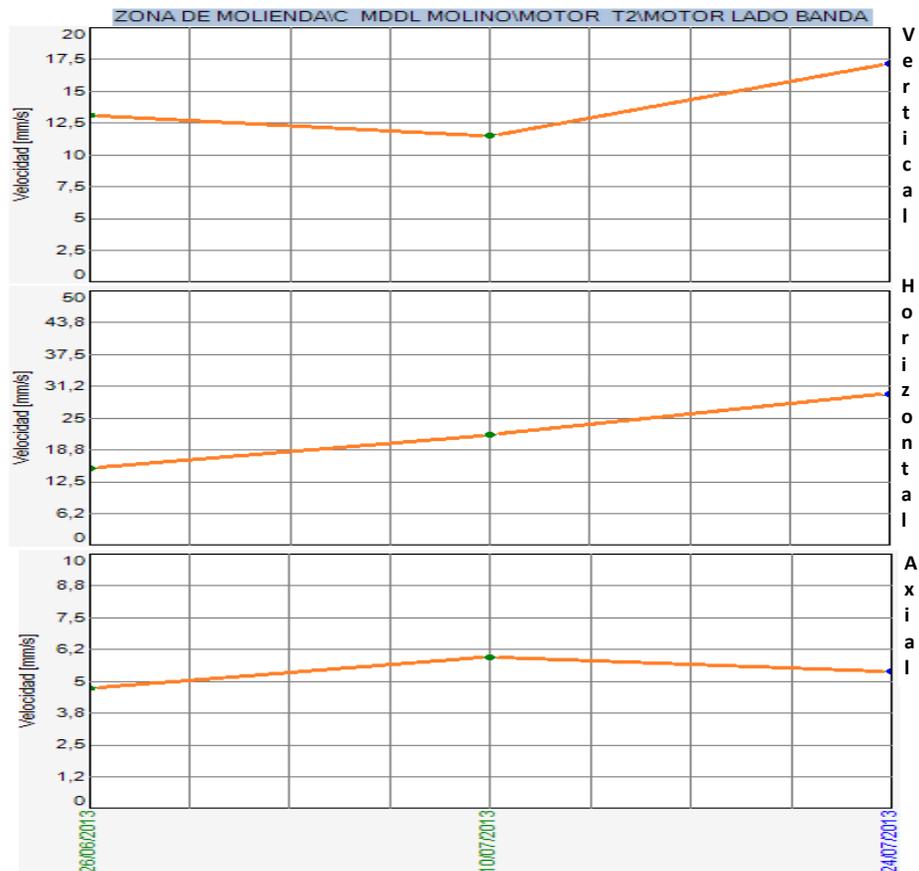
**RECOMENDACIONES.** Planificar tarea para cambio de bandas, y realizar una inspección periódica para comprobar tensión de bandas para verificar que no estén muy ajustadas o flojas.

Revisar que las poleas estén alineadas y las bandas bien acopladas con las poleas ya que esto puede incidir directamente en el problema de temperatura elevada posterior a ello revisar que los rodamientos estén en buen estado utilizando un estroboscopio. Además revisar los valores de corriente sean los que estén estipulados en las placas del fabricante.

Planificar tareas de mantenimiento en la estructura donde está montado el motor para tener mayor firmeza y comprobar el torque adecuado en los pernos de anclaje.

#### 5.2.6.7 Tendencias del Punto 8 motor T2 lado banda

Figura 135. Tendencias punto motor T2 lado banda (vertical horizontal y axial)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se muestra una tabla con las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar cómo se sigue evolucionando el problema.

Tabla 38. Interpretación de valores en velocidad RMS T2 lado banda de MDDL 01

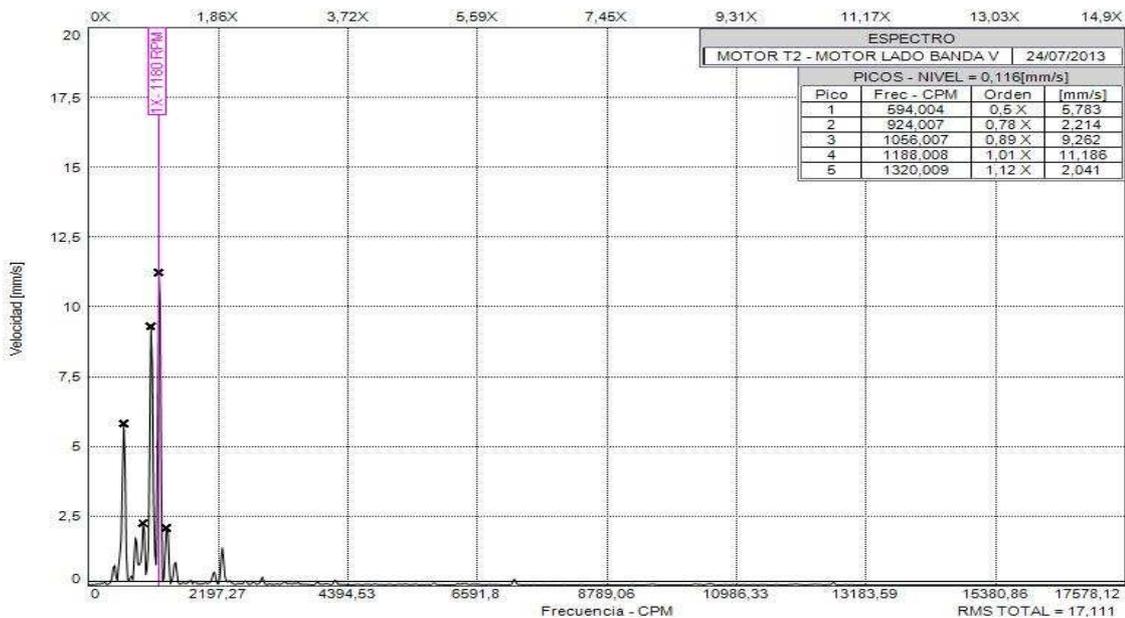
		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS(mm/s)	Vertical	13,036	11,444	17,111
	Horizontal	12,5	21,5	29,445
	Axial	4,687	5,911	5,346

Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias del punto 8 se aprecia un nivel de vibración global elevado que sufre una variación considerable en los sentidos vertical y horizontal durante todo el monitoreo, en el sentido axial hay un leve incremento. Los valores elevados en los sentidos vertical y horizontal indican que uno o dos modos de fallas se encuentran presentes, se considera en estado de gravedad debido a la magnitud de sus valores.

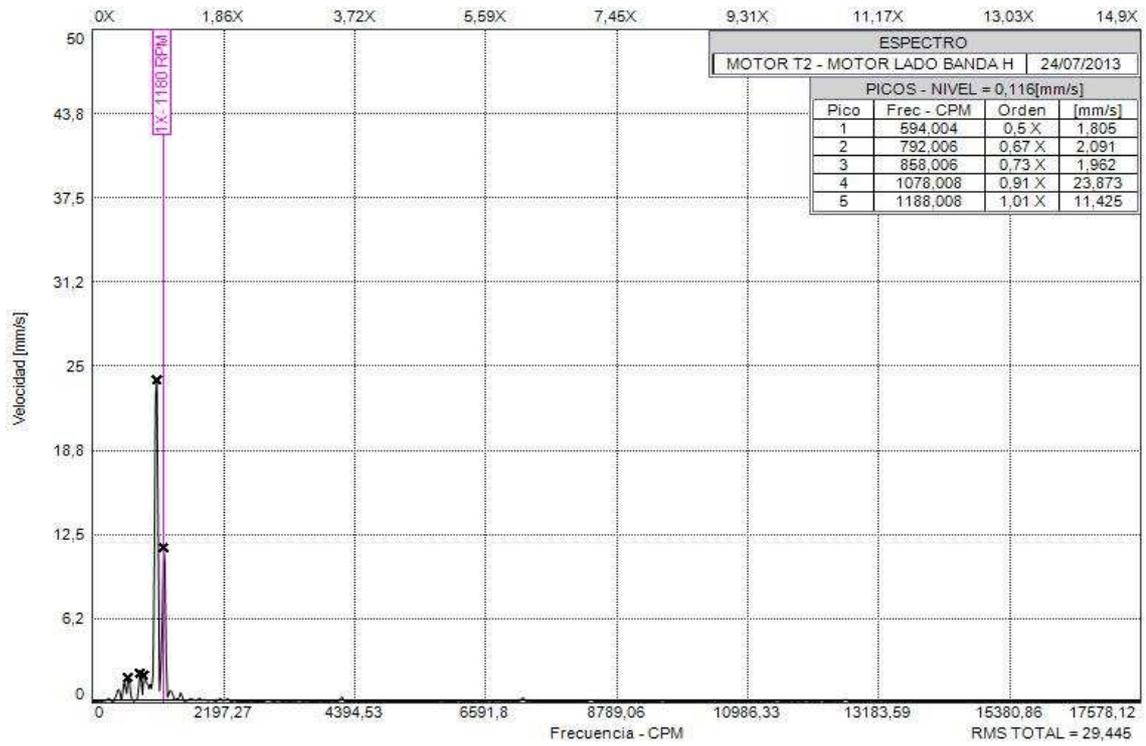
### 5.2.6.8 Espectros del Punto 8 motor T2 lado banda

Figura 136. Espectro punto 8 motor T2 lado banda vertical



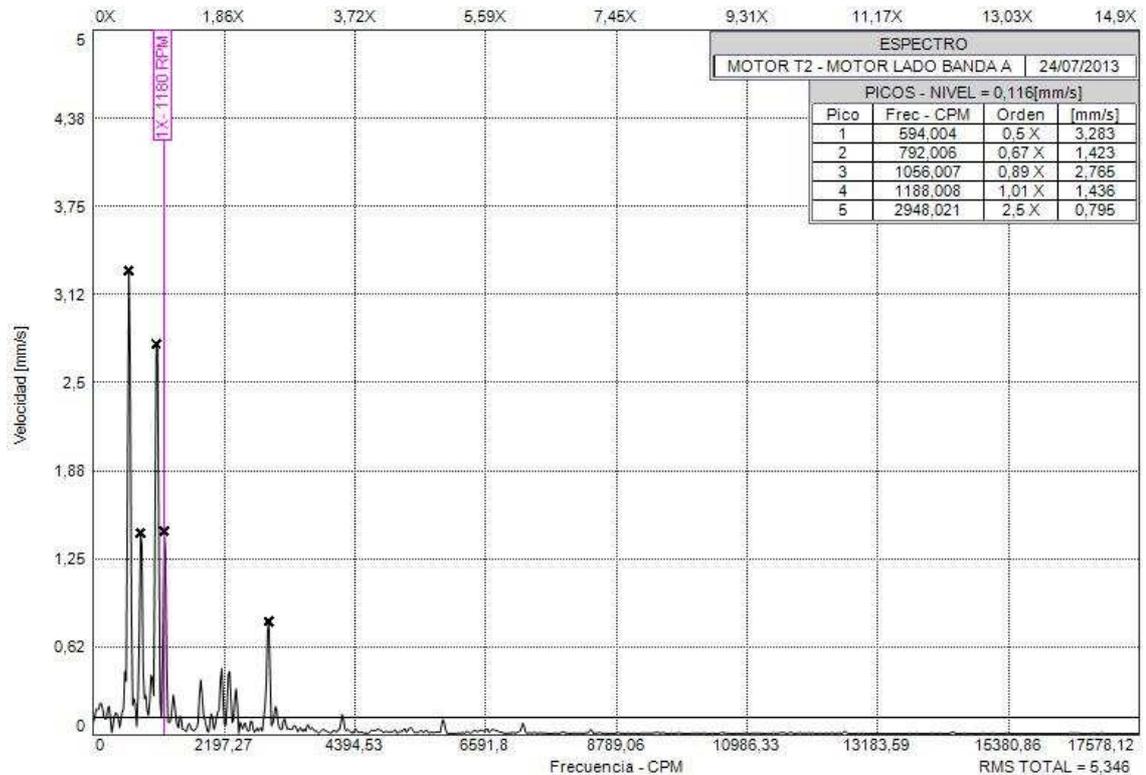
Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura137.Espectro punto 8 motor T1 lado banda horizontal



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura138.Espectro punto 8 motor T1 lado banda axial



Fuente: Software MAINTraq Predictive

**ANÁLISIS.** En el análisis del modo de falla se presentan armónicos no sincrónicos y se caracteriza por ser múltiplo de B.

La componente vertical presenta un armónico 1B de 9,9 Hz correspondiente a la frecuencia de rotación de la banda  $f = (\pi * d * N)/L$ , con un valor pico de 5,763 mm/s y un armónico 2B a una frecuencia de 19,9 Hz que coincide a la frecuencia del motor. La componente horizontal presenta un pico síncrono de 11,185 mm/s acompañado de leves sub-armónicos menores de 1X pero con valores elevados de 23,873 mm/s. La componente axial presenta un armónico 1B con valor de pico de 3,283 mm/s a una frecuencia de 9,9 Hz; además, hay un armónico 2B a una frecuencia de 19,9 Hz con un valor pico de 1,278 mm/s con presencia de una serie de sub-armónicos antes de 1X.

En este punto se puede notar que el plano predominante es el horizontal ya que en relación a los otros planos marcan valores superiores.

**DIAGNÓSTICO.** La presencia de los múltiplos de frecuencia de banda B y los valores alcanzados se determina un problema de bandas.

Además se determina que existe holgura de base debido a que se evidenciaba una vibración que no concordaba con su régimen de trabajo.

**RECOMENDACIONES.** Planificar tarea de mantenimiento para el cambio de bandas, calibrar regularmente y realizar inspecciones para revisar la tensión y el estado de las mismas.

Para contrarrestar el problema de holgura de base se debe comprobar primeramente que el torque en los pernos de anclaje sea el adecuado, luego verificar el estado de los pernos de anclaje y también realizar tareas de mantenimiento en la estructura donde se encuentra montada la máquina para de esta manera lograr una mayor firmeza y estabilidad del motor.

### 5.2.6.9 Tendencias del Punto 21 cilindro C2-G lado polea

Figura 139. Tendencias en velocidad del punto 21, cilindro C2-G lado polea



Fuente: Software MAINTraq Predictive

A continuación se muestra una tabla con las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar cómo se sigue evolucionando el problema.

Tabla 39. Interpretación de valores en velocidad RMS C2-G lado polea de MDDL 01

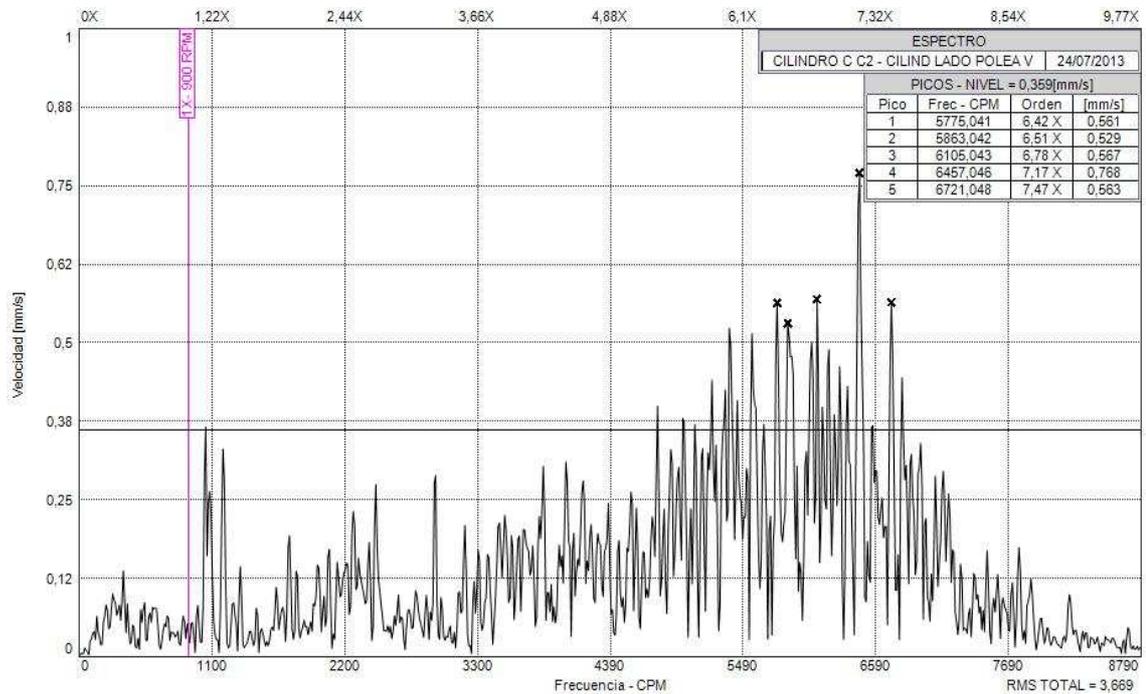
		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Aceleración RMS (g)	Vertical	3,008	3,776	5,854
	Horizontal	5,204	8,767	4,073
	Axial	-	-	-

Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias del punto 21 el nivel de vibración global en la segunda medición sufre una variación considerable en el sentido horizontal y en la tercera medición hay una lectura menor, en el sentido horizontal hay un desarrollo de las lecturas ya que muestran un incremento moderado, se considera que un modo de falla está presente en función al valor alcanzado.

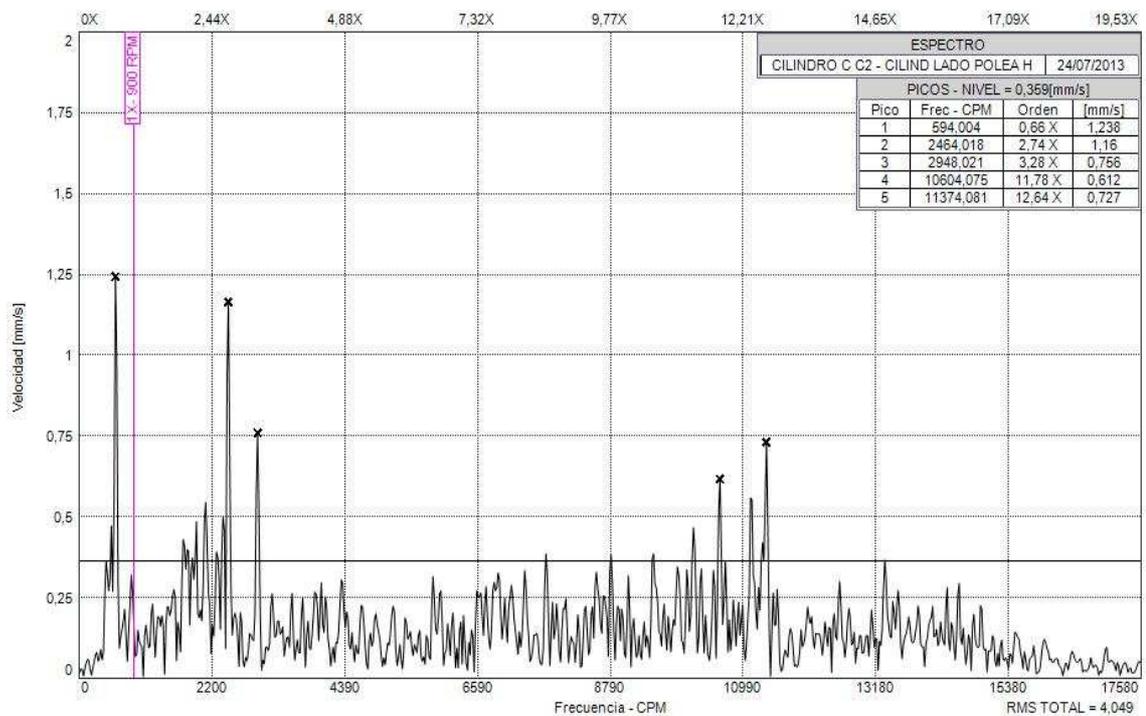
### 5.2.6.10 Espectros del Punto 21 cilindro C2-G lado polea

Figura 140. Espectro de velocidad del punto 21, cilindro C2-G lado polea vertical



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura 141. Espectro de velocidad del punto 21, cilindro C2-G lado polea horizontal

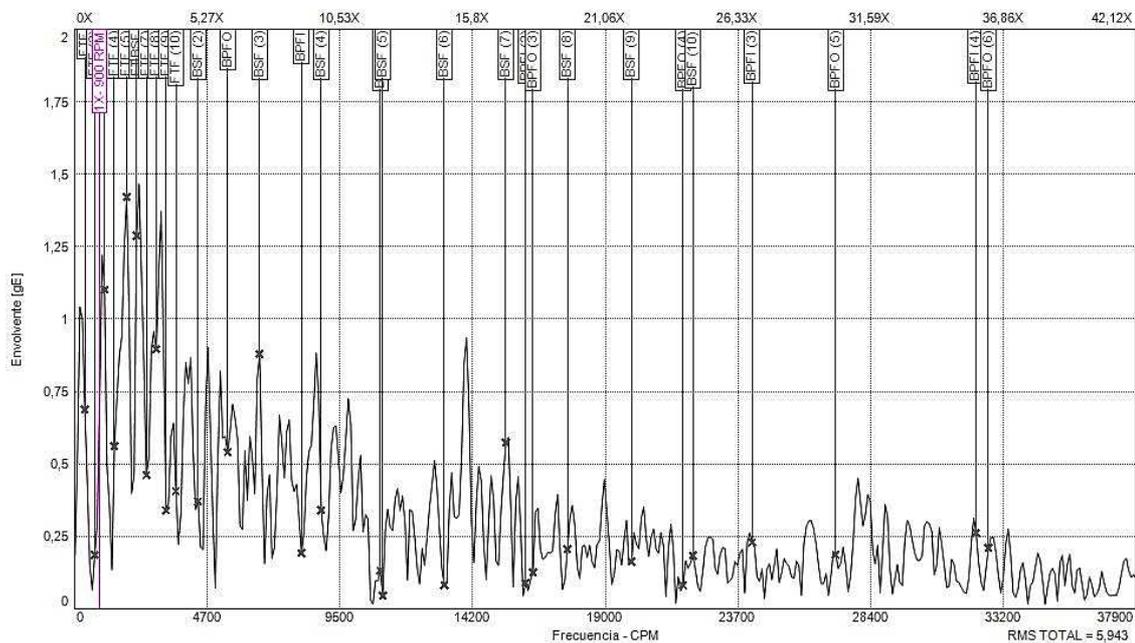


Fuente: Software MAINTraQ Predictive

**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se puede observar armónicos no síncronos, la componente 1XV con un valor pico de 0,768 mm/s, la componente 1XH con un valor de pico de 1, 238 mm/s.

Los armónicos no síncronos son evidentes en un rango desde 2X hasta 7X, todo ello acompañado por bandas laterales y ruido en el sentido horizontal y vertical, por la característica de los espectros se analizará la variable de envolvente para mejor apreciación del problema.

Figura 142. Espectro de envolvente punto 21, cilindroC2-G lado polea vertical



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

**ANÁLISIS.** Según lo expuesto se procede a activar la función automática de búsqueda de frecuencias de fallas en rodamientos donde se puede observar lo siguiente:

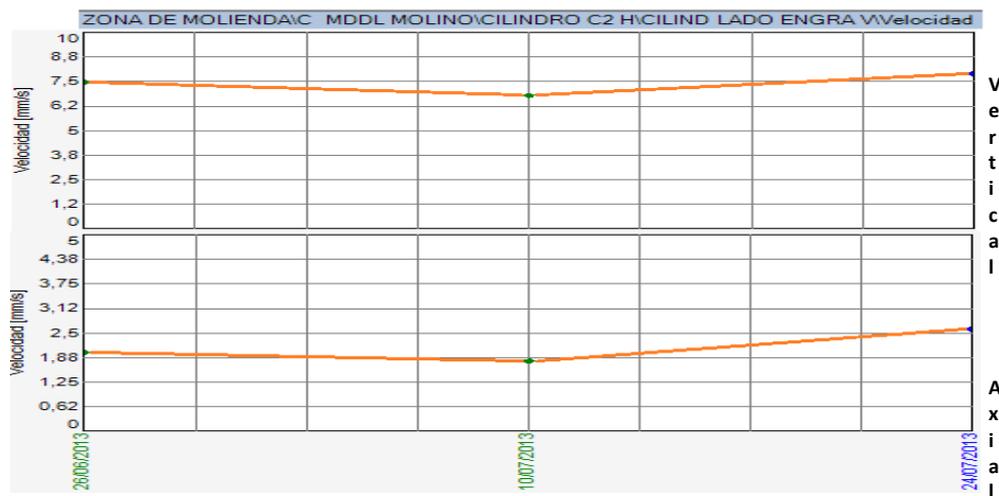
La presencia de frecuencia BSF falla de efecto de los elementos rodantes, frecuencia BRFI falla de la pista interna del rodamiento y la presencia de frecuencia BSFO falla de pista externa acompañado por múltiples armónicos con valores relativamente bajos con lo cual nos indica el inicio de posibles problemas en los componentes del rodamiento.

**DIAGNÓSTICO.** Se determina que existe problema en rodamientos, por medio de análisis en el espectro de velocidad existe falla en los elementos rodantes y analizando el espectro de envolvente se determina que está en la ETAPA TRES de daño.

**RECOMENDACIONES.** Teniendo en cuenta el problema determinado se debe realizar un cambio de rodamiento, independientemente de las amplitudes de frecuencia defectuosas del rodamiento en los espectros de vibración.

**5.2.6.11 Tendencias de velocidad del punto 23 cilindro C2-H lado engranaje**

Figura 143. Tendencias de velocidad punto 23, cilindro C2-H lado engranaje (vertical y axial)



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se presenta una tabla que indica las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar de qué manera se sigue desarrollando el problema.

Tabla 40. Interpretación de valores en velocidad RMS C2-H lado engranaje de MDDL

		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Velocidad RMS(mm/s)	Vertical	7,429	6,737	7,841
	Horizontal	-	-	-
	Axial	1,984	1,759	2,573

Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias del punto 23 el nivel de vibración global no sufre una variación considerable en el sentido axial, en cambio en el sentido vertical hay un valor alto que varía levemente durante las tres mediciones, se considera en estado de gravedad por la magnitud del mismo.

5.2.6.12 Tendencias de envolvente del Punto 23 cilindro C2-H lado engranaje

Figura 144. Tendencias en envolvente del punto 23, cilindro C2-H lado engranaje



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se muestra una tabla con las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar cómo se sigue evolucionando el problema.

Tabla 41. Interpretación de valores en envolvente RMS C2-H lado engranaje de MDDL

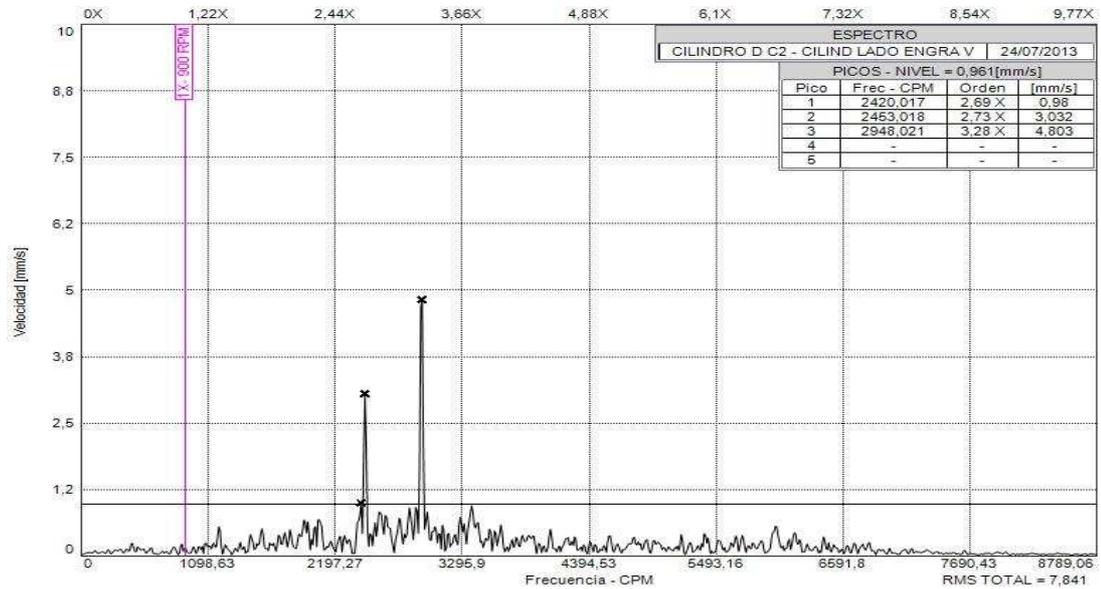
		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Envolvente RMS (g)	Vertical	1,681	1,45	4,515
	Horizontal	-	-	-
	Axial	1,026	1,354	1,757

Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias del punto 23 el nivel de vibración global sufre una variación que inicia con valores de régimen de trabajo es decir son normales de una máquina en funcionamiento y a partir de ello presenta un desarrollo paulatino en los sentidos axial y vertical, pero más pronunciado en la tercera medición, se considera en estado de gravedad debido a los valores relativamente elevados en el sentido vertical.

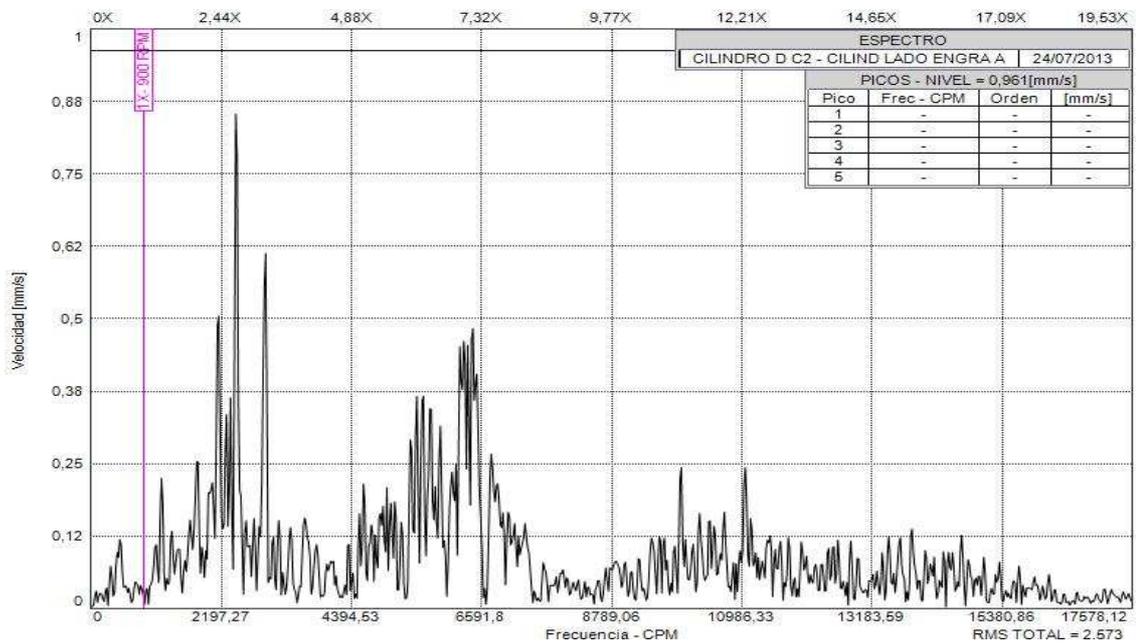
### 5.2.6.13 Espectros del punto 23 cilindro C2 H lado engranaje

Figura 145. Espectro de velocidad del punto 23, cilindro C2-H lado engrane vertical



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura 146. Espectro de velocidad del punto 23, cilindro C2-H lado engrane axial

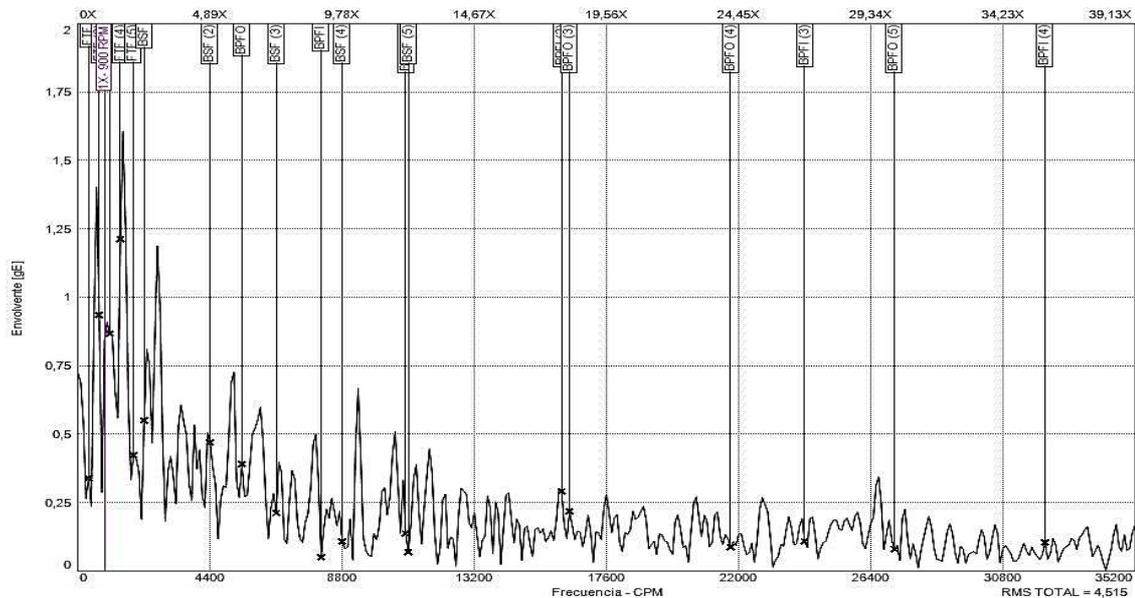


Fuente: Software MAINTraQ Predictive

**ANÁLISIS.** Los armónicos no sincrónicos son evidentes en un rango desde 1,5X hasta 3X, todo ello acompañado por bandas laterales y ruido. En este punto se puede notar que el plano predominante es el vertical, ya que el axial tiene presente en su mayoría bandas

laterales de valores bajos; además, se tiene armónicos no síncronos después de 1X en los dos sentido. Según lo expuesto se procede a activar la función automática de búsqueda de frecuencias de fallas en rodamientos y se procede al análisis. A continuación se analizará el espectro de envolvente para una mejor apreciación del problema.

Figura 147. Espectro de envolvente punto 23, cilindro C2-H lado libre vertical



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

**ANÁLISIS.** Existen múltiples armónicos con valores relativamente bajos indicarán que un hay indicios de que en un futuro pueda aparecer problemas en los componentes del rodamiento, no se observa la presencia de frecuencia de falla de los elementos del rodamiento sin embargo se aprecia sonido de rodamiento y tiene bandas laterales angostas.

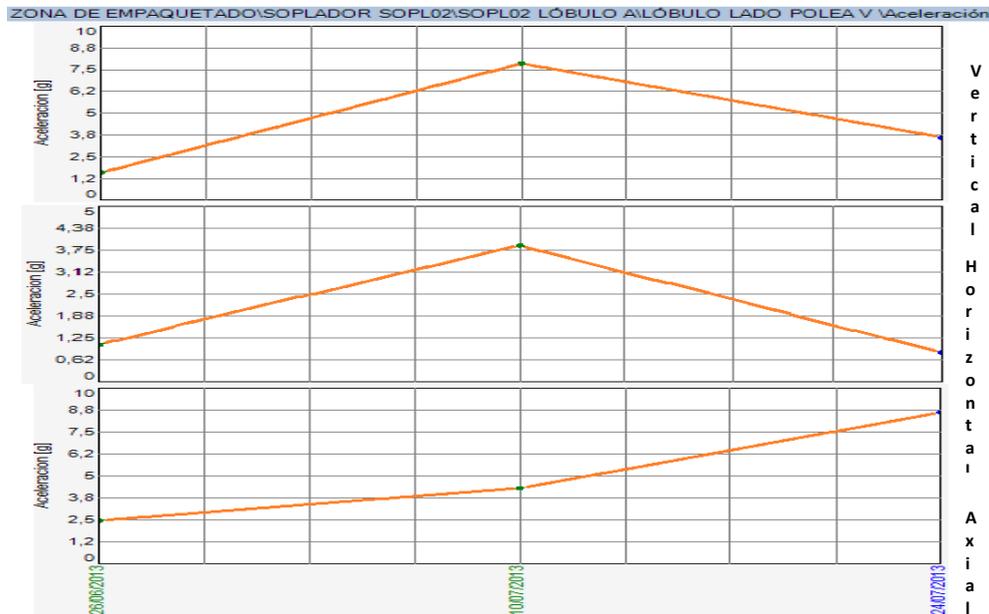
**DIAGNÓSTICO.** Se determina que existe problema en rodamientos, por medio de análisis en el espectro de velocidad existe falla en los elementos rodantes defectuosos y analizando el espectro de aceleración se determina que está en la ETAPA UNO de daño.

**RECOMENDACIONES.** Planificar tareas de mantenimiento para cambio de rodamiento, independientemente de las amplitudes de frecuencia defectuosas del rodamiento en los espectros de vibración.

## 5.2.7 Tendencia y espectros obtenidos en el soplante neumático SOPL 02

### 5.2.7.1 Tendencias del Punto 3 Lóbulo “A” Lado Polea

Figura 148. Tendencias en aceleración del punto 3, lóbulo “A” lado polea



Fuente: Software MAINTraq Predictive

A continuación se presenta una tabla que muestra las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar cómo se sigue desarrollando el problema.

Tabla 42. Interpretación de valores en velocidad RMS lóbulo A lado polea de SOPL 02

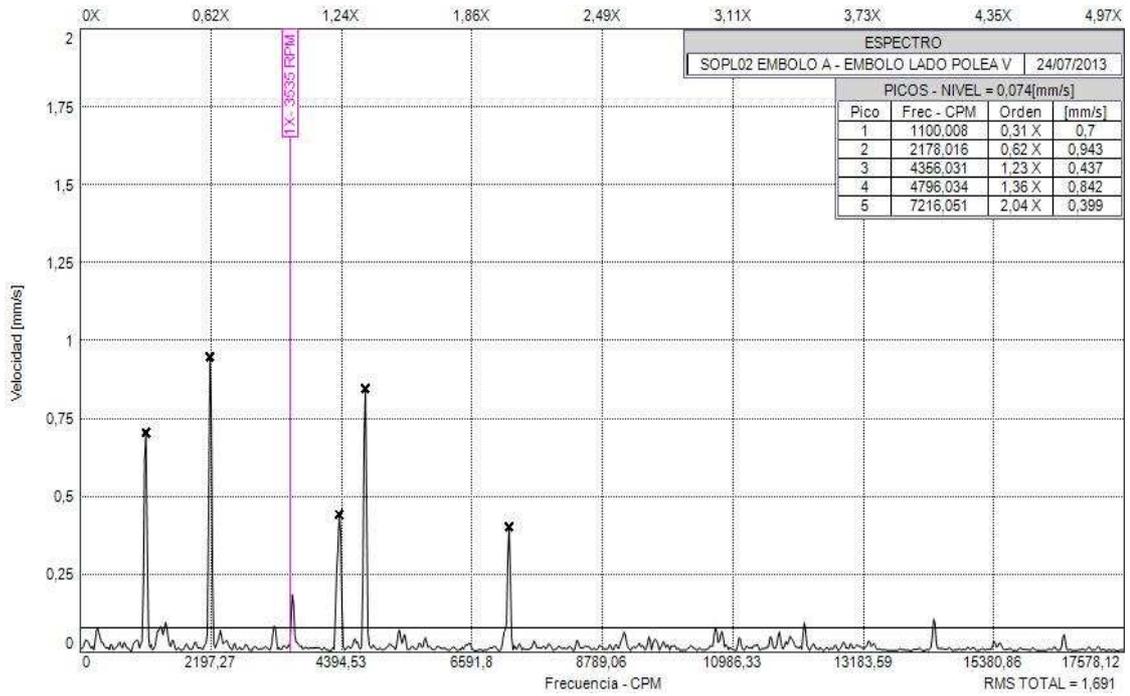
		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Aceleración RMS (g)	Vertical	1,549	7,809	3,528
	Horizontal	1,04	3,861	0,81
	Axial	2,43	4,26	8,572

Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias en el punto 3 el nivel de vibración global sufre una variación considerable en los sentidos vertical, horizontal y axial durante la segunda medición. En la tercera medición aunque se nota una disminución en el sentido vertical y horizontal muestra un incremento considerablemente en el sentido axial motivo suficiente para que se lo considere en estado de gravedad debido a los valores alcanzados. En cuanto a los valores que presentan decremento se los justifica por la ejecución de tareas de mantenimiento (Ver anexo C).

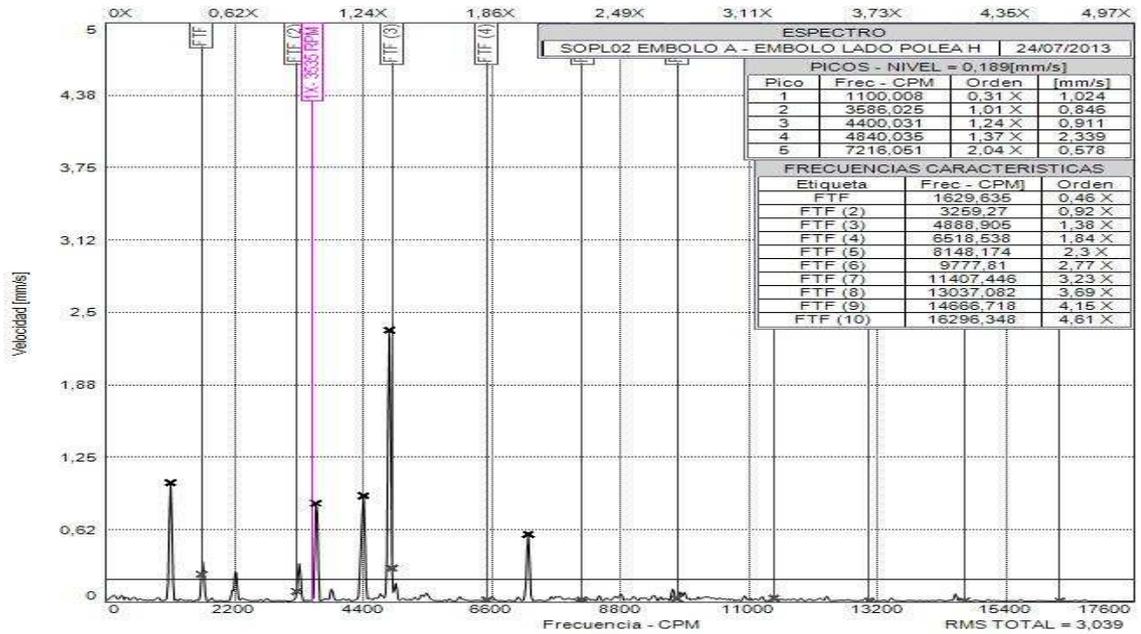
5.2.7.2 Espectros de velocidad del Punto 3lóbulo “A” lado polea

Figura 149. Espectro de velocidad del punto 3, lóbulo “A” lado polea vertical



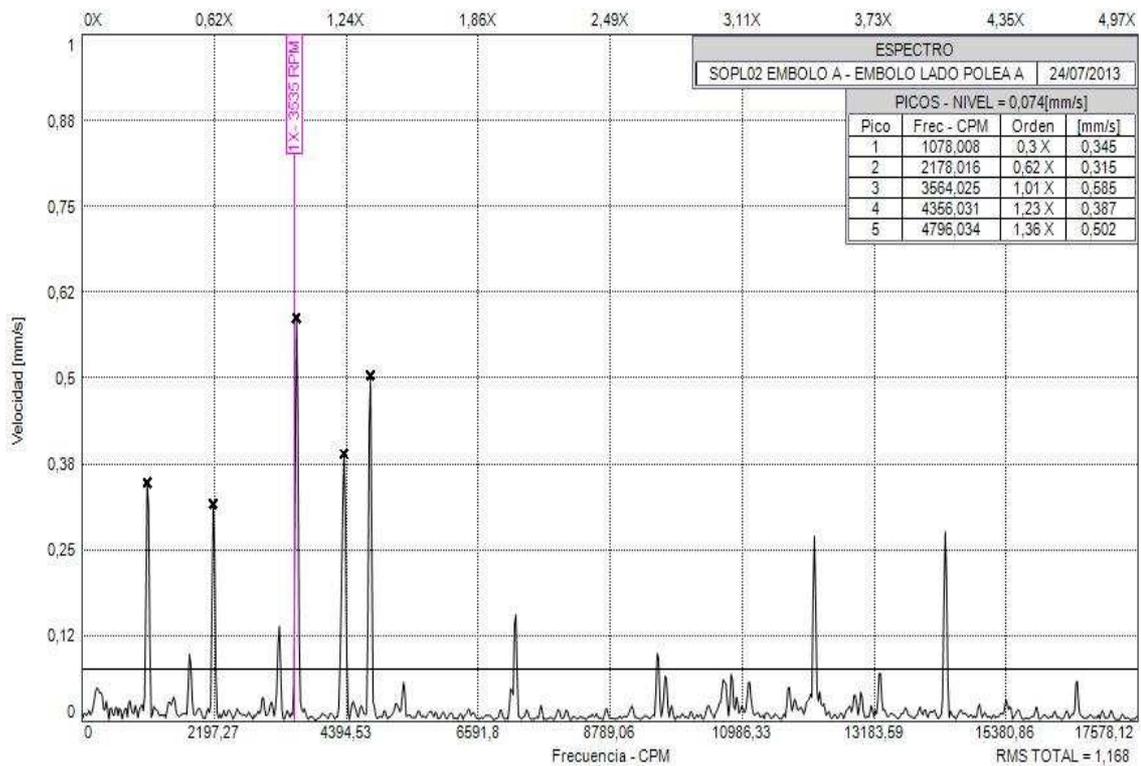
Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura150. Espectro de velocidad del punto 3, lóbulo “A” lado polea horizontal



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura151.Espectro de velocidad del punto 3, lóbulo “A” lado polea axial



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

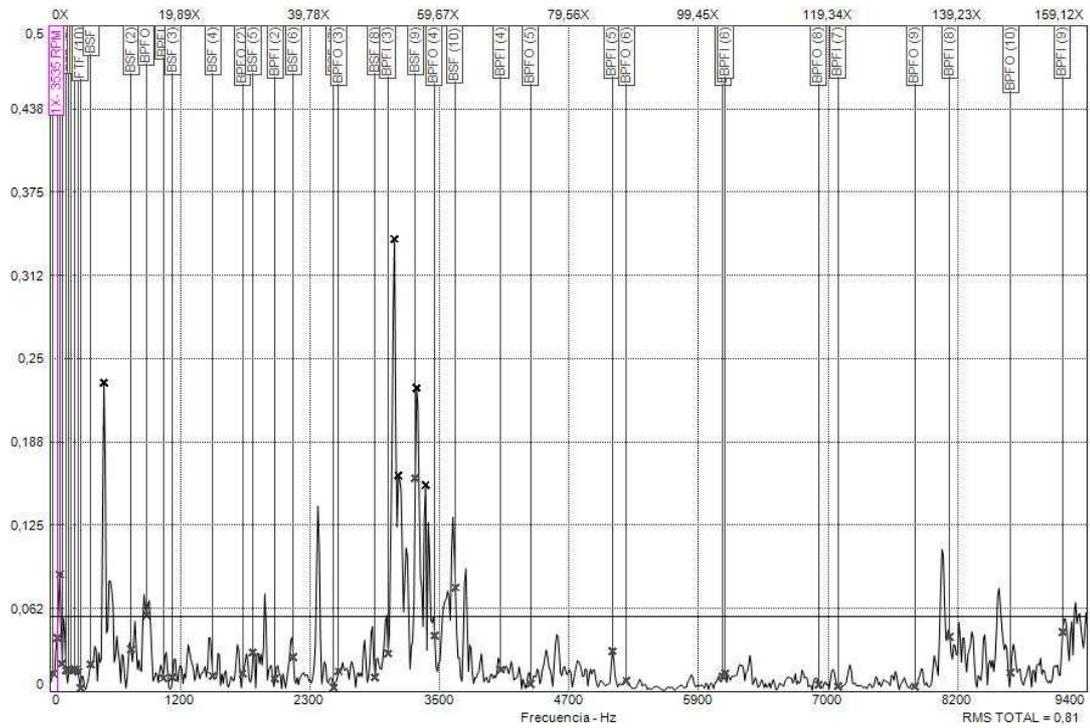
**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se observa armónicos no síncronos, la componente 1XV con un valor pico de 0,943 mm/s, la componente 1XH con un valor de pico de 0,858 mm/s.

Los armónicos no síncronos son evidentes en el rango desde 0,3X hasta 2X, todo ello acompañado por bandas laterales en el sentido horizontal, por la característica de los espectros se analizará el espectro de aceleración para mejor apreciación del problema aunque los valores son relativamente bajos, el análisis va en función a la característica de los espectros ya que se muestra evidentemente un patrón para rodamientos.

Según lo expuesto se procede a activar la función automática de búsqueda de frecuencias de fallas en rodamientos y se procede al análisis.

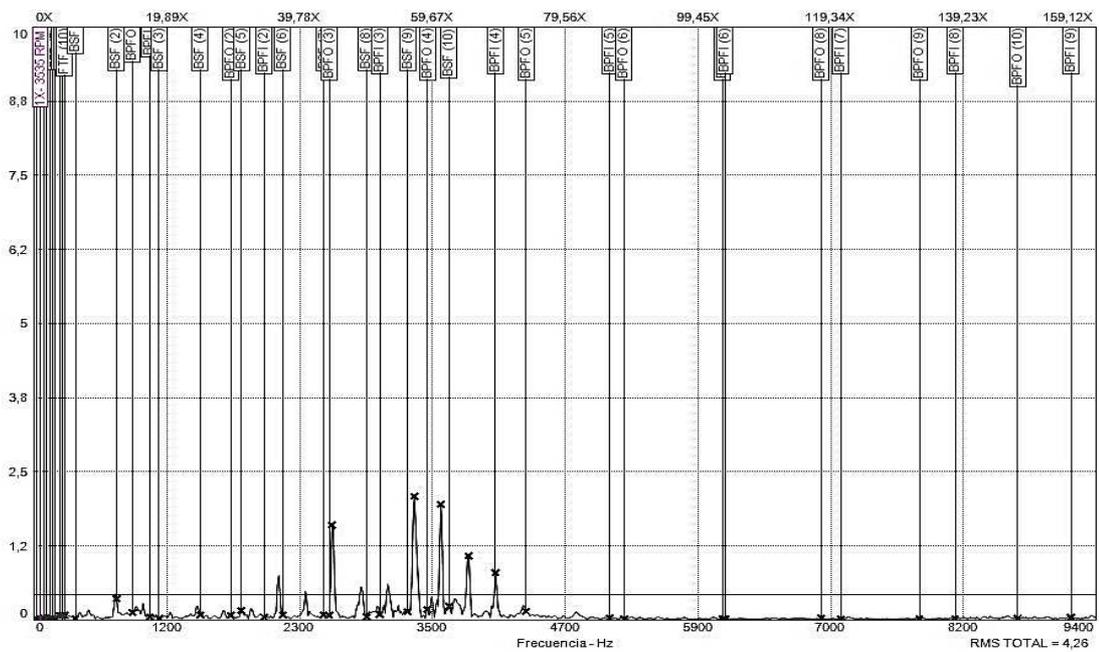
5.2.7.3 Espectros de envolvente del punto 3 lóbulo "A" lado polea

Figura 152. Espectro de envolvente punto 3, lóbulo "A" lado polea vertical



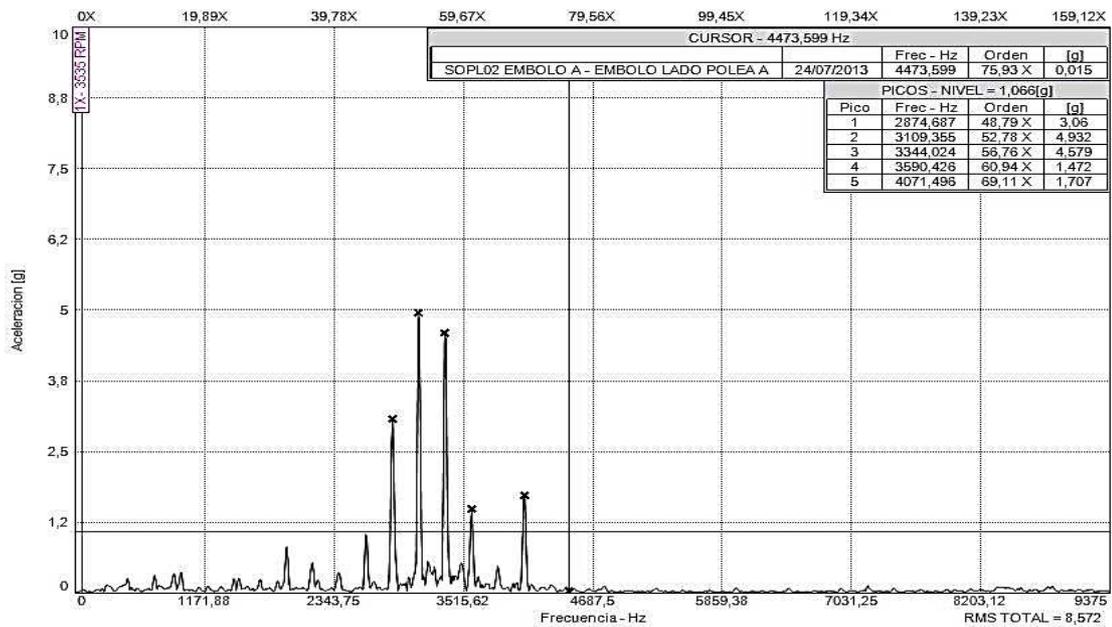
Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura 153. Espectro de envolvente punto 3, lóbulo "A" lado polea horizontal



Fuente: Software MAINTraq Predictive

Figura 154. Espectro de aceleración punto 3, lóbulo "A" lado polea axial



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

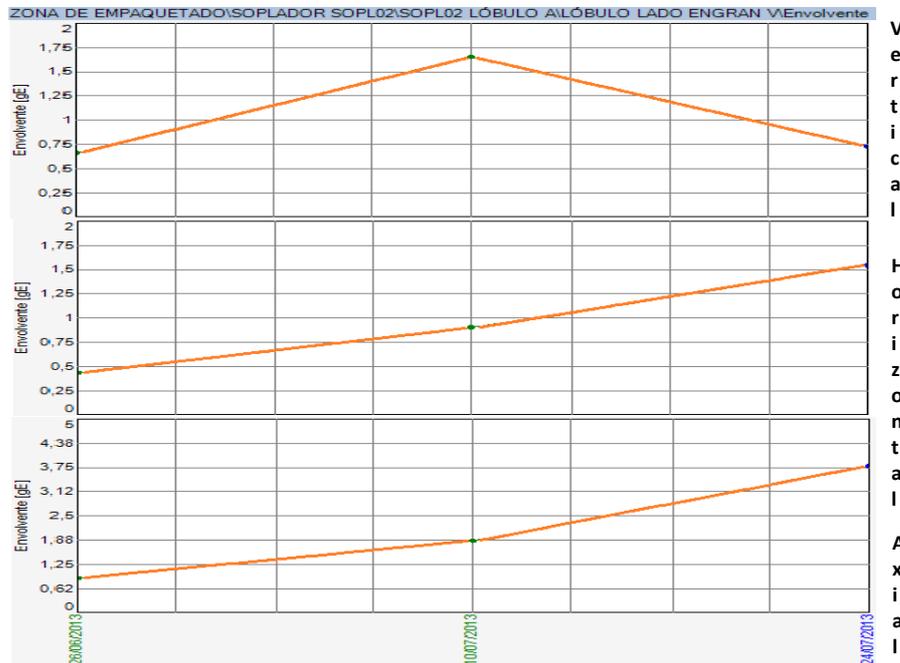
**ANÁLISIS.** La presencia de frecuencia BSFO falla de pista externa acompañado por múltiples armónicos de valores bajos; además, la repetición de la frecuencia BSFI de falla de pista interna en el sentido vertical del espectro de envolvente evidencian un problema en los componentes del rodamiento, debido a la presencia de sonidos de rodamiento y tiene bandas laterales angostas presentes en el sentido horizontal; también mediante el monitoreo se pudo observar que a medida que el desgaste progresa aparecen más armónicos de la frecuencia de defecto, es por eso que se pudo predecir el mal estado de un rodamiento en la polea conducida del soplador; además, en la figura 154 espectro de aceleración de puede observar la frecuencia natural del rodamiento ya que está en el rango de altas frecuencias.

**DIAGNÓSTICO.** Se determina que existe problema en rodamientos, por medio de análisis en el espectro de velocidad existe falla en los elementos rodantes defectuosos y analizando el espectro de envolvente se determina que está en la ETAPA TRES de daño.

**RECOMENDACIONES.** Planificar tareas de mantenimiento para cambio de rodamiento, de esa forma se previene las consecuencias de un posible paro imprevisto

#### 5.2.7.4 Tendencias de envolvente del punto 4 lóbulo “A” lado engranaje

Figura 155. Tendencias en envolvente del punto 4, lóbulo “A” lado engranaje



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

A continuación se muestra una tabla con las medidas obtenidas durante el monitoreo para determinar la evolución del problema.

Tabla 43. Interpretación de valores en envolvente RMS lóbulo B lado libre de SOPL 02

		26/06/2013	10/07/2013	24/07/2013
Envolvente RMS (g)	Vertical	0,652	1,645	0,718
	Horizontal		0,895	1,533
	Axial	0,874	1,837	3,769

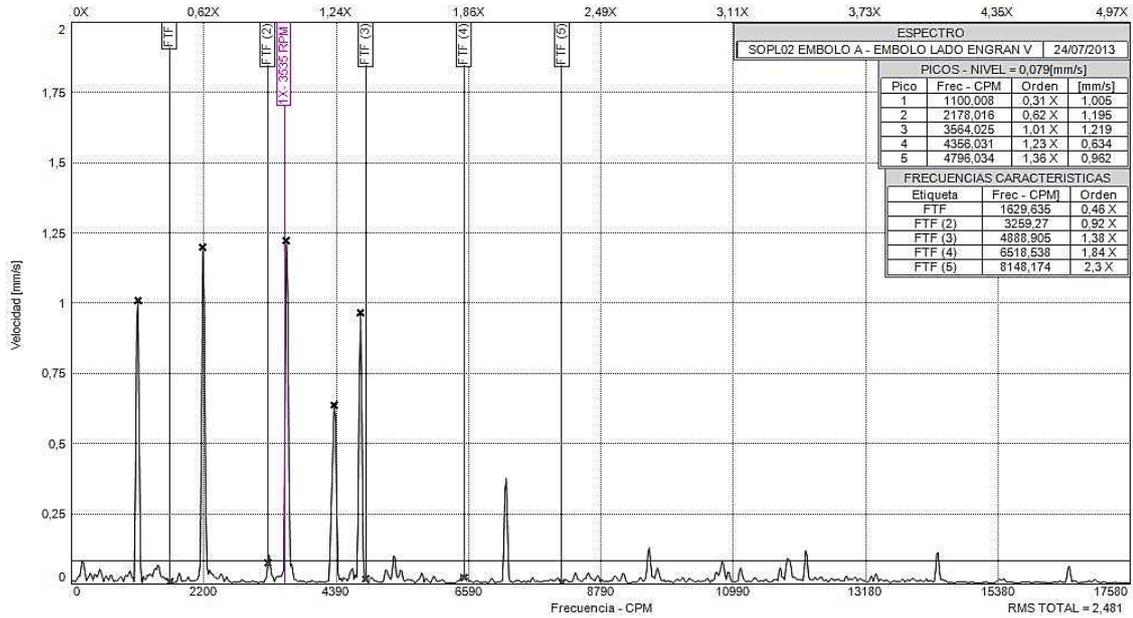
Fuente: Autores

**ANÁLISIS.** En la gráfica de tendencias en el punto 4 el nivel de vibración global sufre una variación considerable en el sentido vertical y axial durante la segunda medición.

En la tercera medición se nota una disminución en el sentido vertical por lo que se le adjudica a la ejecución de tareas de mantenimiento (Ver anexo C), mientras en el sentido axial el valor se mantiene casi constante y en el sentido horizontal muestra una leve variación. A través del monitoreo de vibraciones se pudo predecir el mal estado de un rodamiento en la polea conducida del soplador.

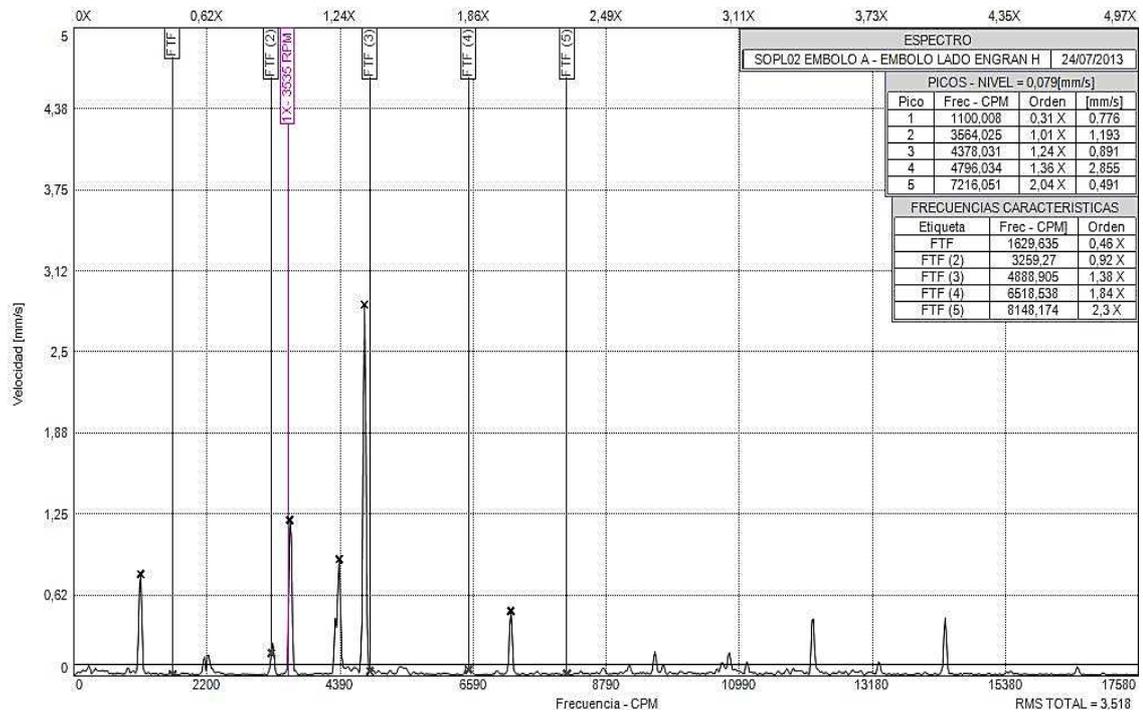
### 5.2.7.5 Espectros de velocidad del Punto 4lóbulo “A” lado engranaje

Figura 156. Espectro de velocidad del punto 4, lóbulo “A” lado engranaje vertical



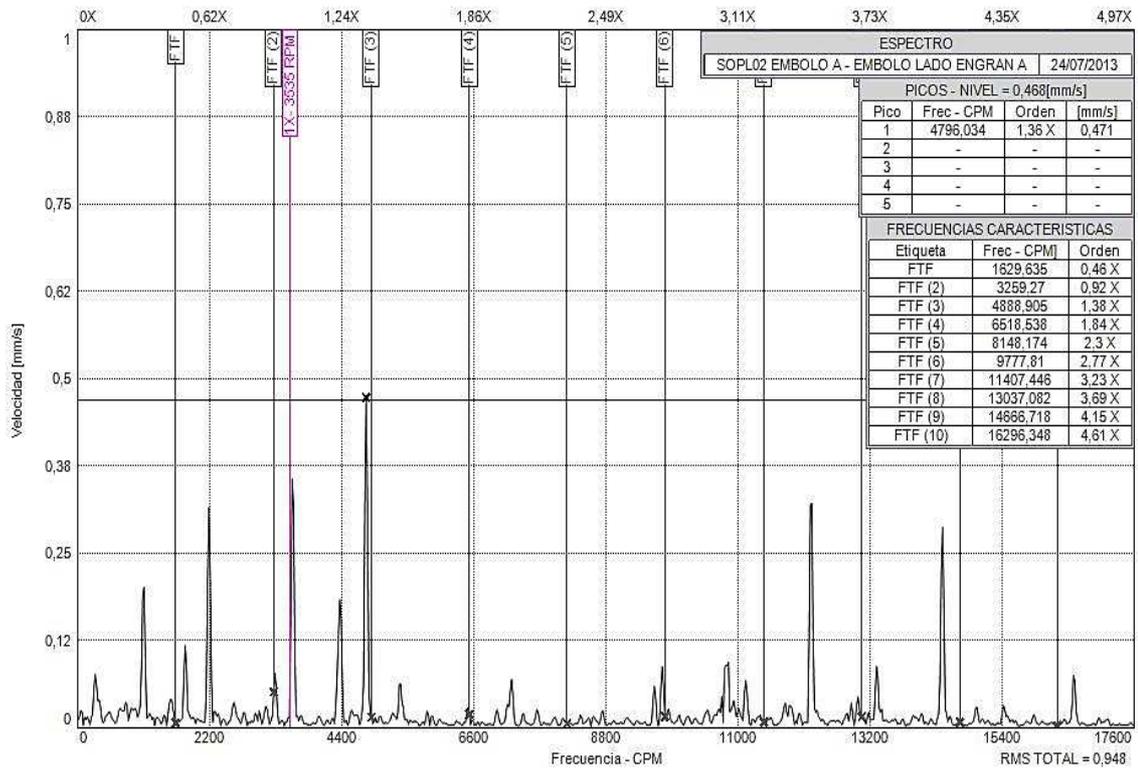
Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura 157. Espectro de velocidad del punto 4, lóbulo “A” lado engranaje horizontal



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura158.Espectro de velocidad del punto 4, lóbulo “A” lado engranajeaxial



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

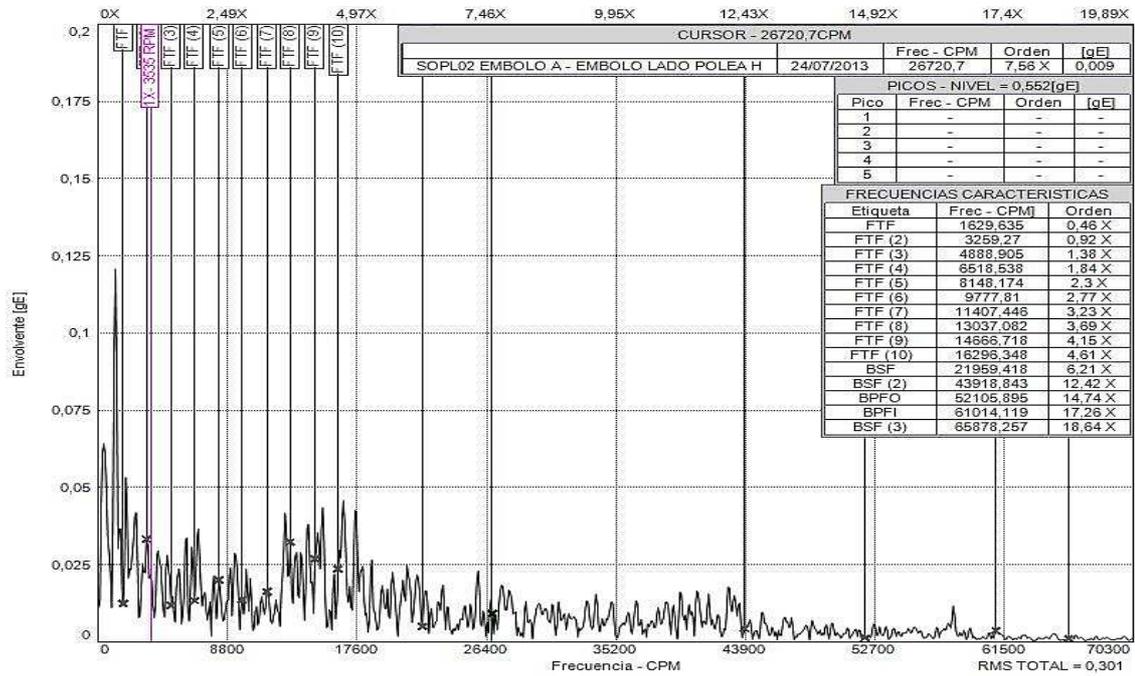
**ANÁLISIS.** Para el análisis del modo de falla se observa armónicos no síncronos, es decir la componente 1XV con un valor pico de 1,219 mm/s y la componente 1XH con un valor pico de 2,855 mm/s.

Los armónicos no síncronos son evidentes en un rango desde 0,3X hasta 2X, todo ello acompañado de ruido característico de rodamientos en el sentido horizontal, por la característica de los espectros y para mejor apreciación del problema se analizará el espectro de envolvente ya que en este resulta ser más evidentemente el modelo característico para problemas en rodamientos.

Según lo expuesto se procede a activar la función automática de búsqueda de frecuencias de fallas en rodamientos y se procede al análisis siguiente.

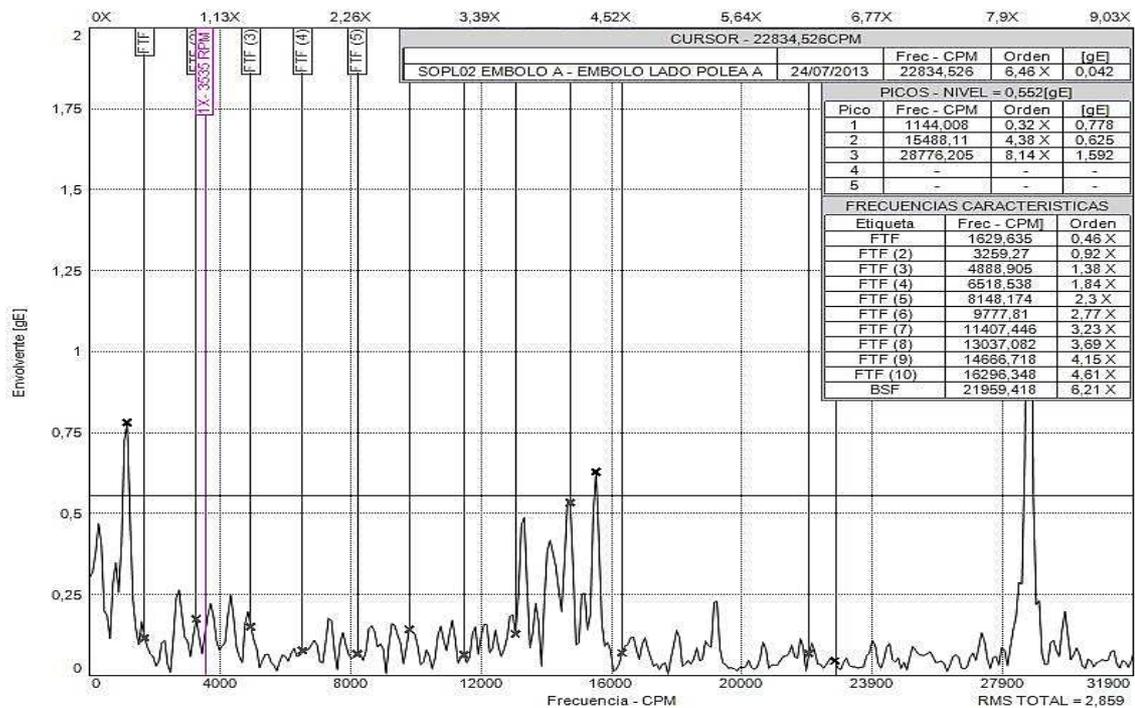
5.2.7.6 Espectros de envolvente del punto 4 lóbulo "A" lado engranaje

Figura 159. Espectro de envolvente punto 4, lóbulo "A" lado engranaje vertical



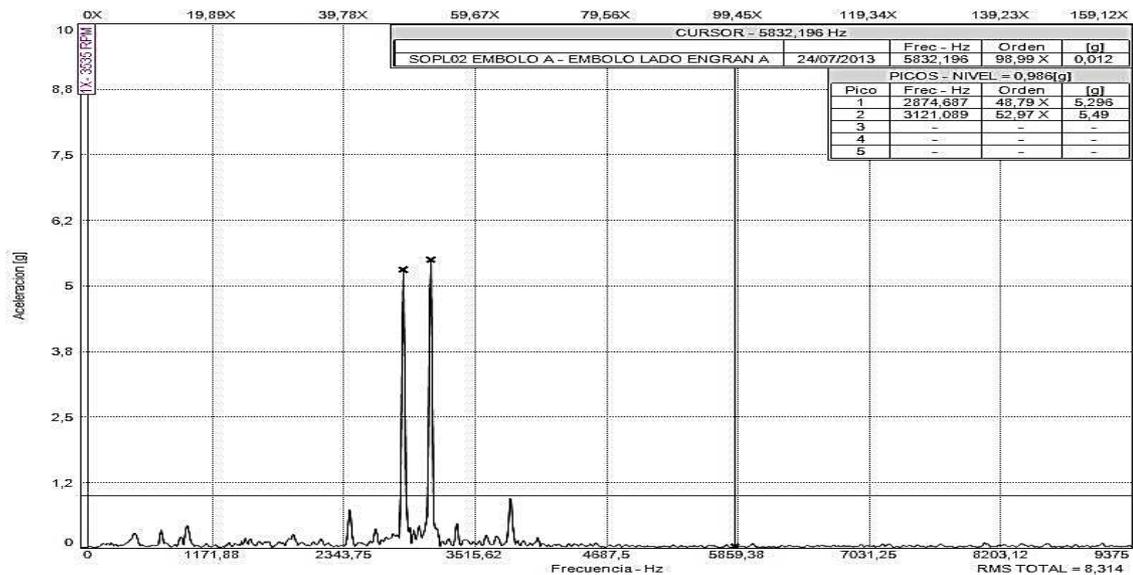
Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura 160. Espectro de envolvente punto 4, lóbulo "A" lado engranaje horizontal



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

Figura 161. Espectro de aceleración punto 4, lóbulo "A" lado engranaje axial



Fuente: Software MAINTraQ Predictive

**ANÁLISIS.** La presencia de frecuencia BSFO falla de pista externa acompañado por múltiples armónicos con valores relativamente bajos; además, la repetición de la frecuencia BSFI de falla de pista interna en el sentido vertical indica el problema en los componentes del rodamiento, debido a que se observa ruido de rodamiento y tiene bandas laterales angostas presentes en el sentido horizontal, también mediante el monitoreo se pudo observar que a medida el desgaste progresa aparecen más armónicas de frecuencia de defecto; además, como se observa en la figura 161 espectro de aceleración se observa la presencia de la frecuencia natural del rodamiento, y la característica es que esta en un rango de altas frecuencias.

**DIAGNÓSTICO.** Se determina que existe problema en rodamientos, por medio de análisis en el espectro de velocidad existe falla de la pista interna y analizando el espectro de envoltente se determina que está en la ETAPA TRES de daño.

**RECOMENDACIONES.** Planificar tareas de mantenimiento para cambio de rodamiento, de esa forma se previene las consecuencias de un posible paro imprevisto; además, revisar si existen cargas excesivas y constatar que tenga un régimen de lubricación adecuada, también inspeccionar que las tolerancias de los elementos sean

las especificadas por el fabricante.

### 5.3 Elaboración y emisión de informes

Secuencialmente al análisis realizado se procede a la confección de los informes respectivos, para lo cual tendremos que determinar bajo que parámetros se lo evalúa y que condición se le asigna a cada una de las máquinas que presentaron problemas.

#### 5.3.1 Partes del informe

- Descripción y nombre del equipo.
- Esquema del equipo analizado.
- Valores de vibración en puntos de control del equipo.
- Diagnóstico.

Son las prioridades de mantenimiento que se deben tomar en cada uno de los equipos, se ha clasificado a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 44. Evaluación de niveles de vibración

NIVELES DE VIBRACIÓN		
RANGO (mm/s)	NIVEL DE EVALUACIÓN	DESIGNACIÓN
0,11 a 1,8	<b>BUENO</b>	<b>N1</b>
1,8 a 4,5	<b>ADMISIBLE</b>	<b>N2</b>
4,5 a 11	<b>TOLERABLE</b>	<b>N3</b>
11 en adelante	<b>INADMISIBLE</b>	<b>N4</b>

Fuente: Autores

En la tabla se detalla el rango de los valores y el nivel de evaluación que se le asigna a cada uno, para una mejor apreciación de la condición de la máquina dando así una nomenclatura fácil de identificar y tomar las acciones pertinentes dependiendo del caso.

Tabla 45. Evaluación de atención requerida

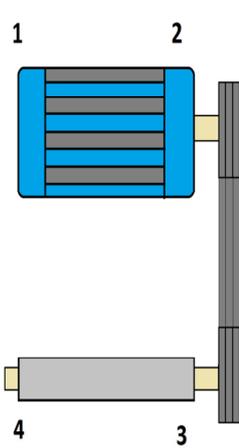
ATENCIÓN RECOMENDADA	
<b>A</b>	<b>URGENTE</b>
<b>B</b>	<b>PROGRAMAR TAREAS DE MANTTO.</b>
<b>C</b>	<b>MONITOREO CONTINUO</b>
<b>D</b>	<b>NINGUNA</b>

Fuente: Autores

En la tabla se enmarca la atención que se les debe dar a los equipos tomando en cuenta que tiene distintos niveles dependiendo de la gravedad del problema.

*Recomendación.* Son las sugerencias que se propone realizar a los equipos en donde se encontraron problemas con respecto a los niveles de vibración.

Tabla 46. Modelo de informe de análisis vibracional

		<b>INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS VIBREACIONAL DE LA PLANTA MODERNA ALIMENTO S.A</b>			Código: DOC-01		
					Versión: 1		
					Fecha elaboración: 01-07-2013		
					Fecha modificación: 01-07-2013		
ELABORA:		Inspeccionado por:	Analizado por	Aprueba:	FECHA MONITOREO:		
Daniel Cholango & Jairo Santos		Daniel Cholango & Jairo Santos	Daniel Cholango & Jairo Santos	Ing. Manuel Morocho	INICIO	26/06/2013	
					FINAL	24/07/2013	
Equipo	CEPILLADORA MKLA01		Valores de medición				
Área	MOLIENDA		PUNTO		Aceleración (g)	Velocidad mm/s)	Envolvente (g)
MOTOR	NIVELES DE VIBRACIONES	<b>N3</b>	1V	MOTOR LADO LIBRE V	0,136	7,114	0,02
			1H	MOTOR LADO LIBRE H	0,084	1,726	0,025
			1A	MOTOR LADO LIBRE A	0,142	3,856	0,01
	ATENCION RECOMENDADA	<b>B</b>	2V	MOTOR LADO POLEA V	0,126	2,357	0,021
			2H	MOTOR LADO POLEA H	0,086	1,627	0,023
			2A	MOTOR LADO POLEA A	0,15	3,925	0,012
CILINDRO	NIVELES DE VIBRACIONES	<b>N3</b>	3V	CILINDRO LADO POLEA V	0,152	0,975	0,047
			3H	CILINDRO LADO POLEA H	0,109	3,147	0,024
			3A	CILINDRO LADO POLEA A	---	---	---
	ATENCION RECOMENDADA	<b>B</b>	4V	CILINDRO LADO LIBRE V	0,131	2,889	0,047
			4H	CILINDRO LADO LIBRE H	0,133	7,106	0,052
			4A	CILINDRO LADO LIBRE A	0,168	1,409	0,068
ESQUEMA		DIAGNÓSTICO		RECOMENDACIÓN			
		<b>Punto 1</b> los valores de medicion esta en un rango tolerable y presenta desbalanceo		Realizar un balanceo del eje y ajustar los pernos de anclaje			
		<b>Punto 2</b> Presenta valores dentro del rango del admisible		Monitoreo continuo con tareas de mantenimiento predictivo			
		<b>Punto 3</b> Presenta valores dentro del rango del admisible		Monitoreo continuo con tareas de mantenimiento predictivo			
		<b>Punto 4</b> por la característica del modelo del espectro existe problema en los rodamiento y esta informacion se corrobora por la elevada temperatura en este punto		Programar tareas de mantenimiento para cambio de rodamientos antes que afecte a componentes adyacentes.			

Fuente: Autores

#### **5.4 Ventajas de utilizar el análisis de vibraciones.**

La aplicación correcta de ésta técnica permite además de asegurar continuidad de funcionamiento confiable de los equipos, una disminución sustancial de los costos de mantenimiento por las siguientes razones:

1) Eliminación de averías.- La rotura de un equipo, puede traer como consecuencia daños importantes. En caso de motores eléctricos la reparación puede resultar de un costo aproximado al 60% del valor del equipo nuevo.

2) Planificación de reparación.- El planificar una reparación permite realizarla en el momento adecuado, con la previsión de repuestos, recursos humanos, procedimientos óptimos, entre otros.

3) Verificación de la puesta en marcha.- Esto nos permite lograr que luego de la reparación el equipo quede en buenas condiciones de montaje. Es muy importante la verificación del estado vibratorio con que quedará funcionando.

Resolver problemas en el arranque contribuirá a aumentar la vida útil.

4) Seguimiento de evolución.- Si además de montarlo correctamente y verificarlo, seguimos el comportamiento de la lubricación y logramos que ésta sea eficiente, no hay ninguna duda que los resultados serán relevantes: *conoceremos cuál es la mayor vida útil posible.*

5) Minimizar las tareas de Mantenimiento Preventivo.- Aquí hay que tener en cuenta: “lo que anda bien no se toca”, muchas veces sucede que un equipo que funciona correctamente, luego de un desarme por preventivo arranca con anomalías que obligan a otra intervención.

6) Control e historial de las vibraciones.- Nos permitirá evaluar las sollicitaciones mecánicas a que un equipo está sujeto, permitiendo a partir de datos concretos efectuar mejoras en el diseño.

## 5.5 Indicadores de mantenimiento actualizados

Debido a políticas de la empresa, los indicadores que se ha podido calcular con la información proporcionada por Moderna Alimentos S.A son básicamente indicadores técnicos, los mismos permitirán ver el comportamiento operacional de todo el sistema productivo; además, se podrá medir la calidad y efectividad de los trabajos de mantenimiento junto con el grado de cumplimiento de las tareas impuestas en el plan.

*Tiempo medio entre fallos(TMEF).* El valor que se obtendrá a continuación indicará el tiempo promedio que escapaz de funcionar toda la planta de Moderna Alimentos S.A a la capacidad requerida y sin interrupciones dentro del lapso de tiempo considerado. El tiempo medio entre fallos se calculará como:

### Datos:

- Tiempo determinado: 01/05/2012 a 01/05/2013 (1 año)
- Horas de paro planificadas: 4 paros X 7 días X 24h. = 672h.
- Tiempo de paro por fallas imprevistas: 25h. (Ver tabla 25 )
- Horas totales de operación:(365días X 24h.) – 672h. – 25h. = 8063h.
- Numero de activos a tomar en cuenta:11
- Cantidad de fallas en dichos activos:11

$$\text{TMEF} = \frac{\# \text{ de activos} \times \text{hrs. de operación de activos en un tiempo determinado}}{\text{cantidad de fallas del grupo de activos}} \quad (1)$$

$$\text{TMEF} = \frac{11 \times 8063 \text{ h.}}{11} = 8063 \text{ h.} = \mathbf{336 \text{ días}}$$

*Conclusión.*-El resultado de este índice de efectividad muestra que cada 336 días en un promedio aproximado al año se producirá una falla por equipo en la planta o dicho de otra manera que el intervalo de tiempo entre fallo y fallo en cualquier equipo será de 336 días.

*Tiempo medio para reparar(TMPR).*Este valor indicará el tiempo promedio que el personal de mantenimiento de Moderna Alimentos S.A se demora en repara las fallas imprevistas de los activos en un período de tiempo determinado, el tiempo medio para reparar se calcula por:

**Datos:**

- Tiempo determinado: 01/05/2012 a 01/05/2013 (1 año)
- Tiempo de paro por fallas imprevistas: 25h.
- Cantidad de fallas en dichos activos:11

$$\text{TMPR} = \frac{\text{Tiempo total de paro por fallas imprevistas}}{\text{cantidad de fallas del grupo de activos}} \quad (2)$$

$$\text{TMPR} = \frac{25\text{h.}}{11} = 2,27 \text{ h.} = \mathbf{2 \text{ horas y } 16 \text{ minutos}}$$

*Conclusión.*-El resultado de este índice de mantenimiento muestra que el personal de mantenimiento se demora en promedio 2 horas con 16 minutos en cada intervención en las máquinas de la planta, es decir desde que aparece la falla hasta ponerla nuevamente en servicio.

*Fiabilidad de equipos R(t).*- El valor ha obtener indicará la probabilidad de buen funcionamiento que tendrá el sistema productivo de Moderna Alimentos S.A, en un tiempo determinado y cumpliendo correctamente la función para la cual fueron diseñados, la fiabilidad o confiabilidad de equipos se calculará como:

**Datos:**

- Tiempo determinado (t): 1008h. (6 semanas)
- TMEF = 8063 h.= 336 días

$$\mathbf{R(t)} = e^{-\left(\frac{t}{TMEF}\right)} \quad (3)$$

$$\mathbf{R(t)} = e^{-\left(\frac{1008}{8063}\right)} \times 100\% = \mathbf{88,25\%}$$

*Conclusión.*-El resultado de este índice de mantenimiento muestra que la planta a las 6 semanas de producción continua tiene un 88,25% de probabilidad de buen funcionamiento y un 17,75% de probabilidad que se presente una falla imprevista en

cualquier equipo de la planta Moderna Alimentos S.A.

*Disponibilidad (Ao).* El siguiente valor mostrará un porcentaje de tiempo en que los equipos del sistema productivo de Moderna Alimentos S.A estén disponibles para desempeñar exitosamente su función, es decir indicará si las máquinas estaban en óptimas condiciones de trabajo cuando se las requirió.

Debido a que el sistema en estudio es un sistema en serie la disponibilidad se calculará de la siguiente manera:

**Datos:**

- Tiempo a tomar en cuenta: 01/05/2012 a 01/05/2013 (1 año).
- Horas de paro planificadas: 4 paros X 7 días X 24h. = 672h.
- Tiempo de paro por fallas imprevistas: 25h. (Ver tabla 23 )
- Tiempo planificado (TP): (365días X 24h.) – 672h. – 25h. = 8063h.
- Tiempo de paro por fallas imprevistas (t): 25h.

$$A_o = \frac{TP - t}{TP} (4)$$

$$A_o = \frac{8063h. - 25h.}{8063h.} \times 100\% = 99,7\%$$

*Conclusión.* -El valor de este índice muestra que la planta Moderna Alimentos S.A en 1 año de producción continua desde 01/05/2012 hasta 01/05/2013, tuvo una disponibilidad del 99,7% en sus máquinas, es decir que las máquinas en 1 año funcionaron correctamente y estuvieron disponibles en su totalidad para desempeñar su función dentro del proceso productivo.

## 5.6 Cálculo de la frecuencia óptima para inspecciones predictivas en los equipos críticos de Moderna Alimentos S.A

La frecuencia óptima entre inspecciones predictivas es directamente proporcional al producto de tres factores: el factor de costo ( $C$ ), el factor de falla ( $F$ ) y el factor de ajuste ( $A$ ), entonces la fórmula de cálculo está definida de la siguiente manera:

$$I = C \times F \times A \quad (5)$$

$$f = \frac{1}{I} [\text{inspección/año}] \quad (6)$$

El cálculo de los factores utilizados en la fórmula anterior se detalla a continuación:

- **Factor de costo ( $C$ )**

La fórmula del factor de costo está definida por:

$$C = \frac{Ci}{Cf} \quad (7)$$

Donde:

$Ci$ .- costo de una inspección predictiva basada en vibraciones [\$].

$Cf$ .- costo relacionado por no detectar la falla [\$].

- **Factor de falla ( $F$ )**

La fórmula del factor de falla está definida por:

$$F = \frac{Fi}{\lambda} \quad (8)$$

Donde:

$Fi$ .- número de modos de falla que se pueden detectar utilizando análisis de vibraciones [fallas/inspección].

$\lambda$ .- tasa de fallas de un equipo [fallos/año]

- **Factor de ajuste (A)**

La fórmula del factor de falla está definida por:

$$A = -\ln(1 - e^{-\lambda})(9)$$

- **Frecuencia de inspección para el banco de molienda MDDL C1-C2/ T1-T2**

El banco combinado de molienda MDDL C1-C2/T1-T2 según el historial de averías (Ver tabla 23) tiene una tasa de falla de 1 vez cada 2 años, el costo de una inspección predictiva mediante análisis de vibraciones en sus 24 puntos de medición es de \$120 y el costo por pérdidas de producción al no detectar la falla es de \$12600.

Los componentes funcionales de este equipo son los siguientes: 4 motores eléctricos, 4 grupos de poleas y bandas, 4 caja de engranajes y 4 pares de rodillos, los modos de fallo que se puede detectar en dichos componentes mediante análisis de vibraciones son 23.

**Desarrollo:**

Utilizando la fórmula (7):

$$C = \frac{\$120}{\$12600} = 0,0095$$

Utilizando la fórmula (8):

$$F = \frac{23[\text{fallas/inspección}]}{0,5[\text{fallas/año}]} = 46 [\text{año/inspección}]$$

Utilizando la fórmula (9):

$$A = -\ln(1 - e^{-0,5}) = 0,9327$$

Utilizando la fórmula (5):

$$I = 0,0095 \times 46[\text{año/inspección}] \times 0,9327 = 0,4076[\text{año/inspección}]$$

Utilizando la fórmula (6):

$$f = \frac{1}{0,4076[\text{año/i\~{n}specci\~{o}n}]} = 2,5[\text{i\~{n}specci\~{o}n/a\~{n}o}]$$

$$f = \frac{52 \text{ semanas/a\~{n}o}}{2,5 \text{ inspecciones/a\~{n}o}}$$

$$f = 21 \frac{\text{semanas}}{\text{inspecci\~{o}n}} ; \text{Es decir cada 21 semanas realizar inspecci\~{o}n}$$

- **Frecuencia de inspecci\~{o}n para el ventilador generalMHTR 01**

El ventilador general MHTR 01 seg\~{u}n el historial de aver\~{i}as (Ver tabla 23)tiene una tasa de falla de 1 vez cada 3 a\~{n}os, el costo de una inspecci\~{o}n predictiva mediante an\~{a}lisis de vibraciones en sus 2 puntos de medici\~{o}n es de \$25 y el costo por p\~{e}rdidas de producci\~{o}n al no detectar la falla es de \$8400.

Los componentes funcionales de \~{e}ste equipo son los siguientes: 1 motor el\~{e}ctrico y 1 ventilador acoplado directamente, los modos de fallo que se puede detectar en dichos componentes mediante an\~{a}lisis de vibraciones son 14.

***Desarrollo:***

Utilizando la f\~{o}rmula (7):

$$C = \frac{\$25}{\$8400} = 0,0029$$

Utilizando la f\~{o}rmula (8):

$$F = \frac{14[\text{fallas/i\~{n}specci\~{o}n}]}{0,333[\text{fallas/a\~{n}o}]} = 42 [\text{a\~{n}o/i\~{n}specci\~{o}n}]$$

Utilizando la f\~{o}rmula (9):

$$A = -\ln(1 - e^{-0,333}) = 1,2607$$

Utilizando la f\~{o}rmula (5):

$$I = 0,0029 \times 42[\text{a\~{n}o/i\~{n}specci\~{o}n}] \times 1,2607 = 0,1535[\text{a\~{n}o/i\~{n}specci\~{o}n}]$$

Utilizando la fórmula (6):

$$f = \frac{1}{0,1535[\text{año/inspección}]} = 6,5[\text{inspecciones/año}]$$

$$f = \frac{52 \text{ semanas/año}}{6,5 \text{ inspecciones/año}}$$

$$f = 8 \frac{\text{semanas}}{\text{inspección}} ; \text{Es decir cada 8 semanas realizar inspección}$$

- **Frecuencia de inspección para el soplante neumático de harina SOPL 02**

El ventilador general SOPL 02 según el historial de averías (Ver tabla 23) tiene una tasa de falla de 1 vez cada 3 años, el costo de una inspección predictiva mediante análisis de vibraciones en sus 6 puntos de medición es de \$50 y el costo por pérdidas de producción al no detectar la falla es de \$12600.

Los componentes funcionales de este equipo son los siguientes: 1 motor eléctrico y 1 grupo de polea y banda, 1 caja de engranajes, 2 lóbulos, los modos de fallo que se puede detectar en dichos componentes mediante análisis de vibraciones son 18.

***Desarrollo:***

Utilizando la fórmula (7):

$$C = \frac{\$50}{\$12600} = 0,00397$$

Utilizando la fórmula (8):

$$F = \frac{18[\text{fallas/inspección}]}{0,333[\text{fallas/año}]} = 54 [\text{año/inspección}]$$

Utilizando la fórmula (9):

$$A = -\ln(1 - e^{-0,333}) = 1,2607$$

Utilizando la fórmula (5):

$$I = 0,00397 \times 54[\text{año/i\~{n}specci\~{o}n}] \times 1,2607 = \mathbf{0,2702}[\text{año/i\~{n}specci\~{o}n}]$$

Utilizando la fórmula (6):

$$f = \frac{1}{0,2702[\text{año/i\~{n}specci\~{o}n}]} = \mathbf{3,7}[\text{i\~{n}specci\~{o}nes/año}]$$

$$f = \frac{\mathbf{52 \text{ semanas/año}}}{\mathbf{3,7 \text{ inspecciones/año}}}$$

$$f = \mathbf{14 \frac{\text{semanas}}{\text{inspección}}}; \text{ Es decir cada 14 semanas realizar inspección}$$

- **Frecuencia de inspección para la cepilladora MKLA 01**

La cepilladora MKLA 01 según el historial de averías (Ver tabla 23) tiene una tasa de falla de 1 vez cada 3 años, el costo de una inspección predictiva mediante análisis de vibraciones en sus 6 puntos de medición es de \$30 y el costo por pérdidas de producción al no detectar la falla es de \$8400.

Los componentes funcionales de este equipo son los siguientes: 1 motor eléctrico, 1 grupo de polea y banda, 1 tamiz cilíndrico, los modos de fallo que se puede detectar en dichos componentes mediante análisis de vibraciones son 16.

**Desarrollo:**

Utilizando la fórmula (7):

$$C = \frac{\$30}{\$8400} = \mathbf{0,00357}$$

Utilizando la fórmula (8):

$$F = \frac{16[\text{fallas/i\~{n}specci\~{o}n}]}{0,333[\text{fallas/año}]} = \mathbf{48} [\text{año/i\~{n}specci\~{o}n}]$$

Utilizando la fórmula (9):

$$A = -\ln(1 - e^{-0,333}) = \mathbf{1,2607}$$

Utilizando la fórmula (5):

$$I = 0,00357 \times 48[\text{año/i\~{n}specci\~{o}n}] \times 1,2607 = \mathbf{0,2161}[\text{año/i\~{n}specci\~{o}n}]$$

Utilizando la fórmula (6):

$$f = \frac{1}{0,2161[\text{año/i\~{n}specci\~{o}n}]} = \mathbf{4,6}[\text{i\~{n}speccio\~{n}es/a\~{n}o}]$$

$$f = \frac{\mathbf{52 \textit{semanas/a\~{n}o}}}{\mathbf{4,6 \textit{inspecciones/a\~{n}o}}}$$

$$f = \mathbf{11 \frac{\textit{semanas}}{\textit{inspecci\~{o}n}}}; \text{ Es decir cada 11 semanas realizar inspecci\~{o}n}$$

- **Frecuencia de inspección para el disgregador DIV 1 - MJZE01**

El disgregador DIV 1 – MJZE01según el historial de averías (Ver tabla 23)tiene una tasa de falla de 1 vez cada 3 años, el costo de una inspección predictiva mediante análisis de vibraciones en sus 2 puntos de medición es de \$15 y el costo por pérdidas de producción al no detectar la falla es de \$4200.

Los componentes funcionales de este equipo son los siguientes: 1 motor eléctrico y 1 plato disgregador acoplado directamente, los modos de fallo que se puede detectar en dichos componentes mediante análisis de vibraciones son 14.

***Desarrollo:***

Utilizando la fórmula (7):

$$C = \frac{\$15}{\$4200} = \mathbf{0,00357}$$

Utilizando la fórmula (8):

$$F = \frac{14[\text{fallas/i\~{n}specci\~{o}n}]}{0,333[\text{fallas/a\~{n}o}]} = \mathbf{42} [\text{año/i\~{n}specci\~{o}n}]$$

Utilizando la fórmula (9):

$$A = -\ln(1 - e^{-0,333}) = 1,2607$$

Utilizando la fórmula (5):

$$I = 0,00357 \times 42[\text{año/inspección}] \times 1,2607 = 0,1890[\text{año/inspección}]$$

Utilizando la fórmula (6):

$$f = \frac{1}{0,1890[\text{año/inspección}]} = 5,3[\text{inspecciones/año}]$$

$$f = \frac{52 \text{ semanas/año}}{5,3 \text{ inspecciones/año}}$$

$$f = 10 \frac{\text{semanas}}{\text{inspección}} ; \text{Es decir cada 10 semanas realizar inspección}$$

- **Frecuencia de inspección para el disgregador C3- MJZE02**

El disgregador C3-MJZE02 según el historial de averías (Ver tabla 23) tiene una tasa de falla de 1 vez cada 3 años, el costo de una inspección predictiva mediante análisis de vibraciones en sus 2 puntos de medición es de \$15 y el costo por pérdidas de producción al no detectar la falla es de \$4200.

Los componentes funcionales de este equipo son los siguientes: 1 motor eléctrico y 1 plato disgregador acoplado directamente, los modos de fallo que se puede detectar en dichos componentes mediante análisis de vibraciones son 14.

***Desarrollo:***

Utilizando la fórmula (7):

$$C = \frac{\$15}{\$4200} = 0,00357$$

Utilizando la fórmula (8):

$$F = \frac{14[\text{fallas/inspección}]}{0,333[\text{fallas/año}]} = 42 [\text{año/inspección}]$$

Utilizando la fórmula (9):

$$A = -\ln(1 - e^{-0,333}) = 1,2607$$

Utilizando la fórmula (5):

$$I = 0,00357 \times 42[\text{año/inspección}] \times 1,2607 = 0,1890[\text{año/inspección}]$$

Utilizando la fórmula (6):

$$f = \frac{1}{0,1890[\text{año/inspección}]} = 5,3[\text{inspecciones/año}]$$

$$f = \frac{52 \text{ semanas/año}}{5,3 \text{ inspecciones/año}}$$

$$f = 10 \frac{\text{semanas}}{\text{inspección}} ; \text{Es decir cada 10 semanas realizar inspección}$$

- **Frecuencia de inspección para el disgregador C8- MJZE03**

El disgregador C8-MJZE03 según el historial de averías (Ver tabla 23) tiene una tasa de falla de 1 vez cada 3 años, el costo de una inspección predictiva mediante análisis de vibraciones en sus 2 puntos de medición es de \$15 y el costo por pérdidas de producción al no detectar la falla es de \$4200.

Los componentes funcionales de este equipo son los siguientes: 1 motor eléctrico y 1 plato disgregador acoplado directamente, los modos de fallo que se puede detectar en dichos componentes mediante análisis de vibraciones son 14.

***Desarrollo:***

Utilizando la fórmula (7):

$$C = \frac{\$15}{\$4200} = 0,00357$$

Utilizando la fórmula (8):

$$F = \frac{14[\text{fallas/inspección}]}{0,333[\text{fallas/año}]} = 42 [\text{año/inspección}]$$

Utilizando la fórmula (9):

$$A = -\ln(1 - e^{-0,333}) = 1,2607$$

Utilizando la fórmula (5):

$$I = 0,00357 \times 42[\text{año/inspección}] \times 1,2607 = 0,1890[\text{año/inspección}]$$

Utilizando la fórmula (6):

$$f = \frac{1}{0,1890[\text{año/inspección}]} = 5,3[\text{inspecciones/año}]$$

$$f = \frac{52 \text{ semanas/año}}{5,3 \text{ inspecciones/año}}$$

$$f = 10 \frac{\text{semanas}}{\text{inspección}} ; \text{Es decir cada 10 semanas realizar inspección}$$

- **Frecuencia de inspección para el disgregador C9- MJZE04**

El disgregador C9-MJZE04 según el Historial de averías (Ver tabla 23) tiene una tasa de falla de 1 vez cada 3 años, el costo de una inspección predictiva mediante análisis de vibraciones en sus 2 puntos de medición es de \$15 y el costo por pérdidas de producción al no detectar la falla es de \$4200.

Los componentes funcionales de este equipo son los siguientes: 1 motor eléctrico y 1 plato disgregador acoplado directamente, los modos de fallo que se puede detectar en dichos componentes mediante análisis de vibraciones son 14.

**Desarrollo:**

Utilizando la fórmula (7):

$$C = \frac{\$15}{\$4200} = 0,00357$$

Utilizando la fórmula (8):

$$F = \frac{14[\text{fallas/inspección}]}{0,333[\text{fallas/año}]} = 42 [\text{año/inspección}]$$

Utilizando la fórmula (9):

$$A = -\ln(1 - e^{-0,333}) = 1,2607$$

Utilizando la fórmula (5):

$$I = 0,00357 \times 42[\text{año/inspección}] \times 1,2607 = 0,1890[\text{año/inspección}]$$

Utilizando la fórmula (6):

$$f = \frac{1}{0,1890[\text{año/inspección}]} = 5,3[\text{inspecciones/año}]$$

$$f = \frac{52 \text{ semanas/año}}{5,3 \text{ inspecciones/año}}$$

$$f = 10 \frac{\text{semanas}}{\text{inspección}} ; \text{ Es decir cada 10 semanas realizar inspección}$$

## CAPITULO VI

### 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

Se efectuó el análisis de criticidad a los equipos dentro del proceso productivo para verificar su importancia, evaluándolos en cada una de las áreas de impacto, dando como resultado que los activos críticos son ventilador general MHTL en el área de Aspiración neumática, soplante neumático harina SOPL02 en el área de Empaque, disgregador DIV01, 03, 08, 09, cepilladora MKLA 01, Molino T1/T2-C1/C2 en el área de Molienda, ya que este análisis constituye el primer paso que debe realizarse como punto de partida a nivel de ingeniería de mantenimiento.

Se estableció las rutas de medición con lo cual se procedió a realiza las mediciones de los niveles de vibración existentes en cada uno de los equipos, una vez desarrollado el análisis se llegó a la conclusión que los problemas que se presentaron son los siguientes:

Disgregador MJZE DIV01 en el punto motor lado libre se evidencio holgura de rodamiento y desbalanceo dinámico y en el punto motor lado acoplado se encontró desbalanceo de rotor en voladizo y holgura en el rodamiento

Disgregador MJZE 03 en el punto motor lado libre presento desbalanceo dinámico y rozamiento del rotor y en el punto motor lado acoplado se presenta desbalanceo dinámico y rozamiento del rotor.

Disgregador MJZE 08 en el punto motor lado libre se observó flexibilidad transversal u holgura mecánica y en el punto motor lado acoplado se encontró flexibilidad transversal u holgura mecánica

Disgregador MJZE 09 en el punto motor lado libre se detectó desbalanceo dinámico u holgura de base, mientras que en el puntomotor lado acoplado: desalineamiento angular.

Cepilladora MKLA 01 en el punto motor lado libre se encontró problema en rodamientos y desbalanceo en el rotor y en el punto cilindro lado libre se detectó holgura de base.

Banco de molienda MDDL01 T1-T2/C1-C2 en el componente motor T1 en el punto motor lado libre se detectó problema de bandas y en el punto motor lado banda se encontró holgura de base y problema de bandas, en lo referente al componente motor T2 en el punto motor lado libre se detectó holgura de base y problema de bandas y en el punto motor lado banda se encontró holgura de base y problema de bandas, en el componente cilindro C2-G en el punto cilindro lado polea se detectó problema de rodamientos, en el componente cilindro C2-H en el punto cilindro lado engrane se detectó problema de rodamientos.

Soplante neumático SOPL 02 en el punto lóbulo A lado polea se detectó problema de rodamientos y en el punto lóbulo A lado engranaje se encontró problema de rodamientos.

Se emitió el respectivo informe con los diagnósticos y qué medidas se debe tomar para mitigar los problemas que se detectó en los activos.

En el análisis de las tendencias presenta una leve variación de los valores globales de vibración debido a flujo no constante de la materia prima otro factor es la calidad de la materia prima, también presenta un incremento de los valores globales de vibración durante el monitoreo y puede evidenciar el desarrollo de una falla; además, se puede presentar un decremento de los valores globales de vibración durante el monitoreo. Aquí se concluye que se presenta dicho decremento por causa de la aplicación del plan de mantenimiento existente en la empresa, generalmente debido a tareas preventivas.

Al evaluar la gestión del mantenimiento se constató la eficiente administración de los centros productivos ya que contaban con una planificación y programación adecuada de mantenimiento, dicho trabajo se respalda de manera efectiva, eficaz y eficiente a través de una herramienta informática muy avanzada como el programa SisMAC.

Se llegó a determinar que la frecuencia óptima de monitoreo para realizar el análisis vibracional es:

- a) Banco de molienda MDDL C1-C2/ T1-T2 3 veces al año = 21 semanas
- b) Ventilador general MHTR 017 veces al año = 8 semanas
- c) Soplante neumático de harina SOPL 02 4 veces al año = 14 semanas
- d) Cepilladora MKLA 01 5 veces al año = 11 semanas
- e) Disgregador DIV 1 - MJZE01 5 veces al año = 10 semanas
- f) Disgregador C3- MJZE02 5 veces al año = 10 semanas
- g) Disgregador C8- MJZE035 veces al año = 10 semanas
- h) Disgregador C9- MJZE04 5 veces al año = 10 semanas

## **6.2 Recomendaciones**

Establecer un programa de capacitación administrativa y técnica para todo el personal del departamento de mantenimiento y capacitación a los técnicos acerca del mantenimiento predictivo basado en vibraciones, que incluya las iniciativas más importantes de la gestión de mantenimiento de clase mundial y las herramientas específicas del mantenimiento predictivo, para que los conceptos queden totalmente claros y se consolide la cultura predictiva en la empresa.

Mejorar la condición de los equipos en los cuales se les determinó una prioridad urgente ya que los valores de vibración son inadmisibles como es el caso de motor T2 en el banco de molienda MDDL 01, en el caso de los valores tolerables se recomienda planificar tareas de mantenimiento como es el caso de la cepilladora MKLA01 y el disgregadores MJZE, para los valores admisibles y buenos se recomienda que se realice un monitoreo continuo para controlar el desarrollo de posible problemas como es el caso de ventilador MHTL y el soplante SOPL02.

Aplicar la técnica del mantenimiento predictivo de los equipos críticos a fin de aumentar la fiabilidad de los mismos, de esa manera evitar paros de producción que

ocasionen pérdidas económicas a la empresa, ya que ésta técnica nos da un diagnóstico real y confiable permitiendo anticiparse a una posible falla y poder planificar las tareas de mantenimiento necesarias atendiendo así el problema de raíz.

Mantener registros confiables y una determinación de los tiempos reales que conlleva el desarrollo de las tareas de los diversos mantenimientos que se ejecutan a los equipos, ya que de esta manera se puede mejorar los resultados de los mantenimientos predictivos con el sistema de vibración; además, que nos contribuyen de gran manera para la determinación de los indicadores de mantenimiento y con ello tener una información veraz de la beneficios y el rendimiento del departamento de mantenimiento.

Incentivar a todos los técnicos al manejo de esta herramienta para que estas tareas no solo las haga una sola persona, sino que sea un trabajo en conjunto donde todos los integrantes del persigan objetivos comunes entre los cuales es disminuir los tiempos improductivos; además, se realicen un monitoreo estricto para que las tendencias que se encuentran en el análisis de los espectros puedan tener un respaldo estadístico.

Aplicar el plan de mantenimiento preventivo planificado que posee la empresa dentro las frecuencias establecidas, teniendo en cuenta que existe paradas planificadas por parte del departamento de mantenimiento y producción, se recomienda modificar las frecuencias en función a dichos paros planificados de manera que se optimiza tiempo de paros por planificación ya que el retraso puede incidir en el desarrollo de un problemas en los componente para evitar que se produzcan paros imprevistos en la producción.

## BIBLIOGRAFÍA

**A-MAQ. 2005.** Tutorial de Vibraciones para Mantenimiento Mécanico. [aut. libro] A-Maq. *Analisis de Máquinaria*. Mexico : s.n., 2005.

**AMENDOLA, Luis. 2009.** www.Klaron.net. [aut. libro] Luis Amendola. *Mantenimiento Planificado*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2009.

**ESPOCH. 2012.** Análisis vibracional para la estandarizacion de tareas de mantenimiento preventivo y predectivo en la linea de produccion de poliestireno expandible (eps) de la empresa Panecons. [aut. libro] Diego Fabian Tandalla Guanoquiza. *Tesis de Grado, Escuela Ingeniería de Mantenimiento*. Riobamba : ESPOCH, 2012.

**GLEN, White. 2010.** *Introduccion al análisis de vibraciones*. Mexico : Azima Dli, 2010.

**GRUPO MODERNA S.A. 2013.** Antecedentes. *Grupo Moderna*. [En línea] 2013. [Citado el: 10 de junio de 2013.] <http://www.grupomoderna.com/site/>.

**IDEAR. 2006.** *VibraCHECK, Analizador de vibraciones mecánicas*. Buenos Aires : IDEAR, 2006.

**Internatinal Standard Organisation. 1998.** *ISO 10816-3*. Ginebra : Editorial ISO, 1998.

**LARREA, Nube y VERDUGO, Ana. 2008.** Análisis del procesode producción de quesos en la microempresa mediante T.O.C. TESIS. Quito : Departamento de documentación, 2008.

**MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. EC. 2010.** Analisis Vibracional. *MANTENIMIENTO INDUSTRIAL*. [En línea] 1 de enero de 2010. [Citado el: 15 de Julio de 2013.] <http://www.mantenimientoindustrial.ec/index.php/analisis-de-vibraciones>.

**PALOMINO, Evelio. 1997.** *La medición y el análisis de vibración en el diagnostico de maquina rotativa*. Cuba : s/n, 1997.

**SEMAPI S.A (servicios y equipamiento para mantenimiento predictivo). 2000.** *Guia Análisis Vibracional*. Comlonbia : SEMAPI S.A, 2000.

**VIBRATEC S.A. 2007.** Desbalance. *Fallas mas comunes que producen vibración*. [En línea] 2007. [Citado el: 20 de Julio de 2013.] [http://www.vibratec.net/pages/tecnico\\_desbalance.html](http://www.vibratec.net/pages/tecnico_desbalance.html).

