



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

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

**“EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS ROTATIVOS  
MEDIANTE EL ANÁLISIS VIBRACIONAL EN EL  
PROCESO DE ELABORACIÓN DE TUBOS PVC EN LA  
EMPRESA HOLVIPLAS S.A. DEL CANTÓN AMBATO-  
PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

**SALGUERO GAIBOR PATRICIO JAVIER  
VILLEGAS SUÁREZ PABLO RICARDO**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2014**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-01-21

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**PATRICIO JAVIER SALGUERO GAIBOR**

---

Titulada:

**“EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS ROTATIVOS MEDIANTE EL ANÁLISIS VIBRACIONAL EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TUBOS PVC EN LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A. DEL CANTÓN AMBATO-PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

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

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Eduardo Hernández Dávila

---

Ing. Germán LlamucaMoyota  
ASESOR DE TESIS

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-01-21

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**PABLO RICARDO VILLEGAS SUÁREZ**

---

Titulada:

**“EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS ROTATIVOS MEDIANTE EL ANÁLISIS VIBRACIONAL EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TUBOS PVC EN LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A. DEL CANTÓN AMBATO-PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

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

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Eduardo Hernández Dávila  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Germán LlamucaMoyota  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** PATRICIO JAVIER SALGUERO GAIBOR

**TÍTULO DE LA TESIS:** “EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS ROTATIVOS MEDIANTE EL ANÁLISIS VIBRACIONAL EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TUBOS PVC EN LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A. DEL CANTÓN AMBATO-PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

**Fecha de Exanimación:** 2014-03-21

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Fernando González Puente PRESIDENTE TRIBUNAL DEFENSA			
Ing. Eduardo Hernández Dávila DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Germán Llamuca Moyota 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:** PABLO RICARDO VILLEGAS SUÁREZ

**TÍTULO DE LA TESIS:** “EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS ROTATIVOS MEDIANTE EL ANÁLISIS VIBRACIONAL EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TUBOS PVC EN LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A. DEL CANTÓN AMBATO-PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

**Fecha de Exanimación:** 2014-03-21

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

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

---

Patricio Javier Salguero Gaibor

---

Pablo Ricardo Villegas Suárez

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación dedico primeramente a Dios, quien me da salud, vida y sabiduría todos los días de mi vida.

A ustedes: Rodrigo Salguero y Marcela Gaibor quienes soñaban con verme convertido en un profesional, me apoyaron incondicionalmente en todo momento a pesar de los problemas y necesidades que hemos pasado, ustedes fueron mi fuente de inspiración para no desmayar en mi meta que me propuse cuando partí de mi hogar hace 6 años atrás. A mis hermanos Diana, Carlos, Jofre y Miguel. A mis tíos Pepe y Luciano quienes estuvieron pendientes de mí siempre. A ustedes amigos Daniel, Jairo, Gino, Ángel.

.

**Patricio Salguero Gaibor**

El presente trabajo dedico a Dios por darme sabiduría y guiarme por el buen camino todos los días de mi vida.

Con todo el amor del mundo va dedicado a toda mi familia, de manera especial a mis padres Edmundo y Nelly, ya que siempre encontré en ellos una gran muestra de apoyo y confianza, gracias a esos maravillosos seres que supieron infundir facultades de responsabilidad, respeto y trabajo, empleando el mejor método de enseñanza como el ejemplo, a mi hermano Sebastián por ser un pilar fundamental de mi vida, que confió en mí y me ayudo a hacer posible la culminación de mi carrera, a mi novia Kathy por comprenderme y acompañarme todo este tiempo, por saber aconsejarme y siempre estar a mi lado, gracias por su apoyo incondicional.

**Pablo Villegas Suárez**

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de tesis en primer lugar nos gustaría agradecer a Dios por bendecirnos y hacer realidad este sueño tan anhelado.

Queremos hacer públiconuestro 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 compartirexperiencias en beneficio de nuestra formación profesional, en especial al Ing. Eduardo Hernández e Ing. Germán Llamuca quienes con profunda vocación profesional guiaron el presente trabajo investigativo; además agradecemos a la empresa PREDICTIVApor brindarnos todas las facilidades necesarias para la realización de la presente tesis de grado, al Ing. Roberto Álvarez y al personal del departamento de Mantenimiento de la empresa Holviplas S.A.

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 una etapa más de nuestras vidas.

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

**Patricio Salguero Gaibor**

**Pablo Villegas Suárez**



## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Análisis vibracional en maquinaria industrial.....	4
2.2 Definición de vibración.....	4
2.2.1 <i>Vibración simple</i> .....	6
2.2.2 <i>Vibración amortiguada</i> .....	7
2.3 Frecuencia natural y resonancia.....	7
2.4 Definiciones desde el punto de vista físico de magnitudes utilizadas para Vibración.....	8
2.5 Clasificación y Selección de transductores.....	8
2.5.1 <i>El transductor de proximidad</i> .....	9
2.5.1.1 <i>Corrientes parásitas de Eddy</i> .....	9
2.5.2 <i>El transductor de velocidad</i> .....	9
2.5.3 <i>El acelerómetro</i> .....	10
2.6 Espectros tipo en análisis vibracional.....	12
2.6.1 <i>Desbalanceo estático</i> .....	12
2.6.2 <i>Desbalanceo dinámico</i> .....	12
2.6.3 <i>Rotor colgante</i> .....	13
2.6.4 <i>Desalineación angular</i> .....	13
2.6.5 <i>Desalineación paralela</i> .....	13
2.6.6 <i>Desalineación entre chumacera</i> .....	14
2.6.7 <i>Desalineación de rodamientos inclinado sobre el eje</i> .....	14
2.6.8 <i>Soltura u holgura mecánica eje-agujero</i> .....	15
2.6.9 <i>Rotor excéntrico</i> .....	16
2.6.10 <i>Rotor o eje pandeado</i> .....	16
2.6.11 <i>Fallas en bandas y poleas</i> .....	16
2.6.11.1 <i>Distención</i> .....	16
2.6.11.2 <i>Desalineación en poleas</i> .....	17
2.6.11.3 <i>Excentricidad de poleas</i> .....	17
2.6.11.4 <i>Resonancia de banda</i> .....	18
2.6.12 <i>Problemas en las patas de apoyo</i> .....	18
2.6.13 <i>Falla en rodamientos</i> .....	19
2.6.13.1 <i>Falla en pista interna, externa y elemento rodante</i> .....	19
2.6.13.2 <i>Deterioro de jaula</i> .....	19
2.6.13.3 <i>Etapas de falla de un rodamiento</i> .....	20

2.7	Normas utilizadas para medición y evaluación de nivel de vibración.....	21
2.7.1	<i>Tablas y normas de severidad vibracional.....</i>	22
2.7.2	<i>Criterios de severidad.....</i>	23
2.8	Características de operación VIBRACHECK ABG-200.....	29
2.8.1	<i>Licencias de VIBRACHECK ABG-200.....</i>	29
2.8.2	<i>Sensores de VIBRACHECK ABG200.....</i>	30
2.8.3	<i>Principales bondades de VIBRACHECK ABG200.....</i>	30
2.9	Contexto operacional de los equipos del proceso de producción.....	31
2.9.1	<i>Resumen operativo.....</i>	32
2.9.2	<i>Personal.....</i>	32
2.9.3	<i>División de proceso.....</i>	33
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS DEL ESTADO TÉCNICO DE LOS EQUIPO DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A.</b>	
3.1	Resumen.....	34
3.1.1	<i>Jerarquización del sistema.....</i>	34
3.1.2	<i>Descripción funcional del proceso.....</i>	36
3.1.2.1	<i>Área recuperado y reciclado.....</i>	36
3.1.2.2	<i>Áreapesaje.....</i>	37
3.1.2.3	<i>Áreamezcla.....</i>	38
3.1.2.4	<i>Áreaextrucción y refrigerado.....</i>	38
3.1.2.5	<i>Áreaimpresión, corte y acampanado.....</i>	39
3.1.2.5	<i>Áreaalmacenaje.....</i>	40
3.1.3	<i>Ficha de estado técnico visual de los elementos rotativos de la producción PVC de la empresa Holviplas S.A.....</i>	41
3.1.4	<i>Descripción del proceso productivo.....</i>	43
3.1.5	<i>Diagrama de proceso productivo.....</i>	44
3.1.6	<i>Dispositivos de seguridad.....</i>	45
3.1.7	<i>Metas de seguridad/ ambientales/ operacionales</i>	45
3.1.8	<i>Personal.....</i>	45
3.1.8.1	<i>Turnos rotativos.....</i>	45
3.1.8.2	<i>Operaciones.....</i>	45
3.1.8.3	<i>Mantenimiento.....</i>	45
3.1.8.4	<i>Parámetros de calidad.....</i>	46
3.1.8.5	<i>Definición de los límites de los sistemas.....</i>	47
3.2	Proceso actual de mantenimiento empleado en los equipos.....	47
3.2.1	<i>Plan de mantenimiento.....</i>	48
3.2.2	<i>Historial de averías.....</i>	49
3.3	Documentos actuales utilizados para mantenimiento.....	50
3.3.1	<i>Ficha técnica.....</i>	50
3.3.2	<i>Hoja de control.....</i>	50
3.3.3	<i>Lista de proveedores-servicios.....</i>	51
3.3.4	<i>Lista de proveedores-materiales.....</i>	52
3.4	Indicadores actuales de mantenimiento.....	52
3.5	Conclusiones de la gestión actual de mantenimiento.....	53

<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS VIBRACIONAL DE LOS EQUIPOS DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A.</b>	
4.1	Análisis de restricciones.....	54
4.1.1	<i>Diagrama de velocidades del sistema.....</i>	54
4.2	Análisis de criticidad.....	55
4.3	Diseño de fichas técnicas de medición.....	63
4.4	Disposición de las rutas de medición.....	64
4.5	Determinación de los puntos de medición.....	64
4.6	Configuración de rutas de medición. ....	65
4.7	Recolección de datos.....	70
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL</b>	
5.1	Elaboración de informe de resultados.....	73
5.1.1	Partes del informe.....	73
5.2	Análisis de Tendencia y Diagnóstico Vibracional.....	74
5.2.1	<i>Informe de resultados y espectros de Mezcladora TM3.....</i>	74
5.2.1.1	<i>Tabla de resultados.....</i>	74
5.2.1.2	<i>Espectros del punto motor 1V y 1 en la variable velocidad.....</i>	77
5.2.1.3	<i>Espectros del punto motor 2v y 2H en la variable velocidad.....</i>	79
5.2.1.4	<i>Espectros capturados en el punto polea de la olla giratoria 3H, 3V y 3A en la variable velocidad.....</i>	81
5.2.1.5	<i>Espectros del punto motor secundario lado libre 4V, 4H, en la variable velocidad.....</i>	83
5.2.1.6	<i>Espectros del punto motor secundario lado acoplado 5V en la variable velocidad.....</i>	85
5.2.1.7	<i>Espectros del punto reductor 6V, 6H en la variable velocidad.....</i>	86
5.2.1.8	<i>Espectros del punto reductor 7V, 7H en la variable velocidad.....</i>	88
5.2.1.9	<i>Espectros del punto reductor 8H y 8A en la variable velocidad.....</i>	90
5.2.1.10	<i>Espectros del punto reductor 9H y 9A en la variable velocidad.....</i>	91
5.2.1.11	<i>Espectros del punto chumacera izquierda en dirección 10V y 10H en la variable velocidad.....</i>	93
5.2.1.12	<i>Espectros del punto chumacera derecha 11V, 11H y 11A en la variable velocidad.....</i>	95
5.2.1.13	<i>Niveles de vibración en mm/s en todos los puntos de inspección de TM3.....</i>	96
5.2.2	<i>Informe de resultados y espectros de mezcladora TM4.....</i>	97
5.2.2.1	<i>Tabla de resultados.....</i>	98
5.2.2.2	<i>Espectros del motor principal en dirección 1V, 1H y 1A en la variable velocidad</i>	100
5.2.2.3	<i>Espectros del punto polea 2V y 2H en la variable velocidad.....</i>	102
5.2.2.4	<i>Espectros del punto polea 3V y 3H en la variable velocidad.....</i>	104
5.2.2.9	<i>Niveles de vibración en mm/s en todos los puntos de TM3.....</i>	105
5.3	Recomendaciones para mitigar los problemas de los equipos.....	106
5.4	Ventajas de utilizar el análisis de vibraciones.....	107
5.5	Comparación de resultados del análisis de estado técnico visual y el análisis vibraciones realizado las máquinas críticas.....	108
5.6	Calculo de la frecuencia óptima para inspecciones predictivas en los equipos críticos de Holviplas S.A.....	108

<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1	Conclusiones.....	113
6.2	Recomendaciones.....	114

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
1	Espectro de vibración.....	5
2	Vibración amortiguada.....	6
3	Vibración del resorte sobre un papel.....	6
4	Tipos de vibraciones.....	7
5	Frecuencia natural.....	8
6	Sensor de proximidad.....	9
7	Sensor de velocidad.....	10
8	Acelerómetro.....	10
9	Desbalanceo estático de un motor.....	12
10	Desbalanceo dinámico de un motor.....	12
11	Rotor o eje pandeado.....	13
12	Soltura estructural o mecánica.....	13
13	Desalineación paralela.....	14
14	Desalineación entre chumaceras.....	14
15	Desalineación de rodamiento inclinado sobre el eje.....	14
16	Soltura mecánica eje - agujero.....	15
17	Rotor excéntrico.....	16
18	Rotor o eje pandeado.....	16
19	Distensión de bandas.....	17
20	Desalineación en poleas.....	17
21	Excentricidad de poleas.....	18
22	Resonancia de bandas.....	18
23	Problemas en las patas de apoyo.....	19
24	Etapas de fallo de un rodamiento.....	21
25	Analizador vibracional VIBRACHECK ABG-200.....	29
26	Diagrama EPS.....	32
27	Planta Holviplas S.A.....	34
28	Jerarquización a nivel de componente de la empresa Holviplas S.A.....	35
29	Estructura interna de un molino de martillos.....	37
30	Balanza digital.....	37
31	Mezcladora TM3.....	38
32	Estructura interna de una extrusora.....	39
33	Estructura interna de una extrusora.....	40
34	Área de almacenaje.....	40
35	Proceso de producción de tubos.....	43
36	Diagrama de entrada proceso salida (EPS) .....	44
37	Organigrama del departamento de mantenimiento.....	46
38	Sello de parámetro de calidad.....	46
39	Programa de mantenimiento SIMPROZ .....	47
40	Ficha técnica.....	50
41	Hoja de control.....	51
42	Lista de proveedores- servicios.....	51
43	Lista de proveedores-materiales.....	52
44	Velocidades del sistema de producción.....	54

45	Identificación de la restricción.....	55
46	Flujograma de criticidad.....	61
47	Esquema de puntos de medición TM3.....	65
48	Esquema de puntos de medición TM4.....	65
49	Creación de la base de datos.....	66
50	Configuración de la base de datos (paso 1) .....	66
51	Configuración de la base de datos (paso 2).....	67
52	Configuración de la base de datos (paso 3).....	67
53	Configuración de la base de datos (paso 4).....	68
54	Configuración de la base de datos (paso 5).....	69
55	Configuración de la base de datos (paso 6).....	70
56	Configuración para transferencia de la base de datos (paso 1).....	70
57	Configuración para transferencia de la base de datos (paso 2).....	71
58	Configuración para transferencia de la base de datos (paso 3).....	72
59	Configuración para transferencia de la base de datos (paso 4).....	72
60	Mezcladora TM3.....	74
61	Espectro variable de velocidad 1V.....	77
62	Espectro variable de velocidad 1H.....	78
63	Espectro variable de velocidad 1A.....	78
64	Espectro variable de velocidad 2V.....	79
65	Espectro variable de velocidad 2H.....	80
66	Espectro variable de velocidad 3H.....	81
67	Espectro variable de velocidad 3V.....	81
68	Espectro variable de aceleración 3H.....	82
69	Espectro variable de velocidad 4V.....	83
70	Espectro variable de velocidad 4H.....	84
71	Espectro variable de velocidad 5V.....	85
72	Espectro variable de velocidad 5H.....	85
73	Espectro variable de velocidad 6V.....	86
74	Espectro variable de velocidad 6H.....	87
75	Espectro variable de aceleración 6V.....	88
76	Espectro variable de velocidad 7V.....	88
77	Espectro variable de velocidad 7H.....	89
78	Espectro variable de velocidad 8H.....	90
79	Espectro variable de velocidad 8A.....	90
80	Espectro variable de velocidad 9H.....	91
81	Espectro variable de velocidad 9A.....	92
82	Espectro variable de velocidad 10V.....	93
83	Espectro variable de velocidad 10H.....	93
84	Espectro variable de aceleración 10V.....	94
85	Espectro variable de velocidad 11V.....	95
86	Espectro variable de velocidad 11H.....	95
87	Niveles de vibración de la variable de velocidad.....	96
88	Niveles de vibración de la variable de aceleración.....	97
89	Mezcladora TM4.....	98
90	Espectro variable de velocidad 2V.....	100

91	Espectro variable de velocidad 1H.....	101
92	Espectro variable de velocidad 1A.....	101
93	Espectro variable de velocidad 2V.....	102
94	Espectro variable de velocidad 2H.....	102
95	Espectro variable de velocidad 2A.....	103
96	Espectro variable de aceleración 2V.....	103
97	Espectro variable de velocidad 3V.....	104
98	Espectro variable de velocidad 3H.....	104
99	Niveles de vibración de la variable de velocidad.....	105

## LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Desplazamiento de la vibración.....	23
2	Velocidad de la vibración.....	24
3	Criterios de severidad del nivel global de la vibración (mm/s, rms).....	26
4	Severidad en el parámetro de aceleración.....	28
5	Envolvente de la vibración.....	28
6	Criterios para determinar el estado técnico.....	41
7	Estado técnico de extrusora H200.....	42
8	Resumen de ficha de estado técnico de los equipos.....	43
9	Historial de averías de Holviplas S.A.....	48
10	Plan de mantenimiento.....	49
11	Matriz de criticidad.....	56
12	Análisis de criticidad.....	57
13	Tabla de resultados de análisis de criticidad.....	62
14	Tabla de resultados de análisis de criticidad.....	63
15	Ficha técnica mezcladora TM3.....	63
16	Ficha técnica mezcladora TM4.....	64
17	Diagnóstico para los equipos analizados.....	73
18	Resultados en valores RMS, y alarmas del equipo analizado.....	74
19	Resultados en valores RMS, y alarmas del equipo analizado.....	98
20	Cuadro de resultados de análisis vibracional.....	106
21	Resultados de análisis.....	108



## LISTA DE ABREVIACIONES

PVC	Policloruro de vinilo
DIAM	Diámetro de las poleas
CPM	Ciclos por minuto
ISO 10816-3	Norma para la evaluación de la vibración en equipos rotativos y se basa en la potencia de trabajo.
AL	Alarma para la envolvente de aceleración
Fmax	Frecuencia máxima en Hz
ABG-200	Modelo del analizador de vibraciones ABG-200
USB	Puerto de comunicación entre el analizador de vibraciones y el computador
EPS	Diagrama entrada-proceso-salida
MCC II	Mantenimiento centrado en la Confiabilidad
TPEF	Tiempo promedio entre fallas
TPPR	Tiempo promedio para reparar
INEN 9001	Norma de calidad
SGS	Norma Sistema de Gestión de Seguridad

## **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** Parámetros de Configuración del Software MAINTraqPredictive
- D** Análisis de modo y efecto de fallas TM3 y TM4 Año 2014
- E** Determinación de los puntos de monitoreo TM3
- F** Determinación de los puntos de monitoreo TM4
- G** Historial de averías para mezcladoras

## 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 empresa Holviplas S.A. ubicada en la cantón Ambato, 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 con componentes rotativos en tiempo real.

El estudio preliminar abarca, conceptos teóricos básicos sobre el análisis vibracional, breve descripción del proceso productivo, elaboración del diagrama EPS, levantamiento de datos técnicos, evaluación de los equipos con sus respectivos componentes rotativos y revisión de los documentos de trabajo, además se determinará las máquinas críticas en función del análisis de restricciones y análisis de criticidad que sirve como base para el análisis vibracional.

Se ejecutará la configuración del sistema a monitorear mediante el software MAINTraQPredictive, 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 éstas.

## **ABSTRACT**

This research project aims to provide guidance on the importance of the application of predictive maintenance based on vibrational analysis, this project is based on the diagnosis and problem determination on critical equipment company Holviplas S.A. located in Ambato Canton, it is developed in order to achieve a higher equipment availability, optimize maintenance resources, determine and monitor the condition of the state of the equipment with rotating components in real time.

The preliminary study covers basic theoretical concepts of vibrational analysis, a brief description of the productive process, draw the diagram EPS, lifting of technical data, evaluation of equipment with rotating components and their review of the working papers, also we will determine the critical machines by the constraints and criticality analysis that serves as a base for the vibrational analysis.

We will run the System configuration through MAINTraQ Predictive software, later we make the transfer of data to the computer VIBRACHECK ABG 200 for data collection and their analysis.

With the detailed analysis we determine which were the factors that caused the various equipment failures and what actions should be taken to correct them, this work also serves as a practical guide for technical staff and so they can avoid unplanned shutdowns, production losses and seek practical solutions to vibration problems related to these machines.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

HOLVIPLAS S. A. es una sociedad anónima constituida legalmente el 9 de junio de 1993, posicionándose en el mercado en la ciudad de Ambato, cuyo objetivo era la producción de compuesto de PVC, para proveer como materia prima a industrias de calzado y perfiles.

La empresa fue fundada por la Familia Holguín Darquea, actuales dueños del total de las acciones de la misma. Tres años más tarde con una importante inversión, se adquieren maquinarias para la producción de tubería de PVC, sacando al mercado un nuevo producto con la marca MAKROTUBO.

Desde su creación, la empresa tuvo un crecimiento sostenido, lo que permitió contar ya con infraestructura propia, mejorar la maquinarias y adquirir nueva tecnología, y lo que es más importante, la colaboración de un personal competente y comprometido con los objetivos empresariales que trabaja con la tranquilidad de ser parte de una empresa que contribuye al desarrollo de la comunidad y asegura su estabilidad.

La Empresa HOLVIPLAS S.A. cuenta con 9 líneas extrusoras para PVC y 4 máquinas inyectoras para accesorios; la cual alcanzan una capacidad de producción de 300 toneladas al mes entre productos de PVC y accesorios.

Consta con un Departamento de Mantenimiento, en la cual trabajan 4 personas, que son el Jefe de Mantenimiento, que se encarga de supervisar el trabajo y además dirigir los nuevos proyectos, cuenta con un tornero que se encarga del taller, un electricista y un mecánico. También hay un Sub-jefe del Departamento de Producción, que supervisa los trabajos.

La Empresa cuenta con un Plan de Mantenimiento Preventivo básico, las tareas que realizan son lubricación, limpieza y calibración de equipos; ya que no cuentan con un presupuesto para mantenimiento y no tienen stock de repuestos. Por lo general cuando existe una falla se aplica el mantenimiento correctivo. La política de la empresa es que estas fallas se deben reparar en un tiempo no mayor a tres días.

El interés de la empresa por implantar el Mantenimiento Predictivo es grande, ya que se podrían programar todas las paradas para realizar los trabajos de mantenimiento, y así evitar que ocurran fallas imprevistas, lo cual conlleva varias pérdidas en producción y económicas.

## **1.2 Justificación**

Uno de los problemas detectados en la Empresa HOLVIPLAS S.A. es no contar con los instrumentos necesarios para realizar un mantenimiento predictivo, ya que no hay presupuesto asignado, razón que genera fallos imprevistos en la maquinaria o equipos, causando paradas de producción, que a su vez causan pérdidas económicas para la empresa.

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento, realizarán un análisis vibracional de toda la maquinaria del proceso de producción de tubería PVC de la Empresa HOLVIPLAS S.A. de la ciudad de Ambato, obteniendo un informe del estado de los componentes de los equipos.

El beneficio es tener en claro los posibles fallos que se pudieran dar en las maquinarias, y así, advierten al Departamento de Mantenimiento que tomen acciones correctivas, para que estos sucesos no se den, y evitando futuros problemas de paro de producción.

La Empresa HOLVIPLAS S.A. preocupada por mantener sus equipos en buenas condiciones de operatividad, aprueba la realización inmediata de este trabajo, ya que consideran importante, brindar la oportunidad de que estudiantes universitarios participen en la realización del mismo, contribuyendo de esta manera al desarrollo de profesionales más capacitados.

### **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Evaluar los elementos rotativos mediante el análisis vibracional en el proceso de elaboración de tubos PVC en la “Empresa Holviplas S.A” del cantón Ambato – Provincia de Tungurahua.

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

Comprender los procesos aplicados en la Empresa Holviplas S.A. para la elaboración de tubos PVC.

Analizar la maquinaria utilizada en la elaboración de tubos PVC en la empresa objeto de estudio, para seleccionar los elementos rotativos que serán chequeados mediante el análisis vibracional.

Aplicar el análisis vibracional en los equipos críticos del proceso de elaboración de tubería PVC.

Elaborar un informe de resultados basado en los procesos aplicados y programar un plan de mantenimiento sustentado en el análisis vibracional cumplido en los elementos rotativos de la maquinaria utilizada en la producción de tubos PVC.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Análisis vibracional en maquinaria industrial**

El análisis de vibraciones es, probablemente, el primer método aplicado y el más extendido de todos los utilizados en el mantenimiento predictivo.

Aunque la práctica demuestre que su validez es muy limitada para la detección de fallos de origen eléctrico, la mayor parte de las anomalías mecánicas de las máquinas rotativas pueden ser diagnosticadas si se efectúa un correcto análisis de su espectro de vibración.

Antes de comenzar el seguimiento del estado de una máquina rotativa es conveniente obtener los espectros de vibración que se tomarán como referencia para el estudio posterior. Estos espectros servirán como base para determinar el estado inicial de la máquina y en ellos se deberán identificar las frecuencias características de cada armónico y la causa que las origina. De este modo, las posteriores vibraciones que sufran cada uno de los componentes de la vibración se podrá asociar a la degradación progresiva de algún elemento específico. También se pretende dar una visión general de los fallos mecánicos más comunes de las maquinas eléctricas rotativas, resumiendo su origen, causas y forma de detección(FERNÁNDEZ, 1998).

#### **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 a 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.

El movimiento vibratorio de un cuerpo entero se puede describir completamente como una combinación de movimientos individuales de 6 tipos diferentes. Esos son



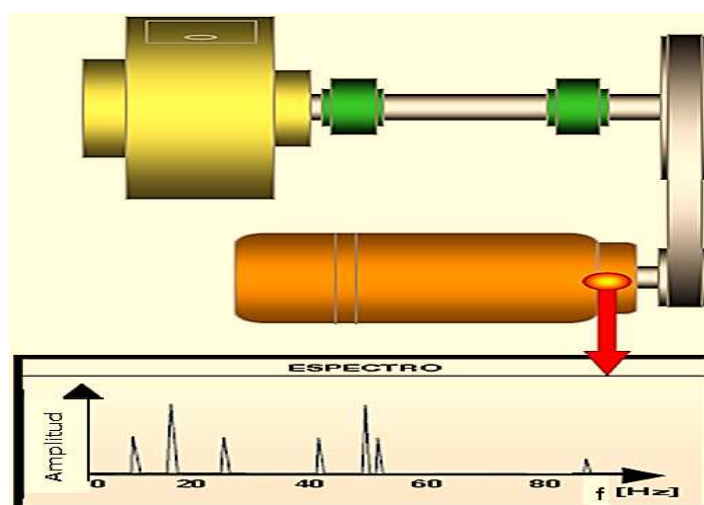
traslaciones en las tres direcciones ortogonales x, y, y z, y rotaciones alrededor de los ejes x, y, y z. Cualquier movimiento complejo que el cuerpo pueda presentar se puede descomponer en una combinación de esos seis movimientos. De un tal cuerpo se dice que posee seis grados de libertad.

Supongamos que a un objeto se le impide el movimiento en cualquiera dirección excepto una. Por ejemplo un péndulo de un reloj solamente se puede mover en un plano. Por eso, se le dice que es un sistema con un grado único de libertad. Otro ejemplo de un sistema con un grado único de libertad es un elevador que se mueve hacia arriba y hacia abajo en el cubo del elevador.

La vibración de un objeto es causada por una fuerza de excitación. Esta fuerza se puede aplicar externamente al objeto o puede tener su origen a dentro del objeto. Más adelante veremos que la proporción (frecuencia) y la magnitud de la vibración de un objeto dado, están completamente determinados por la fuerza de excitación, su dirección y frecuencia. Esa es la razón porque un análisis de vibración puede determinar las fuerzas de excitación actuando en una máquina.

Esas fuerzas dependen del estado de la máquina, y el conocimiento de sus características e interacciones permite de diagnosticar un problema de la máquina.

Figura 1. Espectro de vibración

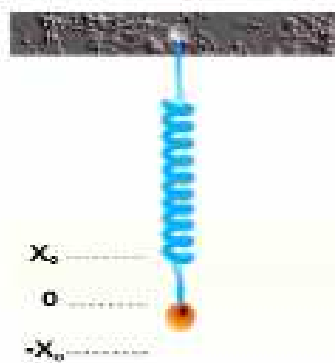


Fuente:[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf)

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

**2.2.1 Vibración simple.** La base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales. Éstas son las más simples y son la representación de las oscilaciones puras. Una oscilación pura puede ser representada físicamente con el siguiente experimento: Imagínese una masa suspendida de un resorte como el de la figura

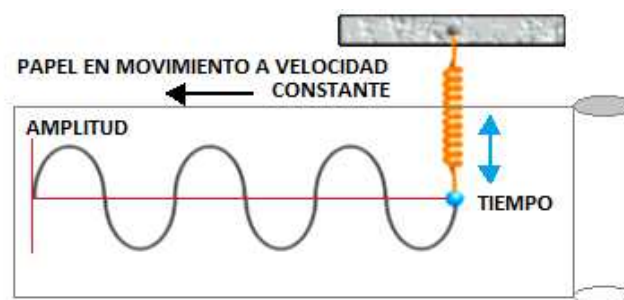
Figura 2. Vibración amortiguada



Fuente: [www.a-maq.com/tutoriales](http://www.a-maq.com/tutoriales)

Si esta masa es soltada desde una distancia  $X_0$ , en condiciones ideales, se efectuará un movimiento armónico simple que tendrá una amplitud  $X_0$ . Ahora a la masa vibrante le adicionamos un lápiz y una hoja de papel en su parte posterior, de manera que pueda marcar su posición. Si jalamos el papel con velocidad constante hacia el lado izquierdo se formará una gráfica parecida a la figura.

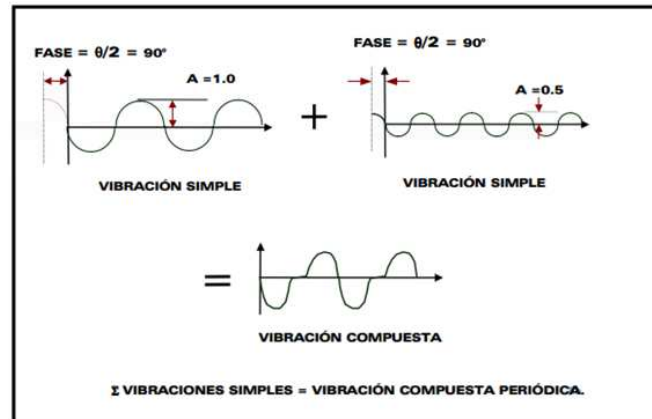
Figura 3. Vibración del resorte sobre un papel



Fuente: [www.a-maq.com/tutoriales](http://www.a-maq.com/tutoriales)

**2.2.2 Vibración compuesta.** Una señal compuesta es una sumatoria de varias señales sinusoidales que comprenden cada uno de los componentes que se encuentran en la máquina, más todos los golpeteos y vibraciones aleatorias.

Figura 4. Tipos de vibraciones



Fuente: [www.a-maq.com/tutoriales](http://www.a-maq.com/tutoriales)

### 2.3 Frecuencia natural y resonancias

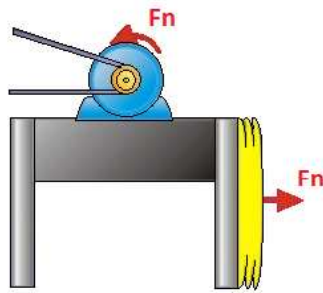
La frecuencia natural presenta un carácter muy diferente a las anteriormente nombradas, debido a que depende de las características estructurales de la máquina, tales como su masa, su rigidez y su amortiguación, incluyendo los soportes y tuberías adjuntas a ella.

No depende de la operación de la máquina, a no ser que la rigidez sea función de la velocidad. Si la frecuencia natural es excitada por un agente externo, la amplitud de vibración de la máquina se incrementará enormemente causando perjuicios que a corto o mediano plazo pueden llegar a ser catastróficos. Esto es lo que se conoce con el nombre de resonancia.

Cuando una resonancia es detectada, es necesario identificar el agente externo que la está produciendo e inmediatamente debe aislarse estructuralmente o cambiar su velocidad de operación.

La figura muestra un motor que gira a una velocidad similar a la frecuencia natural de su estructura de soporte. Lo que incrementa abruptamente los niveles de vibración de la máquina (A-MAQ, 2005).

Figura 5. Frecuencia natural



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)

## 2.4 Definiciones desde el punto de vista físico de magnitudes utilizadas para vibración

Las vibraciones pueden ser observadas en el tiempo o en frecuencia. Al efectuar la medición del nivel de vibración es necesario definir que magnitud física se desea cuantificar para describir la vibración.

- *El desplazamiento.* Es una cantidad vectorial que describe el cambio de posición de un cuerpo o partícula con respecto a un sistema de referencia.
- *La velocidad.* Es un vector que especifica la derivada del desplazamiento en el tiempo.
- *La aceleración.* Es un vector que especifica la derivada de la velocidad en el tiempo (PALOMINO, 1997).

## 2.5 Clasificación y 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.

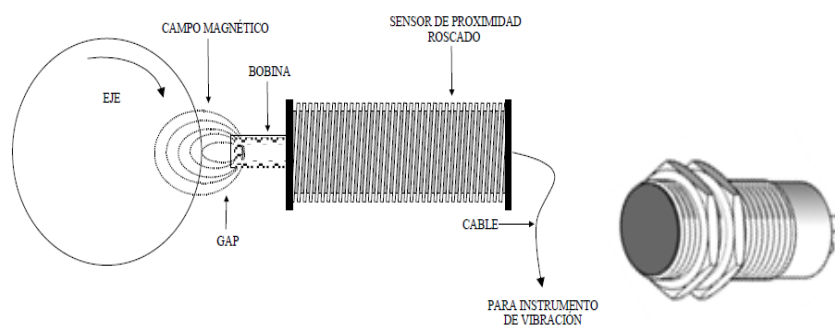
Los tipos diferentes de transductores responden a parámetros diferentes como se muestra a continuación:

**2.5.1** *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. Se debe tener cuidado para evitar que la flecha sea magnetizada y que de esta manera, la señal de salida sea contaminada.

**2.5.1.1** *Corrientes parásitas Eddy.* El método de corrientes de Eddy opera basado en el principio de que el campo magnético producido en una bobina por una corriente alterna que induce corrientes parásitas en cualquier material conductor próximo a esa bobina. Esas corrientes parásitas tienen el efecto de extraer potencia de la bobina por medio del campo magnético.

Esa extracción de potencia es mayor si el material conductor es más denso, o si una mayor parte del campo magnético actúa sobre el material por aproximarse a la bobina. Ese efecto se manifiesta como una pérdida en la amplitud de la tensión del convertidor (oscilador). Después de ser rectificadas y procesadas la señal, el efecto se convierte en una señal de medida normalizada proporcional a la distancia entre la bobina y el material conductor en mV/mm.

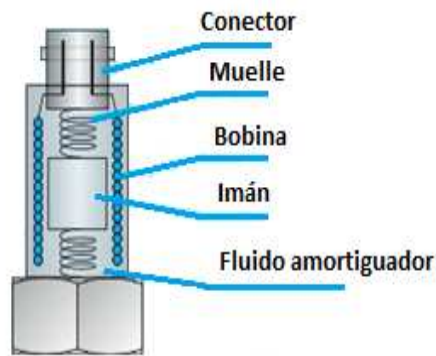
Figura 6. Sensor de proximidad



Fuente: <http://electromntto.blogspot.com/2009/03/tipos-de-sensores.html>

**2.5.2** *El transductor de velocidad.* El sensor de velocidad electrodinámico es básicamente un imán suspendido, montado entre un muelle y un amortiguador. Una bobina abraza al imán. Cuando la carcasa del sensor vibra, el imán se mantiene estacionario debido a la inercia.

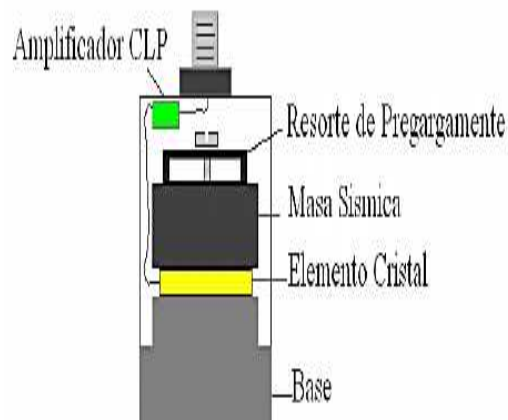
Figura 7.- Sensor de velocidad



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

**2.5.3 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://www.tav.net/transductores/medida-vibraciones-sensores.pdf>

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

Principalmente se utilizan acelerómetros monoaxiales que miden en una sola dirección, mientras que el desarrollo tecnológico presenta ahora en el mercado transductores llamados acelerómetros triaxiales que tienen la capacidad de hacer mediciones en 3

direcciones sin mover el transductor, con esto se logra ahorro de tiempo durante la inspección, ya que de otra manera es necesario tomar mediciones en las direcciones horizontal, vertical y axial.

### ***Criterios de selección para sensores de vibración***

Las características que se debe tener nuestro sensor para realizar la medición que necesitamos para medir el fenómeno deseado son las siguientes:

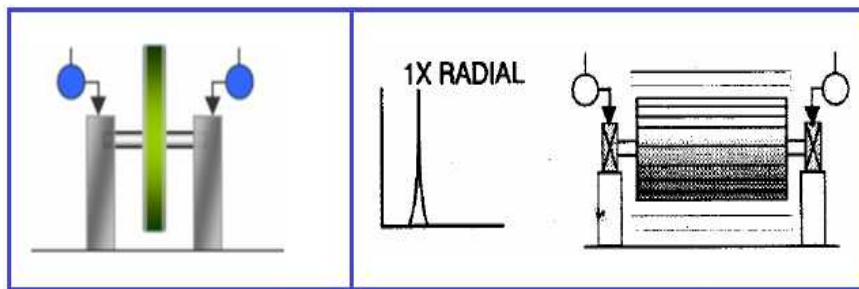
**Rango de frecuencias:** Se entiende como el rango entre la menor y la mayor frecuencia de la vibración que se puede medir sin atenuarla considerablemente. Cada sensor tiene su rango de frecuencias y debe ser conocido por el usuario, ya que fuera de este rango las mediciones no necesariamente representarán el fenómeno real.

- **Sensibilidad típica:** Corresponde a la razón entre el voltaje de salida del sensor y la vibración que provoca esa salida, por ejemplo, si tenemos un acelerómetro que tiene una sensibilidad de 100 mV/g, quiere decir que por cada “g” de aceleración, el acelerómetro entrega como salida 100 mV.
- **Rango dinámico:** Es el rango de amplitudes para el cual el sensor tiene una respuesta lineal entre la salida eléctrica y el parámetro vibratorio medido. En la práctica es la razón entre la menor amplitud a la mayor amplitud que puede medir el sensor.
- **Sensibilidad a la humedad:** Como es lógico, los acelerómetros “respirarán” mientras no estén herméticamente sellados. Durante este proceso de respiración, la humedad penetrará nuestros sistemas, alterando el comportamiento de nuestros sensores.
- **Sensibilidad magnética:** La interferencia de un campo magnético puede afectar el comportamiento de los transductores, cables, es instrumentos de medición, por ejemplo, la interferencia de otro sensor cercano, líneas de alta tensión, etc.
- **Rango de temperatura admisible:** Existe una mínima y una máxima temperatura a la que un sensor puede estar expuesto sin que la temperatura ambiente afecte las capacidades de respuesta de forma significativa (GLENN, 2010).

## 2.6 Espectros tipo utilizado en análisis vibracional

**2.6.1 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 1 X RPM del rotor. Se recomienda para corregir la falla balancear el rotor en un sólo plano (en el centro de gravedad del rotor) con la masa adecuada y en la posición angular calculada con un equipo de balanceo.

Figura 9. Desbalanceo estático de un motor

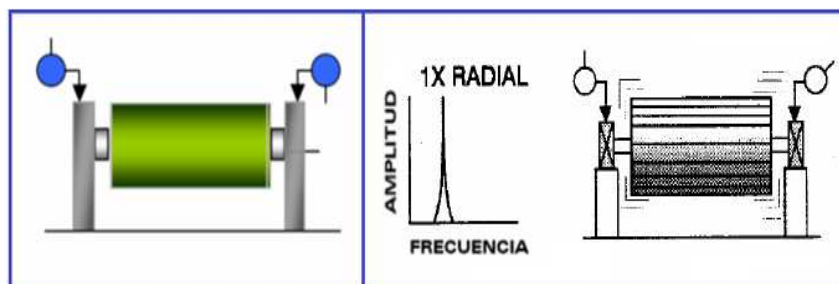


Fuente: Autores

**2.6.2 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. Se recomienda para corregir la falla balancear el rotor en dos planos con las masas adecuadas y en las posiciones angulares calculadas con un equipo de balanceo dinámico.

Figura 10. Desbalanceo dinámico de un motor

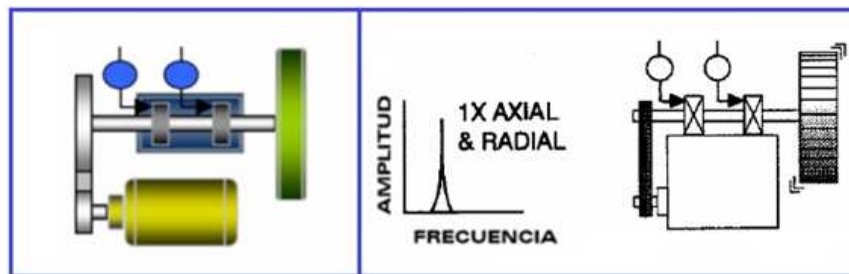


Fuente: Autores



**2.6.3 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. Para corregir la falla, primero debe verificarse que el rotor no tenga excentricidad ni que el eje esté doblado. Luego debe realizarse el balanceo adecuado. El desbalance dinámico ocurre en rotores.

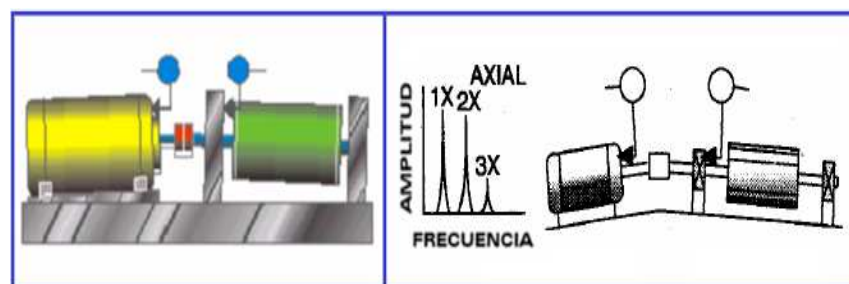
Figura 11. Rotor o eje pandeado



Fuente: Autores

**2.6.4 Desalineación angular.** Ocurre cuando el eje del motor y el eje conducido unidos en el acople, no son paralelos. Caracterizado por altas vibraciones axiales. 1X RPM y 2X RPM son las más comunes, con desfase de 180 grados a través del acople. También se presenta 3X RPM. Estos síntomas también indican problemas en el acople (PALOMINO, 1997).

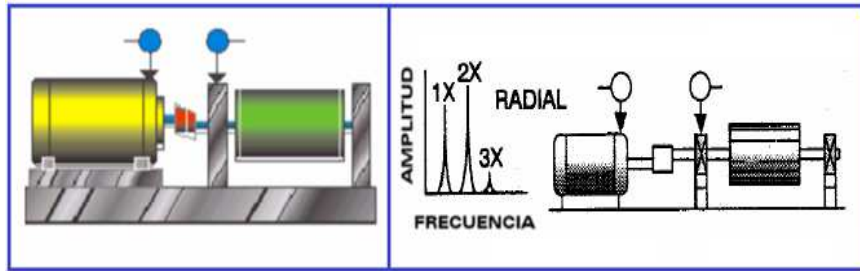
Figura 12. Soltura estructural o mecánica



Fuente: Autores

**2.6.5 Desalineación paralela.** Los ejes del motor y del rotor conducido están paralelos, pero no son colineales. Se pueden detectar altas vibraciones radiales a 2X RPM, predominante, y a 1X RPM, con desfase de 180 grados a través del acople. Cuando aumenta la severidad, genera picos en armónicos superiores (4X, 8X).

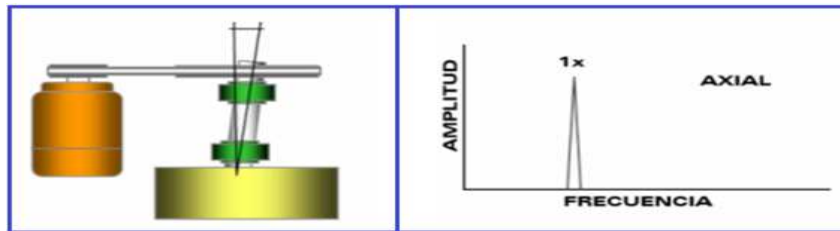
Figura 13. Desalineación paralela



Fuente: Autores

**2.6.6 Desalineación entre chumaceras.** En una máquina con transmisión de poleas, la mala posición de las chumaceras puede evitar que el eje se acomode correctamente, lo cual genera vibraciones anormales en sentido axial y radial. Excitación del pico representativo de la velocidad (1X RPM), especialmente en sentido axial. Es necesario hacer una verificación de que las chumaceras queden completamente paralelas entre sí.

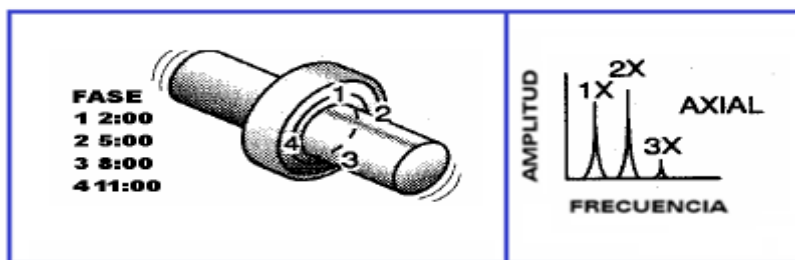
Figura 14. Desalineación entre chumaceras



Fuente: Autores

**2.6.7 Desalineación de rodamiento inclinado sobre el eje.** Un rodamiento inclinado genera una vibración Axial considerable. Puede causar un movimiento torsional con un cambio de fase aproximado de 180° de arriba a abajo y/o de lado a lado cuando se mide en dirección Axial de la misma carcasa del rodamiento. Intentos de alinear el acople o balancear el rotor no aliviará el problema.

Figura 15. Desalineación de rodamiento inclinado sobre el eje



Fuente: Autores

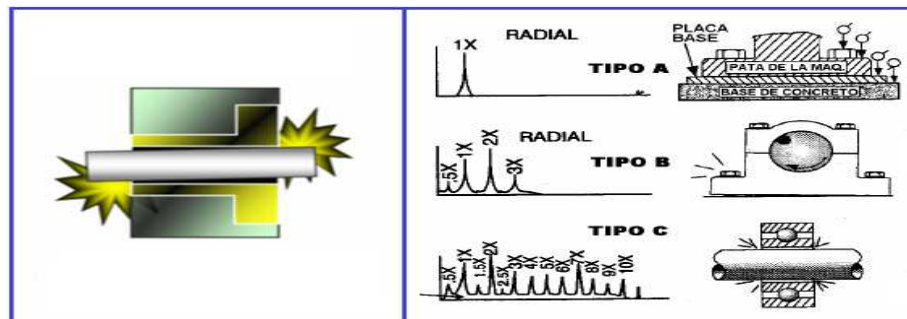
**2.6.8 Soltura u holgura mecánica eje-agujero.** La soltura mecánica está indicada para un espectro de vibración de tipo A, B o C.

*Tipo A.* Es causada por soltura/debilitamiento estructural del pie de la máquina, la placa base o cimentación, también por una sedimentación deteriorada, soltura de los pernos que sujetan a la base y distorsión del bastidor o base (Ej. pata floja). El análisis de fase puede revelar una diferencia de  $90^\circ$  a  $180^\circ$  entre la medición Vertical de los pernos, pie de máquina, placa base o la base misma.

*Tipo B.* Es generalmente causada por soltura de los pernos de la bancada, fisuras en la estructura del bastidor o en el pedestal del cojinete.

*Tipo C.* Es normalmente generada por un ajuste inadecuado entre las partes componentes, que puede causar numerosas armónicas debidas a respuestas no lineales de partes flojas a fuerzas dinámicas del rotor (CHARLOTTE PC, 1996).

Figura 16. Soltura mecánica eje - agujero

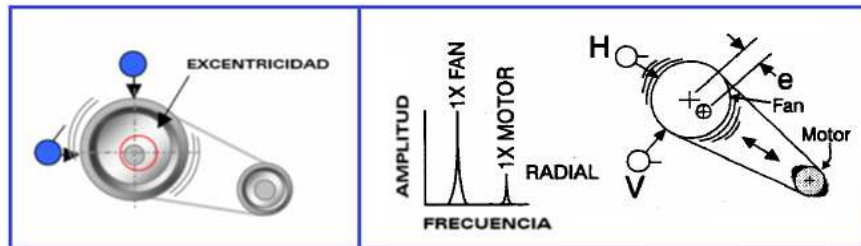


Fuente: Autores

Causa un truncamiento de la onda de Tiempo y un ruido elevado en el suelo del espectro. La tipo C es causada con frecuencia por el aflojamiento de un cojinete en su caja, por un espacio excesivo en la camisa o los elementos rodantes del rodamiento, un impulsor o eje flojo, etc. La fase tipo C es con frecuencia inestable y puede variar ampliamente de un arranque al siguiente. La soltura mecánica es a menudo altamente direccional y puede causar lecturas notablemente diferentes si se comparan niveles en incrementos de  $30^\circ$  en dirección radial alrededor de la carcasa del rodamiento.

**2.6.9 Rotor excéntrico.** Fácilmente confundible con desbalanceo. Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en una polea o engranaje. La mayor vibración ocurre a 1 X RPM del elemento con excentricidad, en dirección de la línea que cruza por los centros de los dos rotores. Para corregir la falla, el rotor debe ser re-ensamblado o reemplazado.

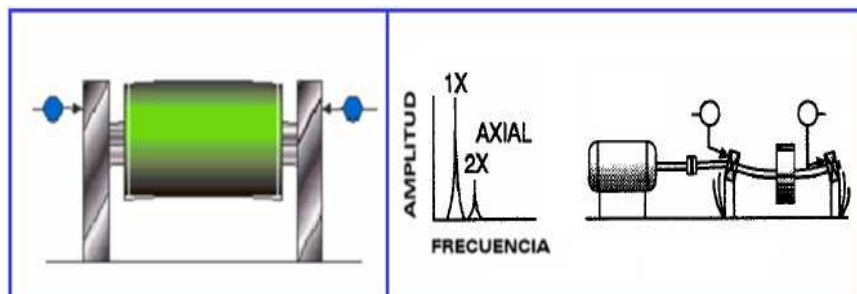
Figura 17. Rotor excéntrico



Fuente: Autores

**2.6.10 Rotor o eje pandeado.** Más común en ejes largos. Se produce por esfuerzos excesivos en el eje. Genera vibración axial alta con diferencia de fase de 180 grados medida en los dos soportes del rotor. La vibración dominante es de 1X RPM si el pandeo está cercano al centro del eje, y es de 2X RPM si el pandeo está cerca del rodamiento. Para corregir la falla, el eje debe rectificarse o cambiarse.

Figura 18. Rotor o eje pandeado



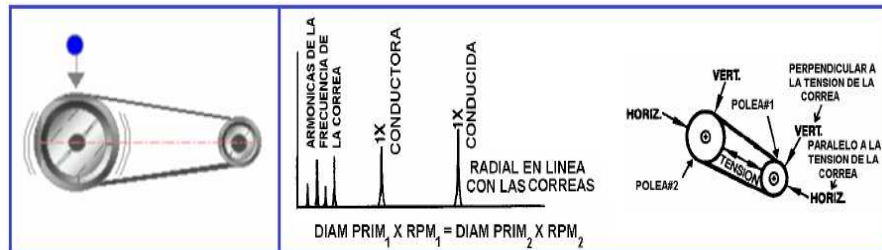
Fuente: Autores

**2.6.11 Fallas en bandas y poleas**

**2.6.11.1 Distensión.** 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 reemplácela.

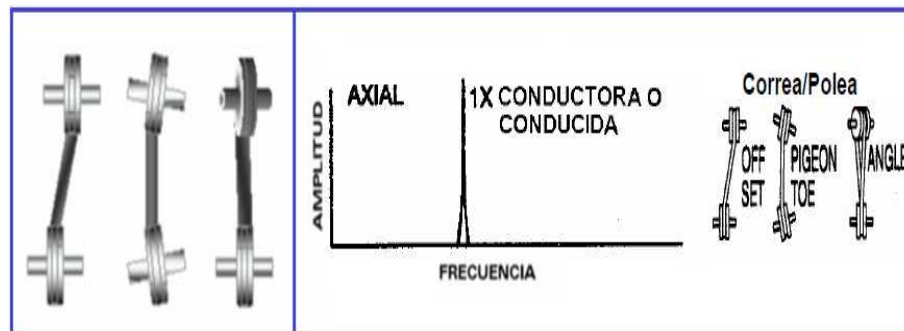
Figura 19. Distensión de bandas



Fuente: Autores

**2.6.11.2 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.

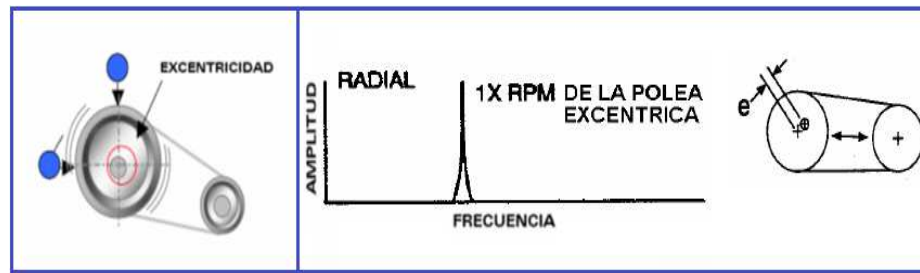
Figura 20. Desalineación en poleas



Fuente: Autores

**2.6.11.3 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. Aunque es posible balancear poleas gracias a la adición de pesas.

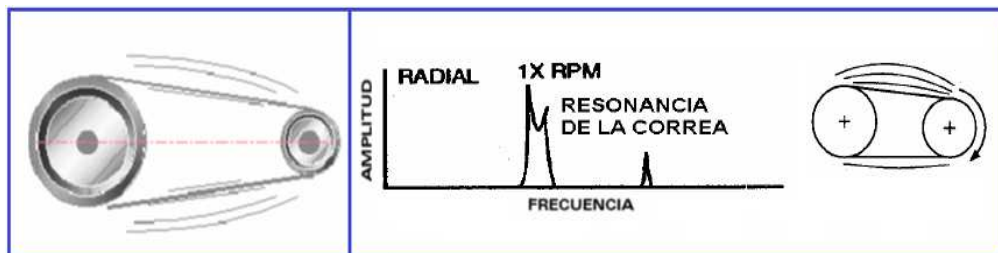
Figura 21. Excentricidad de poleas



Fuente: Autores

**2.6.11.4 Resonancia de bandas.** 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(A-MAQ, 2005).

Figura 22. Resonancia de bandas



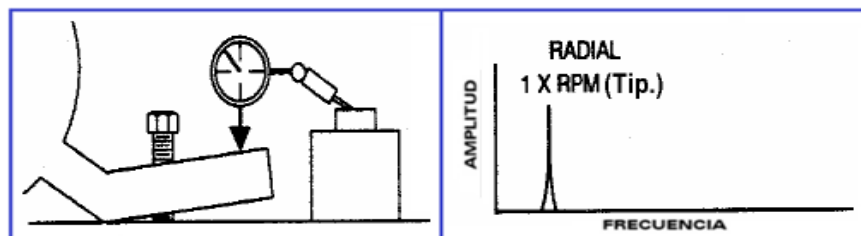
Fuente: Autores

#### 2.6.12 Problemas en las patas de apoyo

- *Pata floja.* Ocurre cuando la pata de una máquina o el bastidor se refleja cuando un perno de sujeción se afloja, causando el levantamiento de la pata aproximadamente más de 0.002 - 0.003 pulgadas. Esto no siempre causa un gran incremento de la vibración. Sin embargo, podría hacerlo si la pata floja afecta la alineación o el entrehierro del motor.
- *Pata resorteada.* Puede causar gran distorsión del bastidor, resultando en un incremento de la vibración, fuerza y esfuerzo del bastidor y carcasa del rodamiento, etc. Esto puede ocurrir cuando un perno de sujeción es ajustado excesivamente en la pata como un intento de nivelarla.

- *Resonancia de la Pata.* Puede causar incrementos dramáticos de la amplitud de 5 a 15 veces o más, si se compara con aquella cuando el perno (o combinación de pernos) están flojos o apretados a mano. Cuando se ajusta, este perno puede cambiar notablemente la frecuencia natural del mismo bastidor de la máquina. La pata floja, pata resorteada o la resonancia de la pata afecta más a menudo a 1XRPM, pero también puede hacerlo a 2XRPM, 3XRPM, 2XFL, frecuencia de paso de álabe, etc. (particularmente la resonancia de pata)(CHARLOTTE PC, 1996).

Figura 23. Problemas en las patas de apoyo



Fuente: Autores

**2.6.13 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.

**2.6.13.1 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.

**2.6.13.2 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(A-MAQ, 2005).

**2.6.13.2 Etapas de falla de un rodamiento.** A continuación se detalla las diferentes etapas que presenta un rodamiento antes de producirse el fallo.

*Etapa 1.* Las indicaciones más tempranas de que existen problemas con los cojinetes aparecen en las frecuencias ultrasónicas que van desde cerca de 250,000 - 350,000 Hz, luego cuando aumenta el desgaste, usualmente cae aproximadamente a 20,000 - 60,000 Hz (1, 200,000 - 3, 600,000 CPM). Estas frecuencias son evaluadas mediante el Pico de energía (gSE), HFD e Impulso de choque (dB). Por ejemplo, el pico de energía puede aparecer cerca de .25 gSE en la etapa 1 (el valor real depende de la ubicación de la medición y la velocidad de la máquina). Adquiriendo espectros de alta frecuencia confirma si el rodamiento falla o no en etapa 1.

*Etapa 2.* Ligeros defectos del cojinete comienzan a “hacer sonar” las frecuencias naturales ( $f_n$ ) de los componentes del rodamiento, que ocurren predominantemente en el Rango de 30K-120KCPM. Esas frecuencias naturales pueden también ser resonancias de las estructuras de soporte del rodamiento. Al final de la etapa 2 aparecen frecuencias de banda lateral por encima y por debajo del pico de frecuencia natural. El pico de energía Overall crece (por ejemplo de .25 a .50gSE).

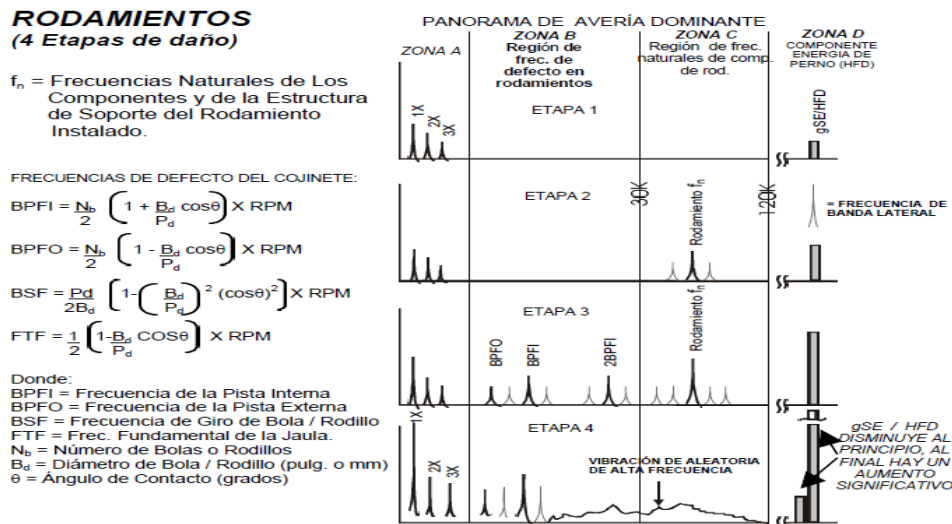
*Etapa 3.* Aparecen frecuencias y armónicas de defectos en rodamientos. Cuando el desgaste progresa, más frecuencias armónicas aparecen y el número de bandas laterales aumenta, ambas alrededor de estas y las frecuencias naturales de los componentes del rodamiento. El pico de energía overall sigue incrementando (por ejemplo de 0.50 a más de 1gSE). El desgaste es ahora por lo general visible y se puede prolongar a la periferia del rodamiento, particularmente cuando bandas laterales bien formadas acompañan a las armónicas de la frecuencia de defecto de rodamiento. Espectros de alta frecuencia y cubiertos ayudan a confirmar la etapa 3. Reemplace el rodamiento ahora! (independientemente de las amplitudes de frecuencia de defecto de rodamiento en el espectro de vibraciones).

*Etapa 4.* Hacia la parte final, la amplitud 1XRPM es incluso afectada. Crece y normalmente causa el aumento de numerosas armónicas de velocidad de giro. De hecho los discretos defectos del cojinete y las frecuencias naturales de los componentes comienzan a “desaparecer”, y son reemplazados por un “ruido de piso” al azar, de banda



ancha y alta frecuencia. Además las amplitudes del ruido de piso de alta frecuencia y el pico de energía disminuyen, sin embargo justo antes de que ocurra la falla, el pico de energía y el HFD crece por lo general a amplitudes excesivas(CHARLOTTE PC, 1996).

Figura 24. Etapas de fallo de un rodamiento



Fuente: Tablas de Charlotte

## 2.7 Normas utilizadas para medición y evaluación de los niveles de vibración

Las tolerancia vibracionales están relacionados con valores límite de vibración que las máquinas pueden soportar sin que esta pierda su función para la cual fue diseñada.

Antes de determinar el rango de vibración de una maquina debemos tener claro la diferencia entre base rígida y base flexible. La base rígida se presenta cuando la estructura que soporta a la maquina está directamente anclado o fijado a la cimentación, mientras que una base flexible es cuando la estructura que soporta a la máquina se encuentra aislada de cualquier manera de la cimentación de la misma.

Por lo tanto los rangos vibracionales se definen de acuerdo a la norma ISO 10816-3 o también se tiene a TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE, P.C para lo cual es importante pero no indispensable tener los datos técnicos de la maquina como son: (rpm, potencia, diámetro de eje, serie de rodamiento) lo cual nos permitirá definir los rangos de vibración de una máquina adecuadamente. Para esto la norma divide en 4 grupos a las máquinas que son:

**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 cada una 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.

La norma ISO (10816) proporcionan una guía para la evaluación de la intensidad de vibración en las máquinas que operan en el rango de 10 a 200 Hz (600 a 12.000 RPM) de frecuencia. Ejemplos de este tipo de máquinas son, acoplamiento directo, motores y bombas, motores, motores de producción medio, generadores, turbinas de vapor y gas, turbo-compresores, turbo-bombas y ventiladores eléctricos pequeños. Algunas de estas máquinas puede estar acoplado rígida o flexible, o transmisión por engranajes.

**2.7.1** *Tablas y normas de severidad vibracional.* Se detalla las tablas y normas de

severidad vibracional que se utiliza para inspección de máquinas rotativas mediante las cuales 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.

**2.7.2 Criterios de severidad**

a) *Desplazamiento de la vibración (μm, rms)*

Tabla 1. Desplazamiento de la vibración

NORMA ISO 10816-3 PARA VIBRACIONES EN DESPLAZAMIENTO								DESPLAZAMIENTO 10-1000 Hz > 600 rpm 2-1000 Hz > 120 rpm μm, rms mil rms	
				D					140
								113	4,45
								90	3,54
				C				71	2,80
								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 15KW < P < 300 KW		Máquinas grandes 300 KW < P < 50 MW		Tipo de máquina	
Motor integrado		Motor externo		Motores 180mm ≤ P < 315mm		Motores 315mm SH			
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: Documentación técnica empresa Idear

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

Tabla 2. Velocidad de la vibración

NORMA ISO 10816-3 PARA VIBRACIONES EN VELOCIDAD								VELOCIDAD	
								11	0,43
				D				7,1	0,28
								4,5	0,19
				C				3,5	0,14
								2,8	0,11
				B				2,3	0,09
								1,4	0,06
				A				0,71	0,03
								$\mu\text{m, rms}$	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: Documentación técnica empresa Idear

La velocidad se define como la proporción de cambio en el desplazamiento, se mide como la proporción de cambio en la velocidad, es la aceleración promedio de la gravedad en la superficie de la tierra(Internatinal Standard Organisation, 1998).

**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 - bombas sumergidas.
- 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.

***TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE, P.C; 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 3. 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
Centrifugo 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: Documentación técnica empresa Idear

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 4. 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: Idear

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(ÁLVAREZ, 2013).

Tabla 5. Envlovente 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: Idear



## 2.8 Características de operación 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.

Figura 25. Analizador vibracional VIBRACHECK ABG-200



Fuente: Manual de usuario VIBRACHECK ABG-200, Idear

**2.8.1** *Licencias de VIBRACHECK ABG-200.* El funcionamiento del equipo tiene incorporado la licencia de tres software que se complementan mutuamente para así brindar múltiples funciones a sus usuarios de esta manera incrementa el alcance de las aplicaciones en el campo industrial.

- *MAINTraqPredictive.* Para mantenimiento predictivo desde donde se pueden cargar las rutas, ver las tendencias, el estado de máquinas y realizar análisis de vibraciones.
- *MAINTraqAnalyzer.* Para análisis de arranques y paradas de máquinas, grabaciones de hasta 12 horas de las vibraciones, Bump test, Mediciones de desde todo tipo de sensores dinámicos ofreciendo (Espectros, Formas de onda, Órbitas, Espectros cruzados, Coherencia, Diagrama polar, Diagrama de Bode, Análisis de fase, Cascada de espectros en función de RPM).
- *MAINTraq Balance.* Permite balancear en línea.

### 2.8.2 *Sensores de VIBRACHECK ABG200*

- Acelerómetros de 100 mV/g o 500 mV/g
- Sensores de proximidad de no contacto
- Sensores de velocidad
- Otros sensores con unidades configurables
- Racks de monitoreo continuo

**2.8.3** *Principales bondades de VIBRACHECK ABG200.* Es un equipo muy completo que tiene una infinidad de funciones y aplicaciones de mantenimiento predictivo de equipos rotativos por lo que a continuación mencionamos a los más utilizados en la práctica.

- *Medición de espectros.* Vibracheck mide espectros de hasta 6400 líneas de resolución, lo que permite una excelente discriminación de componentes de frecuencias para la mayoría de los casos prácticos.
- *Medición de formas de ondas.* Vibracheck mide formas de onda con frecuencia de muestreo y tiempo de edición configurables.
- *Balanceo.* Puede realizar mediciones de desbalanceo en uno y dos planos para una mejor apreciación de las condiciones en que se encuentra la máquina, a continuación se detalla las funciones dentro de aspecto de balanceo.
  - a) Balancea en uno y dos planos.
  - b) Opera desde 150 hasta 12000 RPM.
  - c) Indica las RPM.
  - d) Muestra simultáneamente a las mediciones en los dos planos.
  - e) Mide la amplitud y la fase de la vibración.
  - f) Indica el porcentaje de la vibración total causada por el desbalanceo.
  - g) Mide la fase de la vibración con respecto a una posición fija del eje por medio de un fototacómetro.
  - h) Utiliza un acelerómetro para medir la vibración.
  - i) Utiliza un fototacómetro para obtener la referencia de la posición angular.

- *Verificador de rodamientos.* Vibracheck evalúa el estado de rodamientos a partir de las RPM, diámetro del eje y del nivel de aceleración envolvente medido, Vibracheck indica si un rodamiento está funcionando bien, regular o mal.
- *Determinación del estado vibratorio.* Vibracheck evalúa el nivel de vibraciones medidas e indica el estado resultante de acuerdo a las recomendaciones de la norma ISO 10816-3. Todo lo que se requiere para conocer el estado vibratorio es ingresar la potencia de la máquina, el tipo de base rígida o flexible y las RPM para que Vibracheck indique si el nivel de vibraciones es aceptable, regular o inaceptable.
- *Comunicación.* Vibracheck permite descargar los datos rápidamente por USB. Estos equipos aplican el análisis de la transformada rápida de Fourier para descomponer la señal periódica en sus componentes a diferentes frecuencias, generando lo que se llama un espectro de vibración.
- *Evaluación.* Pueden evaluar el espectro “en tiempo real” (como una foto) o “en estado estable” (en un lapso). Actualmente tienen colectores de la señal vibratoria que luego alimentan la información al equipo, generan gráficos en displays de cristal líquido o impresos.
- *Sincronización.* Pueden trabajar intercomunicados a una computadora, hacer comparaciones de tendencias (de niveles off y componentes armónicas). Fijar alarmas y hacer proyecciones que reporten daños futuros según las tendencias.
- *Informes.* *Entregan reportes sobre las posibles causas del problema vibratorio, tienen posibilidad de guardar en memoria las mediciones y algunos trabajan con una base de datos que provee información sobre frecuencias de fallas de rodamientos. Generan la estructura de las rutas de medición.*

En definitiva, estos equipos permiten hacer análisis de vibraciones, que es una gran herramienta para el mantenimiento.(IDEAR, 2006)

## **2.9 Contexto operacional de los equipos del proceso de producción**

El contexto operacional constituye la atmósfera de trabajo de un equipo o sistema donde sus factores intervienen directa e indirectamente. Aquí se muestra los ítems contemplados para especificar el contexto operacional de un equipo.

**2.9.1 Resumen operativo.** Este parámetro se enfoca en el proceso de producción de la empresa, teniendo como prioridad detallar los características de funcionamiento y se hará referencia a los componentes de las máquinas inmiscuidas en el proceso, como también hacer énfasis en sus función dentro del mismo; además, de las metas ambientales y operacionales que persigue la empresa.

- *Jerarquización del sistema.* Se debe ubicar al equipo dentro de su respectivo nivel jerárquico que puede ser a nivel de sistema, equipo o componente.
- *Propósito del sistema.* Se describe que misión cumple el sistema y bajo que especificaciones está operando.
- *Descripción del proceso.* Se detalla con el diagrama de proceso donde está instalado el equipo.
- *Descripción de equipos.* Se elabora la ficha técnica y características del activo tomando como referencia los datos más importantes a la hora de ejecutar una tarea de mantenimiento.
- *Dispositivos de seguridad.* Se enlista los dispositivos de seguridad que posea.
- *Diagrama entrada – proceso – salida (EPS).* Es un diagrama que permite una fácil visualización del sistema, para su posterior análisis.
- *Metas de seguridad/ambientales/operacionales.* Se define objetivos ambientales y de seguridad.
- *Planes futuros.* Visión con respecto al tiempo.

Figura 26. Diagrama EPS



Fuente: Seminario “Formación de facilitadores para implementación del MCCII”

**2.9.2 Personal.** Es un parámetro en el cual se identifica como está conformado el personal de mantenimiento el orden jerárquico, que función desempeña, que turnos se cumple, forma de operar lo equipos entre otros aspectos de parámetros de calidad que se cumplen dentro del departamento.

- *Turnos rotativos.* Se toman de acuerdo a las 24 horas del día o de acuerdo a la jornada de trabajo
- *Operaciones.* Forma en la que el equipo es operado.
- *Mantenimiento.* Tipo de mantenimiento aplicado en la empresa.
- *Parámetros de calidad.* De acuerdo al producto fabricado en ese equipo se tendrá en cuenta normas de calidad, normas de seguridad, normas de medio ambiente.
- *Gerencia.* Políticas administrativas que se rige dentro del departamento de mantenimiento.

**2.9.3** *División de procesos.* En esta instancia se realizará la definición de los sistemas del proceso productivo para identificar el alcance del estudio y tener una mayor prioridad a las partes más representativas del proceso.

- *División del proceso en sistemas.* Se realiza la división en sistemas, subsistemas o equipos dependiendo de la profundidad de análisis que requiera la empresa.
- *Definición de los límites de los sistemas.* Se define los límites de los nuevos sistemas, subsistemas o equipos, de manera que la información sea organizada y clara para el personal de mantenimiento.
- *Listado de componentes.* Se establecerá una lista para cada sistema, incluyendo dispositivos de seguridad e indicadores, en lo posible detallar cada uno de los activos en caso de haberlos (MOUBRAY, 2010).

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS DEL ESTADO TÉCNICO DE LOS EQUIPOS DE LA EMPRESA HOLVIPLAS S.A.

#### 3.1 Resumen operativo

El ambiente donde funciona el equipo es muy importante definirlo correctamente ya que son equipos que tienen distintos regímenes de trabajo.

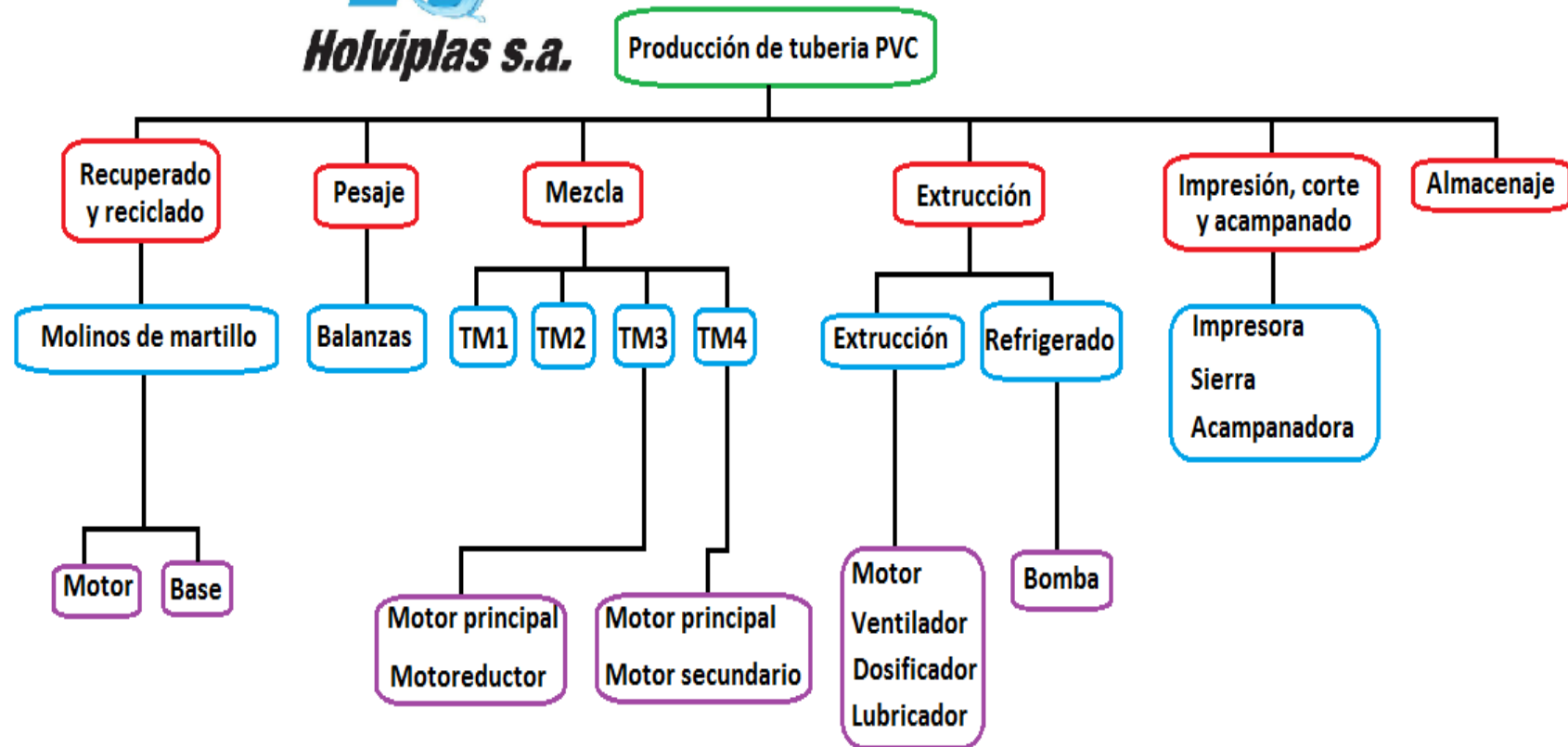
**3.1.1 Jerarquización del sistema.** La empresa HOLVIPLAS S.A. posee en la ciudad de Ambato, la planta industrial y sus oficinas, y además cuenta con oficinas en la ciudad de Quito, para expandir el mercado de los productos. La jerarquización, se realizará a nivel de plantas, zonas, equipos y en lo posterior para el análisis correspondiente se desarrollará la jerarquización a nivel de componentes.

Figura 27. Planta Holviplas S.A



Fuente: Autores

Figura 28. Jerarquización a nivel de componente de la empresa Holviplas S.A



35-

Fuente: Autores

**3.1.2 Descripción funcional del proceso.** El proceso de fabricación de tubería PVC rígida, así como los diferentes productos que ofrece la Empresa Holviplas S.A. como son tubería de redes telefónicas, mangueras de conductores eléctricos, manguera de regadío, accesorios para tubería, sillas, entre otros, se inicia obteniendo la materia prima que va a servir para el proceso, según sea el caso de producto la materia prima puede ser virgen o reciclada; luego debe tener la cantidad adecuada y para eso pasa por la parte del pesaje, ya que las cantidades adecuadas de cada componente da como resultado una buena calidad del producto; ya pesado pasa después al área de mezclado el cual tiene como objetivo homogenizar la mezcla según sea el producto a realizar; después pasa al proceso de extrucción el cual es dar la forma a la materia prima ya sea tubería rígida, corrugada, manguera, etc. En este proceso se manejan altas temperaturas por lo que el operador no interviene a no ser que surja un inconveniente; después pasa a ser cortada según las dimensiones establecidas bajo normas para la producción, e impresa los datos técnicos, finalmente lo almacenan en la bodega por tipo de productos, para luego ser transportados a los diferentes lugares de distribución.

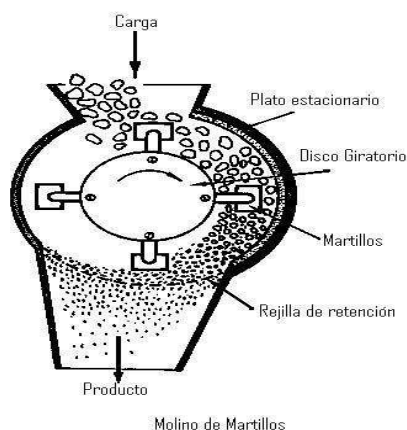
**3.1.2.1 Área recuperado y reciclado.** Esta zona se la puede considerar como la primera fase, ya que aquí se muele los productos que se reciclan o que se han producido con un desperfecto (producción defectuosa), ya que por norma INEN 9001 para la producción de nueva tubería PVC se admite un porcentaje de 3% de material recuperado. Se almacena todo el material, el cual según la demanda se pasa a los molinos, aquí se encuentra todo el material defectuoso que sale del proceso, y además el material reciclado que llega a la empresa

*Componentes que intervienen en la zona*

- *Montacargas.* Consiste en llevar todo el material reciclado y defectuoso hacia el patio de almacenaje en la zona de molinos, un camión que pertenece a la empresa se encarga de esta tarea.
- *Molinos de martillo.* Estos equipos muelen al material en pequeñas partículas para luego llevarlas al proceso de producción. En esta parte el operador debe tener todo el equipo de protección porque las partículas de PVC se desprenden con mucha fuerza que podría causar daños a los operadores.



Figura 29. Estructura interna de un molino de martillos



Fuente: Documentación técnica, Holviplas S.A

**3.1.2.2 Área de pesaje.** En ésta zona se pesa y se coloca la cantidad adecuada, ya sea de materia prima virgen, materia prima recuperada y de químicos que intervienen en el proceso de fabricación.

*Componentes que intervienen en la zona*

- **Balanzas.** Éste equipo pesa las cantidades adecuadas de material que van a incluir en el proceso de fabricación, este material ya pesado se almacena en sacos, mismos que luego serán transportados a la siguiente zona.

Figura 30. Balanza digital



Fuente: Documentación técnica, Holviplas S.A

- **Montacargas.** Permite llevar los sacos de los diferentes materiales hacia la zona o área de mezclado.

**3.1.2.3Área de Mezcla.**En ésta parte del proceso se mezclan los diferentes materiales y se homogeniza a una temperatura de 90°C, para que tenga las características adecuadas para la fabricación de la tubería de PVC.

*Componentes que intervienen en la zona*

- *Mezcladoras.* Estos equipos homogenizan los materiales para que el producto tenga una buena calidad en el momento de la fabricación.

Figura 31. Mezcladora TM3



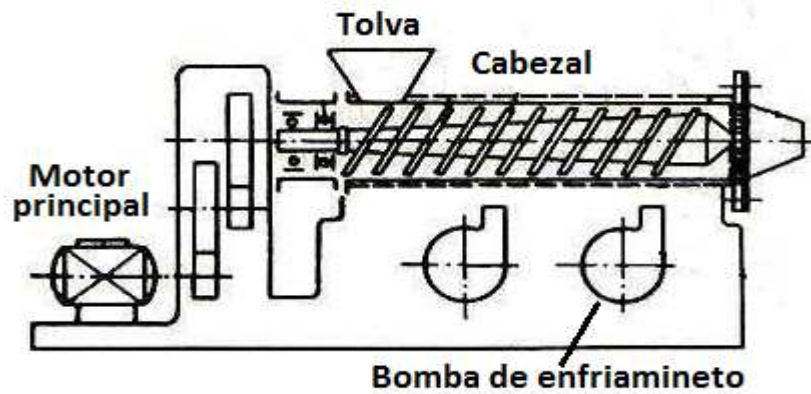
Fuente: Documentación técnica, Holviplas S.A

**3.1.2.4Área de Extrucción y refrigerado.** En la parte de extrucción ingresa la materia prima (resina) y la calienta aproximadamente en un 20 a 30 °C para que la resina se funda, y dar la forma y dimensiones requeridas del tubo, y luego pasa a enfriar el tubo para que tome la forma que se dio anteriormente, para el proceso de refrigerado se utiliza agua que recircula durante todo el proceso.

*Componentes que intervienen en la zona*

- *Tolva.* Es por donde ingresa la resina, para esto una bomba succiona el material para que ingrese al cabezal.
- *Cabezal.* Aquí se da la forma y dimensión del tubo a fabricar, en este proceso interviene elevadas temperaturas para fundir a la resina.
- *Tina de enfriamiento.* El tubo recién formado pasa por esta tina, el objetivo es enfriar el tubo y que quede con la forma que anteriormente se la ha dado.

Figura 32. Estructura interna de una extrusora



Fuente: Documentación técnica, Holviplas S.A

**3.1.2.5 Impresión, corte y acampanado.** En esta zona se imprime en la tubería las características del mismo, además la marca de la empresa, igualmente se realiza el corte del tubo según las medidas normadas, y finalmente se realiza el acampanado del tubo que sirve para el acople entre tubos.

*Componentes que intervienen en la zona*

- Impresora láser. En éste proceso se anota en el tubo las siguientes características:

Marca

Tipo de producción

Precio

Diámetro del tubo

Serie

Presión nominal

Norma

Lote

Fecha

Ambato – Ecuador

- Jalador. Su función es jalar el tubo para que pueda salir, e ingresar a la siguiente fase de producción que es el corte, su calibración es adecuada según las medidas del tubo que se está produciendo.

- Cortadora. Con una sierra automática se cota el tubo con las dimensiones que se encuentran en la norma de fabricación, en esta parte del proceso no interviene el operador ya que todo es automático y así evitar cualquier incidente.
- Acampanadora. En esta parte del proceso se realiza el acampanado del tubo, al igual que la anterior fase, ésta es automática para evitar el contacto con el operador, ya que aquí se trabaja con altas temperaturas.

Figura 33. Estructura interna de una extrusora



Fuente: Documentación técnica, Holviplas S.A

**3.1.1.6 Almacenaje.** Finalmente el tubo ya está listo para ser transportado a la bodega y luego a los diferentes lugares donde se comercializa a nivel local y nacional. En la bodega de la empresa Holviplas S.A el producto terminado se realiza la clasificación y apilado según las diferentes marcas de material terminado.

Figura 34. Área de almacenaje



**Tuberías de PVC rígido unión roscado cédula 80**

Fuente: Documentación técnica, Holviplas S.A

**3.1.3** *Fichas de estado técnico visual de los elementos rotativos de la producción de tubería PVC de la empresa Holviplas S.A.* Una vez elaborado el inventario de los equipos, será necesario proceder a la determinación del estado técnico, para lo cual se realizará una revisión previa a cada uno.

Esta revisión previa la efectuaran los técnicos más calificados del taller en las diferentes especialidades (mecánicos, electricistas, etc.) y estará dirigida detectar el grado de desgaste de las diferentes partes y mecanismos de los equipos, lo que permitirá determinar su estado técnico y se define como las condiciones técnicas y funcionales que este presenta en un momento dado.

Un equipo que está sometido a un determinado régimen de trabajo se deteriora continuamente y su estado técnico puede llegar a tal punto, que se refleje en la mala calidad de la producción elaborada, en un bajo rendimiento, en el aumento de las roturas imprevistas e incluso, en el aumento de los riesgos que para el operador implica su operación. De ahí que es necesario mejorar de forma constante el estado técnico de los equipos mediante los servicios de mantenimiento, los que se realizan con el fin de restituirles en lo posible, sus características de diseño. La inspección realizada debe contemplar los siguientes aspectos:

- Consumo de energía
- Funcionamiento del mecanismo motriz
- Estado de la carcasa o cuerpo del equipo
- Funcionamiento de los mecanismos de control o mando
- Estado de las correas, cadenas de transmisión, acoples, etc.
- Estado de conservación de los instrumentos que indican los parámetros de funcionamiento del equipo.
- Nivel de ruido y vibraciones (ZAMORA, y otros, 1984).

Tabla 6. 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: ZAMORA, C. El Mantenimiento Fabril su Planificación y Organización

Además, los criterios que se aplican en esta metodología se fundamentan en conceptos básicos de [www.cujae.com.cu](http://www.cujae.com.cu), de esta manera se complementa la evaluación de los equipos del proceso productivo de la empresa Holviplas. S.A.

Tabla 7. Estado técnico de extrusora H200

		<b>FICHA DE EVALUACIÓN TÉCNICA</b>		
<b>SECCIÓN:</b> EXTRUSIÓN				
<b>EQUIPO:</b> EXTRUSORA H200				
<b>MARCA:</b> LAFERT - POMPETRAVELINI		<b>RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO:</b> Departamento de mantenimiento - Holviplas		
<b>CÓDIGO TÉCNICO:</b> H-EX-H200-BV		<b>SIGNIFICADO:</b> EMPRESA HOLVIPLAS-SECCIÓN EXTRUSIÓN-EQUIPO EXTRUSORA H200 -BOMBA DE VACÍO		
<b>MANUALES:</b> SI:..... NO:..X... Código: Significado:		<b>PLANOS:</b> SI:..... NO:.....X... Código: Significado:		<b>REPUESTOS:</b> SI:..... NO:.....X... Código: Significado:
<b>ESTADO TÉCNICO:</b>		<b>MALO</b>	<b>REGULAR</b>	<b>BUENO</b>
Estado del anclaje		.....	.....X.....	.....
Estado de la carcasa		.....	.....	.....X.....
Estado del motor		.....	.....X.....	.....
Estado del acople		.....	.....	.....X.....
Estado de la bomba		.....	.....	.....X.....
Estado de cables y pulsadores		.....	.....	.....X.....
Estado de vibración		.....	.....X.....	.....
Lubricación		.....	.....X.....	.....
Motor Reductor principal		.....	.....X.....	.....
Bomba de agua		.....	.....X.....	.....
Bomba de lubricación		.....	.....X.....	.....
Bomba de vacío		.....	.....X.....	.....
<b>RESULTADOS:</b>		<b>FOTO DEL EQUIPO</b>		
$\Sigma$ BUENO = 5 x 1 = 5 $\Sigma$ REGULAR = 3 x 0.80 = 2.4 $\Sigma$ MALO = 0 x 0.50 = 0 <b>SUMATORIA</b> $\Sigma$ = Bueno + Regular + Malo $\Sigma$ = 5 + 2.4 + 0 $\Sigma$ = 7.4 <b>ÍNDICE DE ESTADO TÉCNICO</b> $IE = (\Sigma / 8) \times 100\%$ $IE = (7.4 / 8) \times 100\%$ <b>IE = 92.50%</b>				
<b>CONCLUSIÓN ESTADO TÉCNICO:</b>		<b>BUENO</b>		

Fuente: Autores

En la ficha de estado técnico se detalla la información más significativa de las máquinas, para la determinación del estado se contempla los componentes funcionales del equipo y se evalúa de acuerdo a su condición real, Con esta información se determinará el estado del equipo considerando que cada uno de los resultados tiene una valoración en función a su estado.

Tabla 8. Resumen de ficha de estado técnico de los equipos

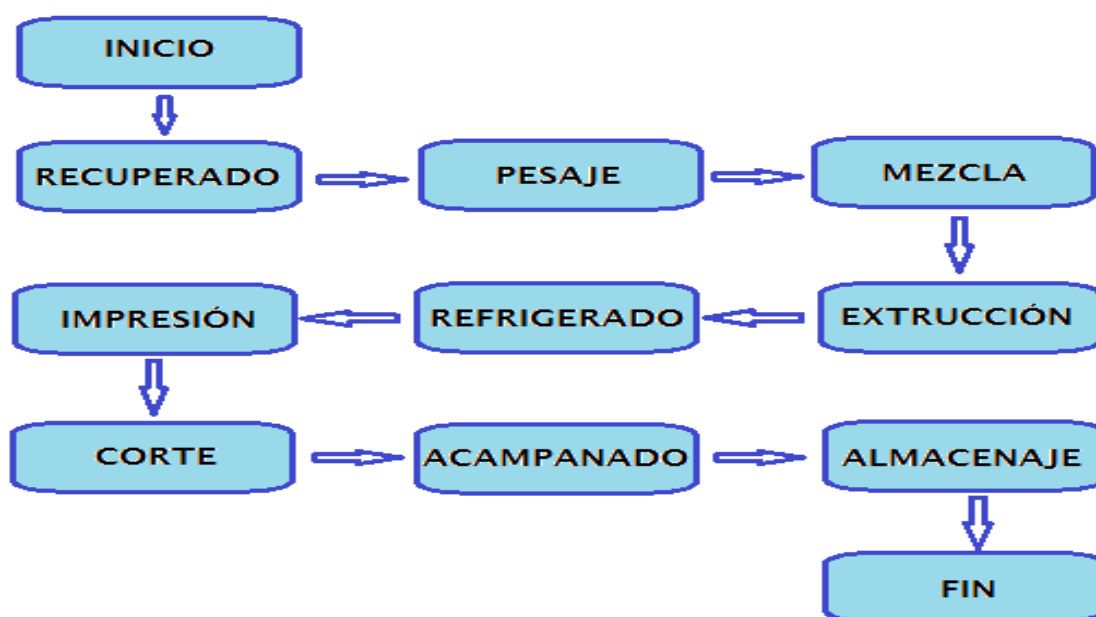
<b>RESUMEN DE FICHA DE ESTADO TÉCNICO DE LOS EQUIPOS</b>		
<b>Área</b>	<b>Equipo</b>	<b>Estado Técnico</b>
MOLIENDA	MOLINO GRANO GRUESO	BUENO
MOLIENDA	MOLINO GRANO FINO	BUENO
MEZCLA	MEZCLADORA TM3	BUENO
MEZCLA	MEZCLADORA TM4	BUENO
EXTRUCCIÓN	EXTRUSORA H100	BUENO
EXTRUCCIÓN	EXTRUSORA H200	BUENO
EXTRUCCIÓN	EXTRUSORA H300	BUENO
EXTRUCCIÓN	EXTRUSORA H400	BUENO
EXTRUCCIÓN	EXTRUSORA H500	BUENO
EXTRUCCIÓN	EXTRUSORA H600	BUENO
EXTRUCCIÓN	EXTRUSORA H700	BUENO
EXTRUCCIÓN	EXTRUSORA H800	BUENO
EXTRUCCIÓN	EXTRUSORA H900	BUENO
EXTRUCCIÓN	EXTRUSORA H1000	BUENO

Fuente: Autores

En esta tabla se observa que la totalidad de los equipos están en un estado BUENO esto se debe al sistema de mantenimiento aplicado por parte de la empresa, sin embargo a ello existen equipos que deben tener mayor prioridad por parte del personal técnico debido a su importancia dentro del proceso como es el área de mezcla.

### 3.1.4 Descripción del proceso productivo

Figura 35. Proceso de producción de tubos

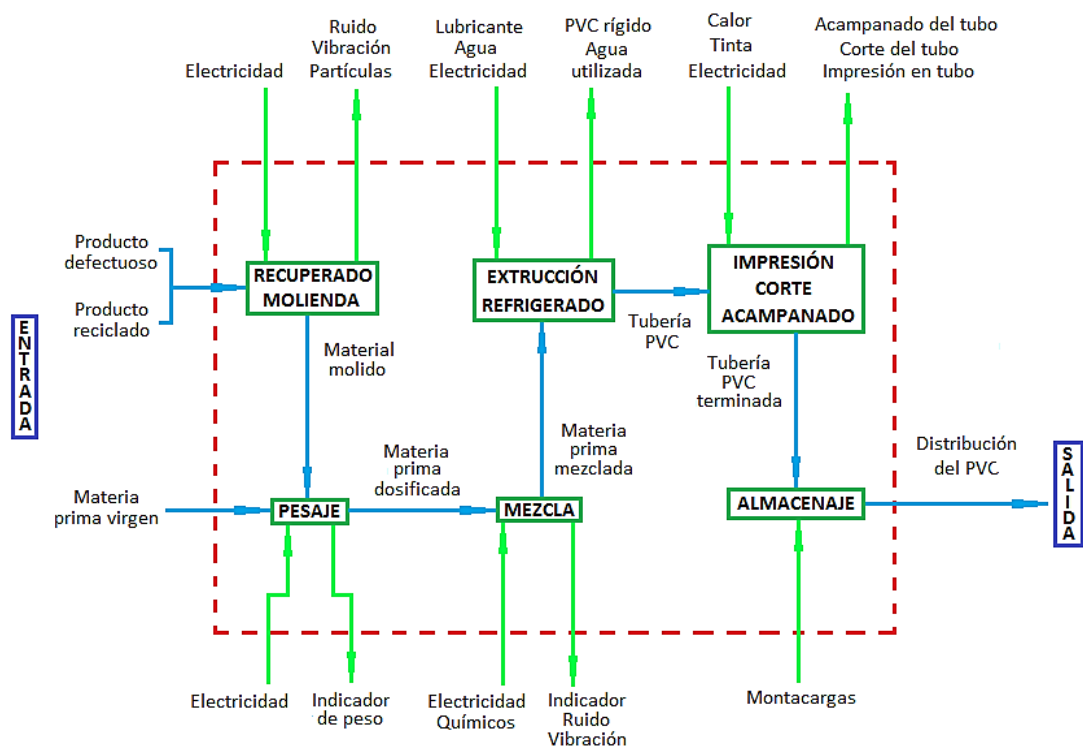


Fuente: Autores

### 3.1.5 Diagrama de proceso productivo

Para elaborar el diagrama EPS (Entrada - Proceso - Salida), se debe tomar en cuenta todas las variables que intervienen en el cualquier proceso de producción como son: Materia prima, fuente de energía, aditivos necesarios, equipos que intervienen y efectos producidos. Se lo realiza de una manera secuencial desde el inicio del proceso de producción (Entrada), hasta la última etapa del proceso (Salida) con el producto elaborado.

Figura 36. Diagrama de entrada proceso salida (EPS)



Fuente: Autores

Este diagrama permite una fácil visualización de las variables que intervienen en las máquinas que están dentro del sistema. En la entrada se tiene materia prima, producto reciclado y producto defectuoso los cuales pasan por una serie de zonas que conforman el proceso productivo, en dichas zonas se detalla las variables con sus respectivos dispositivos de control, también se observa cual es el resultado de la materia procesada después de cada zona. En forma general se muestra el punto inicial del proceso y el resultado final del producto que es la tubería PVC en el caso de Holviplas S.A



**3.1.6** *Dispositivos de seguridad.* En todos los diferentes procesos o zonas de producción se encuentran instalados indicadores, que sirven para verificar visualmente el normal funcionamiento de los equipos, además de alarmas cuando un sistema está funcionando de forma inadecuada, también el pulsador de paro de emergencia para detener en ese instante el proceso, ya sea por un accidente con el operador o por mal funcionamiento del equipo.

**3.1.7** *Metas de seguridad / ambientales/ operacionales:* Obtener cero accidentes dentro de la empresa.- consiste en ocasionar el mínimo impacto ambiental al entorno - Alcanzar 300 toneladas mensuales de producción general.

**3.1.8** *Personal.* En este punto se describe el personal que integra el departamento de mantenimiento, además se detalla lo referente a los turnos de trabajo y además de qué forma está estructurado el organigrama de la empresa.

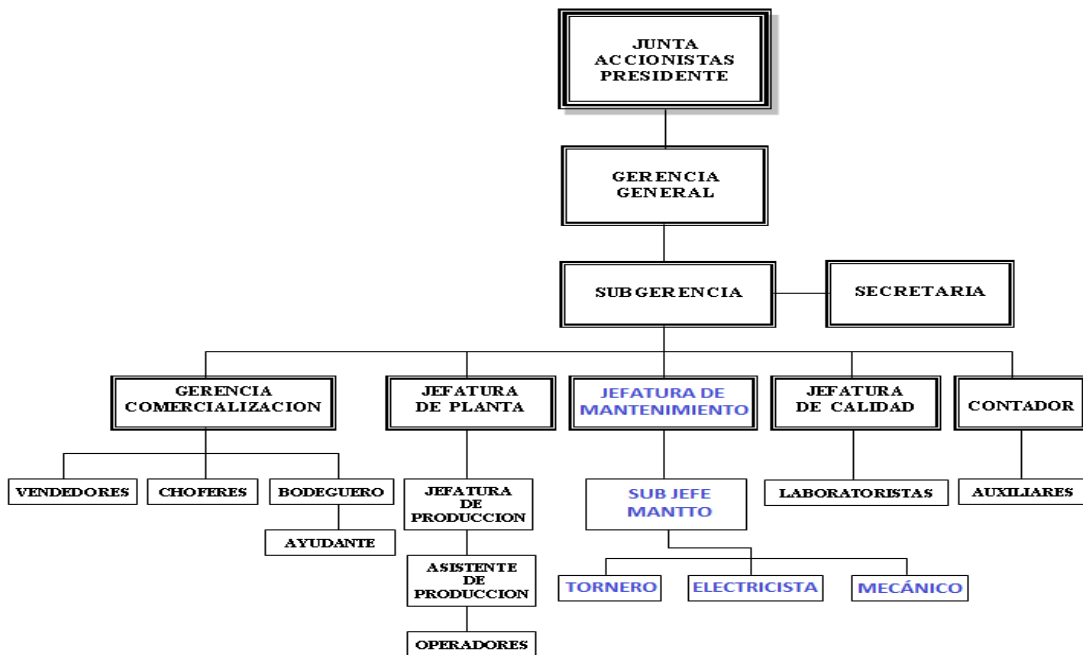
**3.1.8.1** *Turnos rotativos.* La parte de producción en la empresa se maneja 2 turnos de producción, el cual uno es de 11 horas y el otro de 13 horas.

Estos turnos son de 07:00 a 18:00 y de 18:00 a 07:00, y para el turno de mantenimiento existe un solo turno de 8 horas diarias de lunes a viernes.

**3.1.8.2** *Operaciones.* El proceso es automático, pero existen operadores en cada área para transportar la resina a los diferentes procesos, también controlar los parámetros necesarios para obtener un producto de la calidad deseada y además para el almacenaje del producto.

**3.1.8.3** *Mantenimiento.* Existen cuatro personas en el departamento de mantenimiento; Además cuenta con un subjefe de mantenimiento que se encarga de supervisarlos parámetros de funcionamiento del proceso.

Figura 37. Organigrama de Holviplas S.A



Fuente: Autores

- 1 Jefe de Mantenimiento
- 1 Supervisor
- 1 Tornero encargado del taller
- 1 Electricista
- 1 Mecánico

**3.1.8.4** *Parámetros de calidad.* La empresa posee una certificación ISO 9001:2008, que contempla lo referente a las tuberías que se fabrica.

Figura 38. Sello de parámetro de calidad



Fuente: Documentación Holviplas S.A.

- Sello de calidad INEN 1373 tubería de presión
- Sello de calidad INEN 1374 tubería de desagüe
- Sello de calidad INEN 1869 tubería para canalizaciones telefónicas y eléctricas
- Sello de calidad INEN 1744 Tubos de polietileno para conducción de agua potable a presión
- Sello de calidad INEN 2059 Tubería para alcantarillado tipo “B” (en auditorias para obtención)

**3.1.8.5 Definición de los límites de los sistemas.** Los límites para nuestro estudio al realizar el análisis de vibraciones abarcan las áreas de molienda, mezcla y extrucción, dentro del proceso de fabricación de tubería PVC.

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

En la empresa Holviplas manejan un plan de mantenimiento con tareas preventivas básicas en todas las áreas de toda la producción, como son inspecciones, limpieza de equipos, lubricación, si surge un imprevisto realizan el mantenimiento correctivo, además del paro de producción, ya que no cuentan con un stock de repuestos por la inversión económica que esto representa.

Y según lo investigado maneja un software para el control del mantenimiento preventivo y correctivo solo de las líneas de extrucción, ya que éste software fue implantado en una tesis realizada por estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato, este software se llama SIMPROZ.

Figura 39. Programa de mantenimiento SIMPROZ



Fuente: Registro de inventario en el software SIMPROZ


**3.2.1 Historial de averías.** El historial de mantenimiento no lo tienen actualizado desde el 2006, ya que la mayoría de documentos se perdió en el cambio del lugar de la planta, a continuación se indica los historiales que tienen en documentación, y no se encontró de todos los equipos que se estudian para realizar el análisis de vibraciones. Para esto se enfocará en los equipos críticos en el cual se va a realizar el análisis de vibraciones.

En éstos historiales de averías se detalla los siguientes datos:

- Maquinaria
- Código de la maquinaria
- Código de la ficha
- Fecha de realización de la tarea
- Detalle de la tarea preventiva o correctiva
- Responsable de realizar la tarea.

En la documentación de la Empresa Holviplas S.A. no cuentan con el historial de todos los equipos, por eso se indica los únicos documentos que la empresa posee.

Tabla 9. Historial de averías de Holviplas S.A

								
	<b>EXPEDIENTE DEL EQUIPO</b>				<b>CÓDIGO: 9.04</b>			
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>								
<b>MÁQUINA: TURBOMEZCLADORA VALTORTA</b>				<b>CÓDIGO DE MÁQUINA: TM3</b>				
<b>FECHA</b>	<b>DETALLE</b>						<b>RESPONSABLE</b>	
10/04/2006	● Instalación, montaje, limpieza, anclaje, vibración, e						Varios	
28/07/2006	● Cambio de un final de carrera o micro.						Sr. Luis Llambo	

Fuente: Registro de inventario en el software SIMPROZ

La empresa Holviplas S.A. llevaba 2 tipos de historiales de averías, el cual se diferencia por el tipo de mantenimiento empleado en el equipo o maquinaria; los cuales son el historial de avería del Mantenimiento Preventivo, y el historial de averías del Mantenimiento Correctivo. Cabe recalcar que el sistema de mantenimiento preventivo

es el más utilizado en los activos por ello justifica que la mayoría de los equipos tienen estado técnico bueno, sin embargo existe condiciones de las máquinas en las cuales se aplica solamente mantenimiento correctivo.

**3.2.2 Plan de mantenimiento.** A continuación se detalla un modelo de formato, el que se ejecuta en la empresa.

Tabla 10. Plan de mantenimiento

		CODIGO 9.08								
PLANIFICACION DE MANTENIMIENTO										
EMPRESA: HOLVIPLAS AREA: MEZCLADO MAQUINA: 1. Mezcladora										
MECANICO										
ITEM	PUNTOS DE INSPECCION	ACTIVIDAD	TIEMPO	D	S	M	T	S	A	EXTRAORDINARIO
1	BARRIL DE ENFRIAMIENTO	Verificar y/o cambiar bandas							X	
2		Mantenimiento de bandas con spray						X		
3		Chequeo de la bomba de aceite					X			
4		Chequeo y/o lubricación de engranajes					X			
5		Chequeo y/o lubricación de Rodamientos					X			
6		Comprobar el nivel de aceite de la caja reductora			X					
7		Cambiar el aceite de la caja reductora								X
8		Revisión y limpieza de electroválvulas							X	
9		Verificar estado de cilindros de doble efecto							X	
10	OLLA DE MEZCLADO	Verificar y/o cambiar bandas							X	
11		Mantenimiento de bandas con spray						X		
12		Chequear y/o cambiar rodamientos			X					
13		Revisar y balancear poleas						X		

Fuente: Registro de inventario en el software SIMPROZ

Este plan de mantenimiento está acorde a las tareas que se ejecutan en los activos presentes en la empresa, el cronograma de la ejecución detalla en que puntos se aplica las tareas de mantenimiento y también se registra las actividades que se ejecuta.

El plan de mantenimiento preventivo planificado se aplica los activos de la empresa en su totalidad. Además se utiliza un software de mantenimiento el cual se aplica solamente a las extrusoras.

### 3.3 Documentos actuales utilizados para mantenimiento

La empresa Holviplas S.A. utiliza los siguientes documentos para llevar a cabo una gestión de mantenimiento, pero no es suficiente los documentos mostrados, dichos documentos deben ser más específicos y actualizados para llevar una excelente gestión de los datos utilizados para el mantenimiento.

**3.3.1 Ficha técnica.** En la ficha técnica se detalla la descripción de las características de los equipos que conforman el proceso productivo, el fin es que el departamento de mantenimiento registre datos como el nombre, características físicas, el modo de uso o elaboración, propiedades distintivas y especificaciones técnicas. Con ello la información que maneja el departamento de mantenimiento estará organizada de forma que puede estar accesible al personal técnico en caso sea necesario en la ejecución de alguna tarea de mantenimiento.


Figura 40. Ficha técnica

FICHA TÉCNICA		FOTOGRAFÍA DEL EQUIPO
 <b>Holviplas s.a.</b>		
CÓDIGO:9.07		
AREA DE MEZCLADO TM3		
Nº EQUIPO:	HOLVIPLAS-TM3-001	
TIPO DE EQUIPO:	OLLA DE MEZCLADO	
MARCA:	VALTORTA	
Nº DE SERIE:	92-V30/RO/AD-BG27	
Nº DE MODELO:	V30-RO	
TEMPERATURA:	100°C	
ESTADO ACTUAL:	MUY BUENO	
ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA:	TRIFÁSICA	
TIEMPO DE OPERACIÓN:	24 H	
VOLTAJE:	220 V	

Fuente: Registro de inventario en el software SIMPROZ

**3.3.2 Hoja de control.** Dentro de la empresa permite una recolección de datos con mayor organización que facilitan la recopilación de información, previamente diseñadas con base en las necesidades y características de los datos que se requieren para medir y evaluar uno o varios procesos; además, son impresos que se utilizan para reunir datos que, en general, se anotan de forma tabular o en columnas. Normalmente requieren de un proceso adicional, una vez recogidos los datos, utilizando una herramienta de análisis de los mismos.

Figura 41. Hoja de control

		<b>REPORTE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>			<b>CÓDIGO: 9.10</b>
<b>MÁQUINA:</b>		<b>SEMANA:</b>			
Actividad	Fecha planeada	Fecha realizada	Variación	Responsable	

Fuente: Registro de inventario en el software SIMPROZ

**3.3.3** *Lista de proveedores-servicios.* En ésta lista se detalla los servicios externos que la empresa solicita, aquí se especifica solamente servicios que dan las otras empresas, los datos que se recogen en estas listas son el producto, el nombre de quien realiza el servicio o en sí la empresa a la que representa, los teléfonos para la comunicación en caso de requerir otros servicio o de alguna queja, la dirección de la empresa que realiza el servicio, y observaciones del trabajo que se realizó.


Figura 42. Lista de proveedores- servicios

		<b>MANTENIMIENTO LISTA DE PROVEEDORES</b>			<b>CÓDIGO: 9.09</b>
S E R	<b>PRODUCTO</b>	<b>NOMBRE / EMPRESA</b>	<b>TELÉFONOS</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>OBSERVACIONES</b>

Fuente: Registro de inventario en el software SIMPROZ

**3.3.4 Lista de proveedores-materiales.** Este documento detalla los materiales que la empresa solicita para dar el respectivo mantenimiento a los equipos, aquí se especifica solamente los materiales o repuestos que adquiere la empresa, los datos que se recogen en estas listas son el producto, el nombre de quien realiza el servicio o en sí la empresa a la que representa, los teléfonos para la comunicación en caso de requerir otros servicio o de alguna queja, la dirección de la empresa que realiza el servicio, y observaciones del trabajo que se realizó.

Figura 43. Lista de proveedores-materiales

		MANTENIMIENTO LISTA DE PROVEEDORES			CÓDIGO: 9.09
PRODUCTO	NOMBRE / EMPRESA	TELÉFONOS	DIRECCIÓN	OBSERVACIONES	

Fuente: Registro de inventario en el software SIMPROZ

### 3.4 Indicadores actuales de mantenimiento

La empresa Holviplas S.A. no cuenta 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 registros de las actividades propias del departamento que están desactualizadas 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 disminuyen.



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

En el análisis de la gestión actual de mantenimiento de la empresa Holviplas S.A se puede apreciar que el departamento de mantenimiento juega un papel importante en la empresa y no existe coordinación con las demás áreas que la conforman.

El departamento de mantenimiento está conformado por un equipo de trabajo, el cual cada uno sabe sus responsabilidades para que la gestión del mantenimiento sea la adecuado.

La política de mantenimiento que se encuentra ejecutando en su mayoría es un sistema correctivo no planificado, teniendo además una aplicación del mantenimiento preventivo con tareas básicas.

La ejecución de tareas de mantenimiento se realiza en una forma adecuada, pero se necesita más documentos para tener una buena gestión del mantenimiento, en si para la empresa el mantener la función del activo es más importante que llevar los documentos actualizados y en orden.

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.

Los activos que conforman el proceso productivo no se dispone de documentación técnica como son manuales de operación, mantenimiento, elementos de remplazo.

Como conclusión se debe mejorar la gestión de mantenimiento aplicada actualmente, se debe considerar que es una herramienta de gran nivel organizacional debido a que los resultados que se obtienen se ve si el departamento de mantenimiento está llevando correctamente sus tareas y responsabilidades, además de los 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.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS VIBRACIONAL DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN HOLVIPLAS S.A

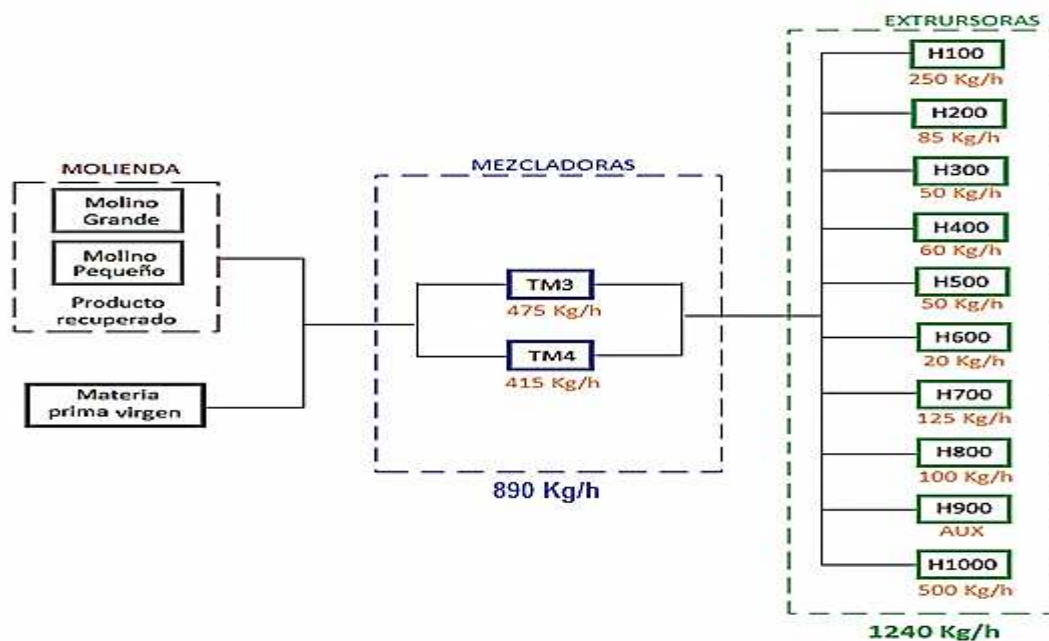
#### 4.1 Análisis de restricciones

El análisis de restricciones es una herramienta para determinar los equipos o áreas de un proceso que no satisfacen la velocidad de producción del resto del proceso, el cual a estos puntos se los denomina restricciones o cuellos de botella, ya que ocasionan pérdida de materia prima y reducción de la cantidad de productos fabricados.

El proceso de fabricación de la tubería de PVC inicia en el área de los molinos, luego las mezcladoras y finalmente las extrusoras, de esta manera se inicia el estudio con la identificación de la restricción dentro del proceso productivo.

##### 4.1.1 Diagrama de velocidades del sistema

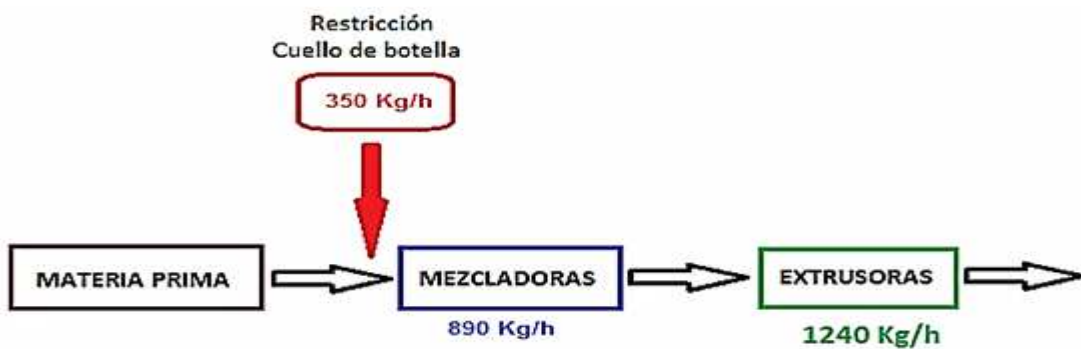
Figura 44. Velocidades del sistema de producción



Fuente: Autores

a) *Identificamos la restricción.* Como los equipos cumplen la misma función, se tomó como que cada área fuera un solo equipo, para facilitar el análisis, se suma las velocidades de producción de cada equipo, se detectó la restricción del proceso cuando la velocidad de producción de un sistema es menor al sistema anterior, esta parte se la conoce como cuello de botella ya que esta disminución de velocidad hace que no se aproveche de una excelente manera el sistema completo, quedando el gráfico de la siguiente manera:

Figura 45. Identificación de la restricción.



Fuente: Documentación empresa Holviplas S.A.

Se evidencia que la restricción o cuello de botella se encuentra a la entrada de las mezcladoras, con 350 Kg/h que tiene que ser almacenada lo cual genera costos adicionales.

#### 4.2 Análisis de criticidad

Una vez que los directivos decidieron hacer el análisis, ellos mismos deben definir el nivel de detalle, es decir el alcance y propósito. De acuerdo a la unidad productiva, departamento, área o sección se conforma el equipo natural de trabajo, se tiene que involucrar a las personas relacionadas directamente con el equipo o maquinaria.

Antes de iniciar el análisis propiamente dicho, se selecciona los componentes funcionales. Esto significa que se debe extraer del proceso una lista de los ítems a analizar (se debe contar con el diagrama de proceso correspondiente).

A continuación se recopila toda la información necesaria para calificar el riesgo de cada ítem dentro de cada área de acción de acuerdo a la matriz, y se tiene tres opciones:

A: Riesgo Alto

B: Riesgo Medio

C: Riesgo Bajo

Tabla 11. 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 bajo</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 bajo</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

A continuación se detalla el nivel de riesgo en cada área de impacto, para designar estos niveles nos valemos de los operadores, de nuestros conocimientos técnicos y reconocimiento visual del equipo.

Cuadro de criterio para análisis de criticidad

Tabla 12. Análisis de criticidad


		CUADRO DE CRITERIOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD					Código:	
							Versión:	
ELABORA:		REVISAR:			APRUEBA:		FECHA INSPECCIÓN:	
		PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PVC - AMBATO						
	SEGURIDAD Y SALUD	AMBIENTE	CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD	TIEMPO DE OPERACIÓN (TO)	PRODUCCIÓN	INTERVALOS ENTRE ACTIVIDADES	TIEMPO Y COSTOS DE MANTTO.	
MOLINO GRANDE	B: Porque hay contacto directo con el equipo, además el ruido excesivo, y las grandes y pequeñas partículas que pueden impactar al operador.	C: Las partículas desprendidas de la molienda quedan en el mismo sitio.	C: No afecta al producto ya que estas partículas se vuelven a moler.	C: Solo trabaja ocasionalmente, cuando hay material reciclado y defectuoso.	C: Hay materia prima almacenada (virgen), por ende si para este equipo no para la producción.	B: Su promedio de reparación es anual.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.	
MOLINO PEQUEÑO	B: Se genera polvo que puede inhalar el operador, además el contacto directo del operario con el equipo.	C: Las partículas de polvo se asientan en el mismo lugar.	B: Si las partículas moldas son muy grandes afecta en parte la calidad del producto.	C: Trabaja conjuntamente con el molino grande.	C: La materia prima reciclada no puede ser muy importante en caso de no haber.	B: Se realiza el mantenimiento de chumaceras una vez al año.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.	
MEZCLADORA TM3 VALTORTA	B: El operador puede inhalar la resina y los químicos añadidos para lograr la mezcla adecuada.	C: El nivel de contaminación está por debajo de los permitidos para operadores.	A: Si la mezcla no es homogénea afecta considerablemente al producto.	B: Trabaja 2 turnos, abastece a las extrusoras para trabajar las 24 horas.	A: Afecta directamente a la producción de PVC de alta calidad.	A: Como el nivel de vibración es alto, se realiza el mantenimiento a las chumaceras en menos de meses.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.	

Tabla 12. (Continuación)

MEZCLADORA TM4 MAYER	B: El operador está en contacto con químicos y con la resina.	C: Las emisiones de polvo están por debajo de las permitidas.	A: Debe realizar una mezcla adecuada para obtener el producto deseado final.	B: Trabaja 2 turnos, abastece a las extrusoras para trabajar las 24 horas.	A: Afecta directamente a la producción de PVC de calidad económica.	A: En menos de 6 meses por las altas vibraciones que se presentan.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.
EXTRUSORA H100	C: Las extrusoras son semiautomáticas, y no hay contacto directo con el operador.	C: El agua utilizada no se contamina, ya que solo lo utilizan como refrigerante y vuelve a recircular.	B: Ocasionalmente falla en el homogenizado del tubo por variaciones de temperatura considerables.	A: Trabajan las 24 horas	C: Esta máquina no afecta a la producción de PVC.	B: Se realiza el mantenimiento de las partes una vez al año aproximadamente.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.
EXTRUSORA H200	C: Las extrusoras son semiautomáticas, y no hay contacto directo con el operador.	C: El agua utilizada no se contamina, ya que solo lo utilizan como refrigerante y vuelve a recircular.	B: Ocasionalmente falla en el homogenizado del tubo por variaciones de temperatura considerables.	A: Trabajan las 24 horas	C: Esta máquina no afecta a la producción de PVC.	B: Se realiza el mantenimiento de las partes una vez al año aproximadamente.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.
EXTRUSORA H300	C: Las extrusoras son semiautomáticas, y no hay contacto directo con el operador.	C: El agua utilizada no se contamina, ya que solo lo utilizan como refrigerante y vuelve a recircular.	B: Ocasionalmente falla en el homogenizado del tubo por variaciones de temperatura considerables.	A: Trabajan las 24 horas	C: Esta máquina no afecta a la producción de PVC.	B: Se realiza el mantenimiento de las partes una vez al año aproximadamente.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.

Tabla 12. (Continuación)

EXTRUSORA H400	C: Las extrusoras son semiautomáticas, y no hay contacto directo con el operador.	C: El agua utilizada no se contamina, ya que solo lo utilizan como refrigerante y vuelve a recircular.	B: Ocasionalmente falla en el homogenizado del tubo por variaciones de temperatura	A: Trabajan las 24 horas	C: Esta máquina no afecta a la producción de PVC.	B: Se realiza el mantenimiento de las partes una vez al año aproximadamente.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.
EXTRUSORA H500	C: Las extrusoras son semiautomáticas, y no hay contacto directo con el operador.	C: El agua utilizada no se contamina, ya que solo lo utilizan como refrigerante y vuelve a recircular.	B: Ocasionalmente falla en el homogenizado del tubo por variaciones de temperatura	A: Trabajan las 24 horas	C: Esta máquina no afecta a la producción de PVC.	B: Se realiza el mantenimiento de las partes una vez al año aproximadamente.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.
EXTRUSORA H600	C: Las extrusoras son semiautomáticas, y no hay contacto directo con el operador.	C: El agua utilizada no se contamina, ya que solo lo utilizan como refrigerante y vuelve a recircular.	B: Ocasionalmente falla en el homogenizado del tubo por variaciones de temperatura considerables.	A: Trabajan las 24 horas	C: Esta máquina no afecta a la producción de PVC.	B: Se realiza el mantenimiento de las partes una vez al año aproximadamente.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.
EXTRUSORA H700	C: Las extrusoras son semiautomáticas, y no hay contacto directo con el operador.	C: El agua utilizada no se contamina, ya que solo lo utilizan como refrigerante y vuelve a recircular.	B: Ocasionalmente falla en el homogenizado del tubo por variaciones de temperatura considerables.	A: Trabajan las 24 horas	C: Esta máquina no afecta a la producción de PVC.	B: Se realiza el mantenimiento de las partes una vez al año aproximadamente.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.

Tabla 12. (Continuación)

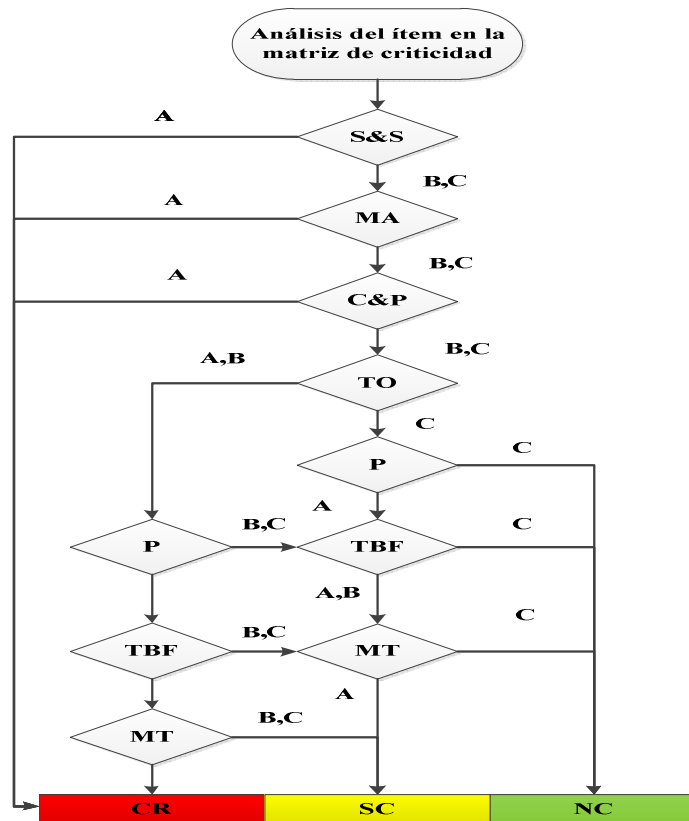
EXTRUSORA H800	C: Las extrusoras son semiautomáticas, y no hay contacto directo con el operador.	C: El agua utilizada no se contamina, ya que solo lo utilizan como refrigerante y vuelve a recircular.	B: Ocasionalmente falla en el homogenizado del tubo por variaciones de temperatura considerables.	A: Trabajan las 24 horas	C: Esta máquina no afecta a la producción de PVC.	B: Se realiza el mantenimiento de las partes una vez al año aproximadamente.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.
EXTRUSORA H900	C: Las extrusoras son semiautomáticas, y no hay contacto directo con el operador.	C: El agua utilizada no se contamina, ya que solo lo utilizan como refrigerante y vuelve a recircular.	C: Ocasionalmente falla en el homogenizado del tubo por variaciones de temperatura considerables y opera solo en caso de emergencia.	C: El equipo opera, ocasionalmente solo en caso de emergencia.	C: El equipo casi nunca opera, solo en caso de emergencia.	C: El equipo casi nunca opera, solo en caso de emergencia.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.
EXTRUSORA H1000	C: Las extrusoras son semiautomáticas, y no hay contacto directo con el operador.	C: El agua utilizada no se contamina, ya que solo lo utilizan como refrigerante y vuelve a recircular.	B: Ocasionalmente falla en el homogenizado del tubo por variaciones de temperatura considerables.	A: Trabajan las 24 horas	C: Esta máquina no afecta a la producción de PVC.	B: Se realiza el mantenimiento de las partes una vez al año aproximadamente.	La Empresa no proporciona datos para el detalle de decisión.

Fuente: Autores



Ejecutada la evaluación de criterios, con estos resultados obtenidos se procede a seguir el flujograma de criticidad, el mismo que se lo utiliza de forma descendente evaluando área 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), dicho esto se elabora un cuadro de resultados para una mejor apreciación del estudio.

Figura 46. Flujograma de criticidad




Fuente: Henry Juárez. Análisis de criticidad

*Resultados del análisis de criticidad*


- Tres máquinas no críticas, se recomienda continuar con el sistema de mantenimiento preventivo planificado y también el mantenimiento correctivo.
- Nueve 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.
- Dos máquinas críticas las cuales se deben mantener con una máxima disponibilidad sin escatimar costo alguno, para lo cual se recomienda aplicar varias técnicas de mantenimiento predictivo, en este caso se aplicará un monitoreo mediante análisis de vibraciones.

Tabla 13. Tabla de resultados de análisis de criticidad

		<b>CUADRO DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD</b>				<b>CODIGO:</b>					
						<b>VERSIÓN:</b>					
<b>ELABORA:</b> Salguero – Villegas.				<b>REVISAR:</b> Ing. Eduardo Hernández				<b>APRUEBA:</b> Ing. Eduardo Hernández			
Sección	Proceso	Componente	Código	(S&S)	(MA)	(C&P)	(TO)	(P)	(TBF)	Criticidad.	
Molinos	Molienda	Molino grande		B	C	C	C	C	B	NC	
Molinos	Molienda	Molino pequeño		B	C	B	C	C	B	NC	
Mezcla	Mezcla	Mezcladora TM3 Valtorta		B	C	A	B	A	A	C	
Mezcla	Mezcla	Mezcladora TM4 Mayer		B	C	A	B	A	A	C	
Extrucción	Extrucción	Extrusora H100		C	C	B	A	C	B	SC	
Extrucción	Extrucción	Extrusora H200		C	C	B	A	C	B	SC	
Extrucción	Extrucción	Extrusora H300		C	C	B	A	C	B	SC	
Extrucción	Extrucción	Extrusora H400		C	C	B	A	C	B	SC	
Extrucción	Extrucción	Extrusora H500		C	C	B	A	C	B	SC	
Extrucción	Extrucción	Extrusora H600		C	C	B	A	C	B	SC	
Extrucción	Extrucción	Extrusora H700		C	C	B	A	C	B	SC	
Extrucción	Extrucción	Extrusora H800		C	C	B	A	C	B	SC	
Extrucción	Extrucción	Extrusora H900		C	C	C	C	C	C	NC	
Extrucción	Extrucción	Extrusora H1000		C	C	B	A	C	B	SC	

Fuente: Autores

Tabla 14. Tabla de resultados de análisis de criticidad

 <b>CUADRO DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD</b>				<b>CODIGO:</b> <b>VERSIÓN:</b> <b>FECHA DE ELABORACIÓN:</b> <b>FECHA DE MODIFICACIÓN:</b>						
ELABORA: Salguero – Villegas.				REVISA: Ing. Eduardo Hernández			APRUEBA: Ing. Eduardo Hernández			
Sección	Proceso	Componente	Código	(S&S)	(MA)	(C&P)	(TO)	(P)	(TBF)	Criticidad.
Mezcla	Mezcla	Mezcladora TM3 Valtorta		B	C	A	B	A	A	C
Mezcla	Mezcla	Mezcladora TM4 Mayer		B	C	A	B	A	A	C

Fuente: Autores

En la presente tabla se evidencia los resultados de las máquinas críticas que son las mezcladoras TM3 y TM4, mismas que fueron evaluadas en las siguientes áreas:

El área de Seguridad y Salud tiene designación B debido a que el operador puede inhalar resina y residuos químicos del proceso, el área de Medio Ambiente tiene designación C por que los niveles de partículas en el aire son aceptables, el área de Calidad y Productividad tiene designación A debido a que afecta directamente a la calidad del producto, el área de Tiempos Operativos tiene designación B tiene un régimen de trabajo continuo, el área de Producción es A porque afecta a la producción de PVC, el área de TBF es A porque se ejecuta tareas de mantenimiento en una frecuencia menor a los seis meses.

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

Una vez que se determinan los equipos críticos, se procede a elaborar la ficha técnica para cada uno de los equipos que se realizará el análisis vibracional.

Tabla 15. Ficha técnica mezcladora TM3

 <b>FICHA TÉCNICA</b>		FOTOGRAFÍA DEL EQUIPO
CÓDIGO:9.07		
AREA DE MEZCLADO TM3		
Nº EQUIPO:	HOLVIPLAS-TM3-001	
TIPO DE EQUIPO:	OLLA DE MEZCLADO	
MARCA:	VALTORTA	
Nº DE SERIE:	92-V30/RO/AD-BG27	
Nº DE MODELO:	V30-RO	
TEMPERATURA:	100°C	
ESTADO ACTUAL:	MUY BUENO	
ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA:	TRIFÁSICA	
TIEMPO DE OPERACIÓN:	24 H	
VOLTAJE:	220 V	

Fuente: Documentación técnica Holviplas S.A.

Tabla 16. Ficha técnica mezcladora TM4

FICHA TÉCNICA		FOTOGRAFÍA DEL EQUIPO
		
CÓDIGO:9.07		
AREA DE MEZCLADO TM4		
Nº EQUIPO:	HOLVIPLAS-TM4-001	
TIPO DE EQUIPO:	OLLA DE MEZCLADO	
MARCA:	MAYER	
Nº DE MODELO:	CONNPLATE 55213	
PAÍS DE ORIGEN:	ALEMANIA	
MOTOR:	TYPE: HK5 RPM: 1775	
MOTOR VACIADO:	TYPE: BAK 3 RPM: 885    AMP: 20	

Fuente: Documentación técnica Holviplas S.A.

#### 4.4 Disposición de las rutas de medición

Para la disposición de la ruta de medición, primero se realizará el análisis de criticidad del proceso, y se encuentra a las mezcladoras como máquinas o equipos críticos del proceso a las cuales se aplicará el análisis de vibraciones. Es necesario conocer los elementos que componen la máquina y su función.

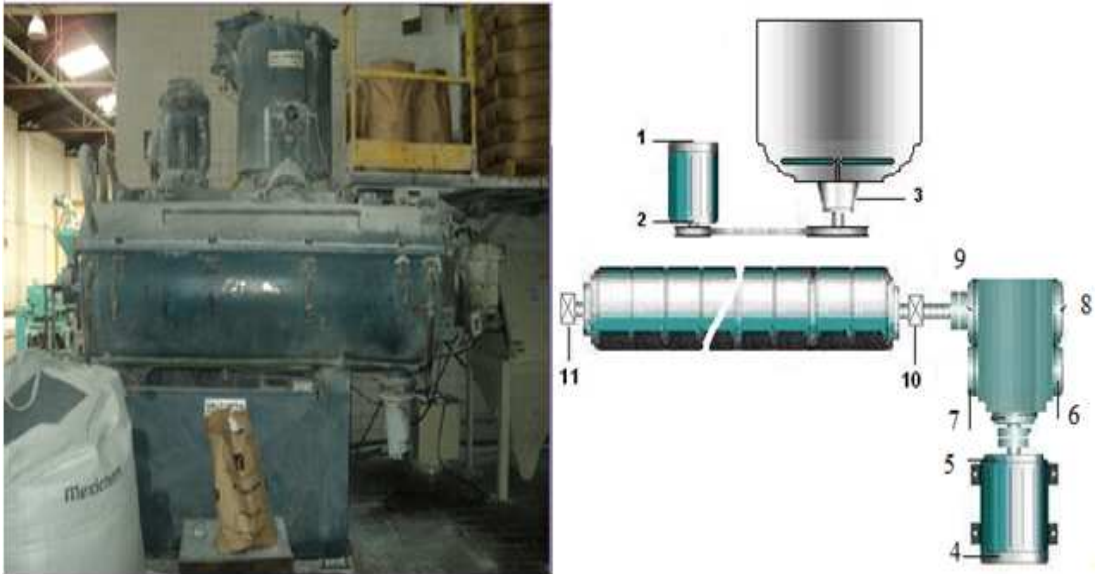
A continuación, si hay información detallar todos los datos técnicos de placa de la máquina principalmente RPM, HP o kW, número de rodamientos, tipo de soporte de la base, lubricación con grasa o aceite y fotografía del elemento a inspeccionar.

#### 4.5 Determinación de los puntos de medición

Los puntos de medición se determinan en secuencia, de acuerdo al sentido de transmisión del movimiento para facilidad de análisis espectral, se toma en cuenta los elementos rodantes o rotativos que componen la máquina (rodamientos o cojinetes).

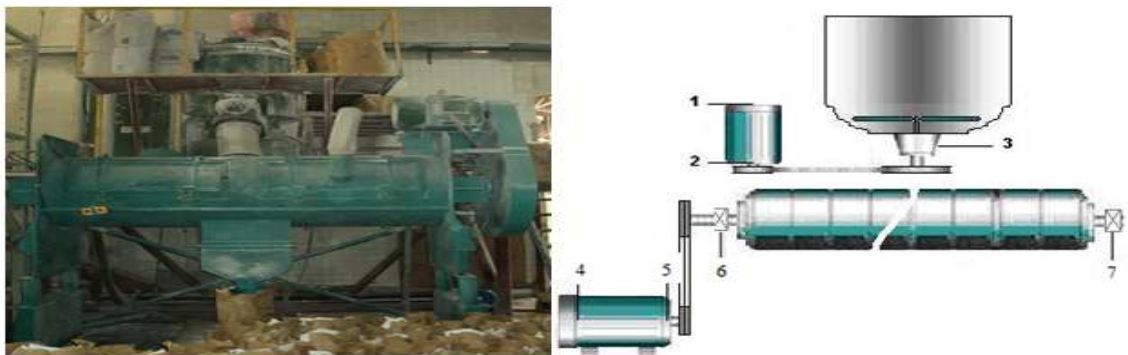
En cada punto de medición de inspección se mide las tres direcciones, 2 radiales y 1 axial.

Figura 47. Esquema de puntos de medición TM3



Fuente: Autores

Figura 48. Esquema de puntos de medición TM4



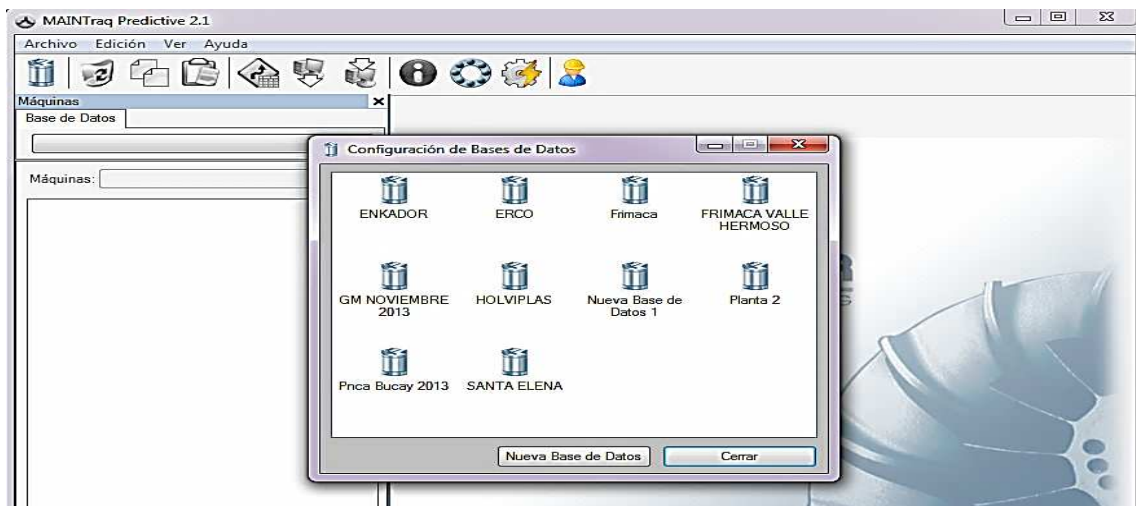
Fuente: Autores

#### 4.6 Configuración de la ruta de medición

La configuración de la ruta de medición debe ser clara y precisa de tal manera que cualquier técnico que desee inspeccionar sea capaz de identificar los equipos y puntos de medición sin ningún contratiempo.

*Paso 1.* Se ejecuta el programa desde el escritorio, seleccionar el ícono CONFIGURACIÓN BASE DE DATOS, aparece una ventana donde se selecciona la opción de insertar un nombre cualquiera (nombre de la empresa) con el cual se va a identificar la base de datos.

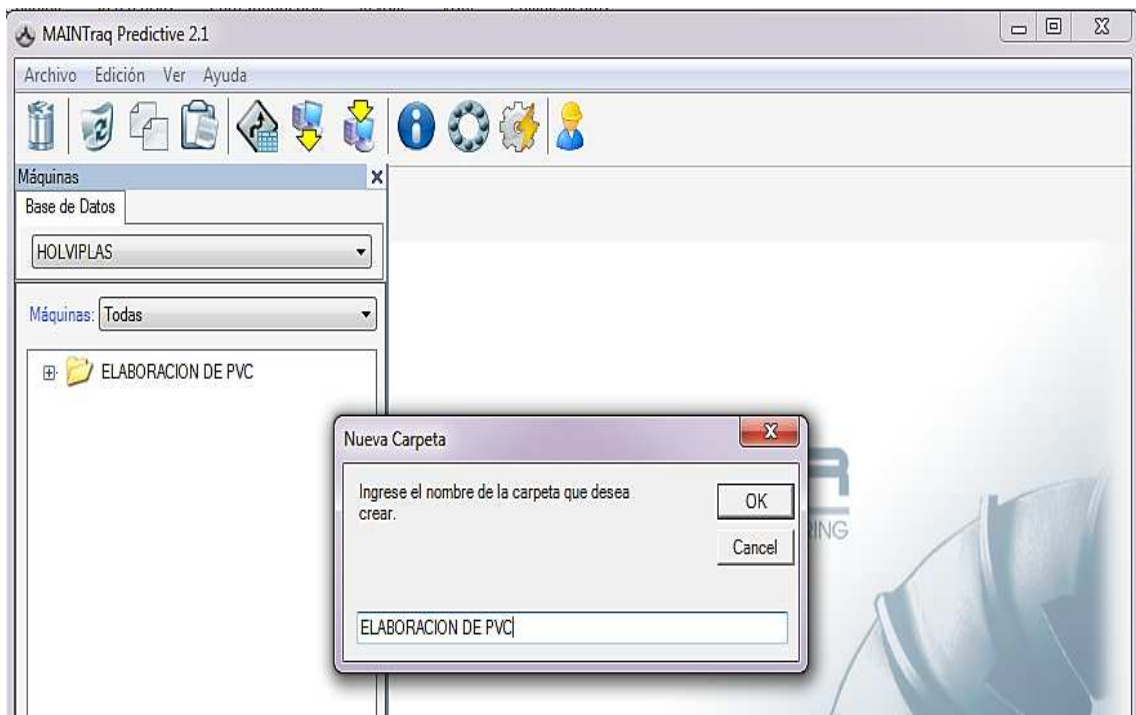
Figura 49. Creación de la base de datos



Fuente: Software MAINTraQPredictive

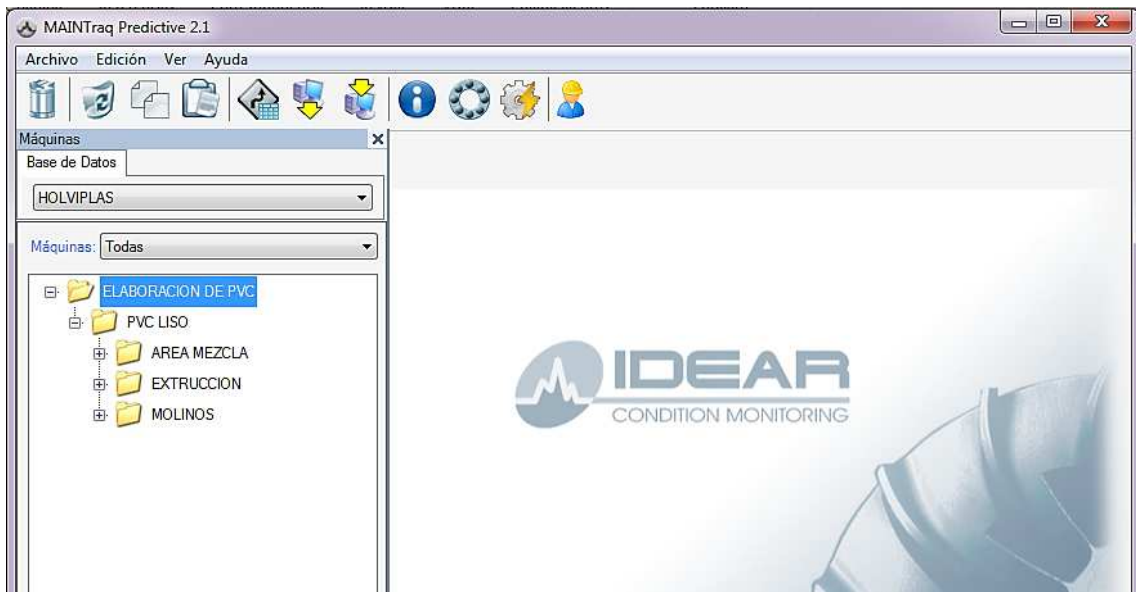
*Paso 2.* Una vez ingresado el nombre de la carpeta matriz aparece en la lista del software, luego se crea una carpeta dentro de la matriz al presionar clic derecho del mouse, seleccionar nueva carpeta y aparece la ventana de diálogo que se muestra en la imagen, con el fin de definir el proceso y áreas según la necesidad.

Figura 50. Configuración de la base de datos (paso 1)



Fuente: Software MAINTraQPredictive

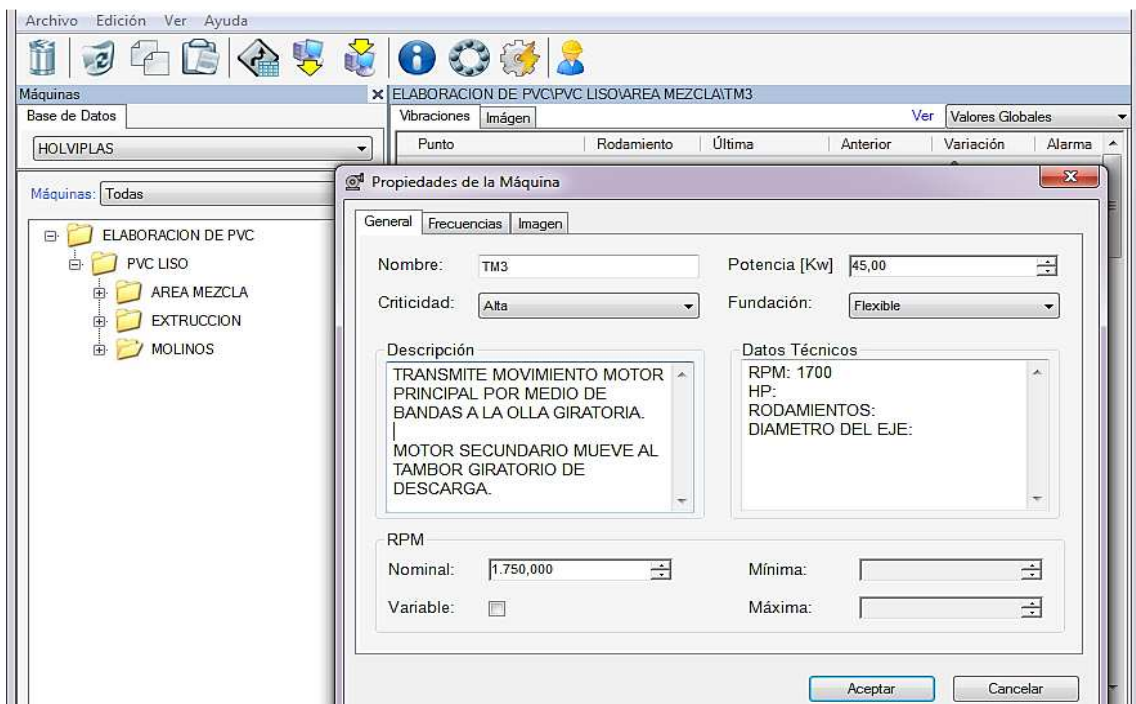
Figura 51. Configuración de la base de datos (paso 2)



Fuente: MAINTraqPredictive, Analizador vibracional VIBRACHECK ABG-200

*Paso 3.* Se ubica dentro de la carpeta deseada, en este caso área de mezcla, se presiona clic derecho, opción nueva máquina donde se despliega una ventana mostrada en la imagen para llenar los datos e imagen de la máquina.

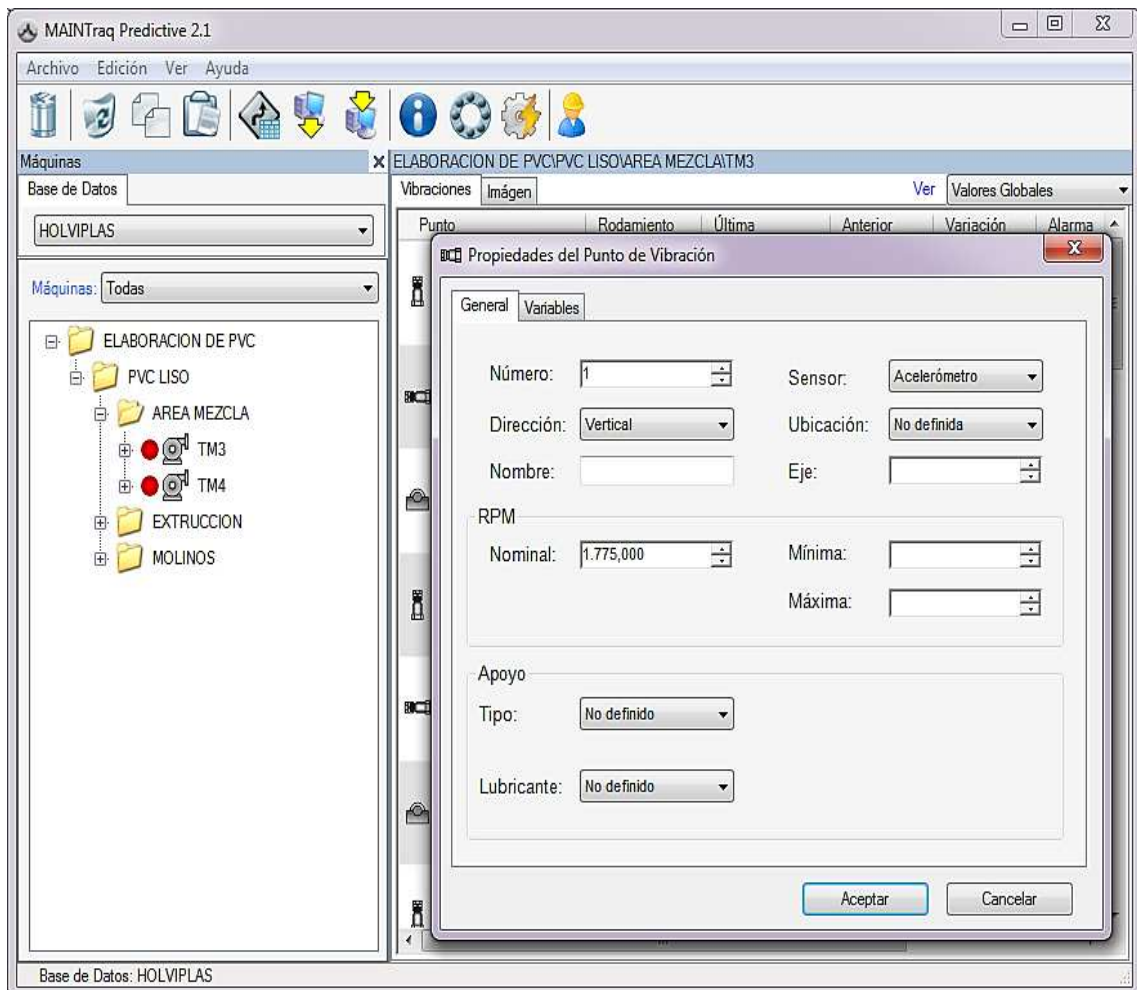
Figura 52. Configuración de la base de datos (paso 3)



Fuente: Software MAINTraqPredictive

*Paso 4.* Se pasa a configurar los puntos de medición en las tres direcciones (2 radiales y 1 axial), para esto dar clic derecho en la máquina creada, se desplegara una ventana como la que se muestra en la imagen donde se ingresa los datos que requiere el software para crear el punto de medición y también permite configurar los niveles de alarma, peligro y demás variables que se desea obtener en la inspección.

Figura 53. Configuración de la base de datos (paso 4)

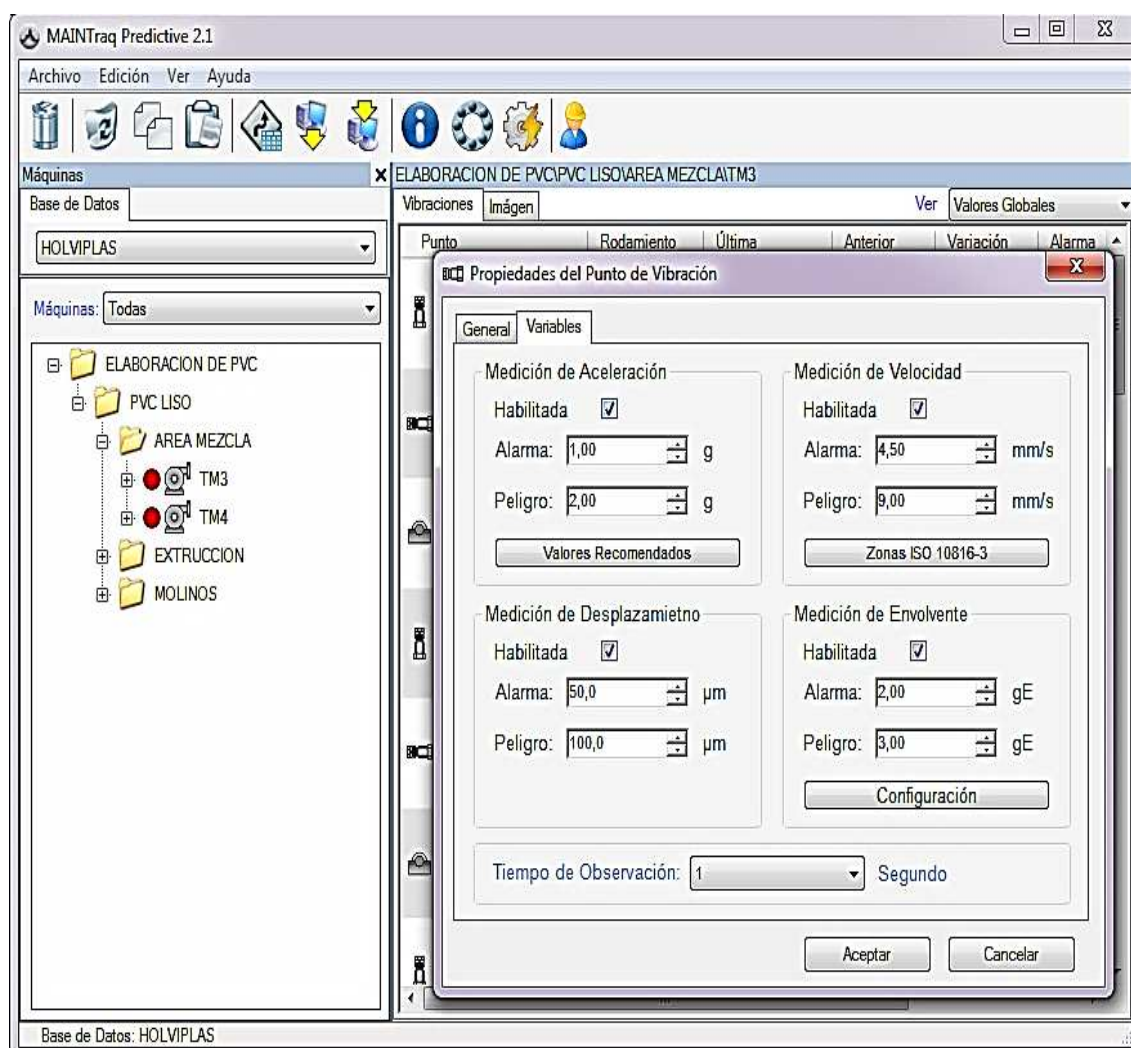


Fuente: Software MAINTraqPredictive

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



Figura 54. Configuración de la base de datos (paso 5)

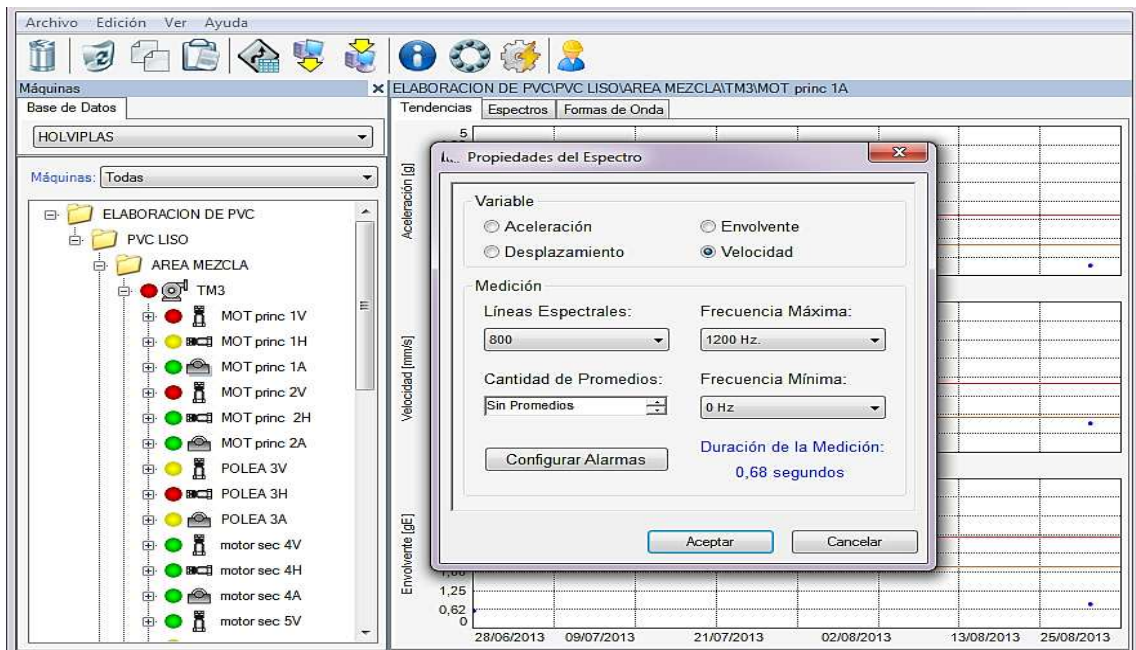


Fuente: Software MAINTraqPredictive

*Paso 5.* Una vez creado los puntos de medición se procede a configurar las variables que se quiere obtener y los parámetros necesarios para obtener un espectro definido y claro como son: frecuencia máxima, líneas espectrales y promedios.

Para insertar la variable se escoge entre aceleración, envolvente, desplazamiento o velocidad, ya sea en espectro o forma de onda que se requiera configurar. Luego dar clic derecho en el espectro o forma de onda creada, donde se desplegará una ventana para ingresar los parámetros inicialmente mencionados. Siendo éste el último paso para la configuración de la ruta de medición.

Figura 55. Configuración de la base de datos (paso 6)



Fuente: Software MAINTraqPredictive

#### 4.7 Recolección de datos

Para la recolección de datos se tiene que cargar la ruta hacia el colector de datos de la siguiente manera.

*Paso 1.* Se ubica en la base matriz deseada.

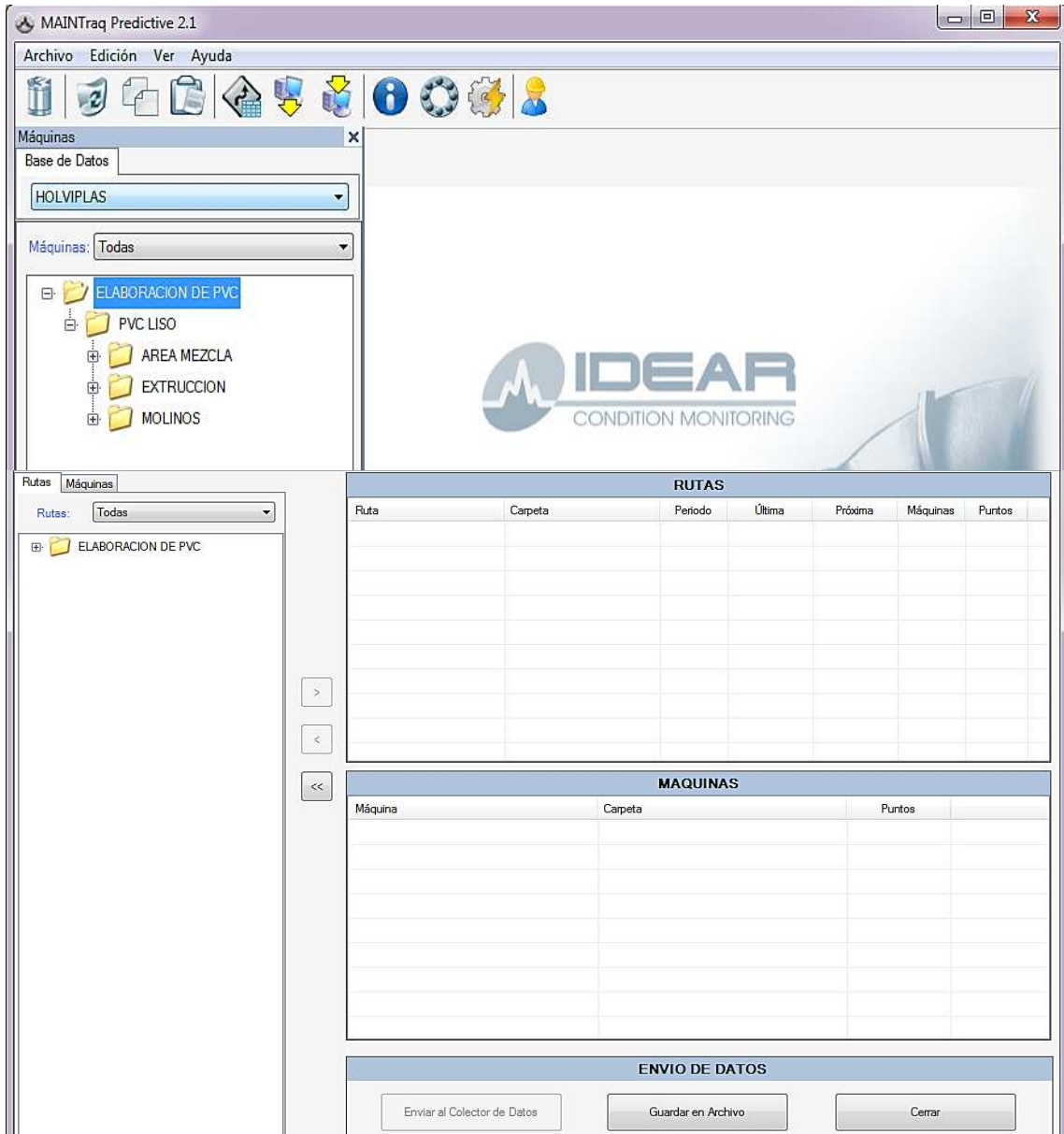
Figura 56. Configuración para transferencia de la base de datos (paso 1)



Fuente: Software MAINTraqPredictive.

*Paso 2.* Se selecciona el ícono de envío de datos y aparece la siguiente ventana donde se selecciona la opción máquinas y luego se despliega las carpetas, que se creó en la base de datos, hasta encontrar las máquinas que se deben transferir al colector de datos.

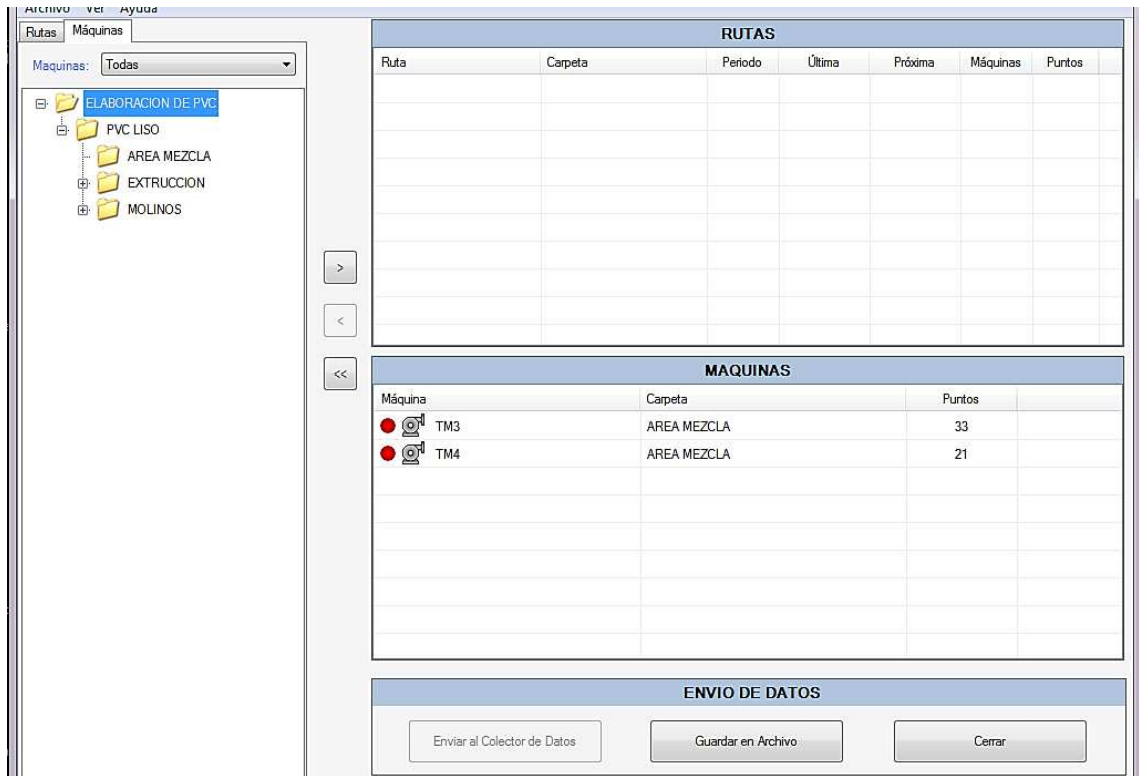
Figura 57. Configuración para transferencia de la base de datos (paso 2)



Fuente: Software MAINTraQPredictive.

*Paso 3.* Se arrastra las máquinas hacia la parte inferior de la ventana, una vez seleccionadas las máquinas se conecta el colector de datos vía USB y se ubica en el ícono comunicación que aparecerá en el display. Se envía la ruta dando clic en la opción enviar a colector de datos.

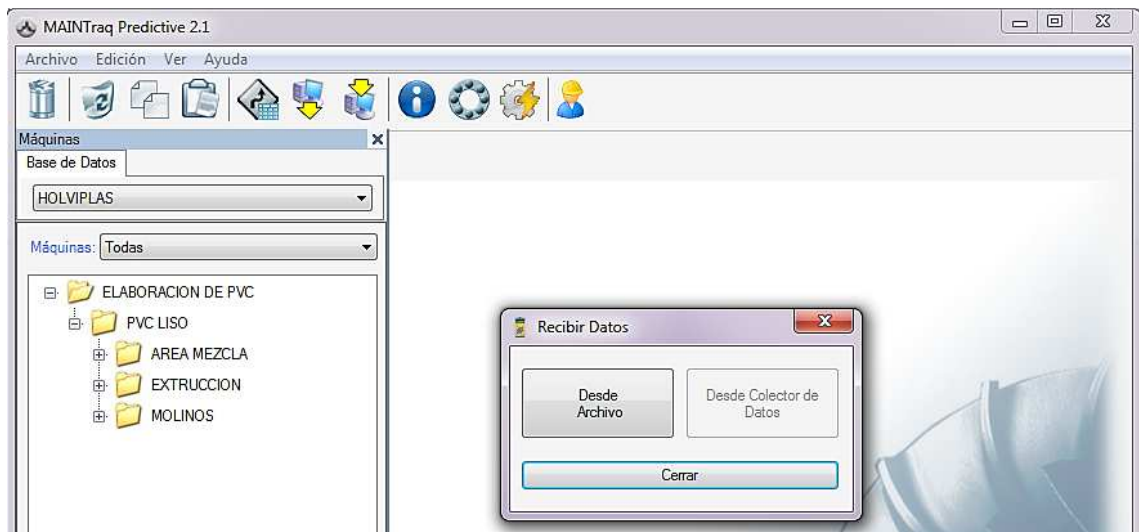
Figura 58. Configuración para transferencia de la base de datos (paso 3)



Fuente: Software MAINTraqPredictive

*Paso 4.* Cargada la ruta se procede a tomar datos, una vez terminada la toma de datos se descarga en el software mediante el cable USB dando clic en la opción recibir datos. Finalizando transferencia de datos.

Figura 59. Configuración para transferencia de la base de datos (paso 4)



Fuente: Software MAINTraqPredictive

## CAPÍTULO V

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

#### 5.1 Elaboración del informe de resultados

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

##### 5.1.1 Partes del informe

- a) Descripción y nombre del equipo.
- b) Esquema del equipo analizado.
- c) Valores de vibración en puntos de control del equipo.
- d) Diagnóstico.

Tabla 17. Diagnóstico para los equipos analizados

CRITERIO DE EVALUACIÓN		PRIORIDAD	
<b>E1</b>	<b>INACEPTABLE (PELIGRO)</b>	<b>P1</b>	<b>ATENCIÓN INMEDIATA</b>
<b>E2</b>	<b>INSATISFACTORIO (ALERTA)</b>	<b>P2</b>	<b>PLANIFICAR MANTENIMIENTO</b>
<b>E3</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>P3</b>	<b>OBSERVAR TENDENCIA</b>
<b>E4</b>	<b>NORMAL</b>	<b>P4</b>	<b>NINGUNA</b>

Fuente: Autores

Esta tabla ayuda a evaluar la condición general de la máquina; además, se asigna a cada nivel de severidad de vibración una nomenclatura del grado de prioridad de atención con el propósito de tener una mejor apreciación e identificación del estado en que se encuentra la máquina y tomar las acciones pertinentes dependiendo del caso.

## 5.2 Análisis de tendencia y diagnóstico vibracional

### 5.2.1 Informe de resultados y espectros de mezcladora TM3

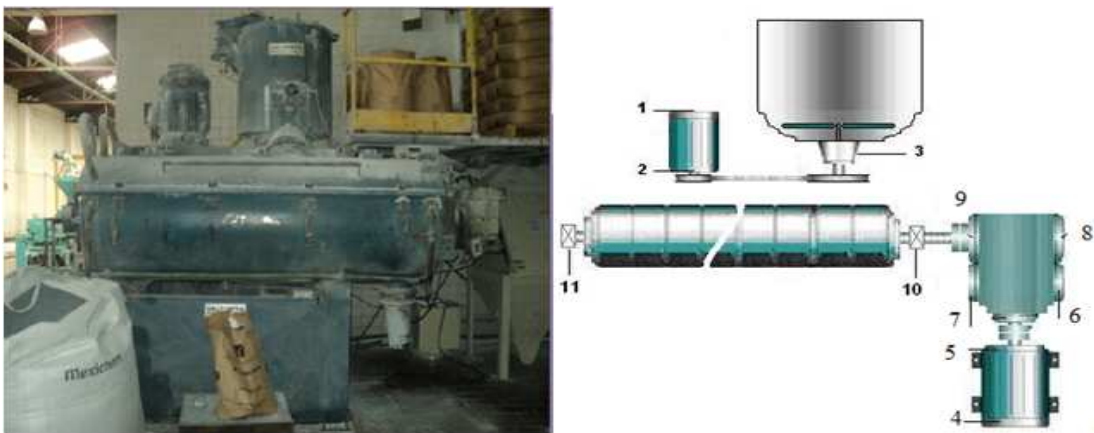
Nombre de la máquina: **TM3**

Ubicación: **Área de mezcla**

Criterio de evaluación: **E2**

Prioridad: **P2**

Figura 60. Mezcladora TM3



Fuente: Autores

#### 5.2.1.1 Tabla de resultados

Tabla 18. Resultados en valores RMS, y alarmas del equipo analizado

DIRECCIÓN	VARIABLE	VALOR	ALARMA	PELIGRO	EVALUACIÓN
MOT princ 1V	Aceleración	0,38	3,00	5,00	ACEPTABLE
MOT princ 1V	Velocidad	3,17	4,50	7,10	ACEPTABLE
MOT princ 1V	Envolvente	0,11	2,00	3,00	ACEPTABLE
MOT princ 1H	Aceleración	0,33	3,00	5,00	ACEPTABLE
MOT princ 1H	Velocidad	4,39	4,50	7,10	ACEPTABLE
MOT princ 1H	Envolvente	0,09	2,00	3,00	ACEPTABLE
MOT princ 1 A	Aceleración	0,31	3,00	5,00	ACEPTABLE
MOT princ 1 A	Velocidad	3,80	4,50	7,10	ACEPTABLE
MOT princ 2V	Aceleración	0,41	3,00	5,00	ACEPTABLE
MOT princ 2V	Velocidad	1,23	4,50	7,10	ACEPTABLE
MOT princ 2H	Aceleración	0,31	3,00	5,00	ACEPTABLE
MOT princ 2H	Velocidad	3,16	4,50	7,10	ACEPTABLE

Tabla 18 (Continuación)

MOT princ 2 A	Aceleración	0,20	3,00	5,00	ACEPTABLE
MOT princ 2 A	Velocidad	2,51	4,50	7,10	ACEPTABLE
MOT princ 2 A	Envolvente	0,07	2,00	3,00	ACEPTABLE
POLEA 3V	Aceleración	0,16	2,00	4,00	ACEPTABLE
POLEA 3V	Velocidad	2,08	4,50	7,10	ACEPTABLE
POLEA 3V	Envolvente	0,07	2,00	3,00	ACEPTABLE
POLEA 3H	Aceleración	0,17	2,00	4,00	ACEPTABLE
POLEA 3H	Velocidad	4,46	4,50	7,10	ACEPTABLE
POLEA 3H	Envolvente	0,07	2,00	3,00	ACEPTABLE
POLEA 3 A	Aceleración	0,14	2,00	4,00	ACEPTABLE
POLEA 3 A	Velocidad	1,82	4,50	7,10	ACEPTABLE
POLEA 3 A	Envolvente	0,78	2,00	3,00	ACEPTABLE
Motor sec 4V	Aceleración	0,31	2,00	4,00	ACEPTABLE
Motor sec 4V	Velocidad	3,20	4,50	7,10	ACEPTABLE
Motor sec 4V	Envolvente	0,12	2,00	3,00	ACEPTABLE
Motor sec 4H	Aceleración	0,28	2,00	4,00	ACEPTABLE
Motor sec 4H	Velocidad	3,40	4,50	7,10	ACEPTABLE
Motor sec 4H	Envolvente	0,12	2,00	3,00	ACEPTABLE
Motor sec 4 A	Aceleración	0,28	2,00	4,00	ACEPTABLE
Motor sec 4 A	Velocidad	3,31	4,50	7,10	ACEPTABLE
Motor sec 4 A	Envolvente	0,14	2,00	3,00	ACEPTABLE
Motor sec 5V	Aceleración	0,89	2,00	4,00	ACEPTABLE
Motor sec 5V	Velocidad	3,44	4,50	7,10	ACEPTABLE
Motor sec 5V	Envolvente	0,45	2,00	3,00	ACEPTABLE
Motor sec 5H	Aceleración	0,54	2,00	4,00	ACEPTABLE
Motor sec 5H	Velocidad	3,45	4,50	7,10	ACEPTABLE
Motor sec 5H	Envolvente	0,25	2,00	3,00	ACEPTABLE
Motor sec 5 A	Aceleración	0,27	2,00	4,00	ACEPTABLE
Motor sec 5 A	Velocidad	1,62	4,50	7,10	ACEPTABLE
Motor sec 5 A	Envolvente	0,13	2,00	3,00	ACEPTABLE
Reductor 6V	Aceleración	0,37	1,00	2,50	ACEPTABLE
Reductor 6V	Velocidad	1,89	4,50	9,00	ACEPTABLE
Reductor 6V	Envolvente	0,18	2,00	3,75	ACEPTABLE
Reductor 6H	Aceleración	0,60	1,00	2,50	ACEPTABLE
Reductor 6H	Velocidad	2,31	4,50	9,00	ACEPTABLE
Reductor 6H	Envolvente	1,27	2,00	3,75	ACEPTABLE
Reductor 6 A	Aceleración	0,16	1,00	2,50	ACEPTABLE
Reductor 6 A	Velocidad	2,79	4,50	9,00	ACEPTABLE
Reductor 6 A	Envolvente	0,01	2,00	3,75	ACEPTABLE
Reductor 7V	Aceleración	0,40	1,00	2,50	ACEPTABLE
Reductor 7V	Velocidad	2,90	4,50	9,00	ACEPTABLE
Reductor 7V	Envolvente	0,15	2,00	3,75	ACEPTABLE
Reductor 7H	Aceleración	0,35	1,00	2,50	ACEPTABLE

Tabla 18 (Continuación)

Reductor 7H	Envolvente	0,19	2,00	3,75	ACEPTABLE
Reductor 7 A	Aceleración	0,16	1,00	2,50	ACEPTABLE
Reductor 7 A	Velocidad	2,87	4,50	9,00	ACEPTABLE
Reductor 7 A	Envolvente	0,01	2,00	3,75	ACEPTABLE
Reductor 8V	Aceleración	0,36	1,00	2,50	ACEPTABLE
Reductor 8V	Velocidad	3,00	4,50	9,00	ACEPTABLE
Reductor 8V	Envolvente	0,18	2,00	3,75	ACEPTABLE
Reductor 8H	Aceleración	0,54	1,00	2,50	ACEPTABLE
Reductor 8H	Velocidad	2,69	4,50	9,00	ACEPTABLE
Reductor 8H	Envolvente	0,25	2,00	3,75	ACEPTABLE
Reductor 8 A	Aceleración	0,51	1,00	2,50	ACEPTABLE
Reductor 8 A	Velocidad	2,34	4,50	9,00	ACEPTABLE
Reductor 8 A	Envolvente	0,26	2,00	3,75	ACEPTABLE
Reductor 9V	Aceleración	0,41	1,00	2,50	ACEPTABLE
Reductor 9V	Velocidad	1,41	4,50	9,00	ACEPTABLE
Reductor 9V	Envolvente	0,15	2,00	3,75	ACEPTABLE
Reductor 9H	Aceleración	0,37	1,00	2,50	ACEPTABLE
Reductor 9H	Velocidad	1,52	4,50	9,00	ACEPTABLE
Reductor 9H	Envolvente	0,14	2,00	3,75	ACEPTABLE
Reductor 9 A	Aceleración	0,44	1,00	2,5	ACEPTABLE
Reductor 9 A	Velocidad	2,07	4,50	9,00	ACEPTABLE
Reductor 9 A	Envolvente	0,25	2,00	3,75	ACEPTABLE
Chumacera izq 10V	Aceleración	0,18	1,00	2,00	ACEPTABLE
Chumacera izq 10V	Velocidad	1,90	3,00	5,00	ACEPTABLE
Chumacera izq 10V	Envolvente	0,04	2,00	3,00	ACEPTABLE
Chumacera izq 10H	Aceleración	0,12	1,00	2,00	ACEPTABLE
Chumacera izq 10H	Velocidad	1,41	3,00	5,00	ACEPTABLE
Chumacera izq 10H	Envolvente	0,02	2,00	3,00	ACEPTABLE
Chumacera izq 10A	Aceleración	0,09	1,00	2,00	ACEPTABLE
Chumacera izq 10A	Velocidad	1,46	3,00	5,00	ACEPTABLE
Chumacera izq 10A	Envolvente	0,52	2,00	3,00	ACEPTABLE
Chumacera der 11V	Aceleración	0,02	1,00	2,00	ACEPTABLE
Chumacera der 11V	Velocidad	0,91	3,00	5,00	ACEPTABLE
Chumacera der 11V	Envolvente	0,00	2,00	3,00	ACEPTABLE
Chumacera der 11H	Aceleración	0,03	1,00	2,00	ACEPTABLE
Chumacera der 11H	Velocidad	2,81	3,00	5,00	ACEPTABLE
Chumacera der 11H	Envolvente	0,00	2,00	3,00	ACEPTABLE
Chumacera der 11A	Aceleración	0,07	1,00	2,00	ACEPTABLE
Chumacera der 11A	Velocidad	1,46	3,00	5,00	ACEPTABLE
Chumacera der 11A	Envolvente	0,01	2,00	3,00	ACEPTABLE

Fuente: Software MAINTraqPredictive



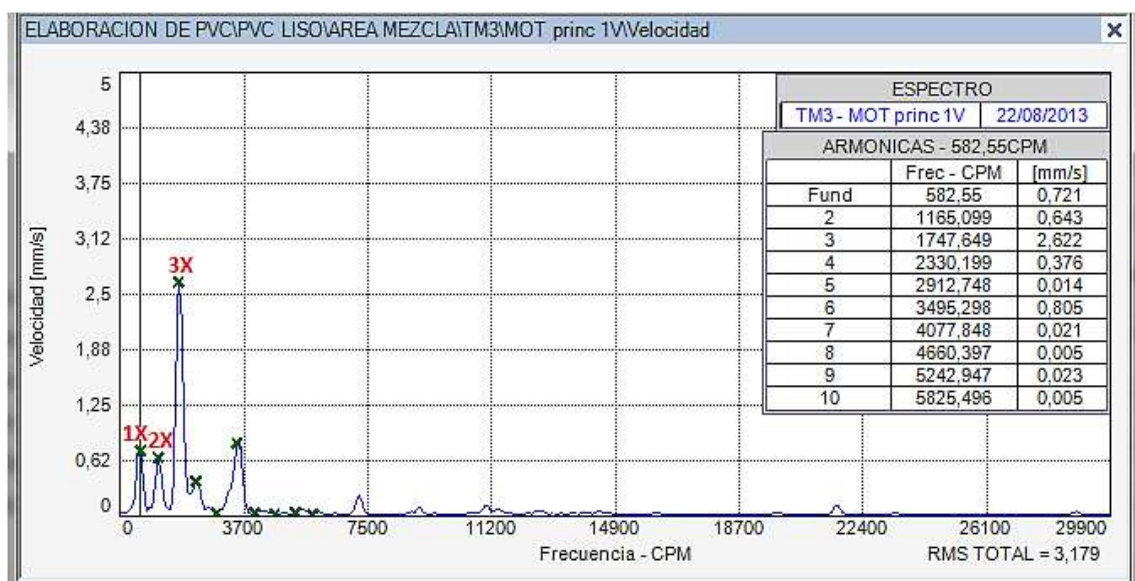
Esta tabla indica las medidas obtenidas durante la recopilación de datos, también se estipula los valores de alarma y peligro para determinar si están fuera de rango de operación admisible, para ello se da la nomenclatura de ACEPTABLE E INACEPTABLE, en este caso se tiene solo valores aceptables sin embargo, existen valores que están cercanos a los niveles de alarma los cuales serán analizados para identificar qué modo de falla se está desarrollando en el equipo.

Los niveles de alarma y peligro para el caso de desplazamiento y velocidad son tomados según la norma ISO 10816-3 y Charlotte PC, mientras que para el caso de aceleración y envolvente se considera las tablas proporcionadas por el fabricante del equipo. Según la potencia del motor principal y motor secundario es de 125 Kw y 25Kw respectivamente por lo que se las considera máquinas medianas que corresponden al grupo dos según la norma ISO 10816-3.

Las variables de medición son velocidad, aceleración y envolvente las mismas que se detallan para cada sentido de medición inspeccionado como son vertical, horizontal y axial. Además la tabla muestra los valores obtenidos en los once puntos de inspección que se toman en la mezcladora TM3.

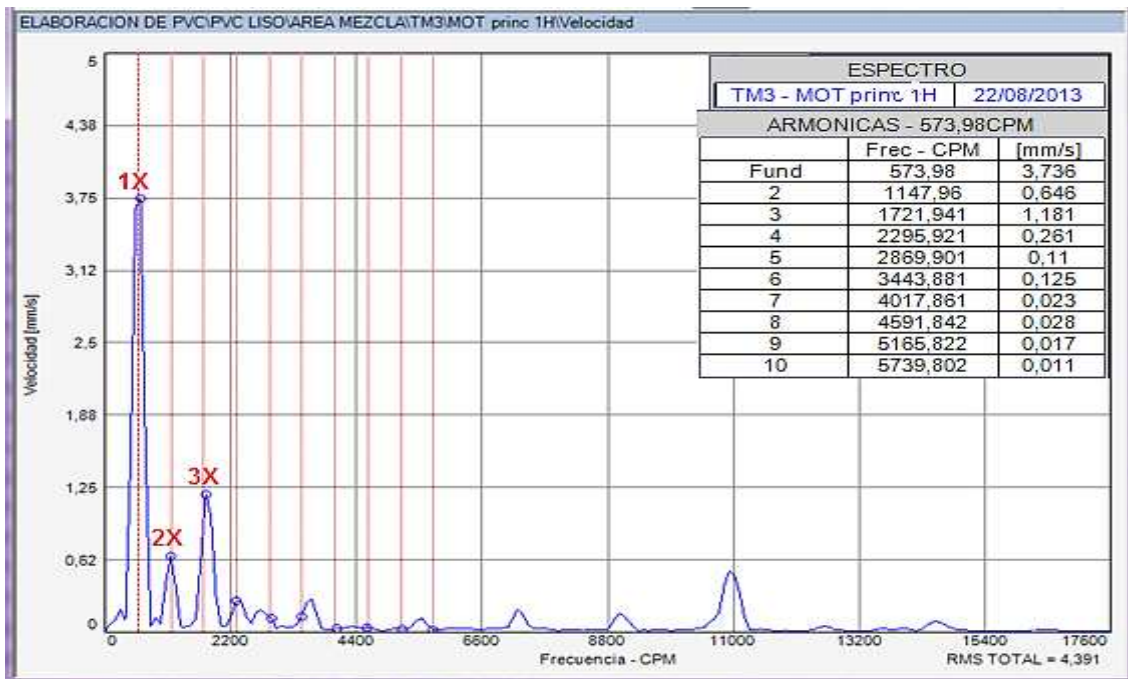
### 5.2.1.2 Espectros del punto motor 1V, 1Hy 1A lado libre en la variable velocidad

Figura 61. Espectro variable de velocidad 1V



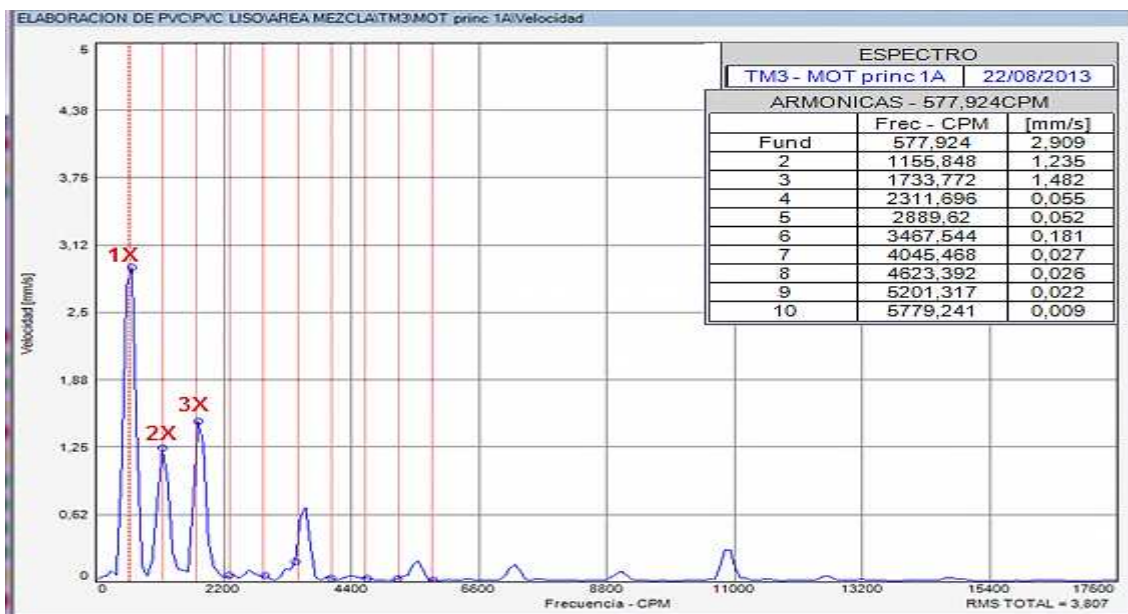
Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 62. Espectro variable de velocidad 1H



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 63. Espectro variable de velocidad 1A



Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral.** En los puntos 1V, 1H y 1A, del motor principal lado libre se observa presencia de armónicos síncronos a la velocidad de giro de la olla giratoria por lo que se descarta la opción de que la vibración captada en los dos espectros se origine en el punto uno del motor lado libre. Cabe resaltar que la frecuencia de giro nominal del

motor es de 1700 RPM aproximadamente. El espectro predominante en este punto es el 1H con un valor máximo en RMS de 4,3 mm/s.

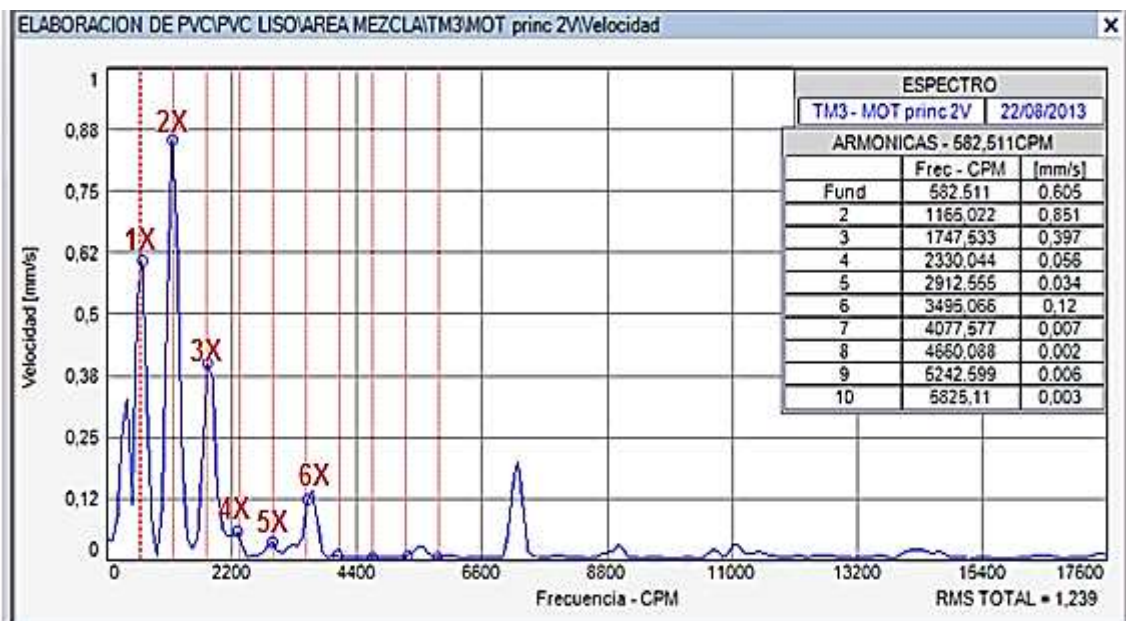
**Diagnóstico.** Para la determinación del modo de falla se cita los posibles problemas existentes, que se analizará hasta concluir el modo de fallo que presenta el sistema de acuerdo a las características del espectro.

El desalineamiento combinado se descarta debido que el sistema de transmisión de movimiento se produce mediante poleas y éste modo de fallo es propio en sistemas de acoples entre ejes para la transmisión del movimiento, la otra opción es que presente eje pandeado la cual se omite por la ausencia de armónicos del orden de 3X, por otra parte el espectro no evidencia desalineación de rodamientos ya que el plano predominante para que se desarrolle este problema es el radial y no el axial.

Se llega a la conclusión que el modo de falla que se está desarrollando corresponde a holgura mecánica de tipo B en el alojamiento del rodamiento de acuerdo a las cartas de Charlotte, dicha vibración se genera a la frecuencia de la olla giratoria de mezcla.

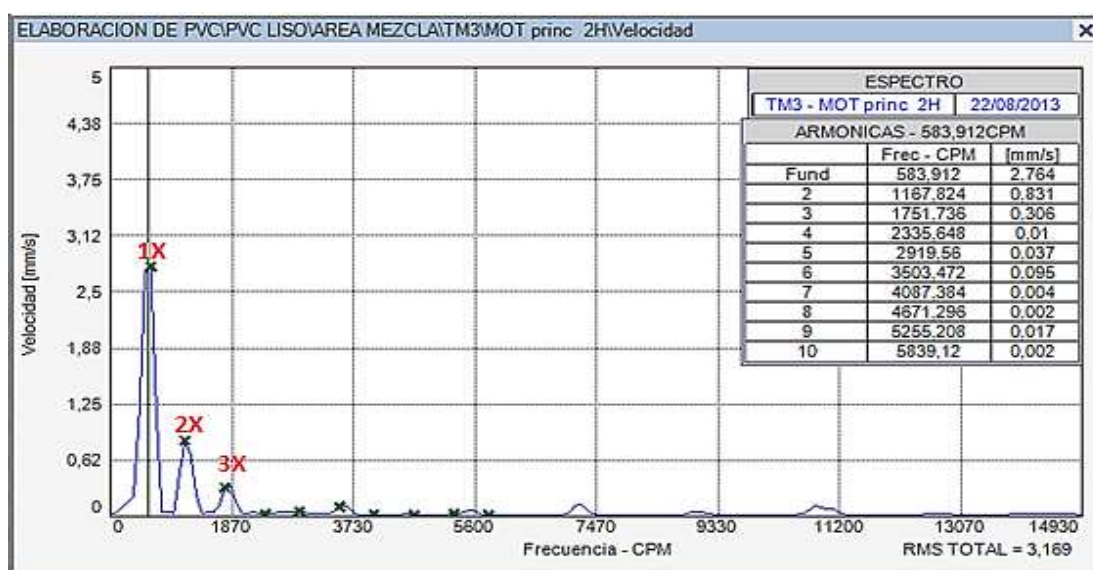
### 5.2.1.3 Espectros del punto motor 2V y 2H lado acoplado en la variable velocidad

Figura 64. Espectro variable de velocidad 2V



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 65. Espectro variable de velocidad 2H



Fuente: Software MAINTraqPredictive

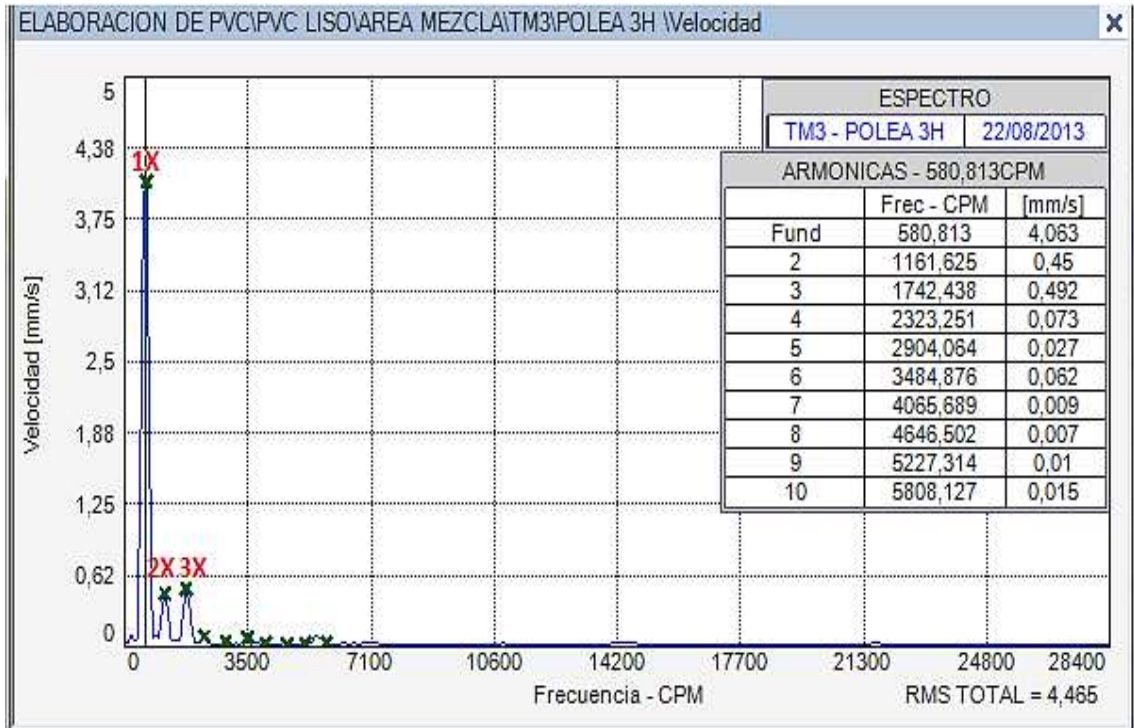
**Análisis espectral.** En los puntos 2V y 2H del motor principal lado acoplado se evidencia armónicos síncronos a la frecuencia de giro de la olla giratoria, por lo que se descarta que la fuente de vibración sea en este punto. Además en el punto 2V existe presencia de bandas laterales que corresponden a indicios de soltura de la estructura de la mezcladora TM3.

**Diagnóstico.** Para la identificación del modo de falla se cita los posibles problemas existentes, de acuerdo a las características del espectro.

No se evidencia el desalineamiento combinado por motivo que el sistema de transmisión de movimiento se produce mediante poleas y este modo de fallo es propio en sistemas de acoples entre ejes para la transmisión del movimiento, por otra parte el modo de falla eje pandeado se descarta por la ausencia de armónicos del orden de 3X; además, el espectro no evidencia desalineación de rodamientos ya que el plano predominante es el radial y no el axial. Por lo tanto se concluye que el modo de falla que se está desarrollando corresponde a holgura mecánica de tipo B en el alojamiento del rodamiento de acuerdo a las cartas de Charlotte, dicha vibración se genera a la frecuencia de la olla giratoria de mezcla la cual transmite la vibración por medio de la estructura hacia el punto del motor lado acoplado.

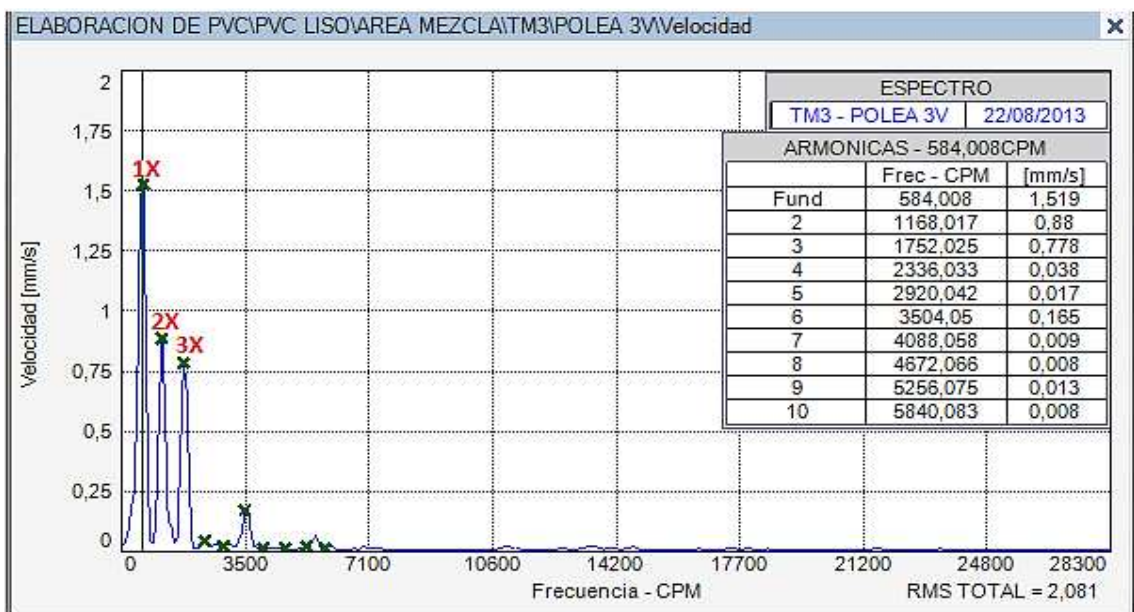
5.2.1.4 Espectros capturados en el punto polea de la olla giratoria 3H, 3V en la variable velocidad.

Figura 66. Espectro variable de velocidad 3H



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 67. Espectro variable de velocidad 3V



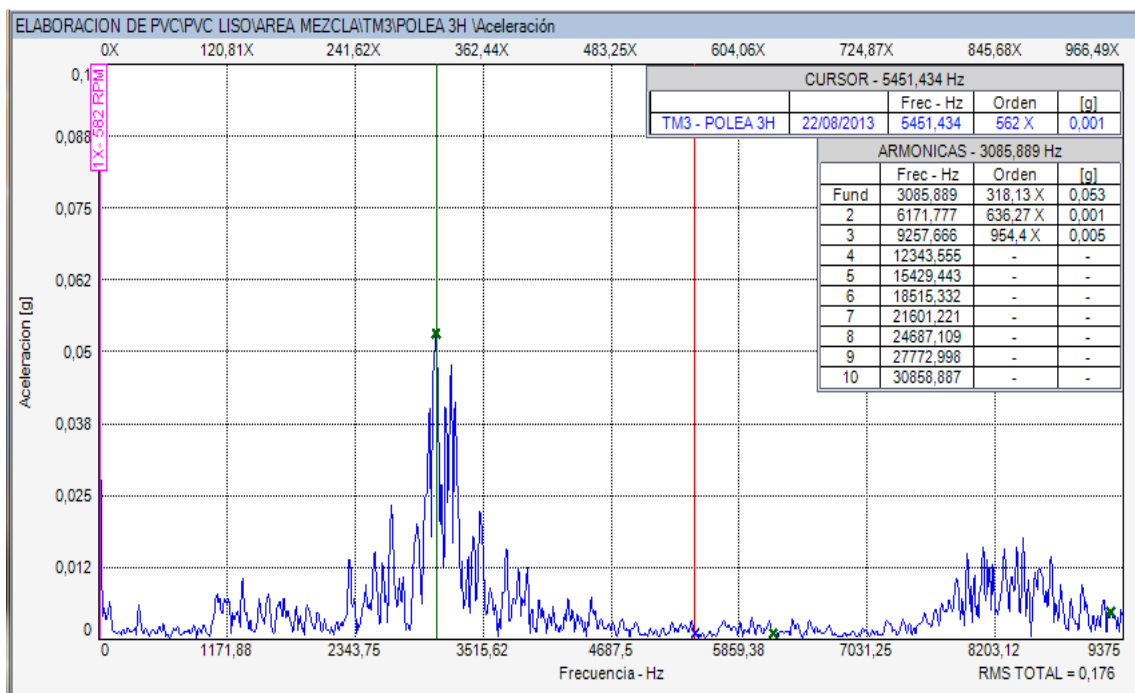
Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral.** Los espectros capturados en los puntos 3H, 3V y 3A, presentan picos del orden de 1X a la frecuencia de giro de la olla giratoria. Cabe señalar que el movimiento es transmitido desde el motor principal que gira a 1700 RPM aproximadamente y mediante relación de poleas cuyas dimensiones no se conoce se consigue reducir a 572 RPM aproximadamente en la entrada de la olla giratoria. Por lo que se concluye que el origen de la vibración es en el punto 3.

**Diagnóstico.** La transmisión del movimiento hacia la olla giratoria de mezcla se realiza mediante poleas por tal razón se descarta el desalineamiento combinado de ejes, debido a ausencia de armónicos mayores a 2X se omite la existencia de rodamientos desalineados y por ultimo no se puede decir que se trata de un problema de eje pandeado por que la vibración predominante no está en dirección axial.

Por tal razón se concluye que la vibración es producto de holgura mecánica de tipo B en el alojamiento del rodamiento según las cartas de Charlotte PC, esta vibración se genera a la frecuencia de 572 RPM que corresponde a la velocidad de giro de la olla giratoria de mezcla, se deduce que la fuente de la vibración que se propaga por la mayor parte de la estructura proviene del punto tres que corresponde a la olla giratoria de mezcla.

Figura 68. Espectro variable de aceleración 3H



Fuente: Software MAINTraqPredictive

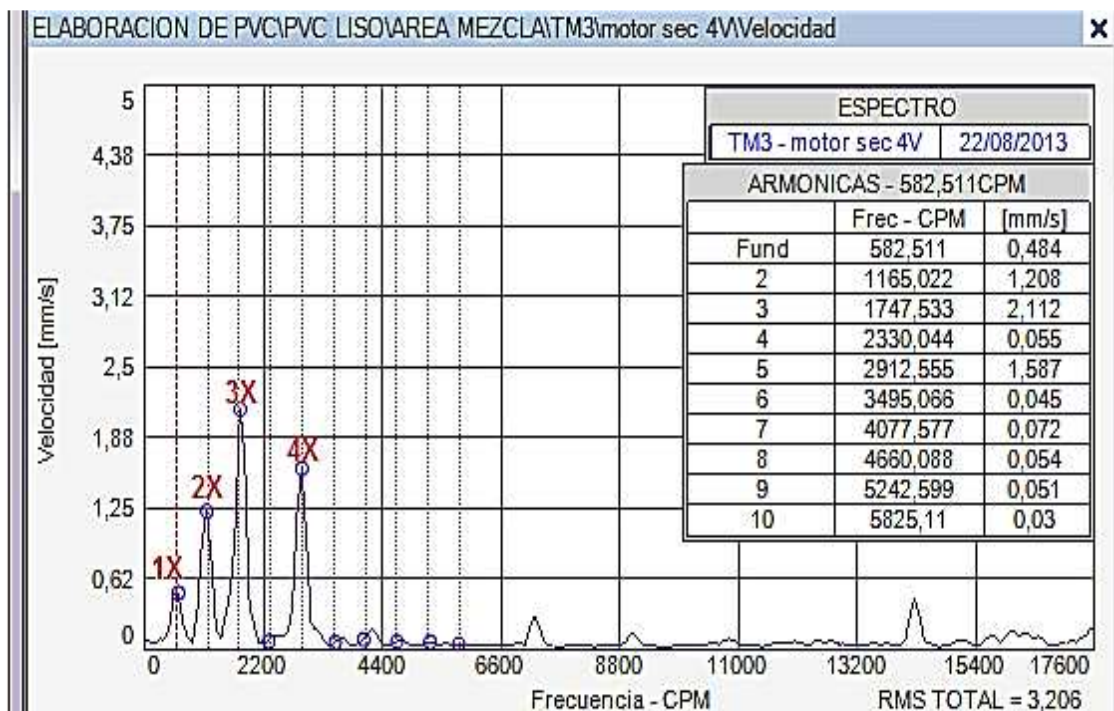
**Análisis espectral.** Existen múltiples armónicos con valores relativamente bajos, indicarán que un hay indicios de que en un futuro pueda aparecer problemas en los componentes del rodamiento.

No se observa la presencia de frecuencia de falla de los elementos del rodamiento, sin embargo se observa la frecuencia natural de rodamiento que se evidencia en altas frecuencias.

**Diagnóstico.** Mediante el espectro de aceleración se determina que el rodamiento está en la ETAPA UNO de daño, cabe mencionar que el rodamiento tiene una vida útil superior a tres años por lo que esta vibración se asoció a un régimen de trabajo propio de la máquina.

**5.2.1.5 Espectros del punto motor secundario lado libre 4V, 4H, en la variable velocidad**

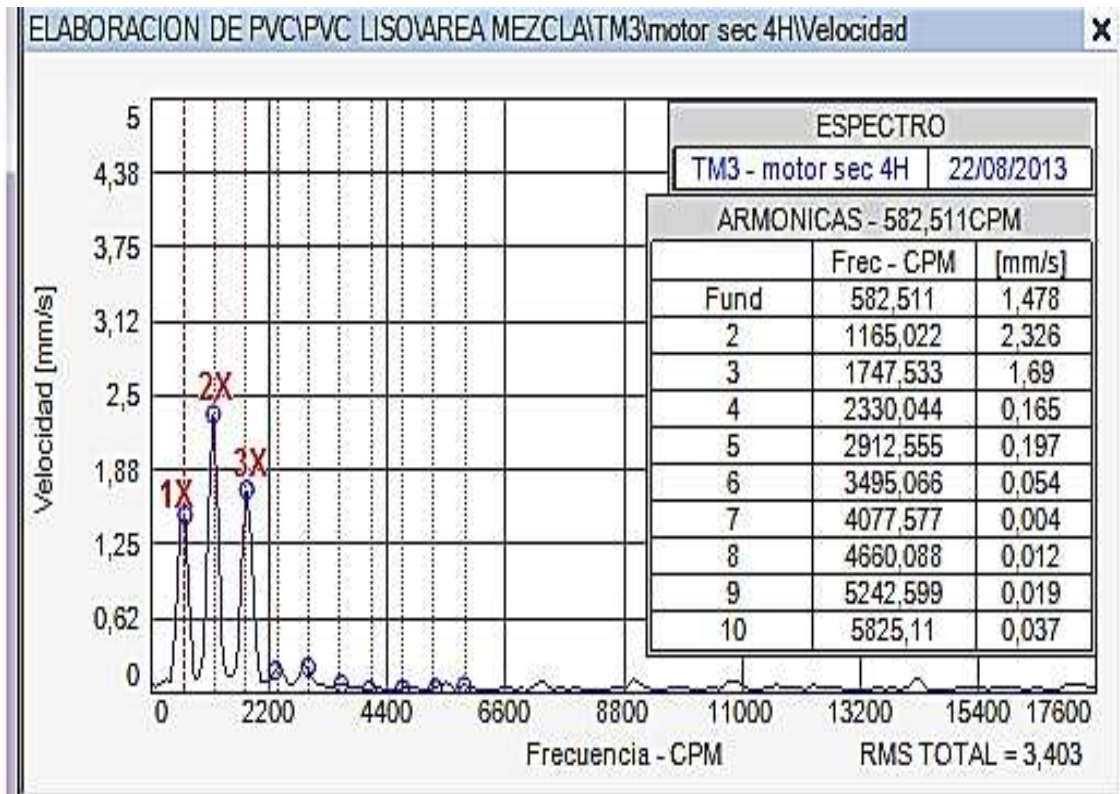
Figura 69. Espectro variable de velocidad 4V



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Se puede apreciar el mismo patrón en los espectros tanto en el sentido vertical como el horizontal pero con un valor distinto de los picos.

Figura 70. Espectro variable de velocidad4H



Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral:** En los puntos de inspección 4V, 4H, existe presencia de armónicos síncronos a la frecuencia de giro de la olla giratoria, cuya vibración se manifiesta en la mayor parte de la estructura de la mezcladora TM3.

**Diagnóstico.** El desalineamiento combinado queda descartado debido a que el sistema de transmisión de movimiento se produce mediante poleas y este modo de fallo es propio en sistemas de acoples entre ejes para la transmisión del movimiento.

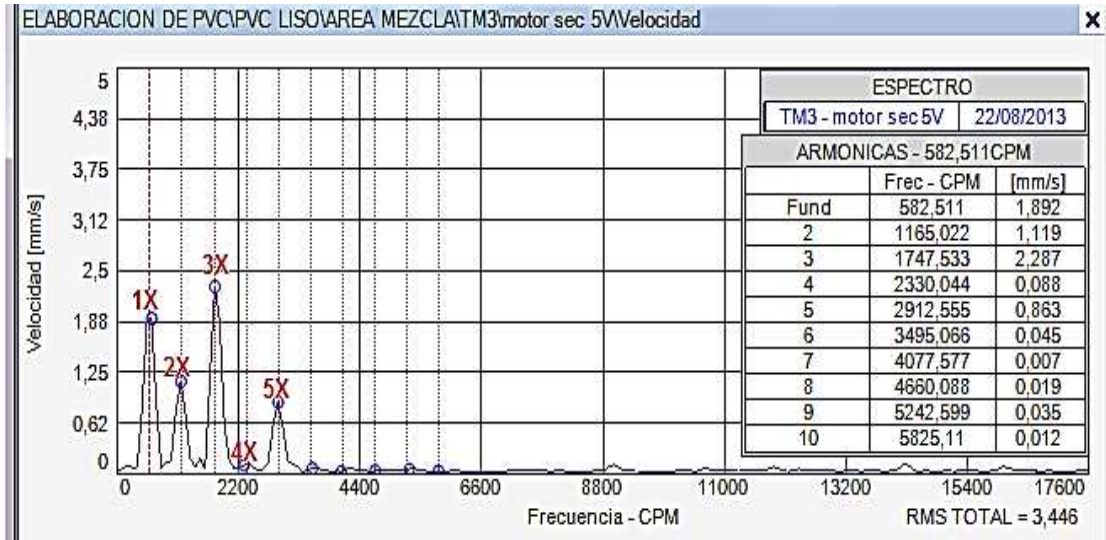
La otra opción es que presente eje pandeado la cual se omite por la ausencia de armónicos del orden de 3X, por otra parte el espectro no evidencia desalineación de rodamientos ya que el plano predominante es el horizontal.

Se llega a la conclusión que el modo de falla que se está desarrollando corresponde a holgura mecánica de tipo B en el alojamiento del rodamiento de acuerdo a las cartas de Charlotte, dicha vibración se genera a la frecuencia de la olla giratoria de mezcla.



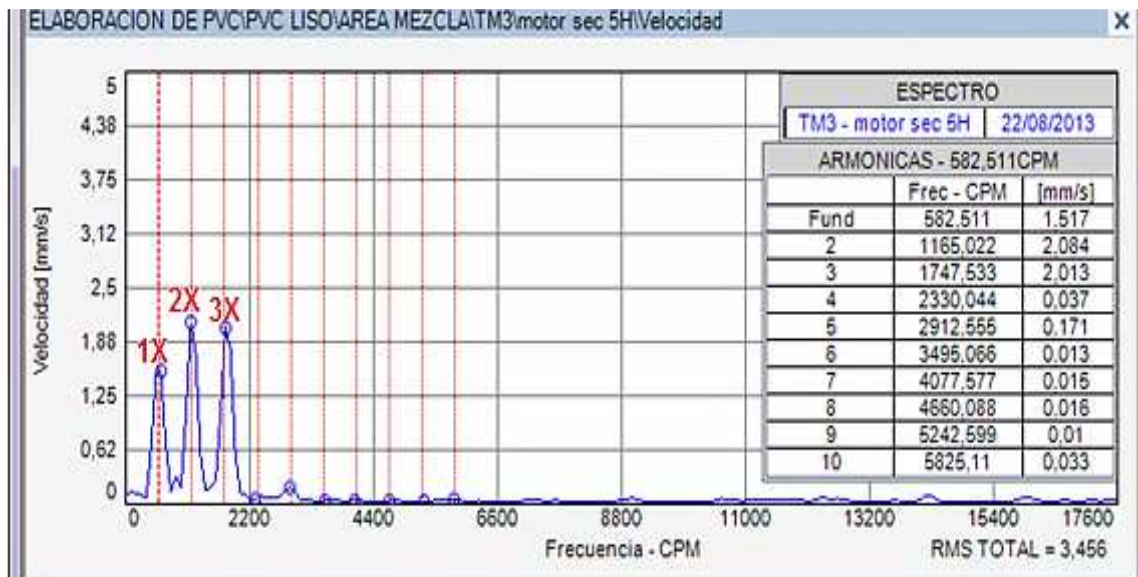
**5.2.1.6** Espectros del punto motor secundario lado acoplado 5V y 5H en la variable velocidad

Figura 71. Espectro variable de velocidad 5V



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 72. Espectro variable de velocidad 5H



Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral.** Se evidencia armónicos síncronos a la frecuencia de giro de la olla giratoria, espectros capturados en dirección 5V, 5H, descartando que la fuente de vibración sea el motor secundario lado acoplado por lo que su velocidad de giro nominal es 1600 RPM.

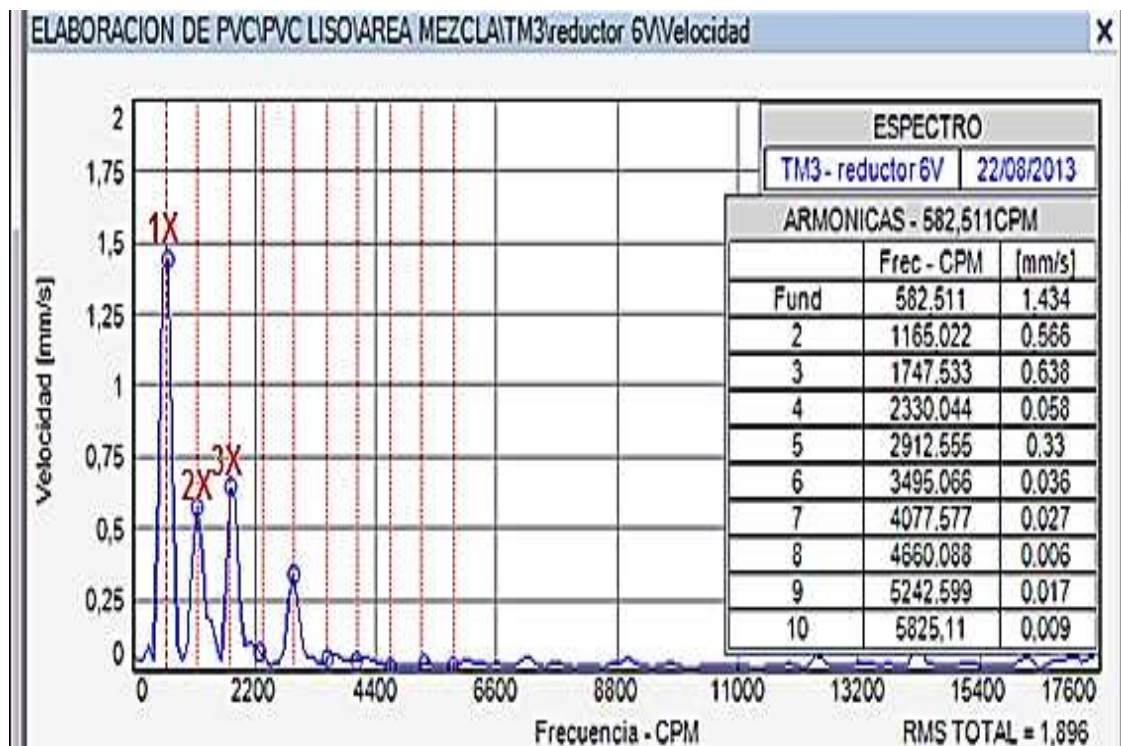
**Diagnóstico.** Para la identificación del modo de falla se cita los posibles problemas existentes, de acuerdo a las características del espectro.

No se evidencia el desalineamiento combinado por motivo que el sistema de transmisión de movimiento se produce mediante poleas y este modo de fallo es propio en sistemas de acoples entre ejes para la transmisión del movimiento, por otra parte el modo de falla eje pandeado se descarta por la ausencia de armónicos del orden de 3X; además, el espectro no evidencia desalineación de rodamientos ya que el plano predominante es el radial y no el axial.

Por lo tanto se concluye que el modo de falla que se está desarrollando corresponde a holgura mecánica de tipo B en el alojamiento del rodamiento de acuerdo a las cartas de Charlotte, dicha vibración se genera a la frecuencia de la olla giratoria de mezcla la cual transmite la vibración por medio de la estructura hacia el punto del motor lado acoplado.

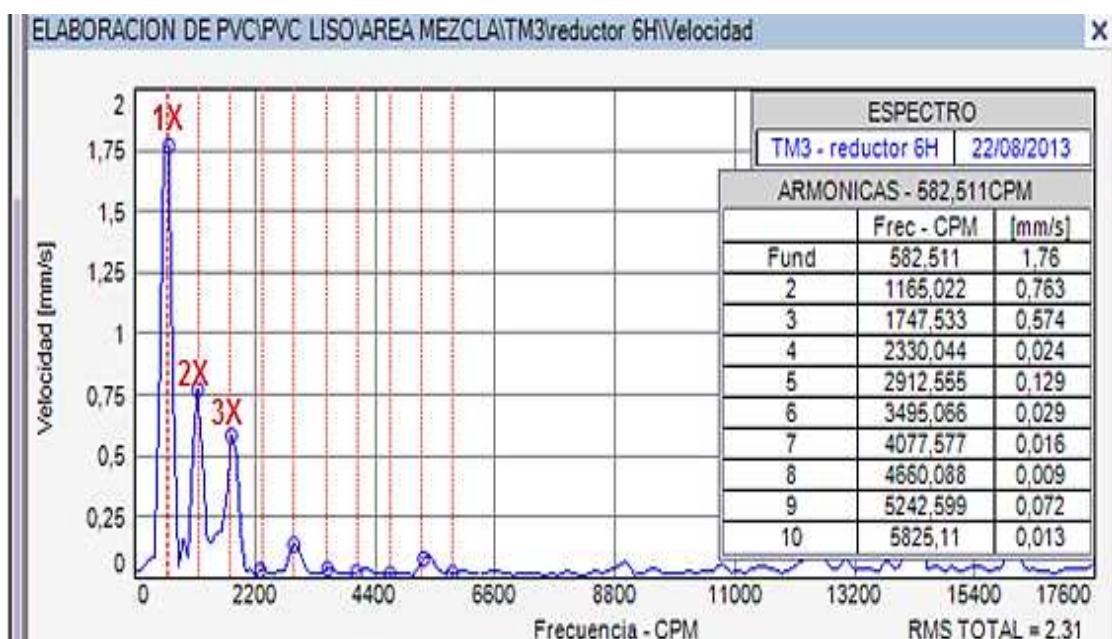
**5.2.1.7 Espectros del punto reductor 6V, 6H en la variable velocidad.**

Figura 73. Espectro variable de velocidad 6V



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 74. Espectro variable de velocidad 6H



Fuente: Software MAINTraqPredictive

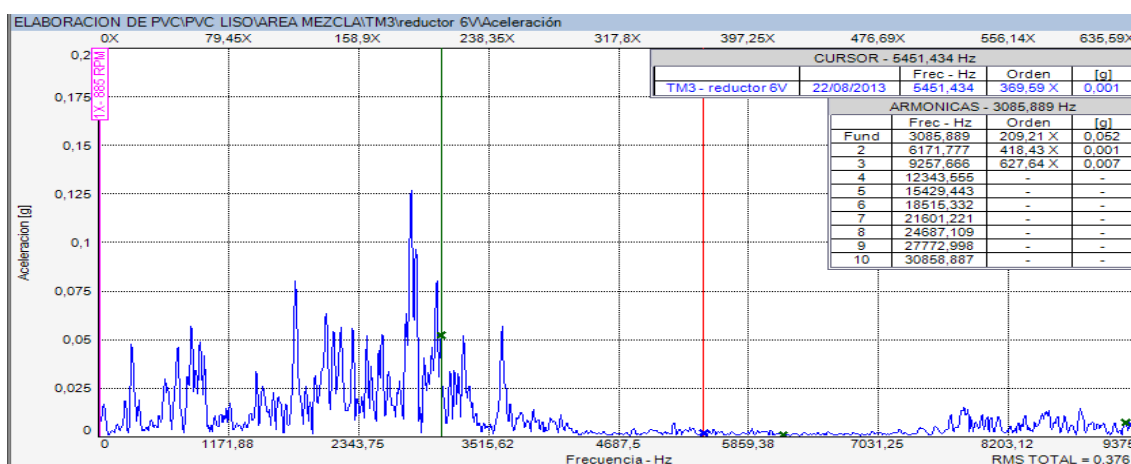
**Análisis espectral:** En los espectros capturados en las direcciones 6V y 6H se evidencia armónicos síncronos del orden de 1X, 2X, 3X a la frecuencia de giro de la olla giratoria en dirección.

**Diagnóstico.** La transmisión del movimiento hacia la olla giratoria de mezcla se realiza mediante poleas por tal razón se descarta el desalineamiento combinado de ejes, debido a la ausencia de armónicos mayores a 2X se omite la existencia de rodamientos desalineados y por último no se puede decir que se trata de un problema de eje pandeado por que la vibración predominante no está en dirección axial.

Por tal razón se concluye que la vibración es producto de holgura mecánica de tipo B en el alojamiento del rodamiento según las cartas de Charlotte, esta vibración se genera a la frecuencia de 572 RPM que corresponde a la velocidad de giro de la olla giratoria de mezcla.

Se deduce que la fuente de la vibración que se propaga por la mayor parte de la estructura proviene del punto 3 que corresponde a la olla giratoria de mezcla.

Figura 75. Espectro variable de velocidad 6V

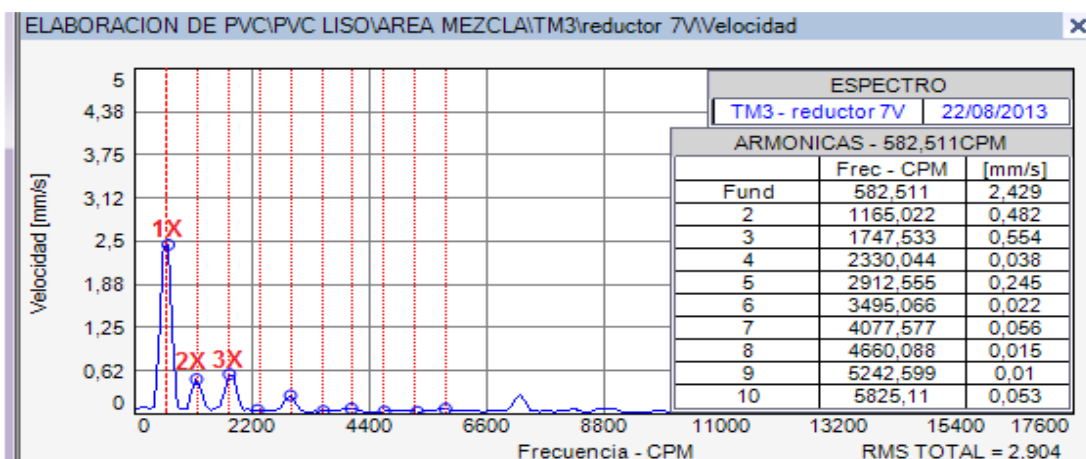


Fuente: Software MAINTraqPredictive

Estos puntos corresponden a la entrada del reductor por lo que se debería tener la misma velocidad del motor secundario descartando así que la fuente de vibración de la estructura sea proveniente de este punto. La presencia de frecuencia BSF falla de efecto de los elementos rodantes, frecuencia BPGI 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. Analizado el espectro de aceleración se determina que está en la ETAPA TRES de daño por la presencia de las frecuencias de falla en elementos rodantes.

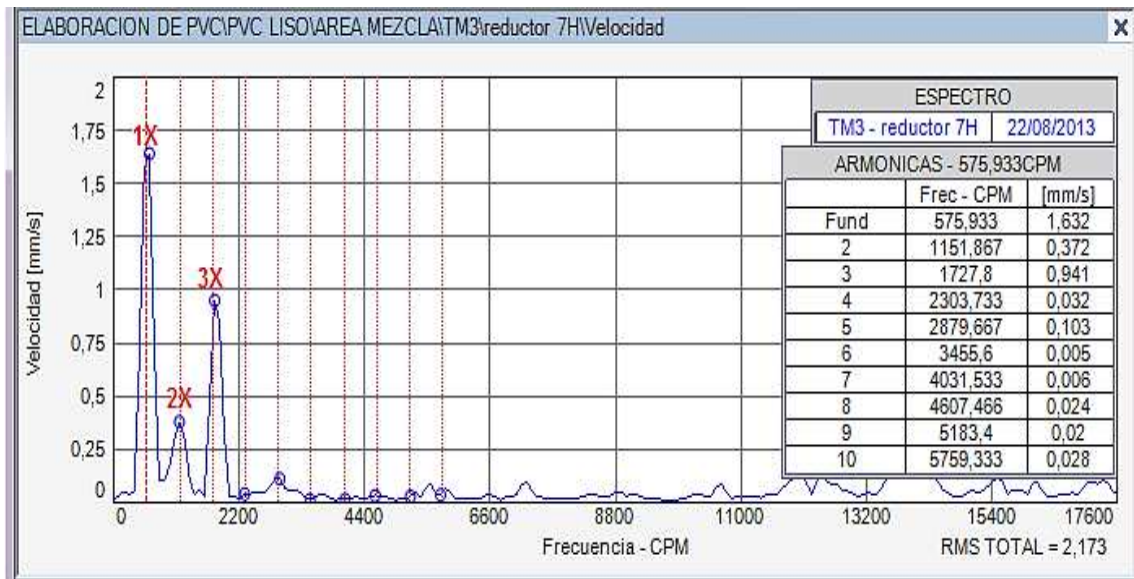
### 5.2.1.8 Espectros del punto reductor 7V y 7H en la variable velocidad

Figura 76. Espectro variable de velocidad 7V



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 77. Espectro variable de velocidad 7H



Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral.** Presencia de armónicos síncronos a la frecuencia de giro de 582 CPM correspondientes a la olla giratoria en dirección 7V y 7H, se presencia espectros con las mismas características. La velocidad de giro en este punto es igual a la del motor secundario debido a que corresponde a la salida del primer eje impulsado por el motor.

**Diagnóstico.** Para la determinación del modo de falla se cita los posibles problemas existentes, que se analizará hasta concluir el modo de fallo que presenta el sistema de acuerdo a las características del espectro.

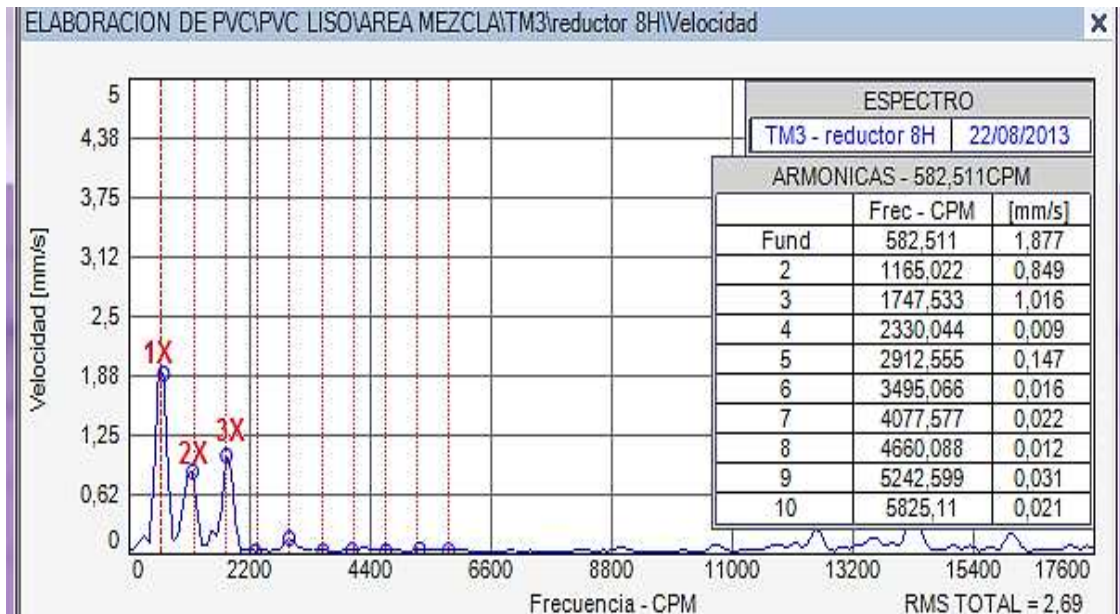
El desalineamiento combinado se descarta debido que el sistema de transmisión de movimiento se produce mediante poleas y este modo de fallo es propio en sistemas de acoples entre ejes para la transmisión del movimiento, la otra opción es que presente eje pandeado la cual se omite por la ausencia de armónicos del orden de 3X.

El espectro no evidencia desalineación de rodamientos ya que el plano predominante para que se desarrolle este problema es el radial y no el axial.

Se llega a la conclusión que el modo de falla que se está desarrollando corresponde a holgura mecánica de tipo B en el alojamiento del rodamiento de acuerdo a las cartas de Charlotte, dicha vibración se genera a la frecuencia de la olla giratoria de mezcla.

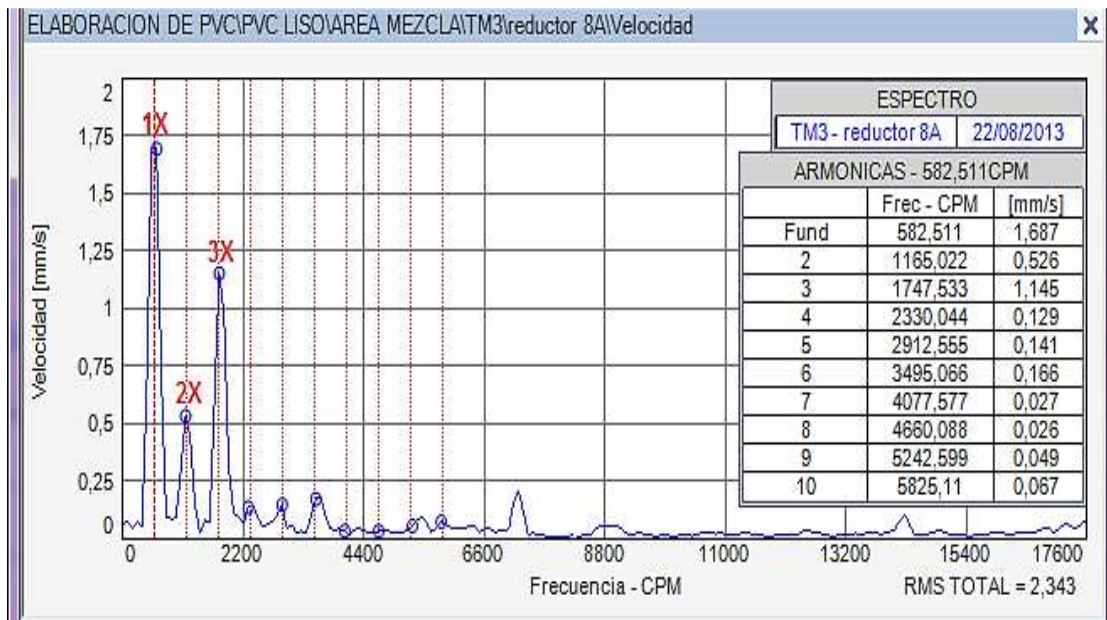
5.2.1.9 Espectros del punto reductor 8H y 8A en la variable velocidad.

Figura 78. Espectro variable de velocidad 8H



Fuente: Software MAINTraqPredictive.

Figura 79. Espectro variable de velocidad 8A



Fuente: Software MAINTraqPredictive

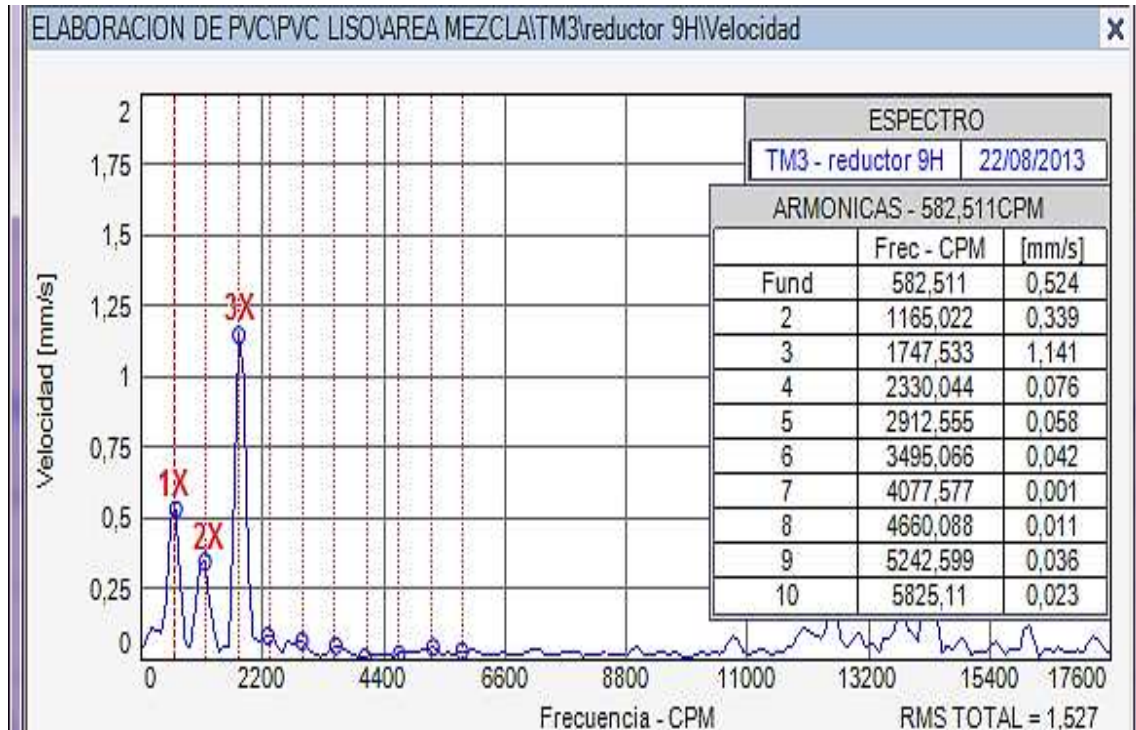
**Análisis espectral.** Presencia de armónicos síncronos a la frecuencia de giro que correspondiente a la olla giratoria en dirección 8H y 8A. Valores de vibración admisibles cuyo valor máximo es de 1,8 mm/s en RMS.

**Diagnóstico.** Para la identificación del modo de falla se cita los posibles problemas existentes, de acuerdo a las características del espectro.

No se evidencia el desalineamiento combinado por motivo que el sistema de transmisión de movimiento se produce mediante poleas y este modo de fallo es propio en sistemas de acoples entre ejes para la transmisión del movimiento, por otra parte el modo de falla eje pandeado se descarta por la ausencia de armónicos del orden de 3X; además, el espectro no evidencia desalineación de rodamientos ya que el plano predominante es el radial y no el axial. Por lo tanto se concluye que el modo de falla que se está desarrollando corresponde a holgura mecánica de tipo B en el alojamiento del rodamiento de acuerdo a las cartas de Charlotte, dicha vibración se genera a la frecuencia de la olla giratoria de mezcla, la cual transmite la vibración por medio de la estructura hacia el punto del motor lado acoplado.

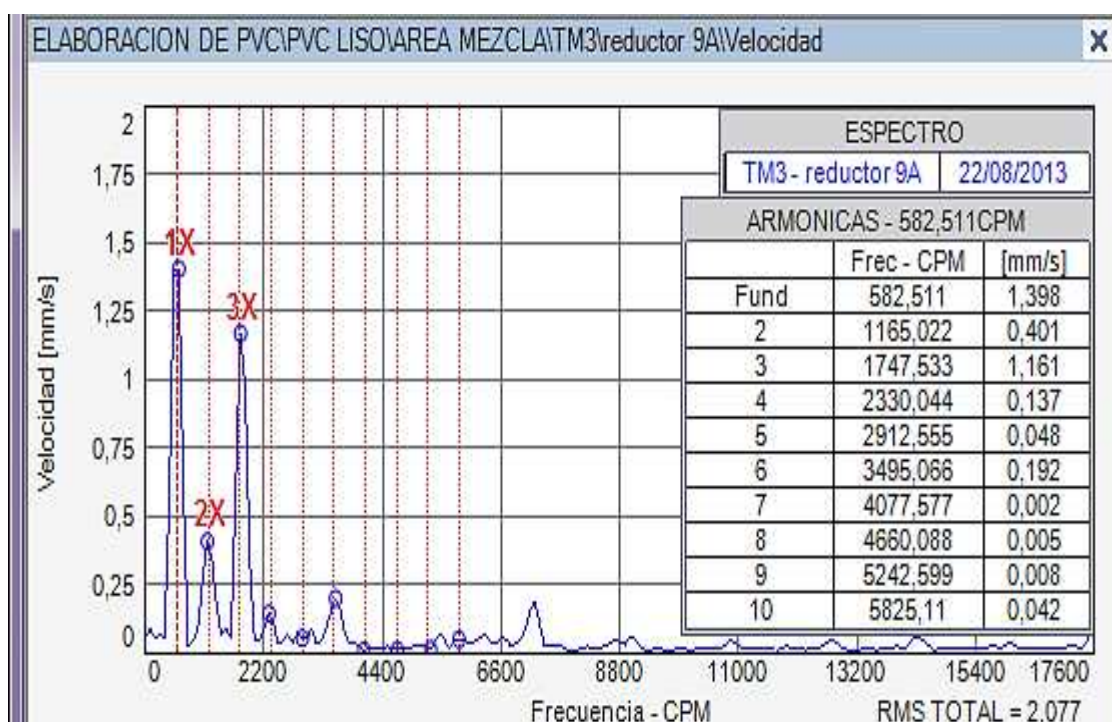
**5.2.1.10 Espectros del punto reductor 9H y 9A en la variable velocidad**

Figura 80. Espectro variable de velocidad 9H



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 81. Espectro variable de velocidad 9A



Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral.** Valores de vibración admisibles, pero se observa presencia de armónicos síncronos a la frecuencia de giro que correspondiente a la olla giratoria. Esta vibración se manifiesta en la mayoría de la estructura de la mezcladora TM3.

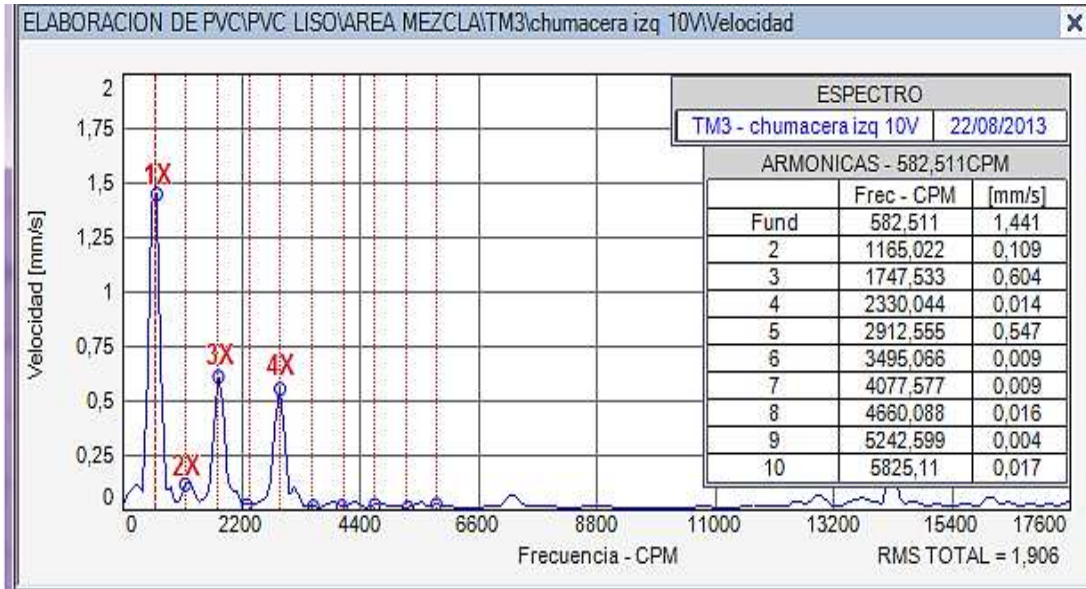
**Diagnóstico.** La transmisión del movimiento hacia la olla giratoria de mezcla se realiza mediante poleas por tal razón se descarta el desalineamiento combinado de ejes, debido a ausencia de armónicos mayores a 2X, se omite la existencia de rodamientos desalineados y por último no se puede decir que se trata de un problema de eje pandeado por que la vibración predominante no está en dirección axial.

Por tal razón se concluye que la vibración es producto de holgura mecánica de tipo B en el alojamiento del rodamiento según las cartas de Charlotte, esta vibración se genera a la frecuencia de 572 RPM que corresponde a la velocidad de giro de la olla giratoria de mezcla, se deduce que la fuente de la vibración que se propaga por la mayor parte de la estructura proviene del punto tres que corresponde a la olla giratoria de mezcla.



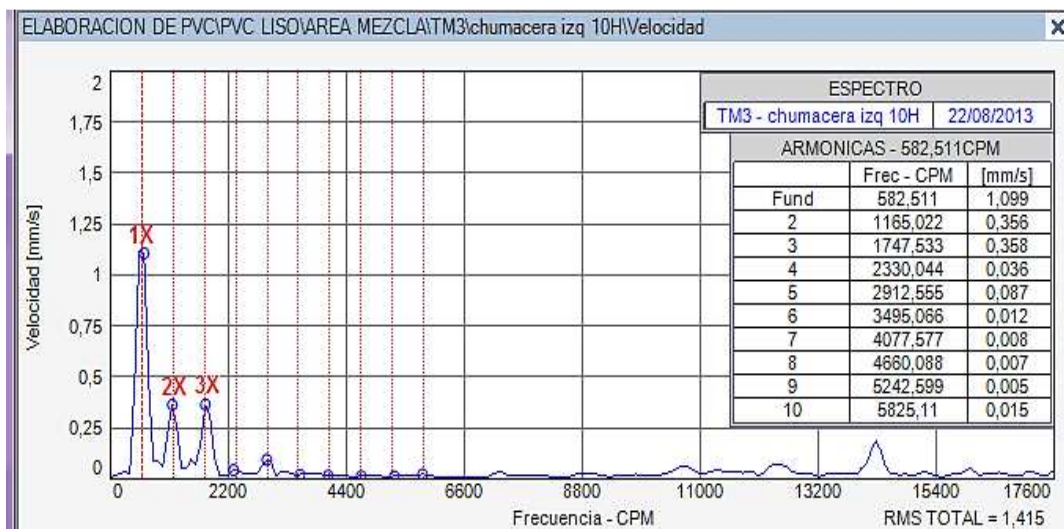
**5.2.1.11 Espectros del punto chumacera izquierda en dirección 10V y 10H en la variable velocidad.**

Figura 82. Espectro variable de velocidad 10V



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 83 Espectro variable de velocidad 10H

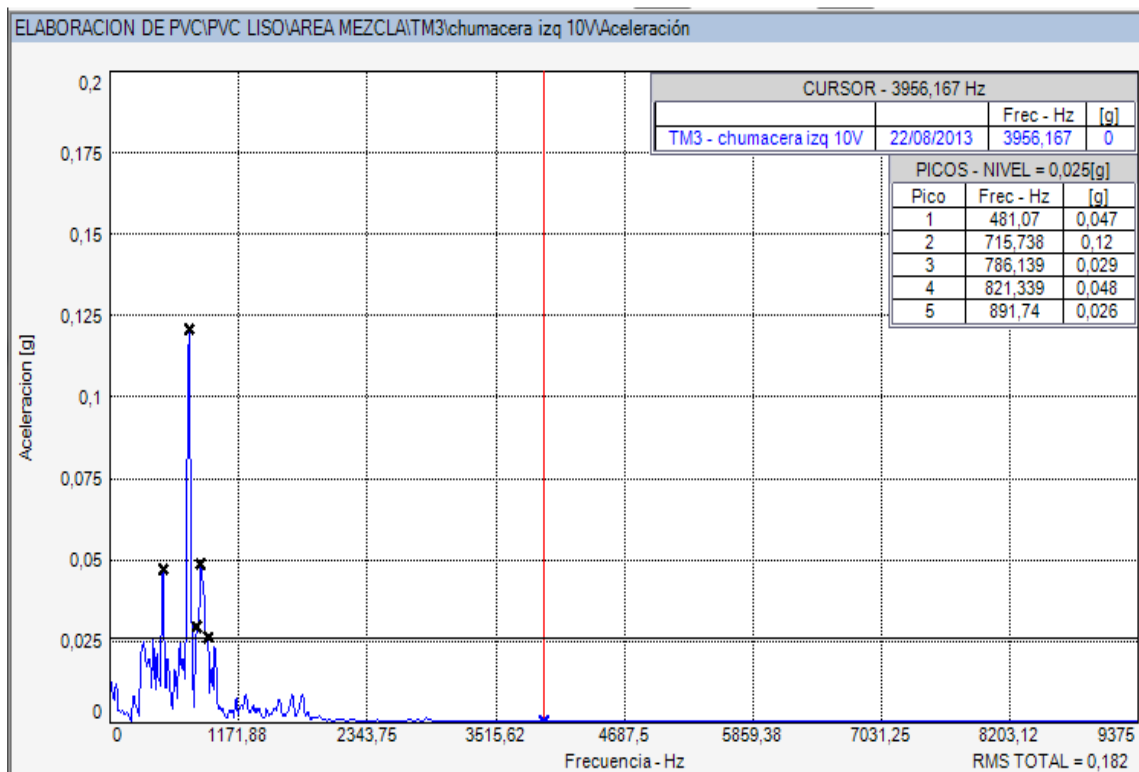


Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral.** Armónicos sincrónicos a la olla giratoria a frecuencia de 582 RPM. Al igual que los anteriores puntos se presentan los espectros de características similares, a diferencia que los valores de vibración son admisibles. Además cabe señalar que la velocidad de giro en las chumaceras es de 30 RPM aproximadamente.

**Diagnóstico.** Vibración presente en toda la estructura producto de holgura mecánica de tipo B en el alojamiento del rodamiento de la olla giratoria de mezcla, al igual que los puntos anteriores dicha vibración se trasmite a través de la estructura de la misma máquina por lo tanto se descarta la existencia de algún modo de fallo en el punto diez.

Figura 84 Espectro variable de velocidad 10V



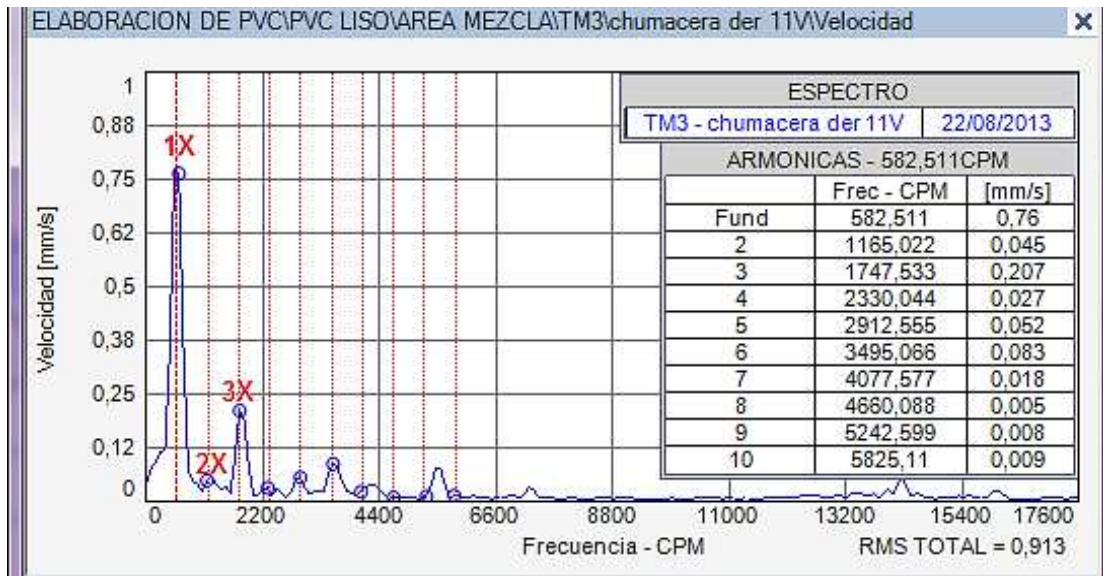
Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral.** Existen múltiples armónicos con valores relativamente bajos, indicarán que 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. Se observa la frecuencia natural del rodamiento que se evidencia a altas frecuencias sin embargo se aprecia sonido del rodamiento.

**Diagnóstico.** Analizado el espectro de aceleración se determina que está en la ETAPA DOS de daño por la presencia de las frecuencias de falla en elementos rodantes esto ocurre en el rodamiento de la olla giratoria de mezcla.

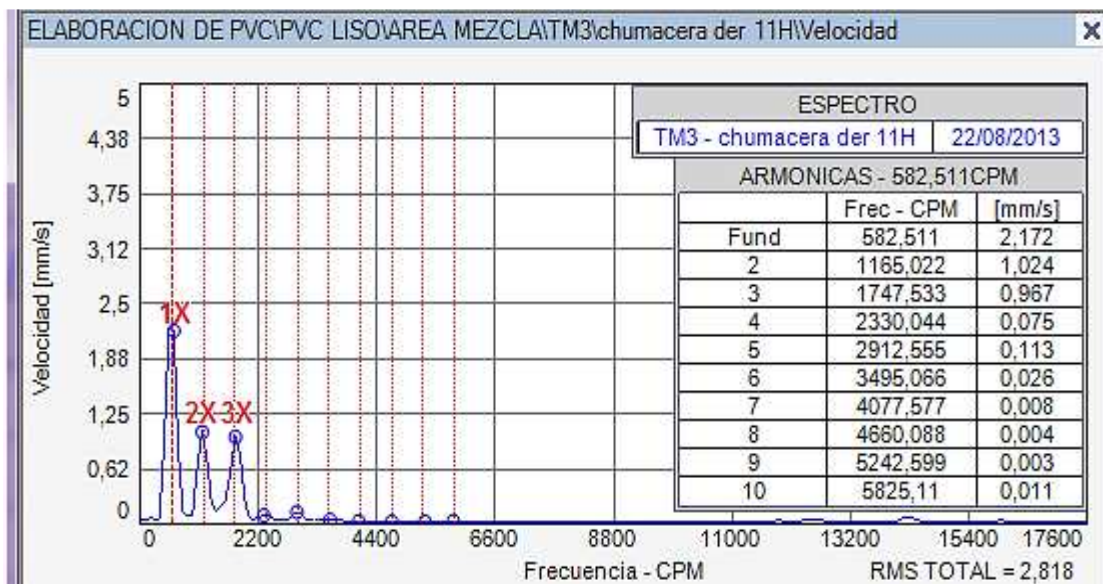
5.2.1.12 Espectros del punto chumacera derecha 11V y 11H en la variable velocidad

Figura 85. Espectro variable de velocidad 11V



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 86. Espectro variable de velocidad 11H



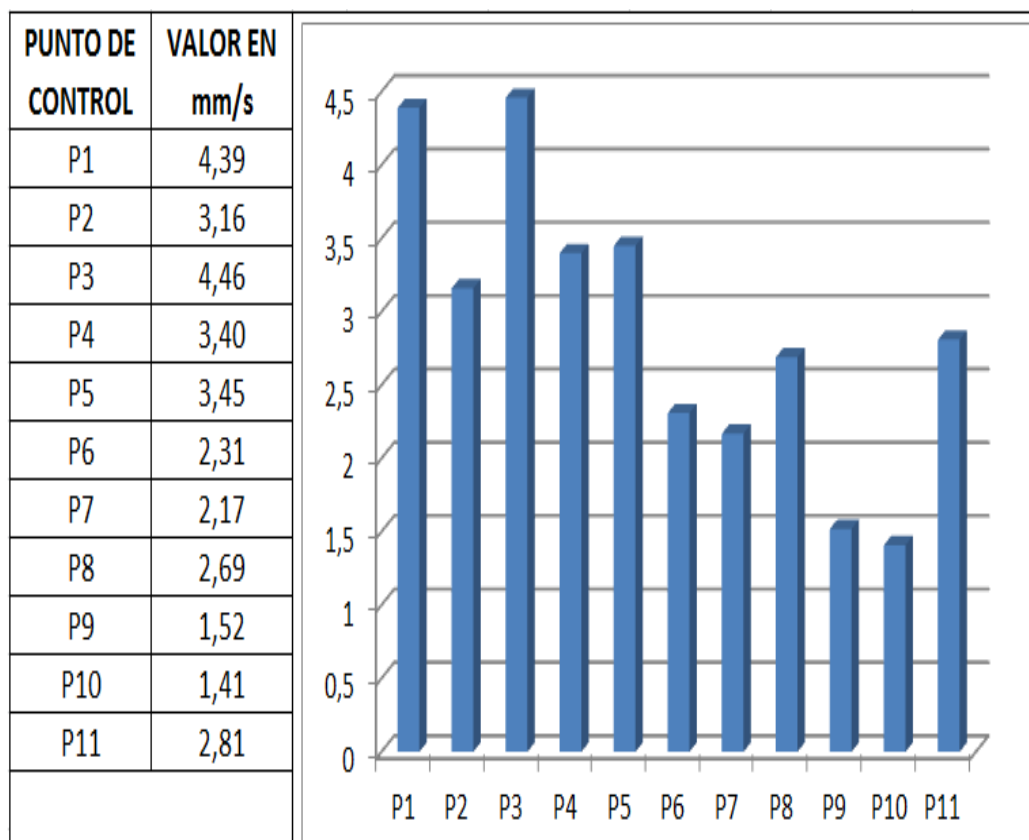
Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis Espectral.** Se observa armónicos síncronos a la frecuencia de giro que correspondiente a la olla giratoria de 582 CPM en dirección 11V, 11H y 11A, cuyos espectros tienen las mismas características. Además cabe señalar que la velocidad de giro en las chumaceras es de 30 RPM aproximadamente.

**Diagnóstico.** Vibración presente en toda la estructura producto de holgura mecánica de tipo B en el alojamiento del rodamiento de la olla giratoria de mezcla, dicha vibración se transmite a través de la estructura de la misma máquina por lo tanto se descarta la existencia de algún modo de fallo en el punto once a la altura de la segunda chumacera que mueve al rodillo de homogenizado.

### 5.2.1.13 Niveles de vibración en mm/s en todos los puntos de inspección de TM3

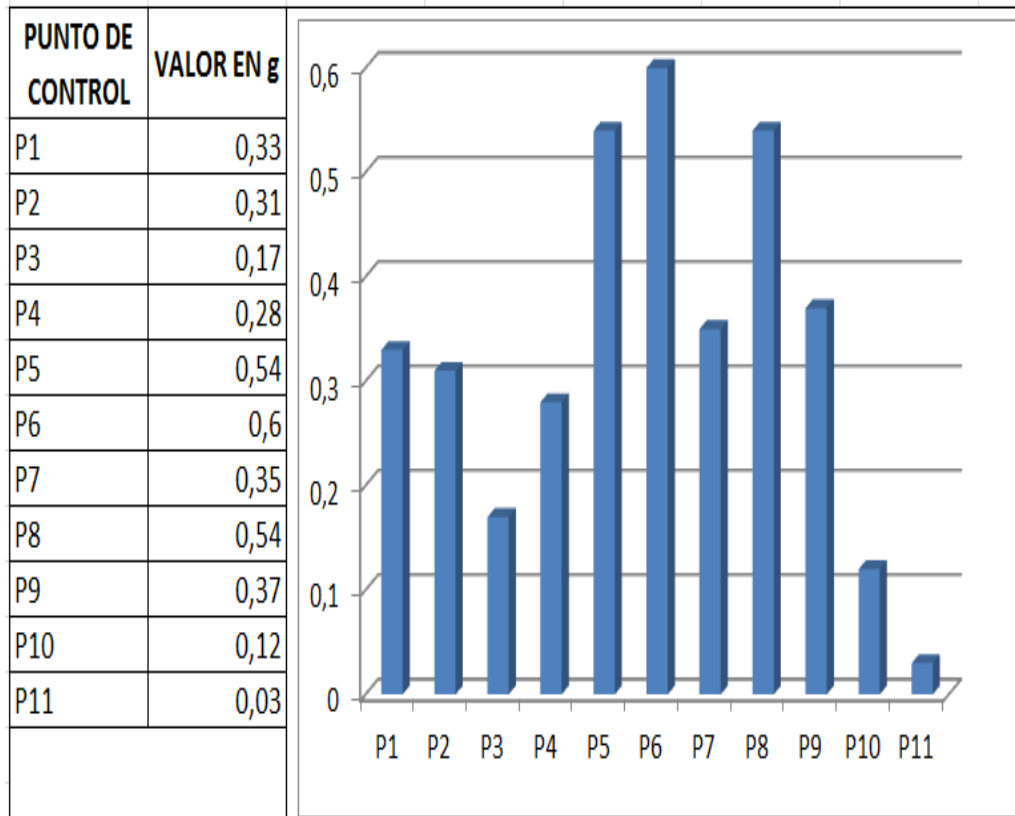
Figura 87. Niveles de vibración de la variable de velocidad



Fuente: Autores

Esta gráfica representa la variación de los valores vibracionales, tienen un régimen de trabajo que oscila entre un rango de 2 a 3 mm/s, lecturas que sobrepasen estos valores se considera que algún modo de fallase está desarrollando, de tal manera que esta vibración será transmitida a los puntos adyacentes, en este caso las lecturas más elevadas están sobre el motor conductor y la polea conducida, en el que se presentan los modos de falla que se detectó.

Figura 88. Niveles de vibración de la variable de aceleración



Fuente: Autores

En esta gráfica se puede observar los valores de aceleración elevados en los puntos P5, P6 y P8 debido a que la estructura en la cual está sostenida tiene un sistema en voladizo por lo cual se magnifica la vibración en estos puntos de control.

**Diagnóstico para la máquina TM3.** El nivel de vibración es tolerable del conjunto en general, pero se detecta presencia de holgura en alojamiento del rodamiento en el punto 3, mismo que trasmite la vibración a toda la estructura.

### 5.2.2 Informe de resultados y espectros de mezcladora TM4

Nombre de la máquina: **TM4**

Ubicación: **Área de mezcla**

Criterio de evaluación: **E1**

Prioridad: **P1**

Figura 89. Mezcaldora TM4



Fuente: Equipos Empresa Holviplas S.A.

### 5.2.2.1 Tabla de resultados

Tabla 19. Resultados en valores RMS, y alarmas del equipo analizado

DIRECCION	VARIABLE	VALOR	ALARMA	PELIGRO	EVALUACIÓN
MOT princ 1V	Aceleración	0,483	1,0	2	ACEPTABLE
MOT princ 1V	Velocidad	11,95	4,5	9	INACEPTABLE
MOT princ 1V	Envolverte	0,150	2,0	3	ACEPTABLE
MOT princ 1H	Aceleración	0,582	1,0	2	ACEPTABLE
MOT princ 1H	Velocidad	12,47	4,5	9	INACEPTABLE
MOT princ 1H	Envolverte	0,160	2,0	3	ACEPTABLE
MOT princ 1 A	Aceleración	0,543	1,0	2	ACEPTABLE
MOT princ 1 A	Velocidad	4,817	4,5	9	ACEPTABLE
MOT princ 1 A	Envolverte	0,261	2,0	3	ACEPTABLE
MOT princ 2V	Aceleración	0,940	1,0	2	ACEPTABLE
MOT princ 2V	Velocidad	4,236	4,5	9	ACEPTABLE
MOT princ 2V	Envolverte	0,677	2,0	3	ACEPTABLE
MOT princ 2H	Aceleración	0,640	1,0	2	ACEPTABLE
MOT princ 2H	Velocidad	10,77	4,5	9	INACEPTABLE
MOT princ 2H	Envolverte	0,206	2,0	3	ACEPTABLE
MOT princ 2 A	Aceleración	0,939	1,0	2	ACEPTABLE
MOT princ 2 A	Velocidad	2,503	4,5	9	ACEPTABLE

Tabla 19 (Continuación)

MOT princ 2 A	Envolvente	1,355	2,0	3	ACEPTABLE
POLEA 3V	Aceleración	0,554	1,0	2	ACEPTABLE
POLEA 3V	Velocidad	5,439	4,5	9	ACEPTABLE
POLEA 3V	Envolvente	0,230	2,0	3	ACEPTABLE
POLEA 3H	Aceleración	0,523	1,0	2	ACEPTABLE
POLEA 3H	Velocidad	10,18	4,5	9	INACEPTABLE
POLEA 3H	Envolvente	0,246	2,0	3	ACEPTABLE
POLEA 3 A	Aceleración	0,486	1,0	2	ACEPTABLE
POLEA 3 A	Velocidad	3,587	4,5	9	ACEPTABLE
POLEA 3 A	Envolvente	0,299	2,0	3	ACEPTABLE
Motor sec 4V	Aceleración	0,096	1,0	2	ACEPTABLE
Motor sec 4V	Velocidad	1,304	4,5	9	ACEPTABLE
Motor sec 4V	Envolvente	0,040	2,0	3	ACEPTABLE
Motor sec 4H	Aceleración	0,080	1,0	2	ACEPTABLE
Motor sec 4H	Velocidad	1,892	4,5	9	ACEPTABLE
Motor sec 4H	Envolvente	0,047	2,0	3	ACEPTABLE
Motor sec 4 A	Aceleración	0,073	1,0	2	ACEPTABLE
Motor sec 4 A	Velocidad	4,180	4,5	9	ACEPTABLE
Motor sec 4 A	Envolvente	0,029	2,0	3	ACEPTABLE
Motor sec 5V	Aceleración	0,090	1,0	2	ACEPTABLE
Motor sec 5V	Velocidad	1,287	4,5	9	ACEPTABLE
Motor sec 5V	Envolvente	0,038	2,0	3	ACEPTABLE
Motor sec 5H	Aceleración	0,011	1,0	2	ACEPTABLE
Motor sec 5H	Velocidad	2,623	4,5	9	ACEPTABLE
Motor sec 5H	Envolvente	0,045	2,0	3	ACEPTABLE
Motor sec 5 A	Aceleración	0,126	1,0	2	ACEPTABLE
Motor sec 5 A	Velocidad	4,956	4,5	9	ACEPTABLE
Motor sec 5 A	Envolvente	0,035	2,0	3	ACEPTABLE
Chumacera izq 6V	Aceleración	0,028	1,0	2	ACEPTABLE
Chumacera izq 6V	Velocidad	1,024	4,5	9	ACEPTABLE
Chumacera izq 6V	Envolvente	0,005	2,0	3	ACEPTABLE
Chumacera izq 6H	Aceleración	0,037	1,0	2	ACEPTABLE
Chumacera izq 6H	Velocidad	1,268	4,5	9	ACEPTABLE
Chumacera izq 6H	Envolvente	0,005	2,0	3	ACEPTABLE
Chumacera izq 6A	Aceleración	0,028	1,0	2	ACEPTABLE
Chumacera izq 6A	Velocidad	3,033	4,5	9	ACEPTABLE
Chumacera izq 6A	Envolvente	0,010	2,0	3	ACEPTABLE
Chumacera der 7V	Aceleración	0,039	1,0	2	ACEPTABLE
Chumacera der 7V	Velocidad	0,775	4,5	9	ACEPTABLE
Chumacera der 7V	Envolvente	0,013	2,0	3	ACEPTABLE
Chumacera der 7 H	Aceleración	0,050	1,0	2	ACEPTABLE
Chumacera der 7 H	Velocidad	2,626	4,5	9	ACEPTABLE
Chumacera der 7 H	Envolvente	0,009	2,0	3	ACEPTABLE

Tabla 19 (Continuación)

Chumacera der 7A	Aceleración	0,026	1,0	2	ACEPTABLE
Chumacera der 7A	Velocidad	2,260	4,5	9	ACEPTABLE
Chumacera der 7A	Envolvente	0,006	2,0	3	ACEPTABLE

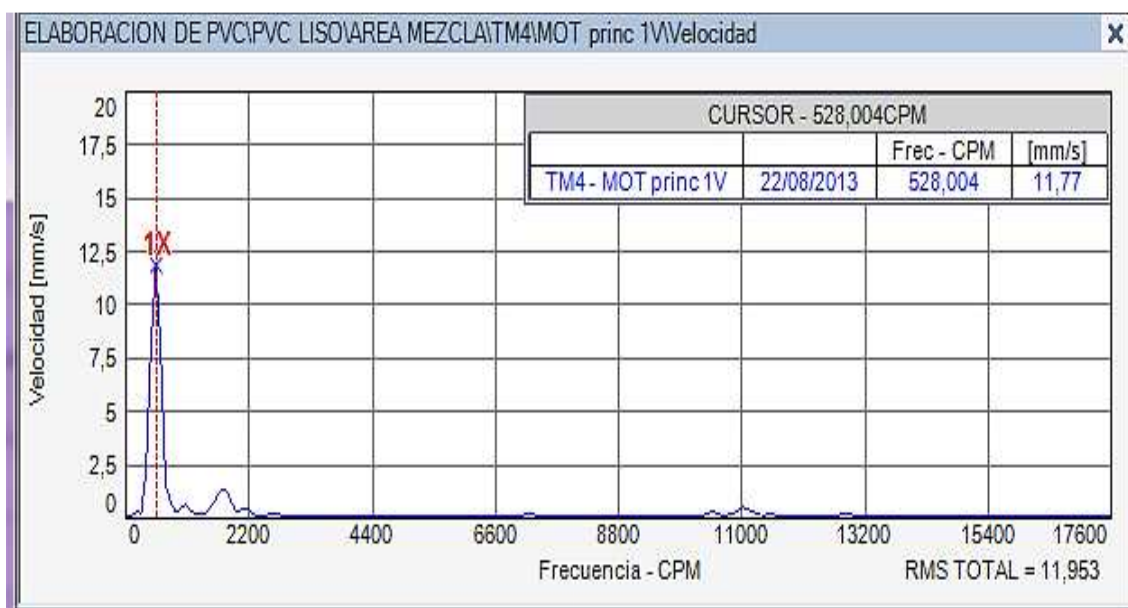
Fuente: Autores

Esta tabla indica las medidas obtenidas durante la recopilación de datos, también se estipula los valores de alarma y peligro para determinar si están fuera de rango de operación admisible. Las variables de medición son velocidad, aceleración y envolvente las mismas que se detallan para cada sentido de medición inspeccionado como son vertical, horizontal y axial. Además la tabla muestra los valores obtenidos en los siete puntos de inspección que se tomaron en la mezcladora TM4.

Para determinar los niveles de alarma y peligro para el caso de desplazamiento y velocidad son tomados según la norma ISO 10816-3y Charlotte PC, mientras que para el caso de aceleración y envolvente se considera las tablas proporcionadas por el fabricante del equipo.

**5.2.2.2** *Espectros del motor principal en dirección 1V, 1H y 1A en la variable velocidad*

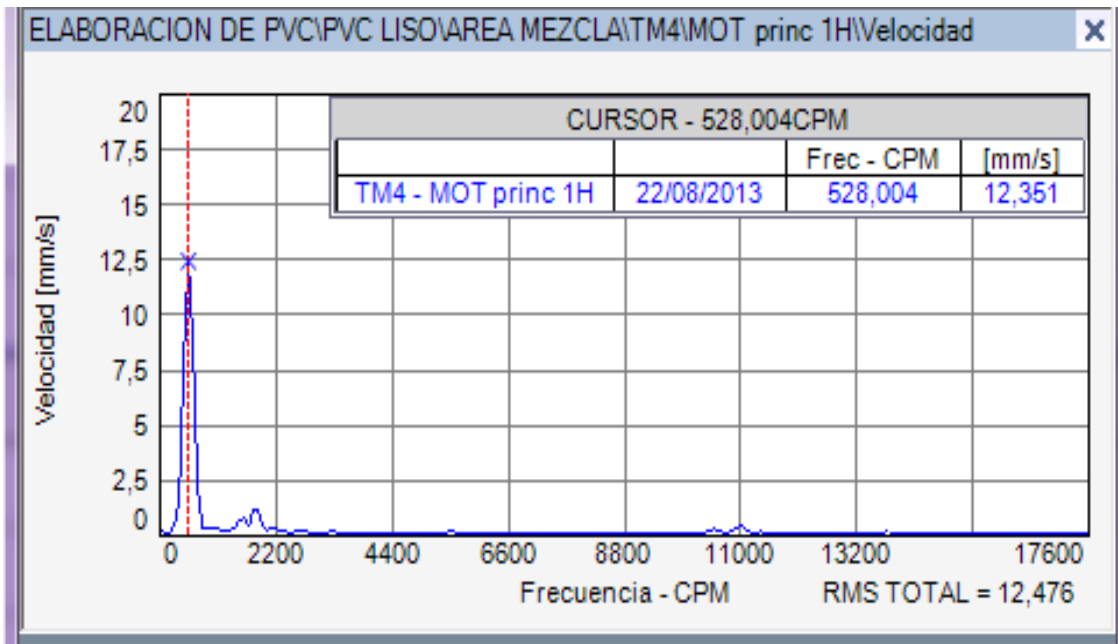
Figura 90. Espectro variable de velocidad 1V



Fuente: Software MAINTraqPredictive

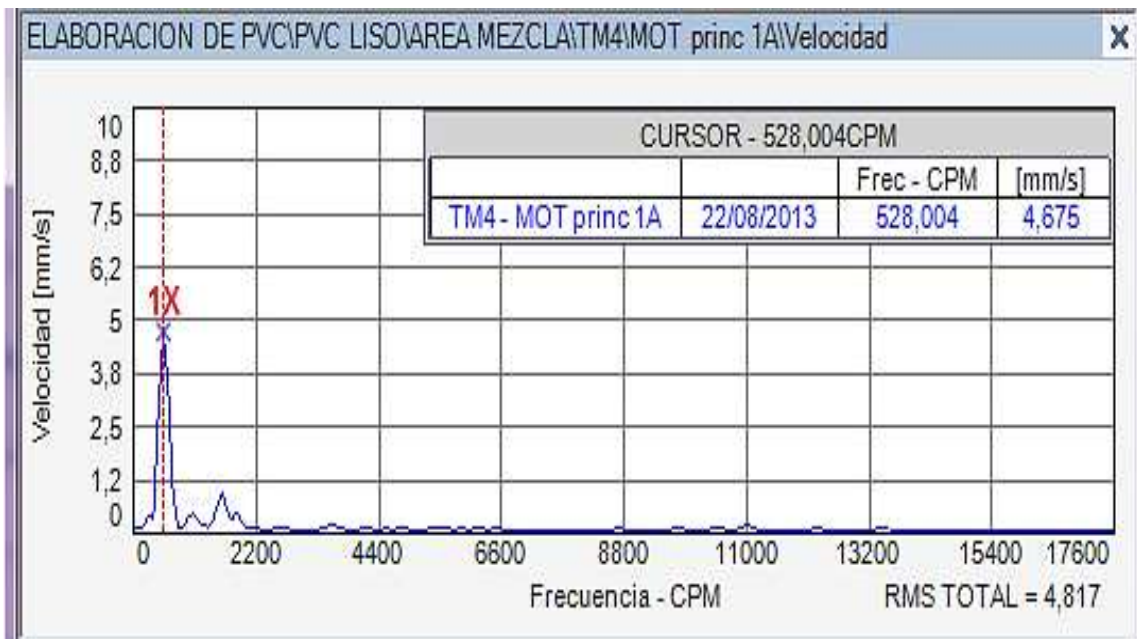


Figura 91. Espectro variable de velocidad 1H



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 92. Espectro variable de velocidad 1A



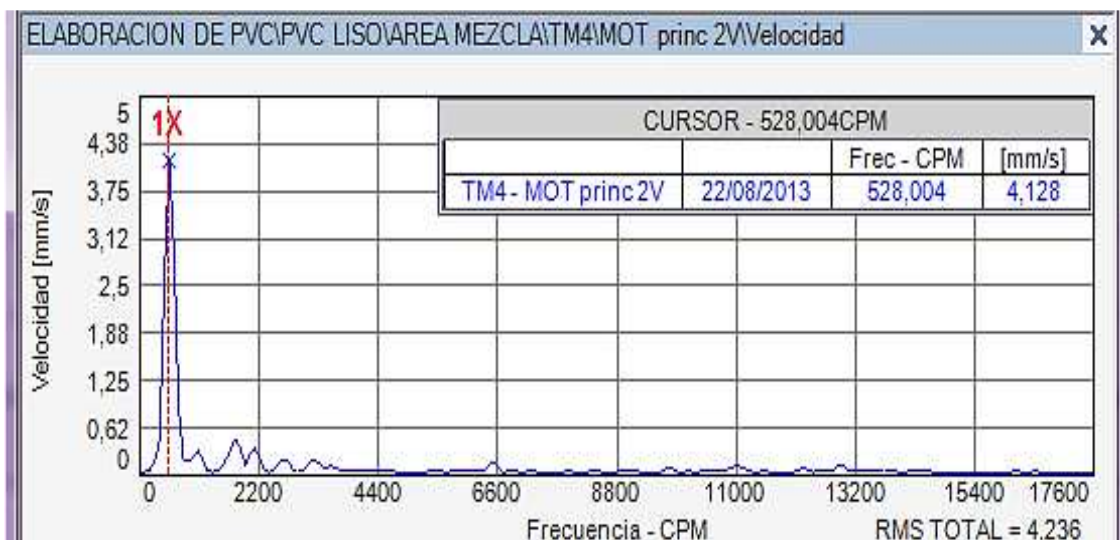
Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral.** Espectros capturados en Punto 1V, 1H y 1A en el lado libre del motor principal donde se aprecia un pico del orden de 1X a la frecuencia de la olla giratoria 528 rpm. Los tres espectros presentan las mismas características. Teniendo como plano dominante al plano 1H que alcanza un valor de 12,35 mm/s.

**Diagnóstico.** Los posibles problemas de vibración característicos según los espectros capturados se tiene desbalanceo y excentricidad, Se omite posible desbalanceo de polea porque las poleas no suelen producir altas vibraciones por desbalanceo debido a que su desgaste es uniforme. Por lo tanto se concluye que la excentricidad de la polea ubicada en el eje de la olla giratoria de mezcla es la que transmite vibración a los demás puntos de control por medio de su propia estructura.

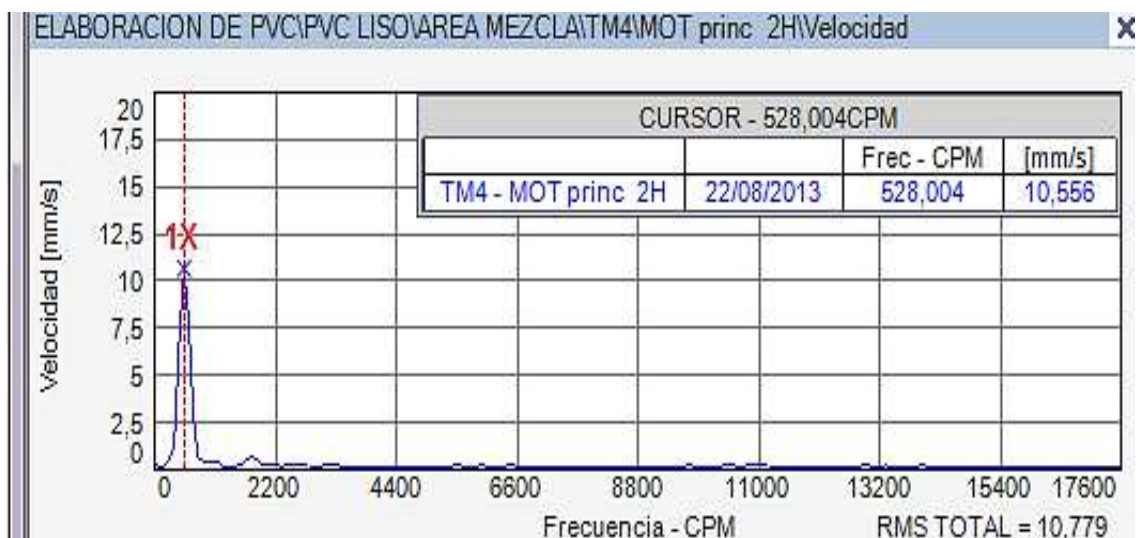
### 5.2.2.3 Espectros del punto polea 2V y 2H en la variable velocidad

Figura 93. Espectro variable de velocidad 2V



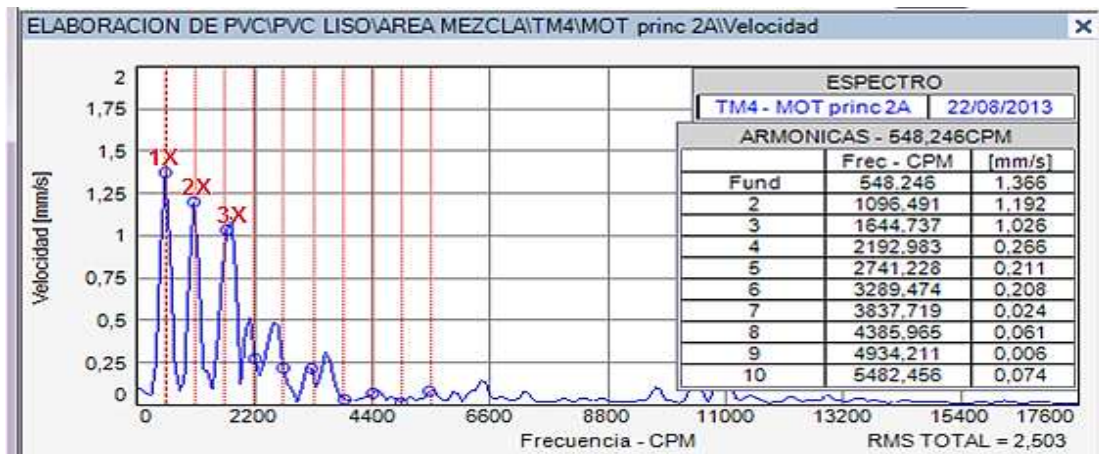
Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 94. Espectro variable de velocidad 2H



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 95. Espectro variable de velocidad 2 A

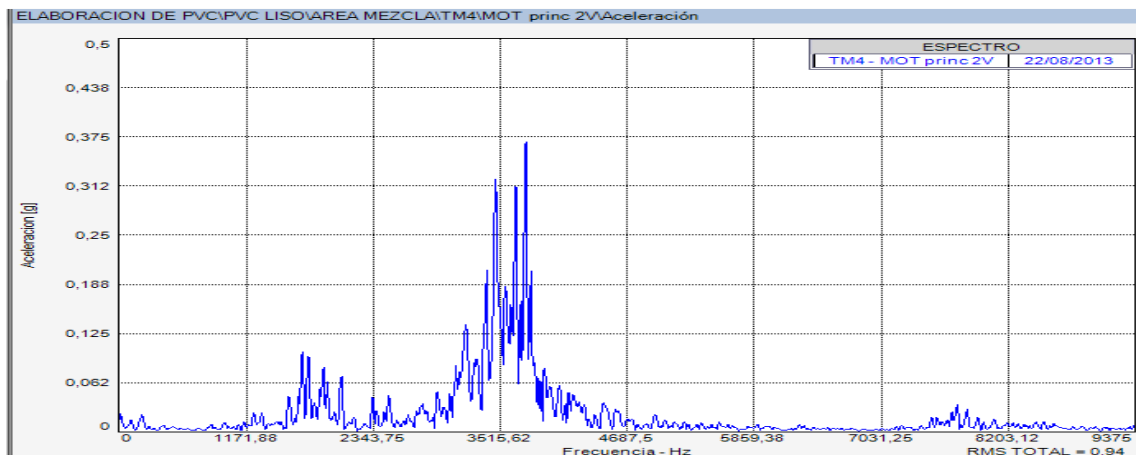


Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral.** El Plano dominante es el 2H con un valor de 10, 55mm/s, los espectros capturados en lado libre del motor en direcciones de 2V y 2H presentan un armónico del orden de 2X a la frecuencia de giro de la olla giratoria. En el espectro capturado en la dirección 2A, se presenta armónicos correspondientes a la frecuencia de la olla giratoria pero con bandas laterales asíncronas que son sinónimo de soldadura estructural.

**Diagnóstico.** Vibración en niveles de peligro misma que puede ser producto de desbalanceo o excentricidad de patea del eje de la olla giratoria de mezcla. Se descarta desbalanceo de patea estos elementos no son capaces de generar altos valores de vibración debido a que el desgaste que sufren es uniforme.

Figura 96. Espectro variable de aceleración 2V



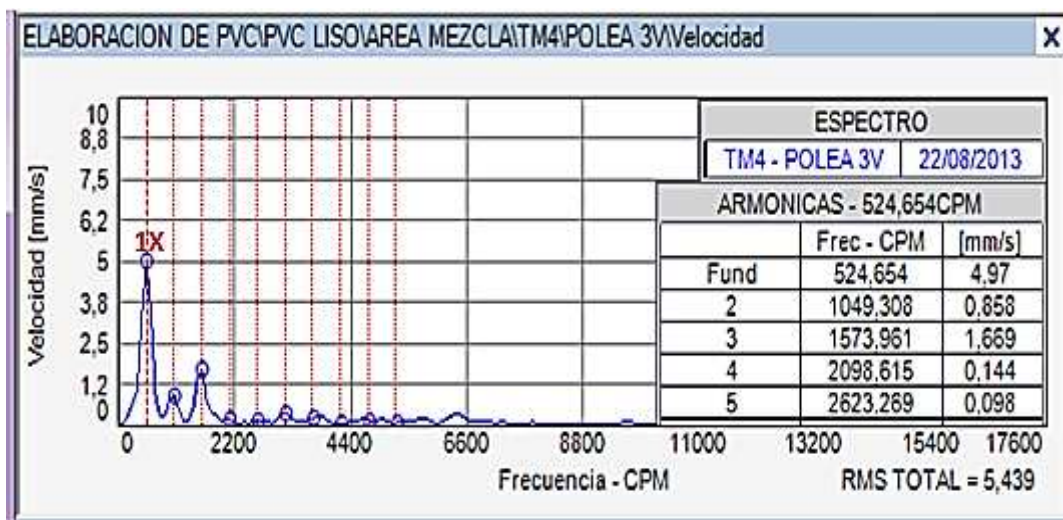
Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral:** No se observa la presencia de frecuencia de falla de los elementos del rodamiento, sin embargo se observa la frecuencia natural de rodamiento que se evidencia a altas frecuencias; además, se aprecia sonido o ruido de rodamiento.

**Diagnóstico:** Analizado el espectro de aceleración se determina que está en la ETAPA DOS de daño por la presencia de las frecuencias de falla en elementos rodantes.

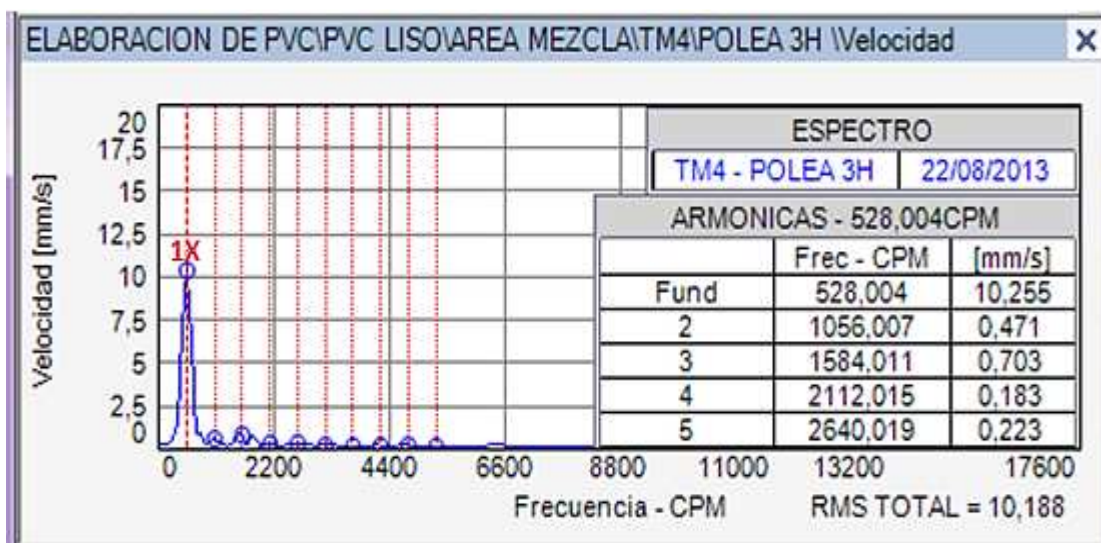
#### 5.2.2.4 Espectros del punto polea 3V y 3H en la variable velocidad

Figura 97. Espectro variable de velocidad 3V



Fuente: Software MAINTraqPredictive

Figura 98. Espectro variable de velocidad 3H



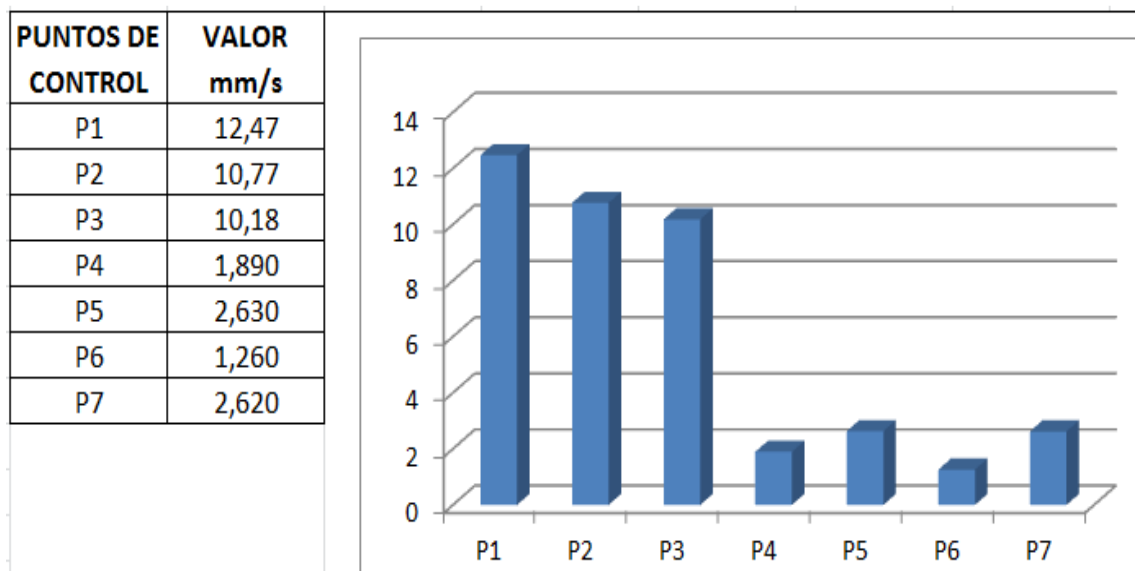
Fuente: Software MAINTraqPredictive

**Análisis espectral.** El Plano dominante es el 3H con un valor de 10, 25mm/s. Los espectros capturados en las direcciones 1V y 1H tienen características similares con un armónico predominante del orden de 1X a la frecuencia de giro de la olla giratoria.

**Diagnóstico.** Vibración en niveles de peligro producto de excentricidad de polea del eje de la olla giratoria de mezcla, esta vibración se magnifica a través de la estructura hacia los demás elementos de la máquina. Se descarta la existencia de desbalanceo debido a que las poleas se sufren un desgaste uniforme.

### 5.2.2.5 Niveles de vibración en mm/s en todos los puntos de TM4

Figura 99. Niveles de vibración de la variable de velocidad



Fuente: Autores

Esta gráfica muestra los niveles altos de vibración en mm/s en los puntos de P1, P2, y P3, por lo tanto se concluye la presencia de modos de fallos que por sus características corresponde a la excentricidad de polea a la altura de la olla giratoria.

En el análisis de la mezcladora TM4 a partir del punto P4, los valores que se obtuvo durante el monitoreo tienen valores relativamente bajos con respecto a los niveles de alarma; además los patrones espectrales que presenta no está relacionado a ningún modo de fallo por lo tanto se asume que dicha vibración corresponde al régimen normal de trabajo.

**Diagnóstico para la máquina TM4.** Polea de olla mezcladora presenta alta vibración producto de excentricidad de polea y posible deflexión del eje. Los demás puntos presentan vibración tolerable.

### 5.3 Recomendaciones para mitigar los problemas de los equipos

En las recomendaciones se proponen acciones a tomar para corregir el fallo detectado.

- **Recomendación para mezcladora TM3.** Cambiar chumacera en el punto 3 que corresponde a la olla giratoria de mezcla. Además realizar lecturas de vibración para controlar la evolución de la vibración.
- **Recomendación para mezcladora TM4.** Cambiar polea conducida, verificar rectitud del eje con la ayuda de la base magnética y un reloj comparador, reconstruir eje en caso de encontrarse deformado. Al momento del montaje verificar tolerancias de ajuste eje-agujero en el punto 3 con un calibrador de shims.

Tabla 20. Cuadro de resultados de análisis vibracional

CUADRO DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS VIBRACIONAL		
EQUIPO	DIAGNÓSTICO	RECOMENDACIONES
MEZCLADORA TM3	Polea de olla mezcladora presenta alta vibración producto de excentricidad de polea y posible deflexión del eje. Los demás puntos presentan vibración tolerable.	Cambiar chumacera en el punto 3 que corresponde a la olla giratoria de mezcla. Además realizar lecturas de vibración para controlar la evolución de la vibración.
MEZCLADORA TM4	El nivel de vibración es tolerable del conjunto en general, pero se detecta presencia de holgura en alojamiento del rodamiento en el punto 3, mismo que trasmite la vibración a toda la estructura.	Cambiar polea conducida, verificar rectitud del eje con la ayuda de la base magnética y un reloj comparador, reconstruir eje en caso de encontrarse deformado. Al momento del montaje verificar tolerancias de ajuste eje-agujero en el punto 3 con un calibrador de shims.

Fuente: Autores

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

La aplicación de las vibraciones a la industria en general trae grandes beneficios para los intereses a nivel gerencial, aquí citamos los más relevantes:

1. Reducción de los costos de mantenimiento.
2. Identificando y corrigiendo los problemas en las máquinas, antes de que éstos sean más serios y más costosos de reparar.
3. Incrementando la eficiencia para la detección de fallas en las máquinas.
4. Reducción de partes para mantenimiento en inventario.
5. Identifica y reemplaza prácticas pobres de mantenimiento.
6. Reduce el costo de horas de labor del personal de mantenimiento.
7. Reduce el mantenimiento preventivo programado, que puede ser innecesario y costoso.
8. Mejora la planeación y los programas de mantenimiento.
9. Incremento de la producción.
10. Reduce los tiempos muertos inesperados por fallos en el equipo.
11. Incrementa la velocidad del proceso y la velocidad de producción.
12. Aumenta el valor de cada máquina, por el incremento anual de producción.
13. Reduce las pérdidas de materia prima generadas por fallas.
14. Permite mantener una calidad constante en el proceso.
15. Aumenta el grado de confiabilidad de la maquinaria, permitiendo cumplir a tiempo con las órdenes de producción.
16. Incremento en la eficiencia total de la planta.
17. Las ganancias derivadas por la reducción de costos de mantenimiento e incremento de producción, sobrepasan varias veces la inversión hecha en la aplicación de técnicas de servicios de mantenimiento predictivo.
18. Los ahorros que se obtenga, pueden ser aplicados directamente a las ganancias de la empresa.
19. Elimina la posibilidad de accidentes y fallas graves, manteniendo la planta productiva.

## 5.5 Comparación de resultados del análisis de estado técnico visual y el análisis de vibraciones realizado las máquinas críticas.

Tabla 21. Resultados de análisis

RESULTADOS DE ANÁLISIS		
MÁQUINA	ESTADO TÉCNICO	VIBRACIONAL
TM3	Bueno	P2 (ALERTA) PLANIFICAR MANTENIMIENTO
TM4	Bueno	P1 (PELIGRO) ATENCION INMEDIATA

Se puede deducir que los resultados son ampliamente diferentes en su magnitud. El análisis de estado técnico arroja información muy superficial y limitada para saber el verdadero estado en el que se encuentra una máquina y sus elementos, por lo que es de gran importancia realizar el análisis vibracional cuya técnica detecta modos de fallo reales presentes en la máquina antes de que este provoque una parada del proceso.

Según la apreciación del estado técnico, el estado de las dos mezcladoras son BUENO, sin embargo esta información no es suficiente para especular de modos de fallo existentes. Situación muy diferente se detecta al emplear en análisis vibracional encontrando a las mezcladoras TM3 y TM4 en niveles de alerta y peligro respectivamente.

## 5.6 Calculo de la frecuencia óptima para inspecciones predictivas en los equipos críticos de Holviplas S.A

El valor del intervalo entre inspecciones predictivas será directamente proporcional a tres factores: el factor de costo, el factor de falla y el factor de ajuste. Así, la relación matemática estará definida como:

$$I = C \times F \times A$$

Dónde:

C es el factor de costo

F es el factor de falla y

A es el factor de ajuste



- **Factor de costo**

Se define como factor de costo, el costo de una inspección predictiva dividido entre el costo en que se incurre por no detectar la falla. En general, este costo es igual al tiempo que tarda llevar el repuesto desde el almacén (externo o propio) en condición de parada no planificada hasta el lugar donde ocurre la falla, multiplicado por la cantidad de dinero que se pierde por unidad de tiempo de parada del equipo que la presenta. Otros costos asociados a no poder predecir la falla tienen que ver con el impacto de esta en la calidad de los productos, la seguridad industrial y el cuidado del ambiente. Para los casos donde la seguridad industrial y el ambiente se puedan ver perjudicados se recomienda el monitoreo continuo de la condición del equipo ya que los costos de una lesión o del impacto ambiental son inestimables, o en el mejor de los casos, su valor tiende a ser tan alto que el intervalo de inspección tiende a 0.

$$C = \frac{C_i}{C_f} \quad (1)$$

La relación del factor de costo es la siguiente:

Dónde:

$C_i$  es el costo de una inspección predictiva (en unidades monetarias)

$C_f$  es el costo en que se incurre por no detectar la falla (en unidades monetarias)

Nótese que el factor de costo es un número adimensional.

- **Factor de falla**

Se define como factor de falla la cantidad de fallas que pueden detectarse con la inspección predictiva dividida entre la tasa de fallas.

La relación del factor de falla es la siguiente

$$F = \frac{F_i}{\lambda} \quad (2)$$

Dónde:

$F_i$  es la cantidad de modos de falla que pueden ser detectados utilizando la tecnología predictiva (expresada en fallas por inspección) y

$\lambda$  es la tasa de fallas presentada por el equipo, y que además, podrían ser detectadas por

la tecnología predictiva a ser aplicada (expresada en fallas por año)

Nótese que la unidad del factor de falla es años por inspección.

- **Factor de ajuste**

Una vez calculado el producto entre el factor de costo y el factor de falla, se procede a multiplicarlo por un factor de ajuste, el cual, estará basado en la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año utilizando la distribución acumulativa de Poisson con media igual a  $\lambda$  (rata de fallas expresada como fallas por año). Para calcular este factor utilizaremos la función matemática logaritmo natural multiplicada por  $-1$  ( $-\ln$ ), la cual, se comporta de una manera muy parecida al criterio gerencial de incremento o decremento del intervalo de inspección al tomar en cuenta la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año. Para valores de probabilidad de ocurrencia entre 0 y valores cercanos a 0.37, la función arroja resultados desde infinito hasta 1 y para valores de probabilidad entre 0.37 y 1 la función arroja resultados entre 1 y 0. Por lo que a mayor probabilidad de ocurrencia, el intervalo de inspección predictiva se reducirá de forma exponencial.

Así, el factor de ajuste será igual a:

$$A = \ln(1 - e^{-\lambda}) \quad (3)$$

Nótese que el factor de ajuste es un numero adimensional.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, el intervalo de inspecciones predictivas queda definido como:

$$I = \frac{C_i \times F_i}{C_f \times \lambda} \ln(1 - e^{-\lambda}) \quad (4)$$

Expresado en años por inspección. Siendo el inverso de esta relación igual a la frecuencia de inspección ( $f$ ), la misma estará expresada en inspecciones por año.

Este modelo es recomendable para valores de  $\lambda$  menores que 1, ya que para valores mayores que la unidad, la frecuencia de inspección se puede incrementar en tal dimensión, que los costos de inspección por año pueden ser superiores al costo de no poder detectar la falla. Para valores de frecuencia superiores a 52 inspecciones por año y

para valores de costos anuales de inspección superiores al 10 % del costo total de la no posibilidad de detección de falla, se recomienda estudiar la instalación de dispositivos de Monitoreo continuo para tener una información en tiempo real referente a los parámetros seleccionados para establecer el mantenimiento por condición y/o hacer análisis de causa raíz, destinados a disminuir la rata de fallas a valores inferiores a 1 falla por año, mediante el rediseño de los equipos, de las políticas o de los procedimientos de operación, ingeniería y mantenimiento.

$$I = \frac{C_i \times F_i}{C_f \times \lambda} \ln(1 - e^{-\lambda})$$

$$C = \frac{C_i}{C_f}$$

$$F = \frac{F_i}{\lambda}$$

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

$$I = C \times F \times A \tag{5}$$

$$F = \frac{1}{I} \tag{6}$$

Dónde:

$C_i$ = 900,00 Costo de la inspección por vibración (Fuente: PREDICTIVA).

$C_f$ = 1200,00 Costo de no posibilidad de detectar la falla (Fuente: Holviplas).

$F_i$ = 7 Cantidad de fallas que se pueden detectar usando análisis vibracional (desbalanceo, desalineamiento, rodamientos defectuosos, lubricación defectuosa, excentricidad, holgura, engranajes defectuosos) (Fuente: AMEF).

$\lambda$ = 2 Cantidad de fallas por año (Fuente: Holviplas)

$A$ = 0,1454 Factor de ajuste.

$$C = 0,75$$

$$A = 0,1454$$

$$F = 3,5$$

$$I = 0,75 * 0,1454 * 3,5 = 0,3816$$

$$F = \frac{1}{0,381675} = 2,6 \text{ (3) Inspecciones por año}$$

La frecuencia de monitoreo para la técnica de análisis vibracional es de 3 veces por año aproximadamente cada 16 semanas.

Esta es la frecuencia mínima que se debe cumplir para el monitorear de las mezcladoras para detectar los modos de fallo que se estén desarrollando en el sistema antes de que estos produzcan un paro imprevisto.

## **CAPÍTULO VI**

### **6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

Se realizó un levantamiento de información de todos los procesos y equipos que componen la elaboración de PVC rígido, encontrando algunos de ellos sin placas de datos técnicos ni historial de averías en el departamento de mantenimiento. Se identificó los puntos con elementos rodantes de la línea de mezcla misma que será sometida al análisis de vibraciones por su alta criticidad.

Se analizó toda las maquinarias según la criticidad, restricciones, además se levantó la información técnica de los equipos que contienen elementos rotativos, en algunos casos no existe ésta información.

Se tomó mediciones de vibraciones a la línea de mezcla, específicamente a las mezcladoras TM3 y TM4, que según lo analizado resultan ser críticas para el proceso de elaboración de PVC, las cuales tienen elementos rotativos que se detallan en el informe de vibraciones.

Se emitió el respectivo informe indicando el diagnóstico y la recomendación respectiva, encontrando principalmente problemas como excentricidad y holgura mecánica, cabe resaltar que se emitió un informe preliminar de la primera inspección con los resultados, conclusiones y recomendaciones.

#### **6.2 Recomendaciones**

Conservar la información de los equipos y llevar un historial de vida de cada máquina y elemento, con fin de realizar un plan de mantenimiento en base a estos datos que sea más preciso que el aplicado actualmente.

Adherir el código de identificación a las máquinas para identificarlas con facilidad.

Aplicar periódicamente la técnica de vibraciones, misma que les dará mayores réditos económicos, disponibilidad de los equipos, incremento de producción y prestigio en el mercado por la calidad del producto.

Implementar un stock de repuestos de los elementos que se averían con más frecuencia, que servirá para programar mejor y aplicar el mantenimiento correctivo, y así evitar perder mucho tiempo de operación de los equipos.

Evacuar los gases y el polvo producido en los diferentes procesos de producción ya que estos a futuro afectaran la salud de los operarios, por lo que es indispensable la colocación de extractores de gases, como también la utilización obligatoria de guantes de operador, gafas, protectores auditivos y mascarillas para proteger las vías respiratorias del personal de la planta.

Realizar un estudio técnico para medir el nivel de partículas y contaminación existentes en la planta de producción, para que de esta manera seleccionar correctamente el tipo de mascarilla adecuada que protegerá las vías respiratorias al personal de la planta.

Proveer y obligar el uso del equipo de protección personal a los empleados de la empresa, en especial en las áreas de molienda y mezclado por las partículas que existen en el ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

**ÁLVAREZ, Roberto. 2013.***Análisis de Vibraciones, Monitoreo de estado y diagnóstico de equipos rotativos.* Riobamba : s/n, 2013. págs. 18-24.

**A-MAQ. 2005.***Tutorial de Vibraciones para Mantenimiento Mecánico.* Mexico : s.n., 2005. págs. 10,12,15, 17-24, 29-31.

**CHARLOTTE PC, Technical Associates. 1996.***Probemas vibracionales.* 1996. págs. 2,3,4.

**FERNÁNDEZ, Manes. 1998.** Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de maquinas electricas rotativas. *Pricipios básicos del mantenimiento industrial.* Barcelona : MARCOMBO S.A, 1998, págs. 151, 152.

**GLENN, White. 2010.***Introduccion al análisis de vibraciones.* Mexico : Azima Dli, 2010. págs. 53-55:71-75.

**IDEAR. 2006.** VibraCHECK, Analizador de vibraciones mecánicas. [En línea] 2006. [Citado el: 14 de Junio de 2013.] [www.idearnet.com.ar](http://www.idearnet.com.ar).

**Internatinal Standard Organitation. 1998.***ISO 10816-3.* Ginebra : Editorial ISO, 1998.

**MOUBRAY, John. 2010.***Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.* s.l. : Industrial Press Inc., 2010. págs. 30-31.

**PALOMINO, Evelio. 1997.** La medición y el análisis de vibración en el diagnóstico de maquina rotativa. [aut. libro] Evelio Dr Palomino Marin. *La medición y el análisis de vibración en el diagnóstico de maquina rotativa.* Cuba : s/n, 1997, pág. 25.

**ZAMORA, C y FEITO, R. 1984.** El mantenimiento Fabril su Planificacion y Organizacion. La Habana : Cientifico Técnica, 1984, págs. 6, 7.