



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE
TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO
EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE POLIESTIRENO
EXPANDIBLE (EPS) DE LA EMPRESA “PANECONS”**

TANDALLA GUANOQUIZA DIEGO FABIÁN

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS DE GRADO

CONSEJO DIRECTIVO

Enero, 31 del 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

DIEGO FABIÁN TANDALLA GUANOQUIZA

Titulada:

“ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIBLE (EPS) DE LA EMPRESA PANECONS”

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

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FACULTAD DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Manuel Morocho
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jorge Freire
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS DE GRADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DIEGO FABIÁN TANDALLA GUANOQUIZA

TÍTULO DE LA TESIS:

“ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIBLE (EPS) DE LA EMPRESA PANECONS”

Fecha de Examinación: Enero, 31 del 2012

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán			
Ing. Manuel Morocho			
Ing. Jorge Freire			

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

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

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

Diego Fabián Tandalla Guanoquiza

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS por haberme dado la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida, y haberme dado la fuerza para enfrentar los retos de cada día.

A mis Padres, Estela y Ángel, por darme todo su apoyo incondicional para terminar mis estudios y por haberme enseñado que el esfuerzo, el estudio y el trabajo son el firmamento de oportunidades.

A mis hermanos, Bolívar, Marcela, Klever y Jefferson por estar siempre a mi lado y ayudarme en los momentos más duros de mi vida.

A mi hijo Christopher que es mi mayor fuente de inspiración, gracias Taty por ser el complemento en mi vida.

A la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica, por haberme acogido en sus aulas y llenarme de sabiduría.

Al Ing. Manuel Morocho y Ing. Jorge Freire distinguidos maestros forjadores de ciencia y cultura, que siempre estuvieron dispuestos a compartir su conocimiento.

A la Empresa Panecons, por brindarme todas las facilidades necesarias para la realización de la presente tesis de grado.

A mis queridos amigos que con su amistad y compañía hicieron de esta etapa de estudiante unas de las etapas más inolvidables y hermosas de mí existencia.

Diego Tandalla

DEDICATORIA

Al culminar esta etapa estudiantil, dedico todo el esfuerzo realizado a mi Madre Estelita que con su dedicación, paciencia y apoyo constante e incondicional, supo mantenerme en el camino del bien, es a ella a quien le debo la vida y lo que soy.

Diego Tandalla

TABLA DE CONTENIDO

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
1.	GENERALIDADES	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Objetivo general.....	2
1.3.2	Objetivos específicos.....	2
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Mantenimiento predictivo.....	3
2.1.1	Ventajas del mantenimiento predictivo.....	3
2.1.2	Desventajas del mantenimiento predictivo.....	4
2.1.3	Técnicas del mantenimiento predictivo.....	4
2.1.4	Sistema de mantenimiento predictivo.....	5
2.1.4.1	La detección.....	5
2.1.4.2	Identificación.....	6
2.1.4.3	La corrección.....	6
2.2	Análisis vibracional.....	6
2.2.1	Fundamentos de las vibraciones mecánicas.....	7
2.2.2	Clases de movimientos oscilatorios.....	7
2.2.3	Sistema vibratorio.....	8
2.2.4	Parámetros de las vibraciones.....	9
2.2.5	Tipos de vibraciones.....	12
2.2.5.1	Vibración libre.....	12
2.2.5.2	Vibración forzada.....	13
2.2.6	Análisis de dominios de la vibración.....	14
2.3	Elementos del sistema de medición de vibraciones.....	14
2.3.1	Transductores.....	15
2.3.1.1	Transductores de proximidad.....	15

2.3.1.2	Transductores de velocidad.....	16
2.3.1.3	Acelerómetros.....	17
2.3.2	Analizador de vibraciones.....	18
2.3.3	Puntos de medición de vibraciones.....	19
2.3.3.1	Orientación de sensor de vibración.....	20
2.4	Rangos vibratoriales.....	21
2.4.1	Severidad de la vibración según norma ISO 10816.....	21
2.4.2	Clasificación de acuerdo al tipo de máquina, potencia o altura de eje.....	22
2.4.3	Clasificación según la flexibilidad del soporte.....	23
2.4.4	Evaluación de zona.....	23
2.5	Problemas vibratoriales.....	25
2.5.1	Desbalanceo.....	25
2.5.2	Desalineamiento.....	26
2.5.3	Defectos en rodamientos.....	27
2.5.4	Holgura mecánica.....	28
2.5.5	Defectos en bandas.....	29
2.5.6	Defectos en engranajes.....	30
2.5.7	Defectos en motores eléctricos.....	31
2.5.8	Resonancia.....	32
2.6	Estandarización de tareas de mantenimiento.....	33
2.6.1	Tarea de mantenimiento.....	34
2.6.2	Clasificación de las tareas de mantenimiento.....	34
2.6.2.1	Tareas de mantenimiento correctivo.....	35
2.6.2.2	Tareas de mantenimiento preventivo.....	35
2.6.2.3	Tareas de mantenimiento condicional.....	36
3.	EVALUACIÓN DE SITUACIÓN ACTUAL DE LOS EQUIPOS	
3.1	Equipos existentes en el proceso de paneles EPS.....	37
3.1.1	Descripción del proceso productivo de paneles EPS.....	37
3.1.2	Equipos de la línea de producción EPS.....	42
3.2	Estado actual de los equipos.....	45

3.2.1	Estado técnico del pre-expansor.....	46
3.2.2	Estado técnico del sistema silos.....	47
3.3.3	Estado técnico del expansor.....	48
3.3	Mantenimiento empleado en los equipos.....	49
3.4	Documentación existente.....	50

4. EQUIPO DE DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL

4.1	Determinación de frecuencias.....	51
4.2	Determinación de los sensores de medición a utilizarse.....	51
4.3	Características del colector de datos.....	52
4.3.1	Principio de funcionamiento del Detector II.....	53
4.3.2	Significado de las teclas del colector.....	54
4.3.3	Conexión del Detector II al software Trendline 2.....	54
4.4	Software de aplicación para el análisis vibracional.....	55
4.4.1	Interfaz del usuario ventana principal.....	56
4.4.2	La barra menú.....	57
4.4.3	Barra de herramientas.....	58
4.4.4	Valores característicos para la configuración.....	58
4.4.5	Registro de sensores.....	59
4.4.6	Registro del nuevo detector.....	60

5. ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO

5.1	Determinación de equipos categoría A.....	63
5.2	Determinación los puntos de medición.....	66
5.2.1	Ubicación de los puntos de medición máquina de pre-expansión.....	66
5.2.2	Ubicación de los puntos de medición sistema de silos.....	68
5.2.3	Ubicación de los puntos de medición máquina expansor.....	69
5.3	Creación de fichas técnicas para el análisis de vibraciones.....	70
5.4	Diseño de la configuración del sistema a monitorear.....	73
5.5	Recopilación de la base de datos.....	76

5.5.1	Espectro generados en la máquina de pre-expansión.....	79
5.5.1.1	Espectro en el punto 3 del motor de carga de material dirección radial y tangencial.....	79
5.5.1.2	Espectro en el punto 4 del motor de carga de material dirección radial, tangencial y axial.....	80
5.5.1.3	Espectro en el punto 5 del motor ventilador de secado dirección radial y axial.....	81
5.5.1.4	Espectro en el punto 6 del motor ventilador de secado dirección radial, tangencial y axial.....	82
5.5.1.5	Espectro en el punto 7 del motor ventilador de transporte dirección radial y axial.....	84
5.5.1.6	Espectro en el punto 8 del motor ventilador de transporte dirección radial, tangencial y axial.....	85
5.5.2	Espectro generados en el sistema silo.....	86
5.5.2.1	Espectro en el punto 9 del motor ventilador de la bloquera dirección radial, tangencial y axial.....	86
5.5.2.2	Espectro en el punto 10 del motor ventilador de la bloquera dirección radial, tangencial y axial.....	88
5.5.2.3	Espectro en el punto 11 del motor ventilador del silo dirección radial, tangencial y axial.....	89
5.5.2.4	Espectro en el punto 12 del motor ventilador del silo dirección radial, tangencial y axial.....	91
5.5.3	Espectro generados en la máquina de expansión.....	92
5.5.3.1	Espectro en el punto 15 del motor ventilador de la bloquera dirección radial, tangencial y axial.....	92
5.6	Interpretación datos obtenidos en la máquina pre-expansión.....	94
5.6.1	Diagnóstico vibracional motor de carga de material.....	94
5.6.2	Diagnóstico vibracional motor ventilador de secado.....	95
5.6.3	Diagnóstico vibracional motor ventilador de transporte.....	96
5.7	Interpretación datos obtenidos en la sistema silos.....	96
5.7.1	Diagnóstico vibracional motor ventilador bloquera.....	97

5.7.2	Diagnóstico vibracional motor ventilador de silo.....	98
5.8	Interpretación datos obtenidos de la máquina expansor.....	99
5.8.1	Diagnóstico vibracional motor ventilador bloquera.....	99
5.9	Estandarización de tareas de mantenimiento para la línea de EPS.....	100
5.10	Estandarización de las tareas de mantenimiento del pre-expansor.....	100
5.10.1	Banco de tareas del equipo motor reductor del agitador, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas....	100
5.10.2	Banco de tareas del equipo motor carga de material, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas.....	103
5.10.3	Banco de tareas del equipo motor ventilador de secado, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas.....	107
5.10.4	Banco de tareas del equipo motor ventilador de transporte, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas.....	110
5.10.5	Banco de tareas del equipo motor reductor del desgrumador, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas.....	113
5.11	Estandarización de las tareas de mantenimiento del sistema silos.....	114
5.11.1	Banco de tareas del equipo motor ventilador de la bloquera, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas.....	114
5.11.2	Banco de tareas del equipo motor ventilador del silo, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas.....	118
5.11.3	Banco de tareas del equipo motor de material virgen, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas.....	123
5.11.4	Banco de tareas del equipo motor de material reciclado, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas.....	125
5.12	Estandarización de las tareas de mantenimiento del expansor.....	126
5.12.1	Banco de tareas del equipo motor ventilador de la bloquera, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas.....	126
5.12.2	Banco de tareas del equipo motor ventilador de secado, procedimientos,	

tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas.....	129
5.12.3 Banco de tareas del equipo motor bomba hidráulica, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas.....	132
5.13 Programación de las tareas de mantenimiento.....	134
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1 Conclusiones.....	138
6.2 Recomendaciones.....	139

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1 TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	5
2.2 SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 10816-3.....	24
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS DEFECTOS ELÉCTRICOS.....	32
3.1 CURSOGRAMA DEL PROCESO DE PANELES EPS.....	41
3.2 ESTADO TÉCNICO DEL PRE-EXPANSOR.....	46
3.3 ESTADO TÉCNICO SISTEMA SILOS.....	47
3.4 ESTADO TÉCNICO DEL EXPANSOR.....	48
4.1 SELECCIÓN DE SENSOR A UTILIZAR.....	52
4.2 CONDICIÓN DE ALARMA	57
4.3 BARRA DE MENÚ.....	57
4.4 VALORES CARACTERÍSTICOS DEL SOFTWARE TRENDLINE 2.....	59
5.1 CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	64
5.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LA LÍNEA DE EPS..	65
5.3 FICHA TÉCNICA MÁQUINA EXPANSOR.....	70
5.4 FICHA TÉCNICA MÁQUINA PRE-EXPANSOR.....	71
5.5 FICHA TÉCNICA SISTEMA SILOS.....	72
5.6 MEDICIÓN DE VIBRACIONES MÁQUINA PRE-EXPANSOR.....	76
5.7 MEDICIÓN DE VIBRACIONES SISTEMA SILOS.....	77
5.8 MEDICIÓN DE VIBRACIONES MÁQUINA EXPANSOR.....	78
5.9 DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR DE CARGA DE MATERIAL....	94
5.10 DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR VENTILADOR DE SECADO....	95
5.11 DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR VENTILADOR TRANSPORTE.	96
5.12 DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR VENTILADOR BLOQUERA....	97
5.13 DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR VENTILADOR SILO.....	98
5.14 DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR VENT. DE LA BLOQUERA.....	99
5.15 PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA PRE- EXPANSIÓN.....	135

5.16 PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO SISTEMA SILOS.....	136
5.17 PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA EXPANSIÓN.....	137

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1 Pronóstico de futura falla en un ítem.....	3
2.2 Ciclo de mantenimiento predictivo.....	6
2.3 Movimiento regular.....	8
2.4 Movimiento irregular.....	8
2.5 Sistema vibratorio masa – resorte.....	9
2.6 Movimiento armónico simple.....	9
2.7 Desplazamiento, velocidad, aceleración.....	10
2.8 Sistema masa-resorte con una viga articulada.....	12
2.9 Vibración amortiguada.....	13
2.10 Vibración forzada.....	14
2.11 Señal en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia.....	15
2.12 Transductor de proximidad.....	16
2.13 Transductor de velocidad.....	17
2.14 Acelerómetro.....	17
2.15 Sistema analizador de vibraciones Detector II.....	19
2.16 Ubicación de sensor.....	20
2.17 Planos de medición.....	20
2.18 Espectro característico de desbalance.....	25
2.19 Espectro característico de desalineamiento.....	26
2.20 Espectro característico de fallas en rodamientos.....	27
2.21 Espectro característico de holgura mecánica.....	28
2.22 Espectro característico de defectos en bandas.....	29
2.23 Espectro característico de defectos en engranajes.....	30
2.24 Espectro característico de defectos en motores eléctricos.....	31
2.25 Espectro característico de resonancia.....	32
2.26 Tarea de mantenimiento.....	34
3.1 Línea de generación de aire y vapor.....	37

3.2	Línea de poliestireno expandible.....	38
3.3	Línea de reciclado.....	38
3.4	Línea de mallado.....	39
3.5	Línea de perfilado.....	39
3.6	Línea de paneles.....	40
3.7	Línea de accesorios.....	40
3.8	Paneles y accesorios de EPS para una vivienda unifamiliar.....	40
3.9	Ciclo de transformación del material expandible Styropor.....	42
3.10	Equipo pre-expansor.....	43
3.11	Sistema silos.....	44
3.12	Equipo expansor.....	45
4.1	Equipo de medición Detector II.....	52
4.2	Significado del teclado Detector II.....	54
4.3	Conexión del Detector al PC.....	55
4.4	El software Trendline 2.....	56
4.5	Ventana para agregar nuevos sensores.....	60
4.6	Ventana de configuración del Detector II.....	61
5.1	Matriz de criticidad.....	63
5.2	Puntos de medición del motor reductor agitador.....	66
5.3	Puntos de medición del motor carga material.....	67
5.4	Puntos de medición del motor ventilador secado.....	67
5.5	Puntos de medición del ventilador transporte.....	67
5.6	Puntos de medición del motor ventilador bloquera.....	68
5.7	Puntos de medición del motor ventilador silo.....	68
5.8	Puntos de medición del motor material virgen.....	68
5.9	Puntos de medición del motor ventilador bloquera.....	69
5.10	Puntos de medición del motor ventilador secado.....	69
5.11	Puntos de medición del motor bomba hidráulica.....	69
5.12	Pantalla principal para configuración de Panecons.....	73
5.13	Sub ítem de la línea de EPS.....	73
5.14	Configuración del pre-expansor.....	74

5.15	Configuración del sistema silos.....	74
5.16	Configuración del expansor.....	75
5.17	Configuración línea de EPS.....	75
5.18	Espectro obtenido en el punto PREMCM3R.....	79
5.19	Espectro obtenido en el punto PREMCM3T.....	79
5.20	Espectro obtenido en el punto PREMCM4R.....	80
5.21	Espectro obtenido en el punto PREMCM4T.....	80
5.22	Espectro obtenido en el punto PREMCM4A.....	81
5.23	Espectro obtenido en el punto PREMVS5R.....	81
5.24	Espectro obtenido en el punto PREMVS5A.....	82
5.25	Espectro obtenido en el punto PREMVS6R.....	82
5.26	Espectro obtenido en el punto PREMVS6T.....	83
5.27	Espectro obtenido en el punto PREMVS6A.....	83
5.28	Espectro obtenido en el punto PREMVT7R.....	84
5.29	Espectro obtenido en el punto PREMVT7A.....	84
5.30	Espectro obtenido en el punto PREMVT8R.....	85
5.31	Espectro obtenido en el punto PREMVT8T.....	85
5.32	Espectro obtenido en el punto PREMVT8A.....	86
5.33	Espectro obtenido en el punto SSMVB9R.....	86
5.34	Espectro obtenido en el punto SSMVB9T.....	87
5.35	Espectro obtenido en el punto SSMVB9A.....	87
5.36:	Espectro obtenido en el punto SSMVB10R.....	88
5.37	Espectro obtenido en el punto SSMVB10T.....	88
5.38	Espectro obtenido en el punto SSMVB10A.....	89
5.39	Espectro obtenido en el punto SSMVS11R.....	89
5.40	Espectro obtenido en el punto SSMVS11T.....	90
5.41	Espectro obtenido en el punto SSMVS11A.....	90
5.42	Espectro obtenido en el punto SSMVS12R.....	91
5.43	Espectro obtenido en el punto SSMVS12T.....	91
5.44	Espectro obtenido en el punto SSMVS12A.....	92
5.45	Espectro obtenido en el punto EXMVB15R.....	92

5.46	Espectro obtenido en el punto EXMVB15T.....	93
5.47	Espectro obtenido en el punto EXMVB15A.....	93

LISTAS DE ABREVIACIONES

EPS	Poliestireno expandible
CEIM	Centros de Estudios de Innovación y Mantenimiento
ISO	International Standardization for Organization
FFT	Transformada Rápida de Fourier
TS	Turning Speed (Velocidad de giro)
FTF	Canastilla
BSF	Bolas/rodillos
BPFO	Pista exterior
BPFI	Pista interior
GMF	Alta frecuencia de engrane
LF	Frecuencia línea
CRT	Corrective Task
PRT	Preventive Task
COT	Conditional Task
PE	Pre-expansor
SS	Sistema silos
EX	Expansor
TMEF	Tempo medio entre falla
RMS	Raíz cuadrada media
N/A	No aplica
FF	Frecuencia de falla
IO	Impacto operacional
FO	Flexibilidad operacional
CM	Costos de mantenimiento
ISAH	Impacto en seguridad ambiente y higiene
CT	Criticidad total
1XR	Frecuencia de rotación dirección radial
1XT	Frecuencia de rotación dirección tangencial
1XA	Frecuencia de rotación dirección axial

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1:** Organismos de normalización de vibraciones
- ANEXO 2:** Principales normativas de severidad de vibraciones
- ANEXO 3:** Valores admisibles de las vibraciones
- ANEXO 4:** Sensibilidad relativa de sensores vibracionales
- ANEXO 5:** Norma Alemana VDI “Association of German Engineers” 2056
- ANEXO 6:** Tabla general de juicio de vibraciones
- ANEXO 7:** Propiedades físicas de plásticos celulares de Styropor®
- ANEXO 8:** Hoja de historial de mantenimiento
- ANEXO 9:** Solicitud de trabajo
- ANEXO 10:** Orden de trabajo
- ANEXO 11:** Solicitud de materiales
- ANEXO 12:** Barra de herramientas de software Trendline 2
- ANEXO 13:** Tablas de diagnóstico vibracional
- ANEXO 14:** Reporte de alarmas Trendline 2

SUMARIO

Se realizó el Análisis Vibracional para la Estandarización de Tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivo en la Línea de Producción de Poliestireno Expandible de la Empresa Panecons, ubicada en la ciudad de Latacunga, con la finalidad de alcanzar mayor disponibilidad en los equipos, optimizar los recursos de mantenimiento, verifica y monitorear la condición del estado de los equipos en tiempo real, para lo cual se ejecutó, el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento, recolección de datos técnicos, inspecciones de campo y análisis de vibraciones.

El estudio preliminar contempla, conceptos teóricos, perfil del proceso de elaboración de paneles EPS, descripción y evaluación de los equipos, que sirvió como base para el análisis vibracional y estandarización de tareas de mantenimiento.

La determinación de los equipos críticos, permite definir las políticas de mantenimiento, luego con la información recolectada se plantea fichas técnicas, diseño de la configuración del sistema a monitorear mediante el software Trendline 2 para posteriormente cargar al Detector II. La recopilación de datos vibracionales ingresa a ser analizados y evaluados para establecer tareas en los equipos rotatorios, que finalmente son estandarizadas en el proceso de mantenimiento. Las tareas estipuladas son programadas para el año 2011 basándose en las frecuencias de mantenimiento y programas de producción.

Estandarizar las tareas en función del análisis vibracional permitió, la reducción severa de fallas y defectos en los equipos, disminución de paros imprevistos, eliminación de acciones correctivas no programadas, control y evaluación de la condición real de los equipos, admitiendo así alcanzar mayor rentabilidad económica en la empresa.

ABSTRACT

A Vibrational Analysis for the Standardization Tasks of Preventive and predictive Maintenance in the Line of Expandable Polystyrene Production of the Panecons Company, from Latacunga city, was done. The objectives of this analysis were: to reach greater availability in the equipment, optimize the maintenance resources, verify and monitor the condition of the equipment state in the real time, for what, the diagnosis of the maintenance present situation, technical data collection, field inspection and vibration analysis were executed.

The preliminary study contemplates, theoretical concepts, process profile of EPS panels elaboration, description and equipment evaluation, which was the base for the vibrational analysis and standardization of maintenance tasks.

The determination of critic equipment allows defining the maintenance polices, then, with the collected information, technical data, and system configuration design to monitor by means of software Trendline 2 were proposed, to subsequently load to Detector II. The vibrational data compilation enters for being analyzed and evaluated, to establish tasks in the rotatory equipment, which finally are standardized in the maintenance process. The stipulated tasks are programmed for year 2011, based on the maintenance frequencies and production programs.

To standardize the tasks based on the vibrational analysis allowed: the severe reduction of defects in the equipment, decrease of unexpected stoppages, elimination of not programmed remedial actions, control and evaluation of the real equipment condition admitting to reach greater economic profit in the company.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La Empresa PANECONS “Paneles y Construcciones” conformada por la inversión de la Mutualista Pichincha y la firma internacional Emmedue de Italia, produce y comercializa el sistema (M2) bajo la marca Hormi2.

El sistema de construcción Hormi2, es la nueva generación del hormigón armado, y consiste en paneles de Poliestireno Expandible (EPS) cubiertos con acero galvanizado electro soldadas.

Panecons del Ecuador cuenta con la única planta ubicada en la ciudad de Latacunga. Esta planta produce 1000 m² de paneles al día lo que equivale al material que se utiliza en cinco casas de 80 m², tan solo con 11 máquinas y 11 operadores. Dividida en 7 líneas de producción como es, generación de energía, poliestireno expandible, reciclado, mallado, perfilado, paneles y accesorios.

La producción a esta escala implica que se genere la aparición de paros imprevistos debido a las fallas o averías en los equipos, que en mayor porcentaje se debe a vibraciones mecánicas en los sistemas rotatorios, que reduce radicalmente la disponibilidad de los procesos y afecte seriamente la calidad del producto y seguridad humana, por tal motivo las acciones correctivas en la Línea de Poliestireno Expandible son un diario vivir para el personal de mantenimiento.

1.2 Justificación

Panecons, es una empresa que produce y comercializa paneles de Poliestireno Expandible (EPS) para la construcción civil, para este proceso la tecnología utilizada requiere la innovación de nuevos métodos y técnicas modernas para lograr un alto nivel de disponibilidad.

Debido a que los equipos rotatorios de la Línea de Poliestireno Expandible se encuentran sometidos a un trabajo continuo de transformación y transporte de la materia prima se requiere de un control continuo en su funcionalidad. En el que, el análisis vibracional constituye una de las técnicas más utilizadas para la determinación de diversos problemas que ocasionen futuros fallos en la maquinaria y equipos.

De ahí la necesidad que la Línea de Poliestireno Expandible requiera una mayor dedicación en la elaboración de las tareas preventivas, predictivas y correctivas planificadas, de tal manera que se alcance una alta disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

Lo que se pretende con el análisis vibracional en lo equipos rotatorios de la Línea de Poliestireno Expandible es detectar los futuros fallos y problemas, planificar las tareas y así lograr estandarizar el mantenimiento para que no se produzcan paradas imprevistas permitiendo alcanzar mayor rentabilidad económica en base a la máxima producción de paneles de EPS y optimización de los recursos que dispone la empresa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar el análisis vibracional para la estandarización de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo en la línea de producción de poliestireno expandible (EPS) de la empresa “Panecons”

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los equipos categoría A.
- Determinar los puntos de medición.
- Realizar las mediciones respectivas.
- Ejecutar el análisis de vibraciones.
- Determinar los problemas en los equipos.
- Estandarizar el mantenimiento en la línea EPS.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Mantenimiento predictivo [1]

El mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar.

La información más importante que arroja este tipo de seguimiento de los equipos es la tendencia de los valores, ya que es la que permitirá calcular o preveer, con cierto margen de error, cuando un equipo fallará; por ese motivo se denominan técnicas predictivas.

El mantenimiento predictivo nos ayuda a pronosticar el punto futuro de falla, de un componente o elemento de una máquina.

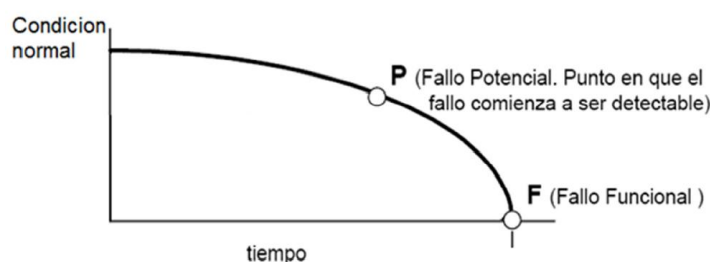


Figura 2.1: Pronóstico de futura falla en un ítem

2.1.1 Ventajas del mantenimiento predictivo [2]

La principal ventaja radica en la velocidad de la detección de la falla, en forma anticipada y temprana al hecho. Así también:

- Reduce el tiempo de parada al conocer exactamente que ítem es el que falla.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- Verifica la condición de estado y monitoreo en tiempo real de un equipo.
- Maneja y analiza un registro de información histórica vital.
- Define los límites de tendencia relativos a los tiempos de falla o de aparición de condiciones no estándares.
- Posibilita la toma de decisiones sobre la parada de equipos críticos.
- Reduce el inventario de repuestos y los costos de almacenaje.
- Aumenta la disponibilidad de los equipos
- Provee el conocimiento del histórico de actualizaciones, para ser utilizados por el mantenimiento correctivo.
- Facilita el análisis de averías.
- Aplica el análisis estadístico en los equipos.

2.1.2 Desventajas del mantenimiento predictivo

El principal inconveniente del mantenimiento predictivo en cuanto a técnicas complejas es de tipo económico, ya que requiere de una gran inversión, de personal calificado para la operación de los equipos y además mantener la actualización del equipo.

2.1.3 Técnicas del mantenimiento predictivo [3]

Pueden establecerse en dos categorías relacionadas con las tareas de mantenimiento predictivo: las técnicas sencillas, de fácil realización, y las técnicas que requieren de ciertos conocimientos y equipos sofisticados.

Dentro de las primeras estarían las inspecciones visuales de los equipos, las tomas de datos con instrumentación instalada de forma permanente como: termómetros, manómetros, caudalímetros, amperímetros, voltímetros, medidas de desplazamiento o vibración, etc.

Dentro de las técnicas complejas existentes en el mercado se destacan las siguientes:

Tabla 2.1: TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

<p><i>Monitorización dinámica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de vibraciones • Impulsos de choque • Ultrasonido <p><i>Monitorización de partícula</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ferrografía • Detección de virutas metálicas • Fluorescencia de rayos x <p><i>Monitorización de la corrosión</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia de polarización lineal • Resistencia eléctrica • Monitorización potencial <p><i>Monitorización de la temperatura</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura online • Termografía infrarroja 	<p><i>Monitorización de efectos físicos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Penetración de colorante en líquido • Penetración de fluorescente electrostático • Inspección de partícula magnética • Película magnética apelable • Ecos de impulsos ultrasónicos • Detección de fugas • Rayos x • Baroscopios y sondas rígidas. • Fractografía electrónica <p><i>Monitorización química</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de aceites • Cromatografía de gases y líquidos • Espectroscopio de infra rojo y luz visible • Espectroscopio de fluorescencia • Espectroscopio de luz ultravioleta
---	---

2.1.4 Sistema de mantenimiento predictivo [4]

Es aquel que contempla de modo eficaz tres etapas principales que son:

2.1.4.1 La detección

Constituye el primer paso, y se basa en el seguimiento de la evaluación de uno y varios parámetros seleccionados adecuadamente, de acuerdo a su sensibilidad ante los cambios en la condición de la máquina analizada.

2.1.4.2 Identificación

Una vez que el problema ha sido detectado, es menester proceder a la determinación de la causa de este es decir, identificar qué elemento o elementos de máquinas es el o son los causantes del incremento en los niveles de en estudio, con respecto a las referencias que reflejaban una condición mecánica normal.

2.1.4.3 La corrección

Por supuesto, conocer la causa del problema y por consiguiente la ubicación de este, permite organizar y ejecutar de modo eficiente los trabajos de eliminación del problema y de su propia causa.

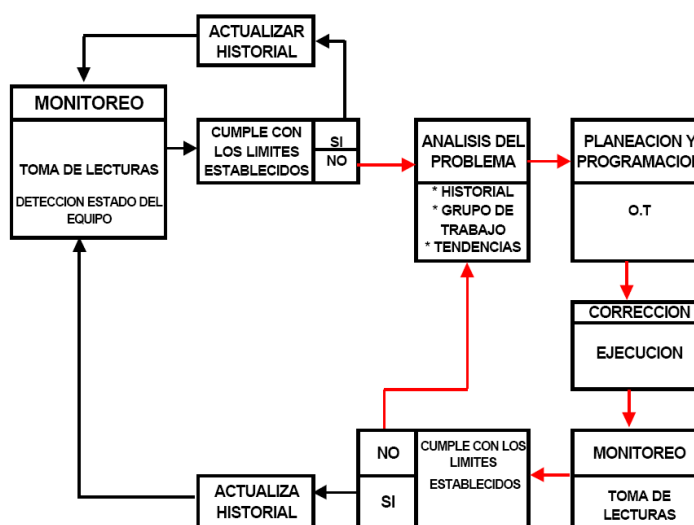


Figura 2.2: Ciclo de mantenimiento predictivo

2.2 Análisis vibracional [5]

Esta técnica del mantenimiento predictivo se basa en la detección de fallos en equipos rotativos principalmente, a través del estudio de los niveles de vibración. El objetivo final es obtener la representación del espectro de las vibraciones de un equipo en funcionamiento para su posterior análisis.

Para aplicarla de forma efectiva y obtener conclusiones representativas y válidas, es necesario conocer determinados datos de la máquina como son la velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, número de alabes o de palas, etc., y elegir los puntos adecuados de medida. También es necesario seleccionar el analizador más adecuado a los equipos existentes en la planta.

2.2.1 Fundamentos de las vibraciones mecánicas [6]

En la práctica, la vibración ocurre por la transmisión normal de fuerzas cíclicas a través de mecanismos. Los elementos mecánicos de la máquina reaccionan unos con otros y la energía es disipada a través de la estructura en forma de vibración. Basándose además en que:

- Todas las máquinas vibran; debido a que en todas ellas existen partes móvil, las cuales generan fuerzas de inercia que se transmiten a sus alrededores.
- El aumento inusitado en el nivel de vibración implica que se están desarrollando internamente problemas mecánicos.
- Cada defecto mecánico produce una vibración característica, la cual puede ser identificada a través de un análisis de vibraciones.

2.2.2 Clases de movimientos oscilatorios [7]

El estudio de vibraciones trata de movimientos oscilatorios de sistemas mecánicos, estos son movimientos de vaivén de un cuerpo a un lado y otro respecto a una posición de equilibrio.

Los movimientos pueden ser:

- Regulares, repetitivos, periódicos de estado estable como por ejemplo el desbalanceo.

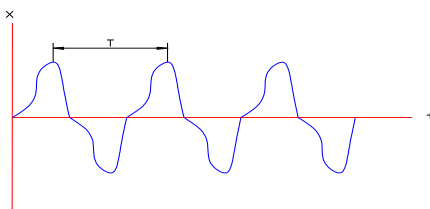


Figura 2.3: Movimiento regular

- Irregulares, aleatorios, aperiódicos, como por ejemplo la cavitación, el registro de un sismo.

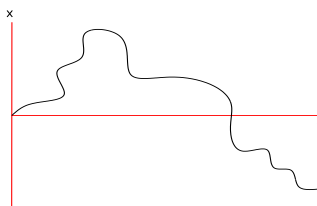


Figura 2.4: Movimiento irregular

Es de interés analizar el Movimiento Armónico Simple (MAS) ya que es la base para el estudio de las vibraciones periódicas.

2.2.3 Sistema vibratorio

Para que una vibración mecánica ocurra, se requieren por lo menos 2 elementos el elemento inercial (masa) y el elemento elástico (resorte).

Durante la vibración ocurre un intercambio de energía entre estos elementos, se dice que “todo sistema que posea masa y elasticidad es capaz de oscilar o vibrar”.

El modelo vibratorio más simple es el que muestra en la figura 2.5, un sistema masa-resorte.

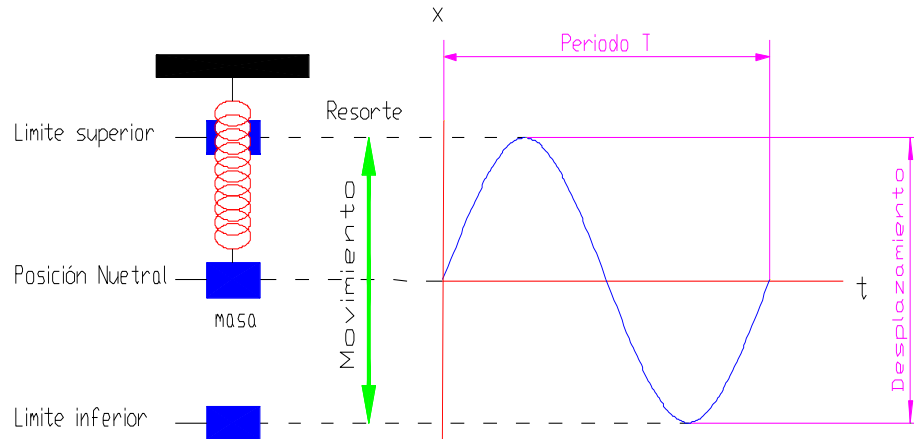


Figura 2.5: Sistema vibratorio masa – resorte

2.2.4 Parámetros de las vibraciones

El movimiento periódico más simple es el movimiento armónico simple (MAS) graficando en la figura 2.6, y definido por la función armónica $X = A \sin Wt$.

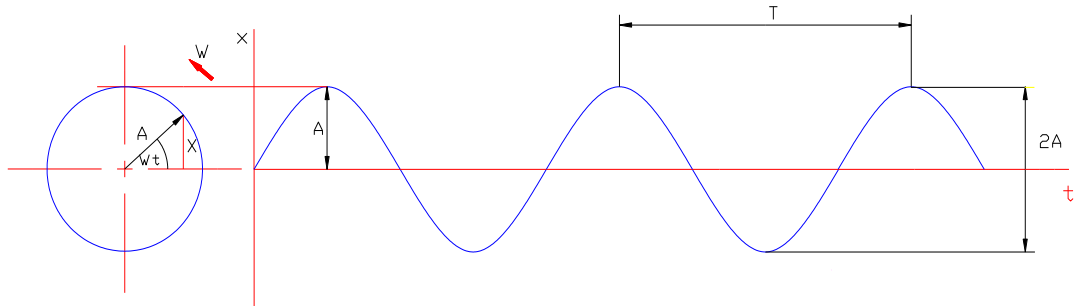


Figura 2.6: Movimiento armónico simple

Donde:

A = Amplitud de onda de medio pico (um)

W = Frecuencia circular o angular de oscilación (Rad./seg.)

T = $2\pi / W$ Periodo de oscilación (seg., min.) (2.1)

F = $W/2\pi$ Frecuencia de oscilación (cpm. Hz) (2.2)

Periodo (T).- Es el tiempo requerido para que el sistema efectúe un ciclo completo, es decir cuando se demora un cuerpo en volver a su posición original con las condiciones iniciales, está expresado en minutos, segundos, etc.

Frecuencia (F).- Es el número de ciclos por unidad de tiempo, medido en ciclos por minuto (cpm), ciclos por segundos (cps o Hz.) por tanto:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

Amplitud (A).- Es el desplazamiento de la onda a partir de la referencia 0 medida como pico-pico o rms.

Valor pico (media onda) = Valor equivalente

Valor rms = Valor eficaz.

Valor rms = 0.707 Valor equivalente (2.4)

Fase.- Es una medida de la diferencia de tiempo entre dos ondas senoidales. Aunque la fase es una diferencia verdadera de tiempo, siempre se mide en términos de ángulo, en grados o radianes. Esta es una normalización del tiempo que requiere un ciclo de la onda sin considerar su verdadero periodo de tiempo.

En un movimiento armónico simple se define, desplazamiento, velocidad, aceleración como indica la figura 2.7.

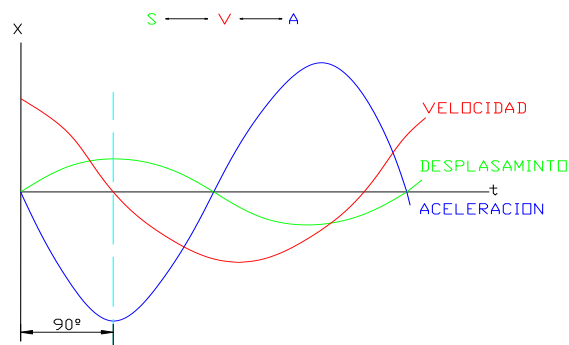


Figura 2.7: Desplazamiento, velocidad, aceleración

Donde:

$$\text{Desplazamiento} \quad X = A \text{ Sen } W t \quad (2.5)$$

$$\text{Velocidad} \quad V = A W \text{ Cos } W t \quad (2.6)$$

$$\text{Aceleración} \quad A_c = -A W^2 \text{ Sen } W t \quad (2.7)$$

- **El desplazamiento (X)** se obtiene a partir del círculo trigonométrico en la que se considera un ángulo (Wt) como radio vector la amplitud (A) y como cateto opuesto (X), aplicando la función seno de esta forma se obtiene la amplitud de la onda.
- **La velocidad (V)** constituye la primera derivada del desplazamiento.
- **La aceleración (Ac)** constituye la segunda derivada del desplazamiento o la primera derivada de la velocidad.

Estos son los parámetros medibles en el movimiento armónico simple y que se aplican en las vibraciones ya que son periódicas y tienen sus mismas características.

En el Sistema Internacional de medida:

El desplazamiento generalmente se expresa en micrómetros ($1 \text{ um} = 10^{-6} \text{ m}$).

La velocidad en mm/s.

La aceleración en mm/s^2 o en “gravedades” ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$ o 32.2 pies/s^2).

De los 3 parámetros, el más utilizado por las normas es la velocidad de vibración en mm/s expresada en valor rms, debido a que la velocidad lleva la información de la amplitud “A” y de la frecuencia circular “W”, esto es una idea de la energía involucrada en la vibración.

2.2.5 Tipos de vibraciones

2.2.5.1 Vibración libre

Es aquella que se mantienen solamente con las fuerzas inherentes de sistema (su elasticidad e inercia), las fuerzas externas son nulas.

Cuando esto ocurre la frecuencia de la vibración es la frecuencia natural que depende de la masa y elasticidad.

Se produce vibración libre en una máquina como reacción a un golpe o efecto de golpe. La frecuencia natural es inherente a cada máquina, a cada sistema y de un valor dado por el diseño, construcción y montaje.

Frecuencia natural.- Es aquella que corresponden a la vibración de tipo libre esta frecuencia depende la masa y la elasticidad ya que no hay disipación de energía y no se ha tenido en cuenta el amortiguamiento.

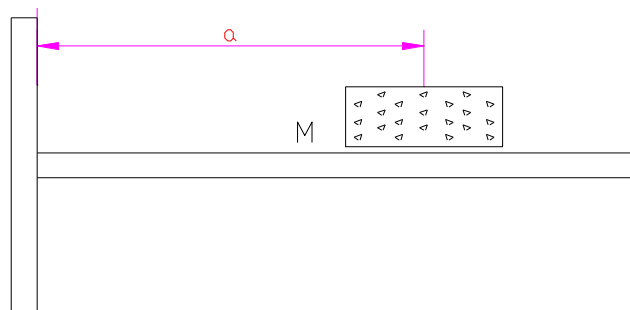


Figura 2.8: Sistema masa-resorte con una viga articulada

Vibraciones amortiguadas. Las consideraciones anteriores determinarían que la vibración libre es permanente, porque la función armónica no es decreciente en el tiempo, sin embargo ocurre que la vibración se va atenuando por el efecto llamado “amortiguamiento”.

Entonces el amortiguamiento cumple con un efecto de disipación de energía. Básicamente existen 3 tipos de amortiguadores: viscosos, de fricción e histeréticos. Por ejemplo tenemos el caucho, una madera que son elementos que retiran la energía de vibración nociva de un equipo.

El efecto en vibración libre, es que la respuesta toma la forma de una senoide amortiguada, es decir la función armónica tiene un decrecimiento en el tiempo como se indica en la figura 2.9.

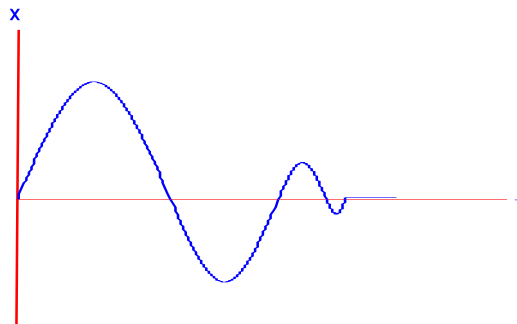


Figura 2.9: Vibración amortiguada

2.2.5.2 Vibración forzada

Pueden ser de tipo periódico y no periódico, es excitada por fuerzas externas que se mantienen durante el movimiento. El cuerpo vibra a la frecuencia de la fuerza de excitación. Ocurre que si la frecuencia de excitación es igual a la frecuencia natural, el sistema entra en resonancia (la vibración crece al infinito).

La vibración forzada en un sistema rotativo puede ser el desbalanceo, el desalineamiento, las fuerzas reactivas a los movimientos alternativos de pistones en motores de combustión, en compresores, etc.

Frecuencia de excitación.- Un sistema vibratorio está sujeto a vibración forzada cuando tiene una excitación periódica.

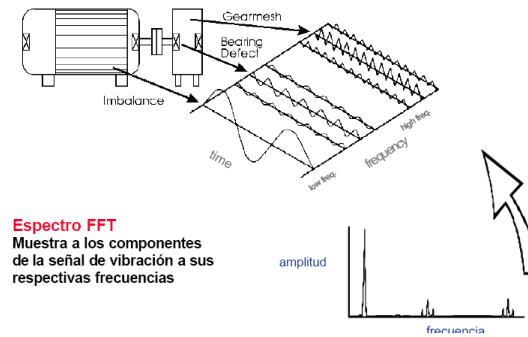


Figura 2.10: Vibración forzada

2.2.6 Análisis de dominios de la vibración [8]

Las vibraciones pueden ser observadas en el dominio del tiempo y dominio de la frecuencia, ambos dominios están relacionados a través del aparato matemático conocido como transformada rápida de Fourier FFT.

Las vibraciones en el dominio del tiempo, son señales directas de la máquina. Estas señales se encuentran plasmada toda la información acerca del comportamiento de cada componente de la máquina. Pero hay un problema a la hora de realizar un diagnóstico, estas señales están cargadas de mucha información en forma muy compleja, la cual comprende las señales características de cada componente de la máquina, por lo cual prácticamente queda imposible distinguir a simple vista sus comportamientos característicos.

Existen otras formas para realizar un estudio de vibraciones, entre las cuales se encuentra mirar esta señal en el dominio de la frecuencia. Esta es la gráfica de Amplitud vs. Frecuencia y es conocida con el nombre de espectro.

Entonces lo que hace un analizador de espectros que trabaja con la transformada rápida de Fourier es capturar una señal desde una máquina, luego calcula todas las series de señales sinusoidales que contiene la señal compleja y por último las muestra en forma individual en el eje X de la frecuencia. En la siguiente ilustración de tres dimensiones puede notarse claramente la señal compleja, capturada desde una máquina.

A dicha señal se le calculan todas las series de señales sinusoidales en el dominio del tiempo (vistas en azul) y por último se muestra cada una en el dominio de la frecuencia (vistas en rojo).

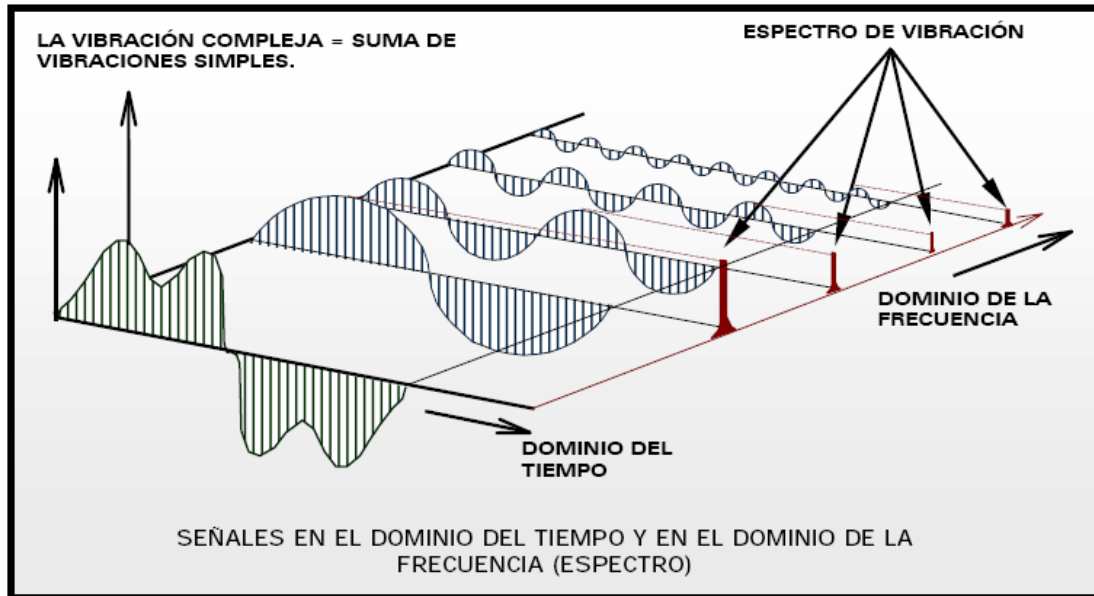


Figura 2.11: Señal en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia.

2.3 Elementos del sistema de medición de vibraciones

2.3.1 Transductores [9]

La generación y transmisión de vibraciones a ser procesadas como señales eléctricas por el analizador de vibraciones requieren de transductores. Estos son de 3 tipos: de proximidad, de velocidad y de aceleración. El primero sensa directamente al rotor, los otros son de carcasa.

2.3.1.1 Transductores de proximidad

Consisten en una bobina alrededor de un núcleo ferroso que crea un campo magnético. Se lo coloca cerca del eje, de manera que al vibrar se completa el lazo del campo magnético, se, generan corrientes inducidas o parásitas de Eddy que modifican la

señal proporcionalmente al desplazamiento del objeto medido. El eje debe ser electromagnético.

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

Tienen muy buena respuesta en baja frecuencia, de 0 a 400 Hz generalmente.

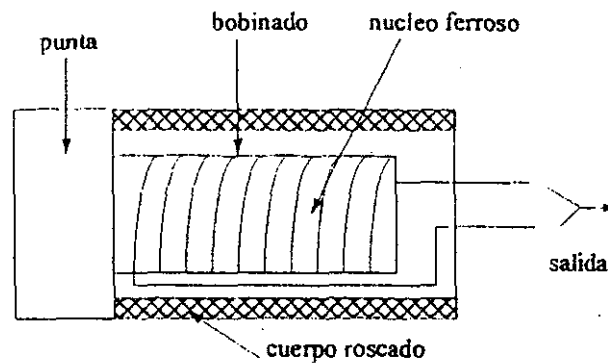


Figura 2.12: Transductor de proximidad

2.3.1.2 Transductores de velocidad

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

Es de uso muy común, especialmente para mediciones en soportes de rodamientos (chumaceras), no requiere de fuente externa. Puede tener problemas de interferencia del campo magnético. Su aplicación está especialmente en el rango de 2 Hz a 1 kHz.

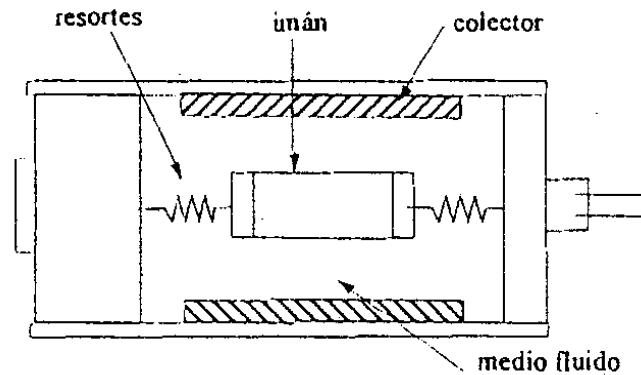


Figura 2.13: Transductor de velocidad

2.3.1.3 Acelerómetros

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

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.

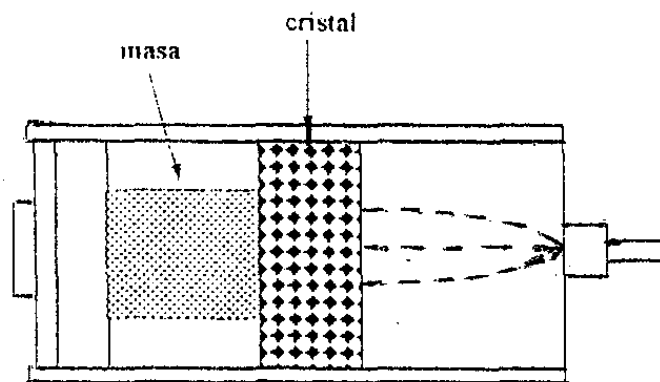


Figura 2.14: Acelerómetro

2.3.2 Analizador de vibraciones [10]

Con el vertiginoso desarrollo de los microprocesadores, de la electrónica y de la computación, han proliferado aceleradamente los llamados analizadores de señales que constituyen la integración en un solo instrumento de otros instrumentos.

Actualmente muchos, analizadores de señales para vibraciones sobre todo en modelos portátiles, están siendo comercializados en el mercado internacional, tal es el caso por ejemplo del 2515 de la firma Bruel & kjaer, el IRD Fast Track de IRD MEchanalysis, el 2120 de la compañía CSI, el Microlog de SKF y el Vibrocord de Pruftechnik AG, muchos de estos analizadores se hacen acompañar de un software para el análisis de tendencias, organización de las mediciones y la configuración de las rutas.

Algunas de las principales características que hay que comprobar en un equipo de análisis de vibración son las siguientes:

- Posibilidad de utilizar un acelerómetro triaxial.
- Posibilidad de uso del equipo para realizar equilibrados.
- Duración de la batería.
- Tamaño y manejabilidad de la pantalla. Especialmente interesante resulta que la pantalla sea táctil.
- Características de la CPU y de la memoria interna.
- Frecuencia máxima de muestreo.
- Visualización de datos.
- Posibilidad de comunicación inalámbrica con la red habitual, o al menos, posibilidad de conexión del equipo en red.
- Número de canales de adquisición simultánea de datos.
- Resistencia a impactos y caídas.
- Tiempo requerido para realizar una medición completa de una máquina con dos apoyos.

- Datos que es necesario introducir en el equipo para que realice la medición.
- Tiempo de configuración de cada punto de medida.
- Software que acompaña al equipo: posibilidad de diagnóstico automático, informes que genera, posibilidad de almacenamiento de datos en mediciones sucesivas, análisis de tendencias, etc.
- Coste del equipo, de los accesorios necesarios y de las licencias de software adicionales.
- Posibilidades de equipamiento opcional y su coste.

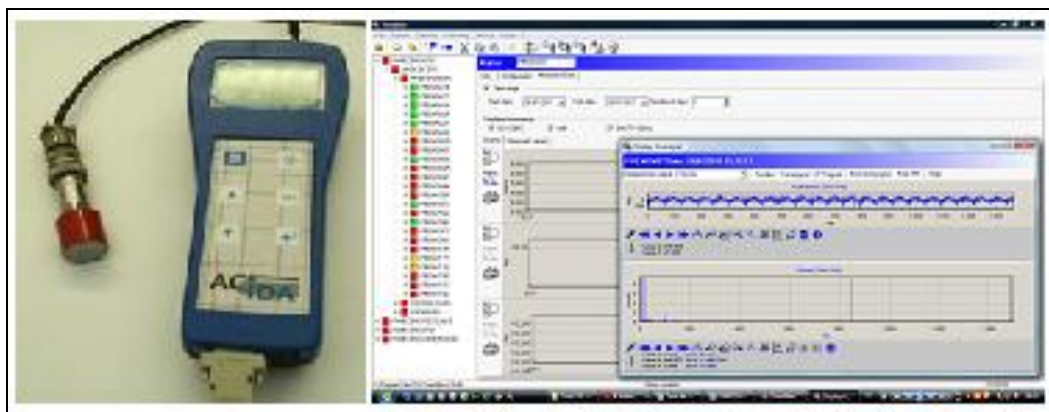


Figura 2.15: Sistema analizador de vibraciones Detector II

2.3.3 Puntos de medición de vibraciones [11]

En general es deseable colocar el transductor de prueba lo más cerca posible del rodamiento, con metal sólido entre el rodamiento y el sensor.

Se debe evitar la colocación en las gornas de rodamientos, ya que son hechas de metal delgado y conducen muy poco la energía de vibración. Si es posible habrá que seleccionar los lugares de ubicación de tal manera que no haya juntas entre metal y metal, entre el rodamiento y el sensor. La junta entre la campana y el cárter del estator de un motor es un ejemplo de esto. Cárceres de ventiladores y las extremidades de motores se deben evitar.

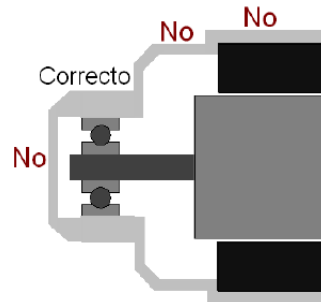


Figura 2.16: Ubicación de sensor

En general se ha encontrado que para motores de menos de alrededor de 50 HP un punto de prueba es adecuado, pero para motores de más de 50 HP cada rodamiento debería de tener su propio punto de prueba. En las máquinas sensibles a los daños en los rodamientos y en las que los problemas de rodamientos se deberían detectar lo más temprano posible, cada rodamiento debería tener su propio punto de prueba.

2.3.3.1 Orientación de sensor de vibración

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

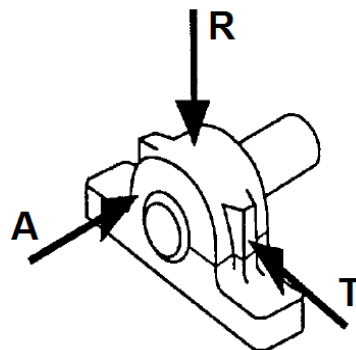


Figura 2.17: Planos de medición

2.4 Rangos vibracionales [12]

Existen diferentes normativas para definir el rango o severidad de una vibración, con respecto al daño específico que ella puede causar.

Muchas de las normas internacionales, son traducidas e incorporadas a las normativas de cada organización nacional. Existen estándares publicados por organizaciones tales como American National Standards Institute (ANSI), Asociación Alemana de Ingenieros (VDI) o International Standards Organization (ISO). También existen normas a nivel Europeo (EN) y Normas Nacionales (UNE). Algunos estándares son publicados por grupos de industrias tales como, American Petroleum Institute (API), American Gear Manufacturers Association (AGMA), National Electric Manufacturers Association (NEMA), etc.

2.4.1 Severidad de la vibración según norma ISO 10816-1995

Se considera de máxima prioridad en transacciones internacionales, siendo en la práctica el punto de partida para valorar la severidad de vibraciones.

Vibración mecánica. - evaluación de la vibración en una máquina mediante medidas en partes no rotativas norma ISO 10816.

Establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas. Esta norma reemplaza a las ISO 2372 e ISO 3945, que han sido objeto de revisión técnica. Esta norma consta de cinco partes:

- **Parte 1:** Indicaciones generales.
- **Parte 2:** Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.

- **Parte 3:** Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 y 15000 RPM
- **Parte 4:** Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.
- **Parte 5:** Conjuntos de máquinas en plantas de hidrogenación y bombeo (únicamente disponible en inglés).

La severidad de la vibración se clasifica conforme a los siguientes parámetros:

- Tipo de máquina.
- Potencia o altura de eje.
- Flexibilidad del soporte.

2.4.2 Clasificación de acuerdo al tipo de máquina, potencia o altura de eje

Las significativas diferencias en el diseño, tipos de descanso y estructuras soporte de la máquina, requieren una división en grupos. Las máquinas de estos grupos pueden tener eje horizontal, vertical o inclinado y además pueden estar montados en soportes rígidos o flexibles.

- **Grupo 1:** Máquinas rotatorias grandes con potencia superior 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje $H \geq 315$ mm.
- **Grupo 2:** Máquinas rotatorias medianas con potencia entre 15 y 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje $160 \leq H \leq 315$ mm.
- **Grupo 3:** Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor separado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW.

- **Grupo 4:** Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor integrado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW.

Nota: La altura del eje H de una máquina está definida como la distancia medida entre la línea de centro del eje y el plano basal de la máquina misma. La altura del eje H de una máquina sin patas o de una máquina con pies levantados o cualquier máquina vertical, se debe tomar como la altura de eje H de una máquina horizontal en el mismo marco básico. Cuando el soporte es desconocido, la mitad del diámetro de máquina puede ser utilizada.

2.4.3 Clasificación según la flexibilidad del soporte

Si la primera frecuencia natural del sistema máquina-soporte en la dirección de la medición es mayor que su frecuencia principal de excitación (en la mayoría de los casos es la frecuencia de rotación) en al menos un 25%, entonces el sistema soporte puede ser considerado rígido en esa dirección. Todos los otros sistemas soportes pueden ser considerados flexibles.

En algunos casos el sistema máquina-soporte puede ser considerado rígido en una dirección de medición y flexible en la otra dirección. Por ejemplo, la primera frecuencia natural en la dirección vertical puede estar sobre la frecuencia principal de excitación mientras que la frecuencia natural horizontal puede ser considerablemente menor. Tales sistemas serían rígidos en el plano vertical y flexible en el plano horizontal. En estos casos, la vibración debe ser evaluada de acuerdo a la clasificación del soporte que corresponda en la dirección de la medición.

2.4.4 Evaluación de zona

- **Zona A:** Valores de vibración de máquinas recién puestas en funcionamiento o reacondicionadas.

- **Zona B:** Máquinas que pueden funcionar indefinidamente sin restricciones.
- **Zona C:** La condición de la máquina no es adecuada para una operación continua, sino solamente para un período de tiempo limitado. Se deberían llevar a cabo medidas correctivas en la siguiente parada programada.
- **Zona D:** Los valores de vibración son peligrosos, la máquina puede sufrir daños.

Tabla 2.2: SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 10816

Velocidad	in/s rms		mm/s rms									
10-1000 Hz $r > 600$ rpm												
2-1000 Hz $r > 120$ rpm												
0,43	11											
0,28	7,1											
0,18	4,5											
0,14	3,5											
0,11	2,8											
0,09	2,3											
0,06	1,4											
0,03	0,71											
	Base	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible			
Tipo de máquina	Bombas > 15 kW flujo radial, axial o mixto				Tamaño medio 15 kW < P ≤ 300 kW		Grandes máquinas 300 kW < P < 50 MW					
	Motor integrado		Motor separado		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H					
Grupo	Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1					
A	Máquina nueva o reacondicionada				C	La máquina no puede operar un tiempo prolongado						
B	La máquina puede operar indefinidamente				D	La vibración está provocando daños						

2.5 Problemas vibracionales [13]

Los problemas vibracionales que se puede detectar en equipos rotatorios son:

2.5.1 Desbalanceo

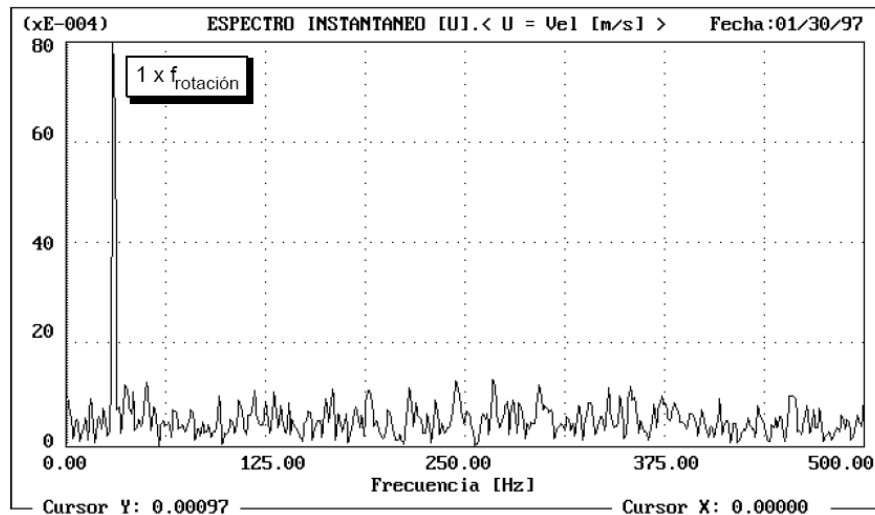


Figura 2.18: Espectro característico de desbalanceo

Desbalanceo ocurre cuando el centro de masa difiere del centro de rotación.

Frecuencia dominante.- Se caracteriza por la forma senoidal a $1 \times TS$ pico de la pieza desbalanceada. TS = Turning Speed (Velocidad de giro)

Plano dominante.- Las mayores amplitudes ocurren típicamente en la dirección **radial**; específicamente, en el plano horizontal para equipos instalados horizontalmente. Rotores en voladizo pueden mostrar mayores amplitudes en el plano **axial**.

Otras consideraciones:

- Armónicos de TS presentan bajas amplitudes.
- Amplitudes debidas al desbalanceo incrementan con la frecuencia de operación (Velocidad de giro).

- Si los armónicos de TS presentan grandes amplitudes, pueden existir otras fallas y serian las fallas principales.
- Amplitud es afectada por la velocidad de giro (si es posible reducir la velocidad de la máquina, la amplitud de la vibración debida al desbalanceo se verá reducida).

2.5.2 Desalineamiento

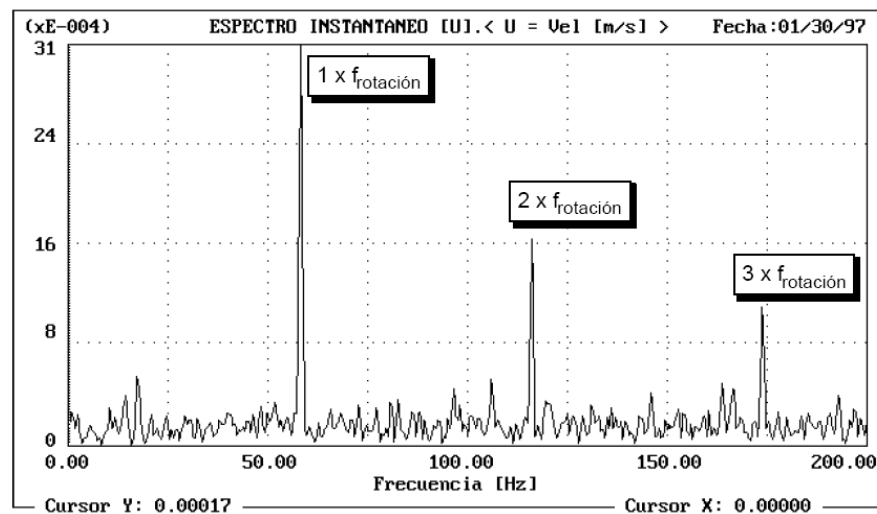


Figura 2.19: Espectro característico de desalineamiento

Como ya es sabido tenemos tres tipos de desalineamiento el paralelo, el angular y la combinación de los dos.

Frecuencia dominante.- Un pico alto a **2xTS** caracteriza el desalineamiento paralelo (offset); un pico alto a **1xTS** significa un desalineamiento angular.

Ambas clases de desalineamiento frecuentemente se combinan para mostrar picos en el espectro a **1xTS** y a **2xTS**, y puede aparecer una **3xTS** en casos de una grave falta de alineamiento.

La forma de Onda aparece muy repetida y periódica con uno o dos picos por revolución.

Plano dominante.- Amplitudes del desalineamiento paralelo (Offset) típicamente aparecen mayores en dirección del plano **radial**; amplitudes de desalineamiento angular típicamente aparecen mayores en el plano **axial** Cuando se combinan, los picos a **1xTS** y a **2xTS** aparecen en ambos planos.

Otras consideraciones:

- En general, el desalineamiento genera empuje axial.
- Análisis de fase a través del acople o entre rodamientos mostrando una diferencia significativa de fase (180°) confirma el desalineamiento.
- Este seguro de chequear en la dirección axial, con el acelerómetro orientado en la misma dirección.
- Cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta hay un buen motivo para sospechar desalineamiento.

2.5.3 Defectos en rodamientos

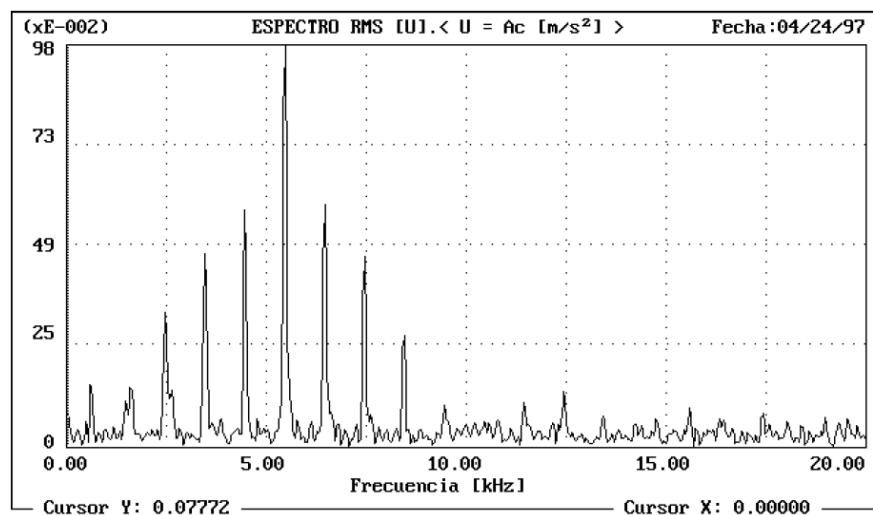


Figura 2.20. Espectro característico de fallas en rodamientos

Frecuencia dominante.- Existen 4 frecuencias de fallas calculadas. Armónicos de picos no sincrónicos en el espectro e impactando en la forma de onda son características de defectos en pistas de rodamientos.

Defectos en Bolas/rodillos también son picos no sincrónicos, pero aparecen a unas frecuencias más bajas que las frecuencias de pistas. Defectos en la canastilla típicamente aparecen en el espectro a **0.4xTS**. Por ejemplo, las frecuencias de falla calculadas para un rodamiento SKF 6405 son: FTF (canastilla) 0.356xTS; BSF (bolas/rodillos) 1.596xTS; BPFO (pista exterior) 2.494xTS; BPFI (pista interior) 4.506xTS.

Plano dominante.- Las mayores amplitudes típicamente ocurren en la dirección **radial**. Rodamientos de empuje pueden exhibir mayores amplitudes en el plano **axial**.

Otras consideraciones:

- Armónicos de defectos de una falla en pista, típicamente van acompañados por bandas laterales de la velocidad de giro.
- Pequeños defectos generan picos de baja amplitud. Para ver picos a altas frecuencias, se recomienda tomar espectros en unidades de aceleración.
- A medida que el rodamiento se deteriora, más armónicos se vuelven visibles en el espectro, y la energía de impacto incrementa en la forma de onda. Otras fallas de componentes pueden también aparecer a medida que el rodamiento se deteriora.

2.5.4 Holgura mecánica

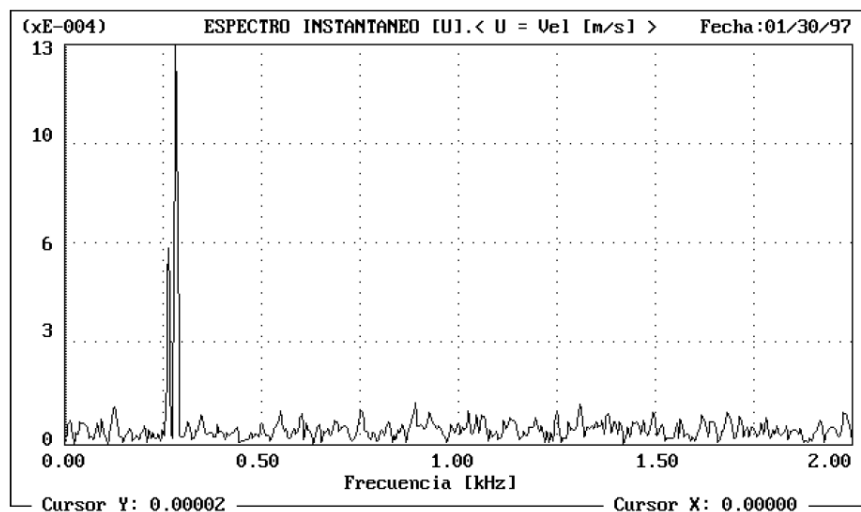


Figura 2.21: Espectro característico de holgura mecánica

Frecuencia dominante.-Se caracteriza por una serie de armónicos de la velocidad de giro y una forma de onda irregular con impactos ósea, 3x, 3.5x ,4x, 5.5x, 6x.TS. Etc.

Plano dominante.-Las mayores amplitudes ocurren típicamente en la dirección **radial**; específicamente, en el plano vertical para equipos instalados horizontalmente.

Otras consideraciones:

- El numero de armónicos de la velocidad de giro y sus amplitudes incrementan con la severidad del problema.
- Fase inestable es una característica del juego mecánico. Armónicos fraccionales (1/4, 1/3, 1/2) pueden aparecer si el rozamiento aparece como resultado del juego mecánico.

2.5.5 Defectos en bandas

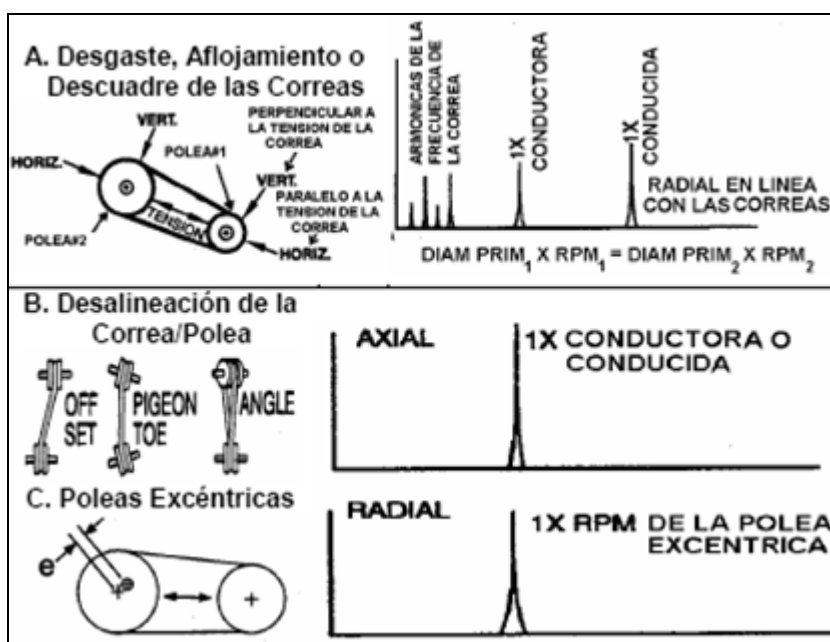


Figura 2.22: Espectro característico de defectos en bandas

Cursor Primario (cursor en un pico marca 1x frecuencia de la correa)

Frecuencia dominante.- Picos Subsincronicos y sus armónicos son característicos de defectos en bandas (bandas gastadas). La frecuencia dominante típicamente es 2x frecuencia de la banda.

Aparecen múltiplos de 2x a través del espectro, porque la correa defectuosa pasa a través de las poleas.

Plano dominante.- Las mayores amplitudes típicamente ocurren en la dirección **radial**; específicamente, en línea con las bandas.

Otras consideraciones:

- Resolución espectral adecuada es crítica para encontrar este problema.
- Poleas desalineadas crean vibración axial a 1xTS de la polea.
- Poleas excéntricas producen vibración radial a 1xTS de la polea excéntrica.
- Luz estroboscópica puede ser muy útil para determinar la severidad del defecto de la correa.

2.5.6 Defectos en engranajes

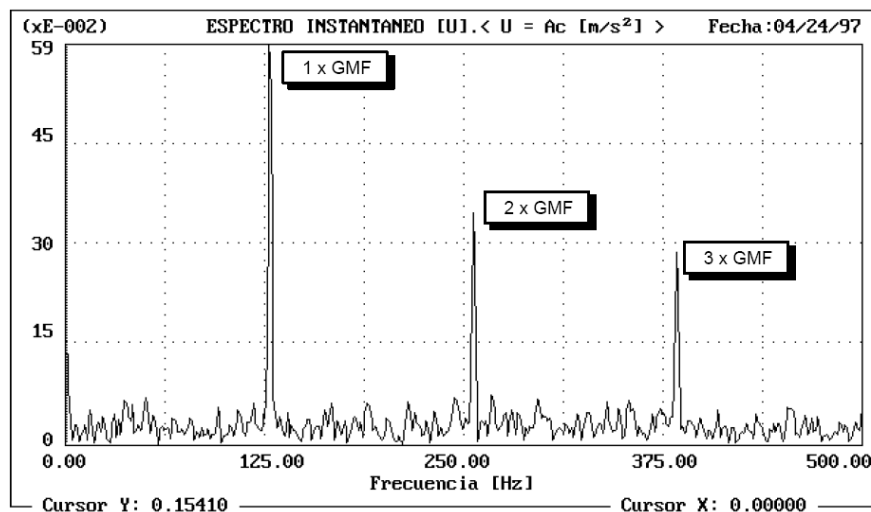


Figura 2.23: Espectro característico de defectos en engranajes.

Frecuencia dominante.-Alta frecuencia de engrane (GMF) con bandas laterales a la velocidad del engranaje defectuoso, y con impactos de alta magnitud en la forma de onda, normalmente caracterizan los defectos en engranajes.

Plano dominante.- Las mayores amplitudes típicamente ocurren en la dirección **radial** para engranajes rectos y **axial** para engranajes helicoidales.

Otras consideraciones:

- $GMF = \# \text{ dientes en el engranaje} \times TS$
- El número de bandas laterales de la velocidad de giro y sus amplitudes incrementan con la severidad del problema.
- La GMF está siempre presente, y la amplitud es dependiente de la carga.
- La frecuencia natural del engranaje típicamente es excitada por un diente partido o fracturado. La frecuencia natural usualmente es menos que la mitad de la GMF.

2.5.7 Defectos en motores eléctricos

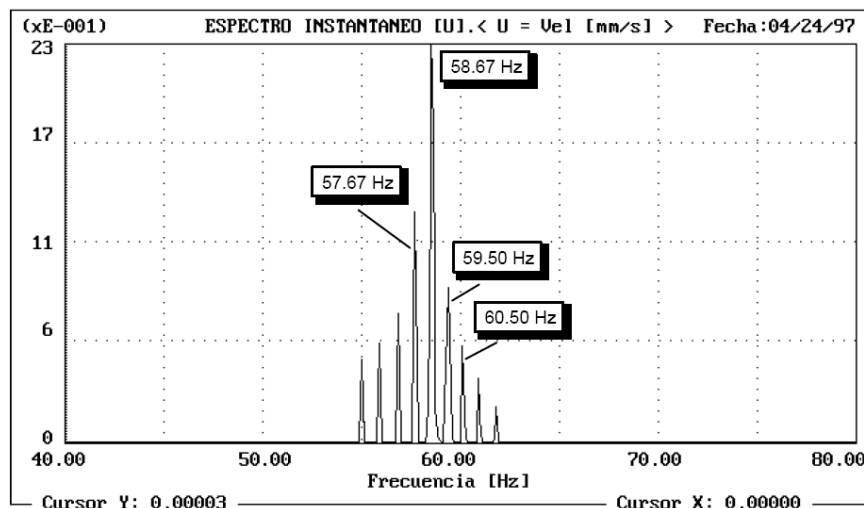


Figura 2.24: Espectro característico de defectos en motores eléctricos.

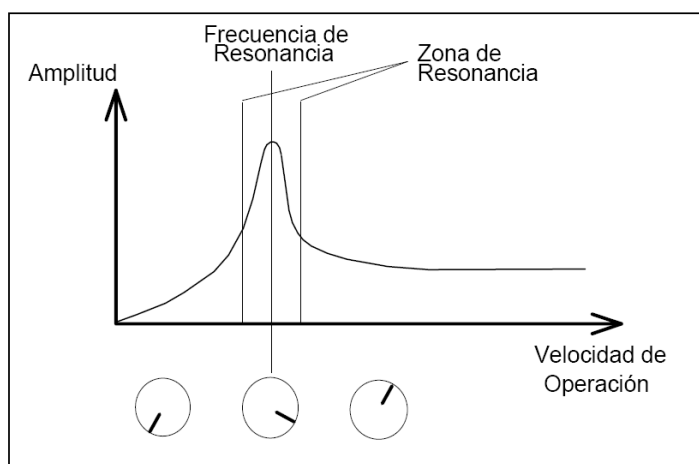
A continuación tenemos una tabla característica de fallas en motores eléctricos.

TABLA 2.3: CARACTERÍSTICAS DE LOS DEFECTOS ELÉCTRICOS

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

Otras consideraciones.

- Si se sospecha que es falla eléctrica, chequear espectro o forma de onda en modo monitor.
- Si la falla es eléctrica, el pico que se sospecha es la falla, desaparecerá inmediatamente si se corta la corriente en el motor.
- Si la falla es mecánica el pico permanecerá en el espectro e irá disminuyendo su amplitud suavemente hasta que el motor se detenga.

2.5.8 Resonancia**Figura 2.25: Espectro característico de resonancia**

La resonancia puede aparecer a cualquier frecuencia en el espectro y se debe tomar en cuenta.

- Armónicos de la velocidad de giro y frecuencias de algunos componentes del sistema pueden coincidir con la frecuencia natural de la máquina y conducir a problemas de resonancia y a fallas.
- El punto de máxima vibración seguirá al punto pesado por 90 grados
- Por encima de resonancia = cambio de fase 180 grados + / - 30 grados
- Aparecerá como energía sub. sincrónica, sincrónica, o no-sincrónica
- Si existe una relación de 3-1 o más, sospeche de resonancia, por ejemplo.

Comparemos las mediciones en dirección horizontal del un ventilador con las mediciones en dirección vertical. Se obtiene diferentes amplitudes horizontales y verticales. La horizontal es 0.5420 in/seg y vertical es 0.0765 in/seg. Esto es una relación de 7 a 1. Recuerde la regla, "relación de 3 a 1 o mayor, sospeche de resonancia".

2.6 Estandarización de tareas de mantenimiento [14]

Las actividades de mantenimiento deben ser estandarizadas por varias razones: Las actividades diversas de mantenimiento no pueden ser ejecutadas efectivamente si cada quién las lleva como las desea. Las técnicas y destrezas de mantenimiento llevan largo tiempo para ser ejecutadas adecuadamente. El trabajo de mantenimiento es menos efectivo que el de producción pues es menos repetitivo.

La estandarización dirige estos problemas incorporando documentos. Tales registros permiten que un gran número de trabajadores, incluyendo los nuevos, hagan el trabajo que previamente fue hecho por trabajadores con experiencia. Esta capacidad de entrenar e involucrar muchos individuos en el trabajo de mantenimiento es clave para desarrollar un programa eficiente de mantenimiento. Los estándares se deben revisar al menos una vez al año.

2.6.1 Tarea de mantenimiento

Una tarea de mantenimiento es el conjunto de actividades que debe realizar el usuario para mantener la funcionalidad del elemento o sistema.

De esta forma, la entrada para el proceso de mantenimiento está representada por la necesidad de ejecución de una tarea específica a fin de que el usuario conserve la funcionalidad del elemento o sistema, mientras que la salida es la propia realización de la tarea de mantenimiento, como se muestra en la Figura 2.26. Es necesario fijarse que cada tarea específica requiere recursos específicos para su finalización, Llamados recursos para la tarea de mantenimiento. También es importante recordar que cada tarea se realiza en un entorno específico, por ejemplo en condiciones de humedad, temperatura y situaciones similares, que pueden tener un impacto significativo en la seguridad, precisión y facilidad de la finalización de la tarea.

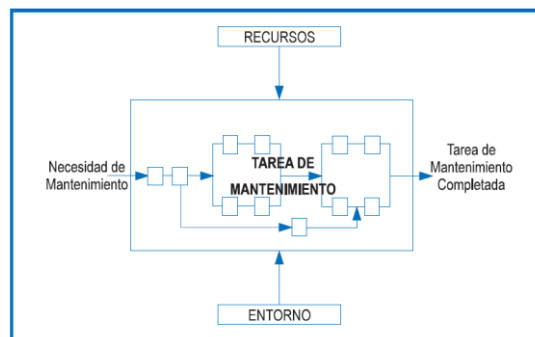


Figura 2.26: Tarea de mantenimiento

2.6.2 Clasificación de las tareas de mantenimiento

Según su objetivo, las tareas de mantenimiento se pueden clasificar en las tres siguientes categorías:

- Tareas de mantenimiento correctivo.
- Tareas de mantenimiento preventivo.
- Tareas de mantenimiento condicional.

2.6.2.1 Tareas de mantenimiento correctivo

Las tareas de mantenimiento correctivo (Corrective Tasks, CRT) son las tareas que se realizan con intención de recuperar la funcionalidad del elemento o sistema, tras la pérdida de su capacidad para realizar la función o las prestaciones que se requieren. Una tarea de mantenimiento correctivo típica consta de las siguientes actividades:

- Detección del fallo.
- Localización del fallo.
- Desmontaje.
- Recuperación o sustitución.
- Montaje.
- Pruebas.
- Verificación.

2.6.2.2 Tareas de mantenimiento preventivo

La tarea de mantenimiento preventivo (Preventive Task, PRT) es una tarea que se realiza para reducir la probabilidad de fallo del elemento o sistema, o para maximizar el beneficio operativo. Una tarea de mantenimiento preventivo típica consta de las siguientes actividades de mantenimiento:

- Desmontaje.
- Recuperación o sustitución.
- Montaje.
- Pruebas.
- Verificación.

El objetivo principal de este tipo de tarea es reducir el coste de mantenimiento y la probabilidad de fallo.

Las tareas de mantenimiento preventivo más comunes son sustituciones, renovaciones, revisiones generales, etc. Es necesario recalcar que estas tareas se realizan, a intervalos fijos, como por ejemplo, cada 3.000 horas de operación, cada 10.000 millas, o cada 500 aterrizajes, al margen de la condición real de los elementos o sistemas.

2.6.2.3 Tareas de mantenimiento condicional

El método que parece ser más atractivo para minimizar las limitaciones de las tareas de mantenimiento existentes es la política de mantenimiento condicional, CMT (Conditional Maintenance Task). Este procedimiento de mantenimiento reconoce que la razón principal para realizar el mantenimiento es el cambio en la condición y/o en las prestaciones, y que la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo debe estar basada en el estado real del elemento o sistema. De esta forma, mediante la vigilancia de ciertos parámetros sería posible identificar el momento más conveniente en que se deben realizar las tareas de mantenimiento preventivo.

Consecuentemente, la tarea de mantenimiento condicional representa una tarea de mantenimiento que se realiza para conseguir una visión de la condición del elemento o sistema, o descubrir un fallo oculto, a fin de determinar, desde el punto de vista del usuario, el curso de acción posterior para conservar la funcionalidad del elemento o sistema.

Una tarea de mantenimiento condicional consta de las siguientes actividades de mantenimiento:

- Evaluación de la condición.
- Interpretación de la condición.
- Toma de decisiones.

CAPÍTULO III

3. EVALUACIÓN DE SITUACIÓN ACTUAL DE LOS EQUIPOS

3.1 Equipos existentes en el proceso de paneles EPS

La empresa Panecons ha desarrollado e implementado el sistema Hormi2, en su planta industrial con maquinaria de tecnología italiana.

Parte del proceso del sistema Hormi2, son la elaboración de los paneles de EPS que se detalla a continuación.

3.1.1 Descripción del proceso productivo de paneles EPS

Hormi2 es un sistema integral de paneles modulares cuya función estructural es garantizada por dos mallas de acero galvanizado electro-soldadas, unidas entre sí a través de conectores de acero también galvanizado formando una estructura espacial, que encierra en su interior una placa de poli-estireno (EPS) expandido moldeado y perfilado.

El proceso productivo de paneles de EPS consta de 7 líneas de producción que son:

Línea de generación.- La función de esta línea es de proporcionar el vapor de agua, aire comprimido y energía eléctrica para la transformación del polímero expandible.



Figura 3.1: Línea de generación de aire y vapor

Línea de poliestireno expandible.- La función es transformar el polímero expandible en perlas de densidad aparente de 14 a 16 kg/m³, para luego reposar en los silos y posteriormente expandirse en la bloquera.



Figura 3.2: Línea de poliestireno expandible

Línea de reciclado.- El material residuo del pantógrafo se reutiliza, mediante un triturador y un separador de polvo para luego reintegrarle en el proceso de expansión del material.



Figura 3.3: Línea de reciclado

Línea de mallado.- Esta línea elabora mallas de acero galvanizado que son electro soldadas de acuerdo a las especificaciones del diseño.



Figura 3.4: Línea de mallado

Línea de perfilado.- Su rol es perfilar los bloques en planchas de diferentes espesores en función del diseño establecido por el cliente.



Figura 3.5: Línea de perfilado

Línea de paneles.- En esta línea se forma el panel mediante la unión por soldadura entre la plancha de EPS y las mallas de acero.



Figura 3.6: Línea de paneles

Línea de accesorios.- La función es suministrar los complementos necesarios para el montaje de la infraestructura como son los refuerzos, perfiles, etc.



Figura 3.7: Línea de accesorios

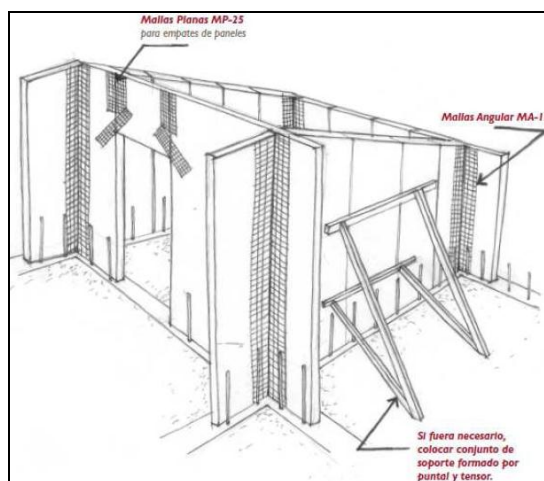


Figura 3.8: Paneles y accesorios de EPS para una vivienda unifamiliar

En el presente cursograma se presenta en síntesis la elaboración de paneles EPS desde la obtención de la materia prima hasta llegar al producto terminado y distribución, para la elaboración de una vivienda unifamiliar.

Tabla 3.1: CURSOGRAMA DEL PROCESO DE PANELES EPS

CURSOGRAMA ANALITICO								
Flujograma del proceso de paneles de EPS			Actividad	símbolo				
Lugar: Planta Panecons-Latacunga			Operación	○				
Fecha: Julio 28 del 2011			Transporte	➔				
Actividad: Elaboración de paneles de EPS para la construcción			Espera	◻				
Descripción: Elaboración de los paneles y accesorios necesarios para la construcción de una vivienda unifamiliar			Inspección	□				
			Almacenamiento	▽				
#	Descripción de etapa del proceso	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Símbolo				
				○	➔	◻	□	▽
1	Almacenamiento de material expandible Styropor CHF 16	indefinido	-					x
2	Traslado de Styropor a la tolva del Preexpansor	indefinido	25		x			
3	Material se expande por inyección de vapor y aire	380	2	x				
4	Transporte del material a los silos para el reposo	30	3		x			
5	Mezcla y expansión del material en bloques de 15 kg/m3	380	10	x				
6	Almacenaje y traslado del bloque al pantógrafo	indefinido	11		x			x
7	Perfilado del bloque en planchas	400	13	x				
8	Almacenaje de paneles	indefinido	3					x
9	Residuos generados	indefinido	8			x		
10	Se tritura los residuos en el molino	240	3	x		x		
11	Almacenaje de alambre galvanizado	indefinido	-					x
12	Traslado de alambre a las hileras de enderezado de alambre	30	15		x			
13	Enderezado y corte de alambre	220	3	x				
14	Traslado del alambre a la máquina de electro soldado	20	6		x			
15	Colocación de del alambre en la tolva	10	1			x		
16	Elaboración de mallas	360	6	x				
17	Traslado de mallas y planchas para la elaboración de paneles	140	8		x			
18	Electro soldado de mallas con planchas de EPS	350	8	x				
19	Almacenaje de paneles EPS	indefinido	4					x
20	Confección de accesorios	360	10	x				
21	Prensado de perfiles	160	3	x				
22	Almacenaje de accesorios	indefinido	4					x
23	Corte a medida de los paneles de EPS	300	8	x				
24	Electro soldado de terminado de los paneles	240	6	x				
25	Pintado de logo en paneles	120	4	x				
26	Almacenaje de productos terminados	indefinido	15					x
27	Inspección de productos terminados	30	2				x	
28	Transporte y distribución de paneles EPS y accesorios	indefinido	-		x			x
Total		3930	181	12	7	3	1	8

3.1.2 Equipos de la línea de producción EPS

Los productos de la serie CHF 16 se pueden transformar en material expandido hasta en 3 fases que es pre expansión, reposo del material en los silos y expansión.

La fuente de energía más importante en la transformación de Styropor en materiales expandidos es el vapor de agua. El estado en que se encuentra este vapor de agua es de gran importancia para la transformación del Styropor y para la calidad de los materiales expandidos fabricados.

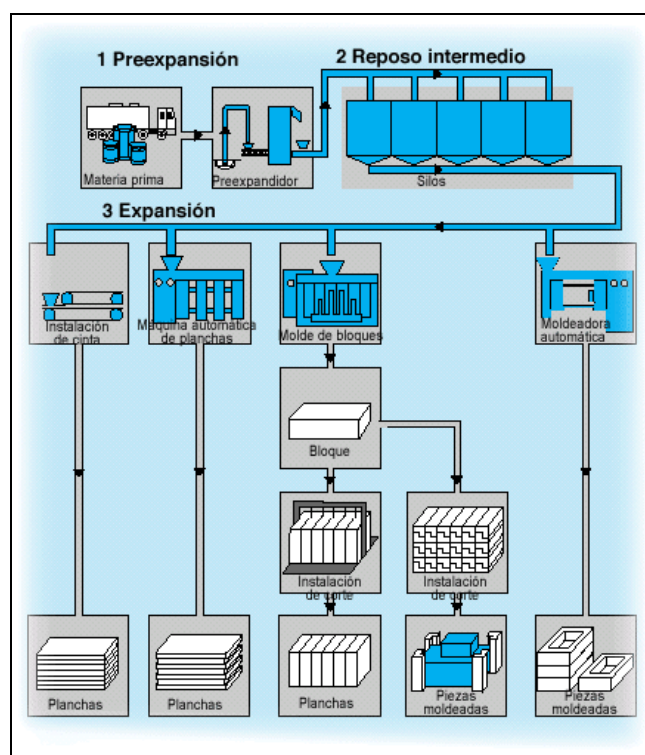


Figura 3.9: Ciclo de transformación del material expandible Styropor

Equipo pre-expansor.- La densidad mínima que se puede conseguir depende del tipo y modo de funcionamiento del equipo de pre-expansión. Para la posterior transformación de Styropor CHF 16 a bloques o piezas moldeadas a densidades habituales, se requiere de pre-expansores continuos técnicamente en buenas condiciones.

Su ciclo de funcionamiento básicamente es:

- Pre-calentamiento de la cámara de expansión sin material.
- Carga de la materia prima a la tolva del dosificador.
- Dosificación del material a la a cámara de expansión.
- Vaporización y expansión del material hasta alcanzar el nivel del sensor
- Descompresión de la cámara a presión atmosférica.
- Inmisión de aire para la estabilización del material.
- Descarga del material expandido.
- Secado y desgrumado del material expandido.
- Transporte del material a silos de reposo.



Figura 3.10: Equipo pre-expansor

Esta dividido en las siguientes partes:

Cuerpo pre-expansor, cuerpo de lecho de fluido, dosificador de material, cuadro eléctrico, motor reductor del agitador, motor reductor del desgrumador, motor carga de material silfin, motor ventilador de secado, motor ventilador de transporte a silos, sistema eléctrico de potencia, sistema de control, sistema de neumático, sistema de vapor, sistema de seguridad, sistema mecánico.

Sistema silos.- A mas de reposar el material expandible, este sistema evita la acumulación de polvo, aire contaminado, cargas electroestáticas., protege al material expandido de la humedad, protege de la irradiación solar directa, protege de los efectos del calor por lo que se mantienen los recipientes cerrados herméticamente en todo el sistema.

Luego del reposo del material este se traslada al silo del material virgen para la mezcla con el material reciclado en una proporción de 90/10 respectivamente. Luego es trasladado por el motor ventilador a la máquina de expansión de bloque.

El sistema está formado por 4 silos de reposo, 1 silo de material virgen para la mezcla, 1 silo de material reciclado para la mezcla, de 2 motor reductores para la mezcla, de un panel de control, la mezcladora, 2 motores ventiladores de transporte hacia los silos.



Figura 3.11: Sistema silos

Equipo expansor.- Los productos de la serie Styropor CHF 16 se transforman en material expandido en los moldes para bloques o en las moldeadoras correspondiendo a la tercera fase.

Piezas moldeadas pueden fabricarse con temperaturas del molde relativamente altas, tiempos de ciclo cortos y consumo de vapor específico reducido. También en el caso de moldes complicados se puede conseguir.

Mediante el traslado del material reposado y mezclado al silo de almacenamiento de material se elabora bloques de EPS, con el ingreso de vapor y aire.

Está compuesto este sistema por: el cuerpo o molde del bloque, por un panel de control, por el sistema de vapor, sistema neumático, sistema hidráulico, sistema eléctrico de potencia, sistema de control, sistema mecánico, un silo de almacenamiento, motor ventilador de la bloquera, motor ventilador para el secado, y un motor hidráulico.



Figura 3.12: Equipo expansor

3.2 Estado actual de los equipos

Es necesario detectar el grado de desgaste de las diferentes partes y mecanismos de cada uno de los equipos de la línea de EPS.


Mediante una inspección de campo en esta línea se determina las condiciones técnicas y funcionales en tiempo real, que nos permitirá mejorar los servicios de mantenimiento. La eficiencia de un equipo se traduce en producción realizada; si se tiene en cuenta dicha eficiencia, el estado técnico se evalúa como:

BUENO	90 a 100%
REGULAR	75 a 89%
MALO	50 a 74%

3.2.1 Estado técnico del pre-expansor

En la tabla 3.2 se detalla su estado técnico como BUENO con un 90% de eficiencia en la producción.


Tabla 3.2: ESTADO TÉCNICO DEL PRE-EXPANSOR

PRE-EXPANSOR			
Marca: Alessio		Responsable del manto: Ing. Edison Pazmiño	
Código técnico: PE0.5		Significado:	
Código de activo fijo:		Significado:	
Manuales: Si: X No:	Planos: Si: No: X	Repuestos: Si: X No:	
DATOS DE PLACA			
Potencia :16.5 kW Peso: 1500 Kg Presión de cámara: 0.5 bar Diámetro de la cámara: 1000 mm Voltaje: 440 V Frecuencia: 60 Hz Año de fabricación: 2004 Serie: 524 Fase:3 F			
ESTADO TÉCNICO.	MALO	REGULAR	BUENO
Estado del anclaje		X	
Estado de la carcasa y aislamientos.			X
Funcionamientos de los mecanismos.			X
Sistema eléctrico de potencia y control.			X
Sistema de alimentación de aire comprimido.			X
Sistema de vapor.			X
Sistema de seguridad			X
Estado de motores		X	
Estado de ventiladores		X	
Estado de motor reductores.		X	
Estado sensores.			X
Estado de válvulas.			X
Ubicación del equipo.		X	
Consumo de energía.		X	
Nivel de vibración.		X	
CONCLUSIÓN DE ESTADO TÉCNICO			
Bueno=8 8x1=8 Regular=7 7x0.80=5.6	Sumatoria $\Sigma = \text{bueno} + \text{regular}$ $\Sigma = 8 + 5.6 = 13.6$	Índice del estado técnico $IE = (\Sigma / 15) * 100\%$ $IE = (13.6 / 15) * 100\%$ $IE = 90\%$	Estado Técnico: BUENO

3.2.2 Estado técnico del Sistema silos

En la tabla 3.3 se detalla su estado técnico como BUENO con un 91.6 % de eficiencia en la producción.


Tabla 3.3: ESTADO TÉCNICO SISTEMA SILOS

SISTEMA SILOS			
Marca: Sew-Eurodrive		Responsable del manto: Ing. Edison Pazmiño	
Código técnico: SS6		Significado:	
Código de activo fijo:		Significado:	
Manuales: Si: No: X	Planos: Si: No: X	Repuestos: Si: No: X	
DATOS DE PLACA			
Potencia :6.34 kW Volumen: 150 m3 Diámetro de la cámara: 4m Voltaje: 220/400V Frecuencia: 60 Hz Año de fabricación: 2004 Serie: FHF27DT80N4 Fase:3 F			
ESTADO TÉCNICO.	MALO	REGULAR	BUENO
Estado del anclaje y carcasa			X
Estado de la lona.			X
Funcionamientos de los mecanismos.			X
Sistema eléctrico de potencia y control.			X
Sistema de seguridad			X
Estado de motores		X	
Estado de ventiladores		X	
Estado de motor reductores.		X	
Estado sensores.			X
Ubicación del equipo.			X
Consumo de energía.		X	
Nivel de vibración.		X	
CONCLUSIÓN DE ESTADO TÉCNICO			
Bueno=7 7x1=7 Regular=5 5x0.80=4	Sumatoria $\Sigma = \text{bueno} + \text{regular}$ $\Sigma = 7+4=11$	Índice del estado técnico $IE = (\Sigma/12) * 100\%$ $IE = (11/12) * 100\%$ $IE = 91.6\%$	Estado Técnico: BUENO

3.3.3 Estado técnico del expansor

En la tabla 3.4 se detalla su estado técnico como BUENO con un 92 % de eficiencia en la producción.

Tabla 3.4: ESTADO TÉCNICO DEL EXPANSOR

EXPANSOR			
Marca: Alessio		Responsable del manto: Ing. Edison Pazmiño	
Código técnico: EX15		Significado:	
Código de activo fijo:		Significado:	
Manuales: Si: X No:	Planos: Si: No: X	Repuestos: Si: X No:	
DATOS DE PLACA			
Potencia :16.5 kW Peso: 1500 Kg Presión: Temperatura: 70°C Volumen: 30 m3 Voltaje: 440 V Frecuencia: 60 Hz Año de fabricación: 2004 Serie: JK200R Fase:3 F			
ESTADO TÉCNICO.	MALO	REGULAR	BUENO
Estado del anclaje			X
Estado de la carcasa y aislamientos.		X	
Estado del silo de la bloquera.		X	
Funcionamientos de los mecanismos.			X
Sistema eléctrico de potencia y control.			X
Sistema de alimentación de aire comprimido.			X
Sistema hidráulico			X
Sistema de vapor.			X
Sistema de seguridad			X
Estado de motores		X	
Estado de ventiladores		X	
Estado sensores.			X
Ubicación del equipo.			X
Consumo de energía.		X	
Nivel de vibración.		X	
CONCLUSIÓN DE ESTADO TÉCNICO			
Bueno =9 9x1=9 Regular =6 6x0.80=4.8	Sumatoria $\Sigma = \text{bueno} + \text{regular}$ $\Sigma = 9 + 4.8 = 13.8$	Índice del estado técnico $IE = (\Sigma / 15) * 100\%$ $IE = (13.8 / 15) * 100\%$ $IE = 92\%$	Estado Técnico: BUENO

3.3 Mantenimiento empleado en los equipos

La Empresa Panecons no posee una planificación del mantenimiento; lo que se realiza es reparación o cambio, cuando los equipos fallan por lo que no se cuenta con un stock de repuestos o equipos en stand by para ser reemplazados.

De igual manera se realiza algún tipo de mantenimiento preventivo basado en inspecciones relativas y engrases cuando se piensa que la situación lo amerita pero no en todos los equipos.

No se tiene una atención a los registros de fallos, paradas o estado de los equipos con mayor desgaste o mayor probabilidad de fallo

Es de conocimiento que con el análisis de vibraciones en la línea de EPS nos permitirá cumplir con las tareas a realizarse en los equipos de una forma sistemática y organizada teniendo como partida el estado real del equipo.

El taller de mantenimiento, posee una infraestructura, cuenta con algunas herramientas, materiales, repuestos, que se los conservan en su espacio físico correspondiente, pero sin atención en cuanto a su gestión y tecnología.

Las actividades de mantenimiento y emergencias que se presentan en su mayor parte las solicita producción, mediante su jefe o a petición del operario de equipo quedando ausente una documentación que sirva como respaldo para evaluar el mantenimiento.

En cuanto al mantenimiento predictivo no se lo aplica, haciendo difícil la determinación de la tendencia de la aparición de una falla potencial.

A ello se suma el desconocimiento de los técnicos en determinar el tipo de mantenimiento que se debe aplicar a los equipos críticos dentro de los procesos.

3.4 Documentación existente

Actualmente el departamento de mantenimiento tiene cierta documentación, en cuanto a los trabajos realizados y a realizar, pero en su contexto no aporta con información importante para la toma de decisiones, por lo que es necesario diseñar un nuevo formato, que integre los tiempos de buen funcionamiento del equipo, tiempos de mantenimiento realizado y control de vibraciones, como se sugiere en los Anexo 8.

El inventario de los equipos es incompleto, en tanto los manuales, catálogos son referenciales, lo que hace necesario levantar los datos técnicos de los equipos de la línea de EPS para realizar el análisis vibracional y estandarización de las tareas.

La gestión de los recursos de mantenimiento es limitada, debido a que no existe documentación tales como orden de trabajo, solicitud de trabajo, solicitud de materiales, repuestos y herramientas egreso de bodega, orden de compra e historial de averías, haciendo difícil la retroalimentación de datos en la planificación del mantenimiento y el control y evaluación del mantenimiento, así mismo se sugiere los formatos expuestos en los anexos 9, 10 y 11.

CAPÍTULO IV

4. EQUIPO DE DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL

4.1 Determinación de frecuencias

La frecuencia de intervención para el análisis de vibraciones en la línea de producción de EPS se la determina relativamente en base a que el sistema de producción es un proceso continuo, y una falla funcional que se presente en los equipos rotatorios afectaría en su totalidad la producción de paneles de EPS, además, el estado técnico de los equipos analizados por inspección es restringidamente bueno y teniendo en cuenta que los métodos de trabajo de mantenimiento no aporta con información, dado que no tienen un historial de fallas; que garantice el cálculo del tiempo medio entre falla TMEF.

Por tales razones, junto con la participación y apoyo de los departamentos de mantenimiento y producción, se establece una frecuencia trimestral que permita tener, el control de la condición del estado real del equipo, su comportamiento en su funcionamiento y la tendencia de la falla. Donde el estado del equipo determine su intervención, dentro de las tareas de mantenimiento.

Las frecuencias determinadas están expuestas a cambios, por la retroalimentación de información que esta genere. Lo ideal es llevar un control estricto de cada falla, cuál fue su causa, que complicaciones causo, que tiempo se tardo en reparar, con cuanto personal se intervino, etc.

4.2 Determinación de los sensores de medición a utilizarse

El sensor a utilizarse es un acelerómetro de base magnética, ya que tiene la ventaja respecto al transductor de velocidad de ser más pequeño, tener mayor rango de frecuencia, y poder integrar la señal para obtener velocidad o desplazamiento vibratorio.

El sensor de desplazamiento se utiliza para medir directamente el movimiento relativo del eje de una máquina respecto a su descanso, tiene buena respuesta en baja frecuencia pero no necesaria para el estudio en la línea de EPS.

Este acelerómetro es amplio para maquinaria de alta velocidad de la línea de EPS, su rango de las frecuencias a medir es de 0 a 400 kHz, la sensibilidad para recibir la señal es de 100 mV/g. La Tabla 4.1 indica rangos de frecuencias de sensores de vibraciones típicos.

Tabla 4.1: SELECCIÓN DE SENSOR A UTILIZAR

Tipo de sensor	Rango de frecuencia
Transductor de proximidad	0 a 400 Hz
Transductor de velocidad	2 a 1000 Hz
Acelerómetro	0 a 400 kHz

4.3 Características del colector de datos [15]

El colector de datos Detector II es un instrumento de medición portátil, de adquisición y almacenamiento de datos. Registra vibraciones, temperaturas y otras mediciones de control del estado de la maquinaria, es de fabricación Estadounidense de la marca FAG Industrial Services, desarrollada con el software de PC Trendline 2 para la comparación de los datos para los sistemas de vigilancia desconectados.



Figura 4.1: Equipo de medición Detector II

4.3.1 Principio de funcionamiento del detector II

El detector II es un instrumento de medición portátil, este mide, los sentidos de las vibraciones en puntos pre-determinados usando un sensor y trabajando con valores RMS, valores de velocidad de vibración, aceleración en la vibración y las demodulaciones, para la caracterización de la máquina o la condición del componente. Además, el Detector II puede medir temperaturas usando un sensor infra-rojo.

Una vez finalizada una ronda de medición, los valores característicos medidos pueden ser grabados, estos datos se transfieren a una computadora dónde son evaluados, analizados y gráficamente representados, usando el software Trendline 2.

La ubicación exacta del punto de la medición dentro del sistema es supervisada y guardada en la configuración, allí, la sensibilidad del sensor traduce la vibración en señales eléctrica en cada punto de la medición y valora la alarma principal o preliminar y también se guarda.

La configuración es creada, usando el software Trendline 2 y transferida al Detector II antes de la medición. Para medir, el sensor de vibración es fijado a un punto de la medición pre-determinado con la ayuda de un pegado de imán. Si éste no puede ser fijado debido al material (Aluminio), mediante el pegado magnético. Este tiene que ser pegado al punto de medición con la ayuda de un adhesivo duro (por ejemplo los acrílicos azules).







La configuración del punto de la medición se selecciona en el Detector II y se empieza la medición. El Detector II archiva el sensor señala banda ancha y trabajos con los valores característicos. Estos valores característicos se guardan y transfirieron a la computadora una vez terminada la ronda de medición.

Para cada punto de la medición Trendline 2 compara los valores característicos con los valores límites puestos para este punto de la medición para la alarma principal o preliminar respectivamente. Cualquier pico que se exceda será reportado. Los valores

característicos establecidos son guardados y graficados dependiendo de la medición del punto en el tiempo.

4.3.2 Significado de las teclas del colector

El detector II es fácil de utilizar, este colector tiene 6 comandos como se ve en la figura 4.2 con su respectivo significado.

Key	Legend
	On/Off key
	Selection key: Select menu item above
	Selection key: Select menu item below
	Switch display backlight on and off
	Cancel key: Cancel action, go one menu level back
	Enter key: Confirm selection

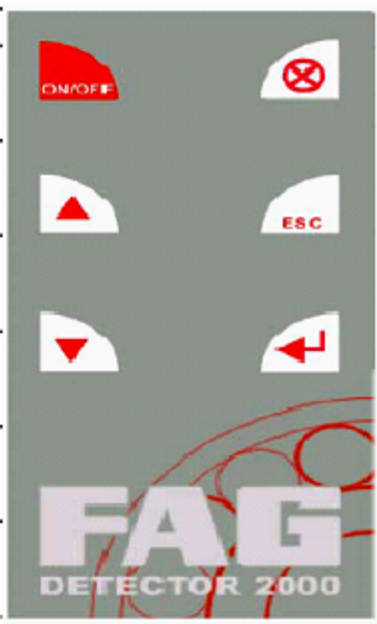


Figura 4.2: Significado del teclado Detector II

4.3.3 Conexión del detector II al software Trendline 2

El detector II está diseñado para trabajar conjuntamente con el software Trendline 2, previamente se deberá establecer una base de datos y fijar la ruta de medición creada, con lo que se estará en condiciones de poder empezar a trabajar con el Detector II de la siguiente manera.

- Instalar el software en el PC
- Crear la configuración de la planta en el software (base de datos)

- Conectar el Detector II al PC y encenderlo
- Enviar la configuración al Detector II
- Enviar la ruta(s) de medición al Detector II
- Tomar mediciones con el Detector II a lo largo de la ruta
- Importar las mediciones a Trendline 2.

Detector II puede ser fácilmente conectado a la interface serial del PC standard si se usa el cable suministrado en el paquete de Trendline 2.

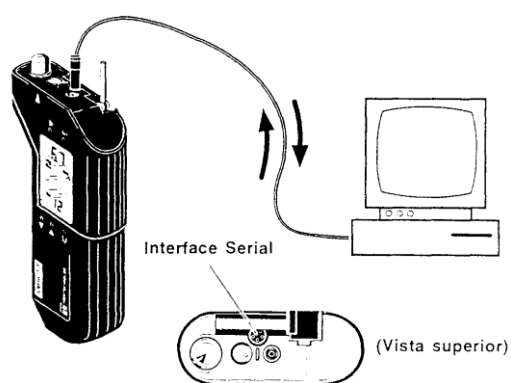


Figura 4.3: Conexión del Detector al PC

Con el Trendline 2 se podrá continuar verificando las mediciones con respecto a excesos de alarma y desplegar a su vez gráficamente las mediciones para un análisis de tendencia que se observara más adelante.

4.4 Software de aplicación para el análisis vibracional

El software Trendline 2 es el programa del servidor para el Detector II. El propio Detector se diseña para grabar los datos que se midió. Toda la administración de los datos y las tareas de la evaluación se llevan a cabo por Trendline 2 software.

El software configura el monitoreo de un sistema y evalúa, análisis y almacena los datos medidos al sistema de el Detector.

Además, Trendline 2 controla los datos que se intercambian entre el Detector-computador con el Trendline 2 software se corre, los datos procesados.

Una computadora como mínimo Pentium 3 para cargar el software Trendline 2 donde se establece el nombre de la planta, área y las máquinas a medir, sus puntos respectivos, las tolerancias de acuerdo a los equipos que se analizará; las rutas de medición y se configura el sensor a utilizar en este caso el acelerómetro Rainger IP-M con una sensibilidad de 100 mV/g.

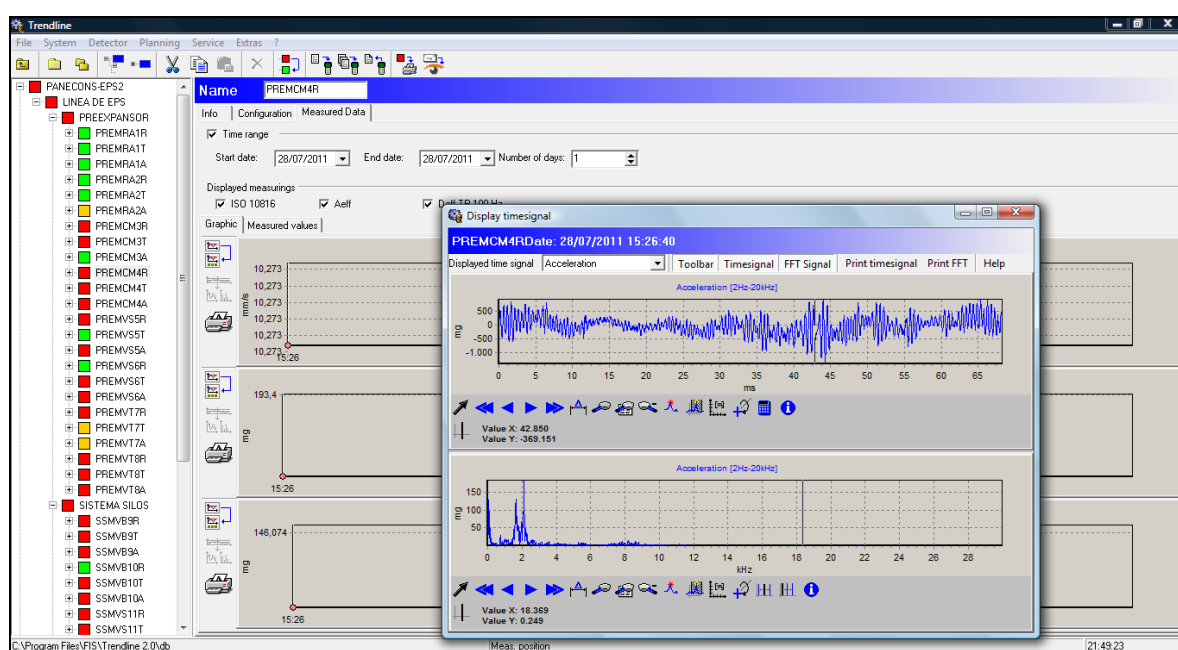


Figura 4.4: El software Trendline 2

4.4.1 Interfaz del usuario - Ventana principal

En la ventana principal se encontrará la barra del menú dónde se puede comandar las funciones del programa. En el lado izquierdo de la ventana se estructura la configuración para el sistema a ser monitoreado, en forma arbórea. Las Configuraciones, se hacen en el orden descendente en los diferentes niveles: sección, máquina y punto de medición.

Así, un punto de la medición dentro de una configuración se define claramente por esta denominación así como la especificación y situación de la máquina el lugar medido será encontrado fácilmente, como se observa en la figura 4.4

Al lado de la denominación de cada elemento de la configuración y estructura del sistema se encuentra un campo marcado en color, este indica la condición de la alarma para esta parte del sistema.

Tabla 4.2: CONDICIÓN DE ALARMA

Color	Condición	Acción
Verde	Nivel normal	No requiere seguimiento
Amarillo	Nivel preliminar	Requiere seguimiento
Rojo	Nivel de alarma	Requiere intervención

En el lado diestro al lado de la configuración y estructura del sistema se puede insertar una imagen. Al nivel más alto usted encontrará el recuadro dónde se puede ajustar las escenas de los puntos de medición individuales.

4.4.2 La barra de menú

La barra del menú permite el acceso a las funciones siguientes del software Trendline 2:

Tabla 4.3: BARRA DE MENÚ

MENÚ	ÍTEMS	SU FUNCIÓN
File	New	Crea un nuevo archivo
	Open	Abre un archivo que ya existe.
	Import	Carga a Trendline 1.x-archivo a un archivo exportado usando Trendline 2.x.
System	Export	Exporta parte de la estructura de un punto de medición actual
	Close	Cierra el Trendline 2 software.
	To root level	Toma su posición actual en el árbol en seguida regresa al principio, todo el tiempo.
	Rename	Permite cambiar el nombre de un elemento seleccionado

	New ítem	Inserta un elemento en la estructura de la configuración en el mismo nivel actual como desplegó.
	New subítem	Inserta un elemento en la estructura de la configuración dentro del nivel más alto como subnivel.
	Expand	Despliega todos los componentes del elemento seleccionado dentro de la configuración.
	Close	Cierra la estructura del árbol completa.
	Cut	Corta fuera el elemento actual del árbol.
	Copy	Realiza copias del elemento actual del árbol.
	Paste	Pega el elemento en el portapapeles en la posición actual en el árbol.
	Delete ítem	Borra la entrada actual al árbol con todos lo subalterno-entrada.
	Delete measured data	Borra los datos de medición de la posición actual. La estructura de la configuración no es cambiada
	Reset alarm status	Restablece todas las alarmas para el elemento de la configuración la estructura del sistema seleccionado.
Detector	Send configuration	Envía todos los puntos de la medición del elemento actualmente seleccionado de la PC hacia el Detector.
	Send route	Envía una de las rutas pre-seleccionadas de la PC al Detector.
	Load data from Detector.	Abre una conexión al Detector y transmite todos los datos guardado en el Detector.
	Configure Detector	Permite poner todas las opciones al Detector registrado.
Planning	Sensor	Agrega, revisa y anula los sensores.
	Route	Edita las rutas para trabajos fuera(en campo)
	Template	Define y revisa las medidas de la configuración que pueden usarse.
Service	EService	Envía los datos seleccionados para el análisis extenso.
	Alarm report	Crea un informe de la alarma.
	Route report	Crea un informe de la ruta.

4.4.3 Barra de herramientas

Las funciones frecuentemente usadas del software Trendline 2 pueden usarse vía el toolbar (barra de herramientas). Ver anexo 12.

4.4.4 Valores característicos para la configuración

El Detector II puede almacenar hasta 4 diferentes variables a monitorear característicos por punto de medición seleccionados. Siendo los siguientes: Ver tabla 4.4.

Tabla 4.4: VALORES CARACTERÍSTICOS DEL SOFTWARE TRENDLINE 2

Characteristic value	Legend
ISO 10816	RMS-value of vibration velocity Frequency range: 10 Hz to 1 kHz Unit: mm/s
v_{sel}	RMS-value of vibration velocity with freely selectable upper and lower limiting frequency Frequency range: 2 Hz to 1 kHz Unit: mm/s
a_{eff}	RMS-value of acceleration in vibration Frequency range: 2 kHz to 20 kHz Unit: g
a_{sel}	RMS-value of acceleration in vibration with freely selectable upper and lower limiting frequency Frequency range: 2 Hz to 20 kHz Unit: g
d_{eff}	Demodulation signal of acceleration in vibration with settable low-pass Frequency range: 0 Hz to 100 Hz/ 1 kHz Unit: g
d_{sel}	RMS-value of acceleration in vibration with freely selectable upper and lower limiting frequency Frequency range: 0 Hz to 100 Hz/ 1 kHz Unit: g
T	Temperature Range: -15°C to +250°C Unit: °C

4.4.5 Registro de sensores

Antes de configurarlo se tendrá que definir los sensores que le gustaría usar, algunos sensores son pre-definidos como el sensor de temperatura que usted puede pedir con el Detector II

Para crear un nuevo sensor de aceleración, proceda como sigue:

- Click en **Detector** ➔ **Sensor** ➔ **Add** en la barra del menú. Una nueva ventana es abierta. Figura 4.5.

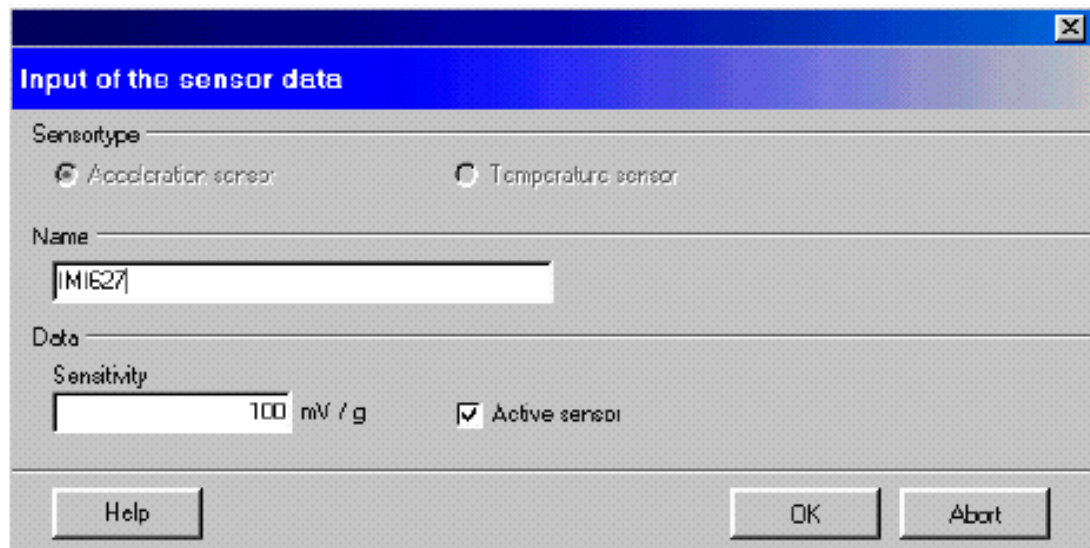


Figura 4.5: Ventana para agregar nuevos sensores

- Nombre del sensor, por ejemplo "IMI 627."
- Entrar la sensibilidad del sensor. Esto está impreso hacia el sensor o provisto en la configuración del software (datasheet). Normalmente, es 100 mV/g.
- Verifique el campo "Sensor Activo." Haciendo que el voltaje de suministro de sensor del Detector se encienda en un alto-paso se conecta para filtrarse fuera del voltaje que proporcione la medición.
- Click OK para guardar el nuevo sensor.

4.4.6 Registro del nuevo detector

El software Trendline 2 tiene una base de datos para administrar todos los detectores que usa con su programa. Antes de enviar los datos la primera vez al Detector para, ser registrado a Trendline 2. Para hacer que, se conecten el Detector II al puerto serial de su computadora se usa el cable de transmisión de datos proporcionado y se enciende el Detector. Ahora se sigue la secuencia mostrada abajo. Figura 4.6

- Click en **Detector** ➔ **Configure Detector**.

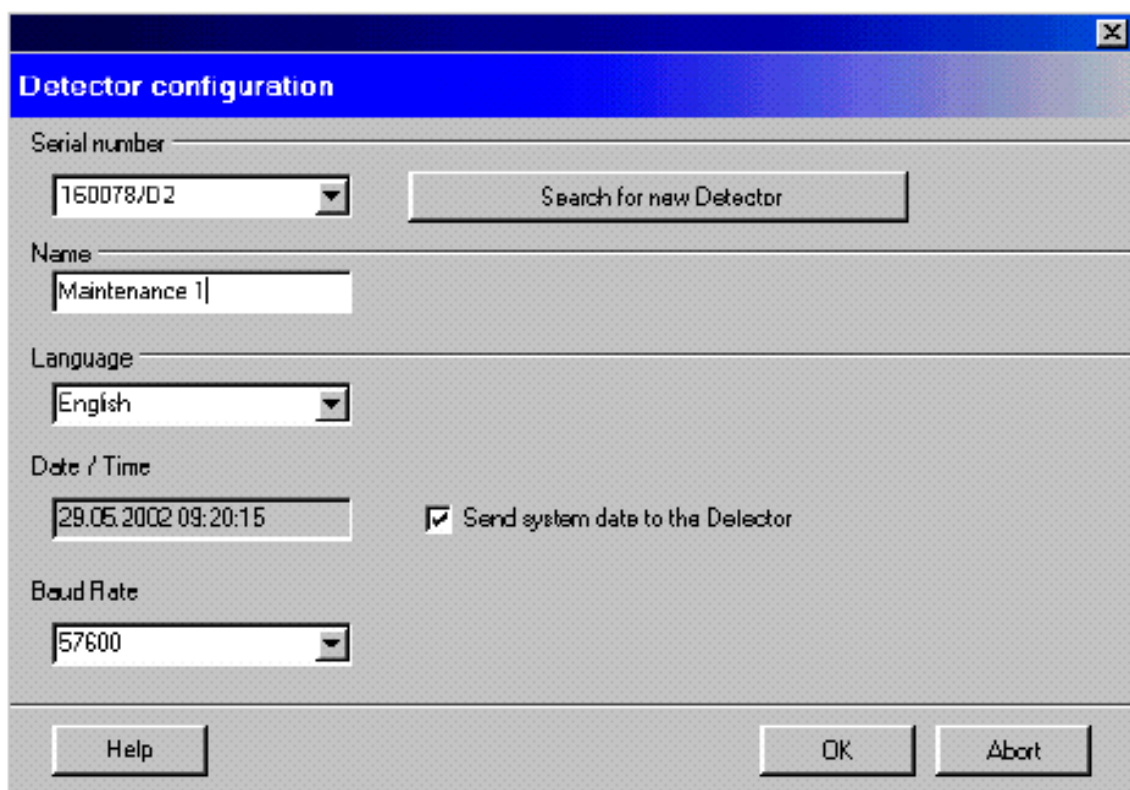
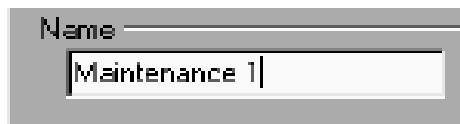


Figura 4.6: Ventana de configuración del Detector

- Conecte el Detector a su PC y lo enciende. Haga clic en la Búsqueda para el nuevo Detector para registrar el nuevo Detector adelante el programa.
- Usted puede dar un nombre al Detector que se desplegará como predeterminado al encender el instrumento.



- Usted puede seleccionar el idioma para el Detector. No obstante todavía puede ser cambiado en el Detector



- En esta ventana se puede configurar la fecha, hora y enviar al Detector
- Se puede seleccionar la proporción de transmisión de datos del Detector. Bajo las circunstancias normales, usted debe seleccionar el más alto posible (57,6 kbps). En el caso de problemas con la comunicación (por ejemplo los descansos de conexión abajo a veces) usted puede seleccionar la más baja proporción de transmisión de datos de 38,4 kbps.
- Después de completar todas las escenas, haga clic en OK para enviar los cambios al Detector. Se asegura que el Detector este encendido al pulsar el botón OK, porque por otra parte ninguna comunicación es posible.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO

5.1 Determinación de equipos categoría A

La metodología para la determinación de los equipos críticos de la línea de EPS están sujetos a 2 factores; la frecuencia de falla y consecuencia de su aparición, estos criterios y su cuantificación está basada en la teoría de riesgo:

$$\text{Críticidad total} = \text{Frecuencia de falla} * \text{Consecuencia} \quad (5.1)$$

$$\text{Frecuencia de falla} = \text{numero de fallas en un tiempo determinado} \quad (5.2)$$

$$\text{Consecuencia} = ((\text{Impacto Operacional} * \text{Flexibilidad Operacional}) + \text{Costos de Mantenimiento} + \text{Impacto en Seguridad, Ambiente y Higiene}) \quad (5.3)$$

Para obtener el valor de criticidad de cada equipo se toma los valores totales individuales de cada uno de los factores principales, la frecuencia y consecuencia se ubican en la matriz de criticidad, este esquema permite jerarquizar en tres áreas

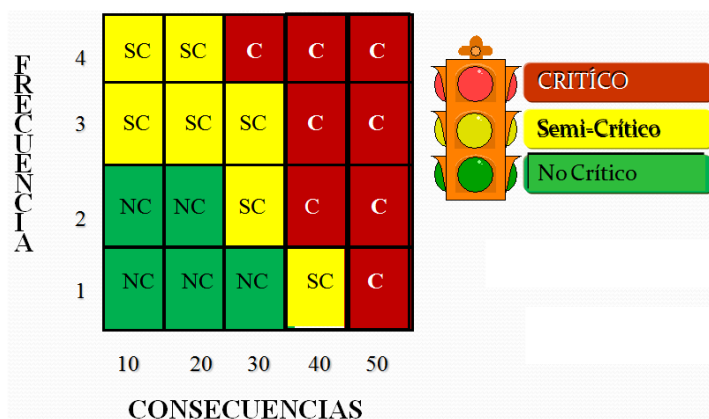


Figura 5.1: Matriz de criticidad


En la tabla 5.1 se indica los criterios a ser evaluados en los equipos rotatorios de la línea de EPS, para los costos de mantenimiento se toma como referencia mínima un valor de 1000 USD.

Tabla 5.1: CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

CRITERIOS DE CRITICIDAD	CUANTF
1. Frecuencia de falla:	
Parámetro mayor a 4fallas/año	4
Promedio 2-4 falla /año	3
Buena 1-2 falla/año	2
Excelente menores de 1 falla/año	1
2. Impacto operacional:	
Parada inmediata total	10
Parada del complejo planta y tiene repercusiones en otros complejos	6
Impacto en niveles de producción o calidad	4
Repercute en los costos operacionales, asociados a disponibilidad	2
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1
3. Flexibilidad operacional:	
No existe opción de producción y no existe función de repuesto	4
Hay opción de repuesto compartido	2
Función de repuesto disponible	1
4. Costos de mantenimiento:	
Costos altos	2
Costos bajos	1
5. Impacto en seguridad ambiente y higiene:	
Afecta la seguridad humanan tanto externa como interna	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores(accidentes/incidentes)personal propio	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	0

Los resultados obtenidos en tabla 5.1 y 5.2 son el resultado de las opiniones y análisis de los datos por parte de la participación del departamento de mantenimiento y producción, es por ello que es muy importante si no se tiene datos históricos de las fallas de las máquinas, que el equipo sea conformado con personal de las diferentes áreas.

Tabla 5.2: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LA LÍNEA DE EPS

		ANÁLISIS DE CRITICIDAD							
Empresa: PANECONS		Ubicación: LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE EPS							
Proceso	Equipos	FF	IO	FO	CM	ISAH	CONSEC	CT	CATEGORÍA
Pre-expansión	Motor reductor del agitador	2	10	4	2	4	46	92	CRITICO
	Motor de carga de material	3	10	4	2	4	46	138	CRITICO
	Motor ventilador de secado	3	10	4	2	0	42	126	CRITICO
	Motor ventilador de transporte silos	3	10	4	2	4	46	138	CRITICO
	Motor reductor del desgrumador	1	1	2	1	0	3	3	NO CRITICO
Sistema silos	Motor ventilador de silos	4	10	4	2	4	46	184	CRITICO
	Motor ventilador de la bloquera	4	10	4	2	4	46	184	CRITICO
	Motor de mezcla material virgen	2	10	4	1	0	41	82	CRITICO
	Motor de mezcla material residuo	1	1	1	1	0	2	2	NO CRITICO
Expansor	Motor ventilador de la bloquera	3	10	4	2	4	46	138	CRITICO
	Motor ventilador de secado	3	10	4	2	4	46	138	CRITICO
	Motor Bomba hidráulica	2	10	4	2	4	46	92	CRITICO

La política de mantenimiento a establecer en los equipos de categoría crítica corresponde a, lograr la máxima disponibilidad de la línea de EPS para lo cual se recomienda:

- Mantenimiento Predictivo: Utilización de análisis de vibraciones.
- Mantenimiento Preventivo: Emplear el sistema de mantenimiento preventivo planificado.
- Mantenimiento Correctivo: En el caso de reparaciones imprevistas.

5.2 Determinación de los puntos de medición

Una vez determinado los 10 equipos críticos que requieren el monitoreo de vibraciones se establece la ubicación y orientación de los puntos de medición con las direcciones axial, radial y tangencial.

5.2.1 Ubicación de los puntos de medición máquina de pre-expansión


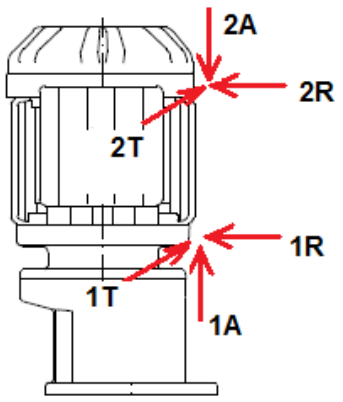
ORDEN	EQUIPO/ CÓDIGO	ESQUEMA
1	Motor reductor agitador-PREMRA 	

Figura 5.2: Puntos de medición del motor reductor agitador


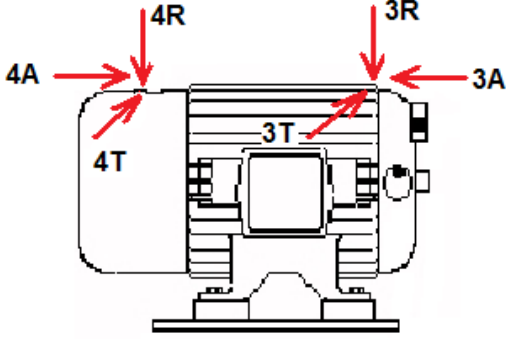
ORDEN	EQUIPO/ CÓDIGO	ESQUEMA
2	Motor carga material-PREMCM 	

Figura 5.3: Puntos de medición del motor carga material


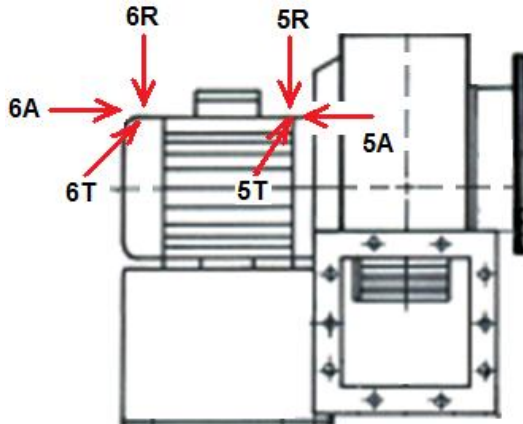
ORDEN	EQUIPO/ CÓDIGO	ESQUEMA
3	Motor ventilador secado-PREMV5 	

Figura 5.4: Puntos de medición del motor ventilador secado


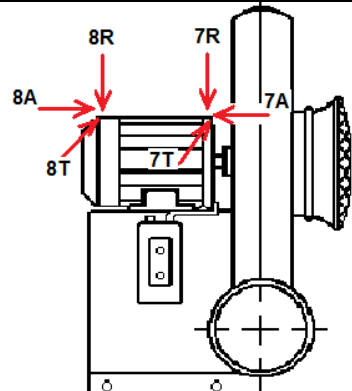
ORDEN	EQUIPO/ CÓDIGO	ESQUEMA
4	Motor ventilador transporte-PREMT 	

Figura 5.5: Puntos de medición del ventilador transporte

5.2.2 Ubicación de los puntos de medición sistema de silos


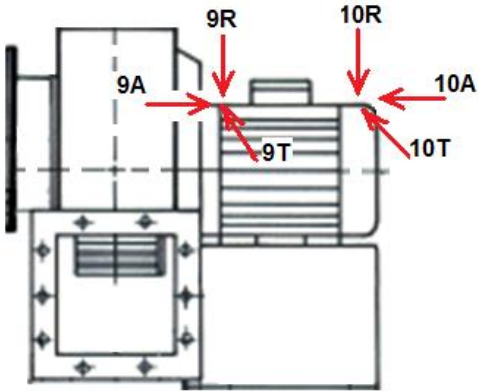
ORDEN	EQUIPO/ CÓDIGO	ESQUEMA
5	Motor ventilador bloquera-SSMVB 	

Figura 5.6: Puntos de medición del motor ventilador bloquera


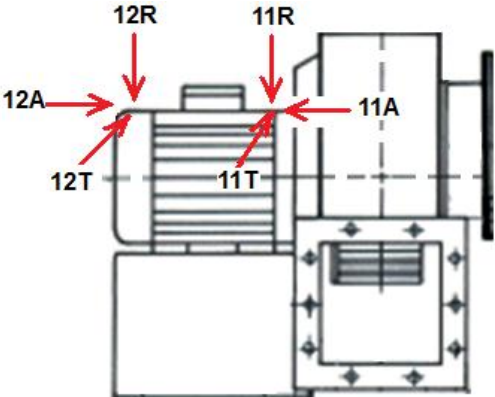
ORDEN	EQUIPO/ CÓDIGO	ESQUEMA
6	Motor ventilador silo-SSMVS 	

Figura 5.7: Puntos de medición del motor ventilador silo


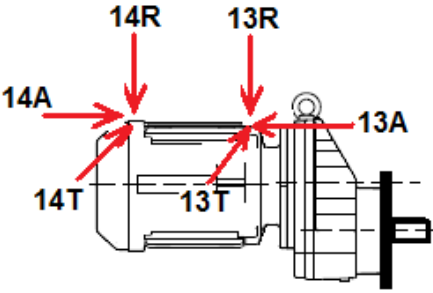
ORDEN	EQUIPO/ CÓDIGO	ESQUEMA
7	Motor material virgen -SSMMV 	

Figura 5.8: Puntos de medición del motor material virgen

5.2.3 Ubicación de los puntos de medición máquina expansor


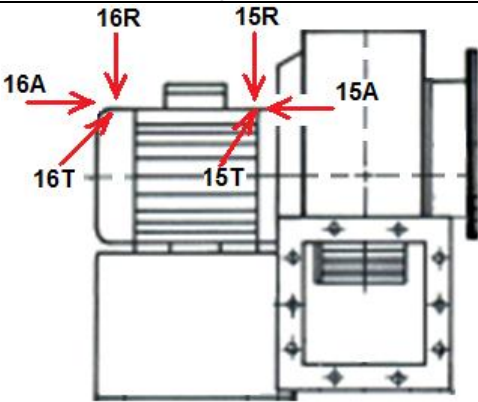
ORDEN	EQUIPO/ CÓDIGO	ESQUEMA
8	Motor ventilador bloquera-EXMVB 	

Figura 5.9: Puntos de medición del motor ventilador bloquera


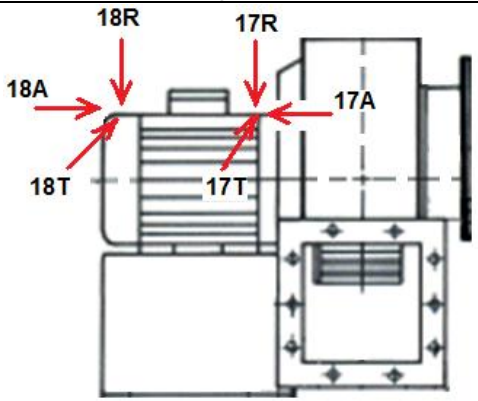
ORDEN	EQUIPO/ CÓDIGO	ESQUEMA
9	Motor ventilador secado-EXMVS 	

Figura 5.10: Puntos de medición del motor ventilador secado


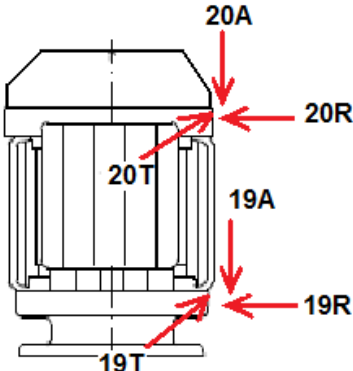
ORDEN	EQUIPO/ CÓDIGO	ESQUEMA
10	Motor bomba hidráulica-EXMBH 	

Figura 5.11: Puntos de medición del motor bomba hidráulica

5.3 Creación de fichas técnicas para el análisis de vibraciones

Las Fichas técnicas para el análisis vibracional contienen los datos más sobresalientes, información que ayudara a tomar decisiones y servirá como modelo para los equipos de las otras líneas producción de la empresa.

A continuación se muestra el diseño e información de cada equipo de la línea de EPS:

Tabla 5.3: FICHA TÉCNICA MÁQUINA EXPANSOR


MÁQUINA EXPANSOR			
Marca: Alessio		# de serie: JK200R	
Modelo: EX15		Año de fabricación o adquisición: 2004	
Fabricante o vendedor: Alessio Tech machinery		Costo de adquisición:	
CARACTERÍSTICAS GENERALES:			
Potencia : 16.5 KW Peso: 1500 Kg Presión: Temperatura: 70°C Volumen: 30 m3 Voltaje: 440 V Frecuencia: 60 Hz Serie: Fase: 3 F			
MOTOR VENTILADOR BLOQUERA			
Marca: JKF Industrial	Modelo M: 7AABOMO22	Modelo ventilador: JK-200R	
Tipo: Centrifugo radial		Año de fabricación o adquisición: 2004	
RPM: 3250	Potencia: 2.2 KW	Voltaje: 440V	Temp. Amb = 70°C.
# de paso: 8 alabes	HZ: 60	Peso: 54 Kg	Tipo: Jaula de ardilla
Categoría: Critico	Política: Matto Predictivo por Análisis Vibracional		Cos Φ = 0.85.
MOTOR VENTILADOR SECADO			
Marca: JKF Industrial	Modelo: 7AABOMO22	Tipo ventilador: JK-200R	
Tipo: Centrifugo radial		Año de fabricación o adquisición: 2004	
RPM: 2800	Potencia: 1.1 KW	Voltaje: 440 V	Temp. Amb = 70°C.
# de paso:	HZ: 60	Peso: 41 Kg	Tipo: Jaula de ardilla
Categoría: Critico	Política: Matto Predictivo por Análisis Vibracional		Cos Φ = 0.85.
MOTOR BOMBA HIDRÁULICA			
Marca: SCHAFFER		# de serie: N/A	
Modelo: TEFA00048-404		Año de fabricación o adquisición: 2004	
RPM: 1716	Potencia: 3.4 KW	Voltaje: 440 V	Temp. Amb = 40°C.
HZ: 60	Fase: 3	Peso: 58 Kg	Tipo: Jaula de ardilla
Categoría: Critico	Política: Matto Predictivo por Análisis Vibracional		Fp = 0.82

Tabla 5.4: FICHA TÉCNICA MÁQUINA PRE-EXPANSOR



MÁQUINA PRE-EXPANSOR			
Marca: Alessio Tech machinery		# de serie: 524	
Modelo: PE 0.5		Año de fabricación o adquisición: 07/2004	
Fabricante o vendedor: Alessio Tech machinery		Costo de adquisición:	
CARACTERÍSTICAS GENERALES:			
Potencia : 16.5 KW Peso: 1500 Kg Presión de cámara: 0.5 bar Diámetro de la cámara: 1000 mm Voltaje: 440 V Frecuencia: 60 Hz Año de fabricación: 2004 Serie: 524 Fase: 3 F			
MOTOR REDUCTOR AGITADOR			
Marca: SIEMES		# de serie: N/A	
Modelo: N/A		Año de fabricación o adquisición: 2004	
RPM: 2900	Potencia: 5.5KW	Voltaje: 440V	Temp. Amb = 40°C.
HZ: 60	i : 13.33	# de fases: 3	Tipo: Jaula de ardilla
Categoría: Critico	Política: Matto Predictivo por Análisis Vibracional		Cos Φ = 0.81.
MOTOR CARGA DE MATERIAL			
Marca: SIEMES		# de serie: N/A	
Modelo: N/A		Año de fabricación o adquisición: 2004	
RPM: 1720	Potencia: 1.1KW	Voltaje: 440 V	Temp. Amb = 40°C.
Lb: 60cm	i : 1720/129	Φ polea mayor: 100mm	HZ: 60
Categoría: Critico	Política: Matto Predictivo por Análisis Vibracional		Cos Φ = 0.71.
MOTOR VENTILADOR SECADOR			
Marca M: SIEMES	Modelo: RP351	# de serie: 03.06053-001	
Fabr. ventilador: Moro		Año de fabricación o adquisición: 2004	
RPM: 3460	Potencia: 1.5 KW	Voltaje: 440 V	Temp. Amb = 40°C.
# de paso: 6 alabes	Tipo: ventilador radial	HZ: 60	Tipo: Jaula de ardilla
Categoría: Critico	Política: Matto Predictivo por Análisis Vibracional		Cos Φ = N/A.
MOTOR VENTILADOR TRANSPORTE			
Marca M: SIEMES	Modelo: 1LAF1302AA90	# de serie: E0310/343454	
Fabr. Ventilador: kongskilde		Modelo: TRL75	Año de fabricación o adquisición: 2004
RPM: 3525	Amp: 9.5	Voltaje: 440 V	Temp. Amb = 40°C.
# de paso: 8 alabes	Tipo: ventilador radial	HZ: 60	Peso: 37 Kg
Categoría: Critico	Política: Matto Predictivo por Análisis Vibracional		Fp: 0.90
MOTOR VENTILADOR DESGRUMADOR			
Marca: SIEMES		# de serie: N/A	
Modelo: 1LA7073-6AA91-Z		Año de fabricación o adquisición: 2004	
RPM: 1060	Amp: 0.9	Voltaje: 440 V	Temp. Amb = 40°C.
Categoría: No critico	Política: Matto preventivo planificado		Cos Φ = N/A.

Tabla 5.5: FICHA TÉCNICA SISTEMA SILOS

SISTEMA SILOS			
Marca: Sew-Eurodrive		# de serie: FHF27DT80N4	
Modelo: SS6		Año de fabricación o adquisición: 2004	
Fabricante o vendedor: Alessio Tech machinery		Costo de adquisición:	
CARACTERÍSTICAS GENERALES:			
Potencia : 6.34 KW Volumen: 150 m3 Diámetro de la cámara: 4m Voltaje: 220/400V Frecuencia: 60 Hz Año de fabricación: 2004 Fase: 3 F			
MOTOR VENTILADOR SILO			
Marca: STUTZEN		# de serie: 04020233	
Modelo: T90L-2ABER		Año de fabricación o adquisición: 2004	
RPM: 3460	Potencia: 2.64 KW	Voltaje: 440V	Temp. Amb = 40°C.
# de paso: 6 alabes	Tipo: centrifugo radial	Peso: 14 Kg	Tipo: Jaula de ardilla
Categoría: Critico	Política: Matto Predictivo por Análisis Vibracional		Cos Φ = 0.85.
MOTOR VENTILADOR BLOQUERA			
Marca: STUTZEN		# de serie: 112504	
Modelo: T90L-2ABER		Año de fabricación o adquisición: 2004	
RPM: 3460	Potencia: 2.2 KW	Voltaje: 440 V	Temp. Amb = 40°C.
# de paso: 6 alabes	Tipo. Centrifugo radial	# de fases: 3	Tipo: Jaula de ardilla
Categoría: Critico	Política: Matto Predictivo por Análisis Vibracional		Cos Φ = 0.78.
MOTOR DE MEZCLA DE MATERIAL VIRGEN			
Marca: Sew-Eurodrive		# de serie: N/A	
Modelo: FHF270T80N4		Año de fabricación o adquisición: 2004	
RPM: 1680	Amp: 3.35	Voltaje: 220 V	Temp. Amb = 40°C.
i : 6.9	HZ: 60	Peso: 16.2 Kg	Tipo: Jaula de ardilla
Categoría: Critico	Política: Matto Predictivo por Análisis Vibracional		Fp = 0.73
MOTOR DE MEZCLA DE MATERIAL RECICLADO			
Marca: Sew-Eurodrive		# de serie: N/A	
Modelo: FHF270T80N4		Año de fabricación o adquisición: 2004	
RPM: 1680	Amp: 3.35	Voltaje: 220 V	Temp. Amb = 40°C.
i : 6.9	HZ: 60	Peso: 16.2 Kg	Fp: 0.73
Categoría: No critico	Política: Mantto preventivo planificado		Tipo: Jaula de ardilla

5.4 Diseño de la configuración del sistema a monitorear

Una vez configurado el sensor y detector, damos un clic en la carpeta (new ítem) para crear y establecer códigos para cada equipo a ser monitoreado, en esta pantalla se establece el nombre de la planta Panecons

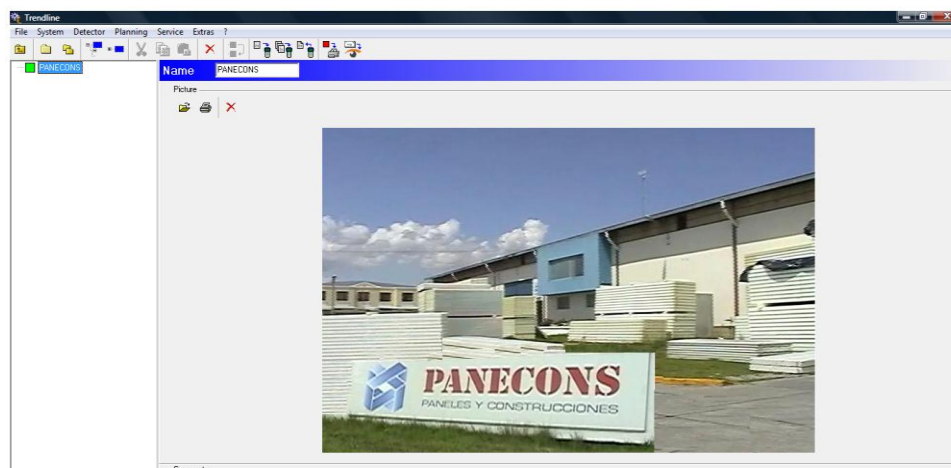


Figura 5.12: Pantalla principal para configuración de Panecons

Luego se crea un sub ítem, para la línea de poliestireno expandible EPS, en esta sección se incluirán la máquina de pre-expansión, el sistema silo y la máquina de expansión, respectivamente un nuevo sub ítem se crea en donde van los puntos de medición de los equipos a ser monitoreados.

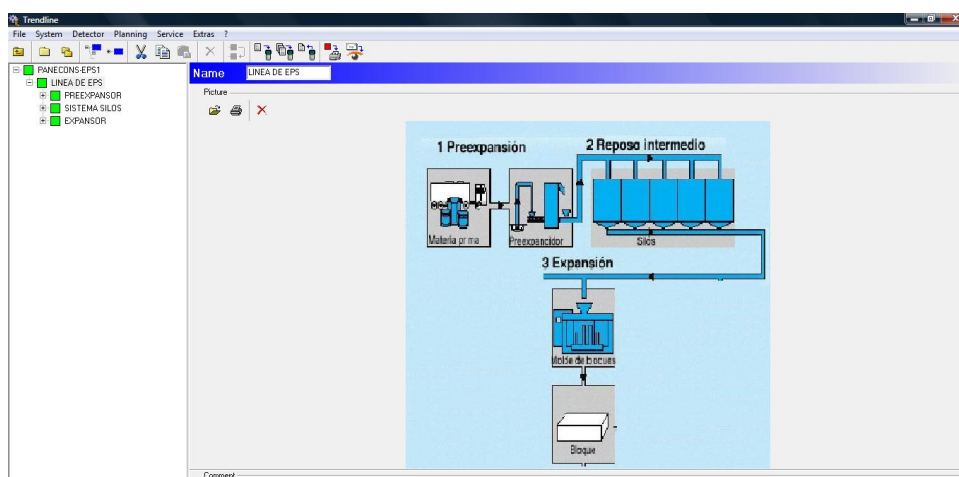


Figura 5.13: Sub ítem de la línea de EPS

En cada equipo se establece los puntos y direcciones de medición, en los cuales se definen los siguientes parámetros a configurar: ISO 10816, Aeff, Deff TP 1000 Hz.

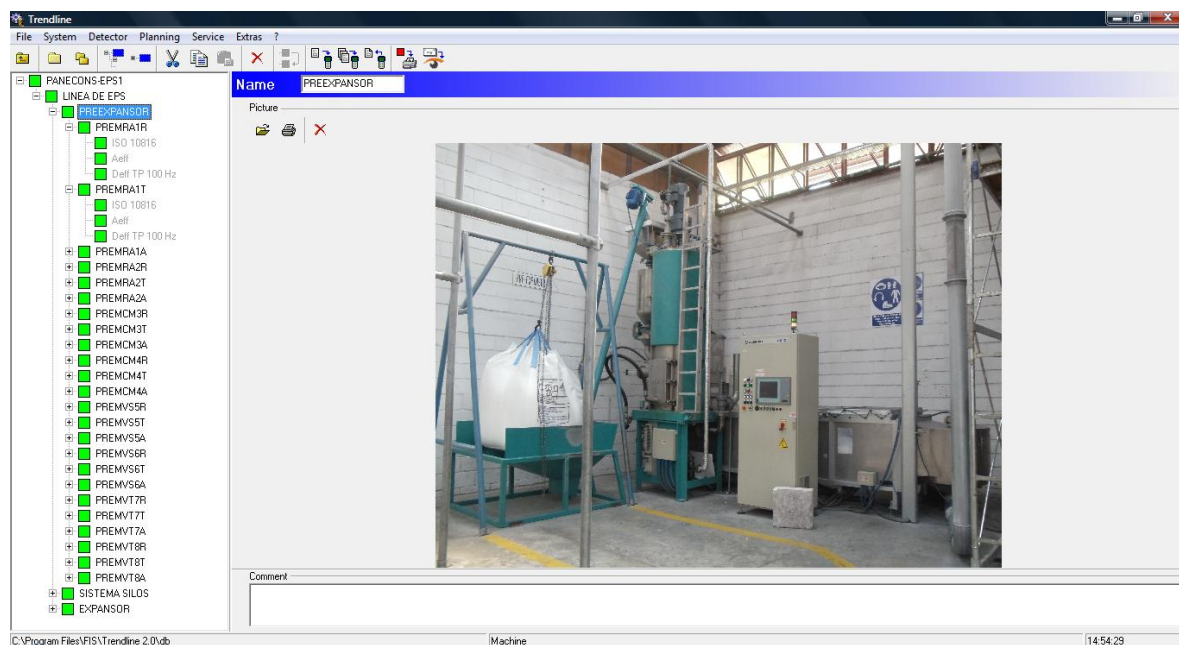


Figura 5.14: Configuración del pre-expansor

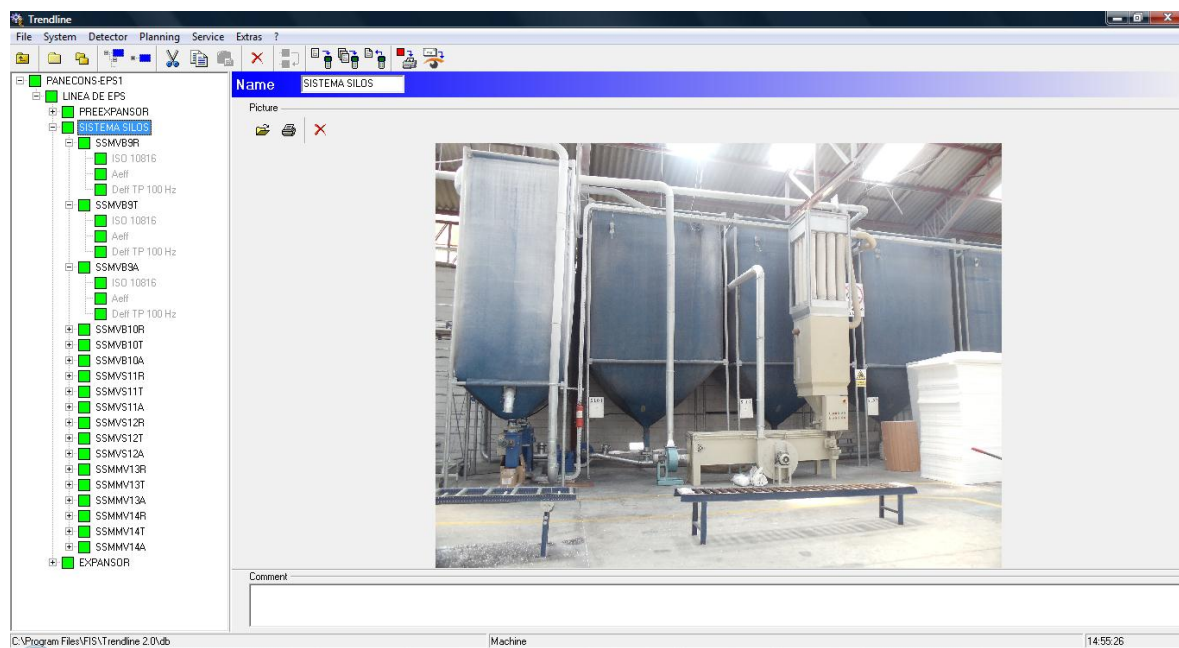


Figura 5.15: Configuración del sistema silos

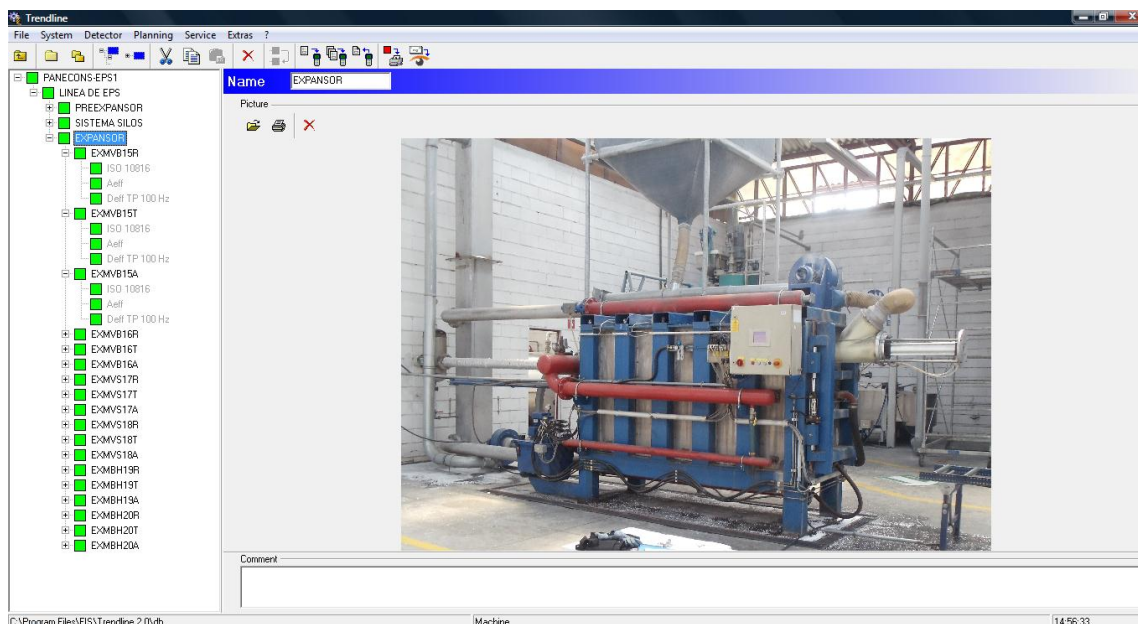


Figura 5.16: Configuración del expansor

Finalmente la configuración se envía al Detector, con un clic en Send Configuration.

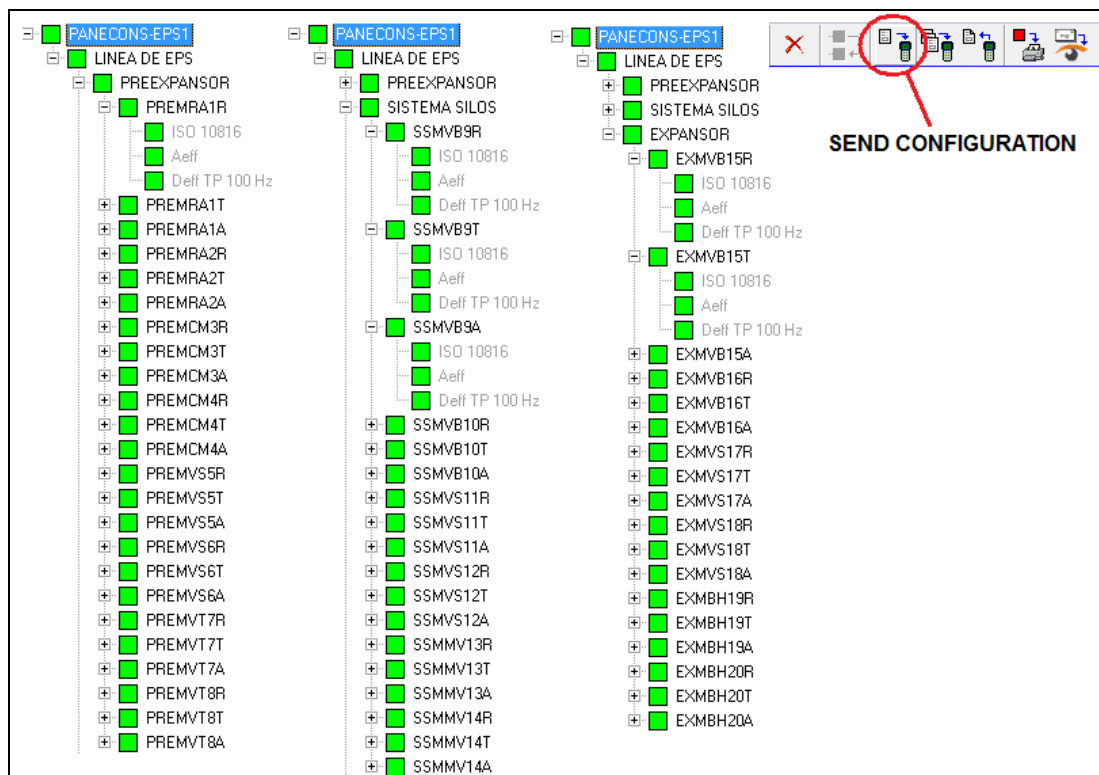






Figura 5.17: Configuración línea de EPS

5.5 Recopilación de la base de datos




En la tabla 5.6 se observa las mediciones de campo y el nivel de alarma generado en cada punto luego de la recopilación de datos del detector al software Trendline.

Tabla 5.6: MEDICIÓN DE VIBRACIONES MÁQUINA PRE-EXPANSOR

TOMA DE MEDICIONES	PUNTOS CON NIVEL ALARMA
<p>Motor reductor agitador-PREMRA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ☐ ■ PANECONS ☐ ■ LINEA DE EPS <ul style="list-style-type: none"> ☐ ■ PREEXPANSOR <ul style="list-style-type: none"> ⊕ ■ PREMRA1R ⊕ ■ PREMRA1T ⊕ ■ PREMRA1A ⊕ ■ PREMRA2R ⊕ ■ PREMRA2T ⊕ ■ PREMRA2A ⊕ ■ PREMCM3R ⊕ ■ PREMCM3T ⊕ ■ PREMCM3A ⊕ ■ PREMCM4R ⊕ ■ PREMCM4T ⊕ ■ PREMCM4A ⊕ ■ PREMVS5R ⊕ ■ PREMVS5T ⊕ ■ PREMVS5A ⊕ ■ PREMVS6R ⊕ ■ PREMVS6T ⊕ ■ PREMVS6A ⊕ ■ PREMVT7R ⊕ ■ PREMVT7T ⊕ ■ PREMVT7A ⊕ ■ PREMVT8R ⊕ ■ PREMVT8T ⊕ ■ PREMVT8A
<p>Motor carga material-PREMCM</p> 	
<p>Motor ventilador secado-PREMVS</p> 	
<p>Motor ventilador transporte-PREMT</p> 	




En la tabla 5.7 se observa las mediciones de campo en sus tres direcciones y el nivel de alarma generado en cada punto luego de la recopilación de datos del detector al software Trendline.

Tabla 5.7: MEDICIÓN DE VIBRACIONES SISTEMA SILOS

TOMA DE MEDICIONES	PUNTOS CON NIVEL ALARMA
<p>Motor ventilador bloquera-SSMVB</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ☐ ■ PANECONS ☐ ■ LINEA DE EPS ☐ ■ PREEXPANSOR ☐ ■ SISTEMA SILOS ☐ ■ SSMVB9R ☐ ■ SSMVB9T ☐ ■ SSMVB9A ☐ ■ SSMVB10R ☐ ■ SSMVB10T ☐ ■ SSMVB10A ☐ ■ SSMVS11R ☐ ■ SSMVS11T ☐ ■ SSMVS11A ☐ ■ SSMVS12R ☐ ■ SSMVS12T ☐ ■ SSMVS12A ☐ ■ SSMMV13R ☐ ■ SSMMV13T ☐ ■ SSMMV13A ☐ ■ SSMMV14R ☐ ■ SSMMV14T ☐ ■ SSMMV14A ☐ ■ EXPANSOR
<p>Motor ventilador silo-SSMVS</p> 	
<p>Motor material virgen -SSMMV</p> 	

En la tabla 5.8 se observa las mediciones de campo en sus tres direcciones y el nivel de alarma generado en cada punto luego de la recopilación de datos del detector al software Trendline.

Tabla 5.8: MEDICIÓN DE VIBRACIONES MÁQUINA EXPANSOR

TOMA DE MEDICIONES	PUNTOS CON NIVEL ALARMA
<p>Motor ventilador bloquera-EXMVB</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ■ PANECONS <input type="checkbox"/> ■ LINEA DE EPS <input type="checkbox"/> ■ PREEXPANSOR <input type="checkbox"/> ■ SISTEMA SILOS <input type="checkbox"/> ■ EXPANSOR <input type="checkbox"/> ■ EXMVB15R <input type="checkbox"/> ■ EXMVB15T <input type="checkbox"/> ■ EXMVB15A <input type="checkbox"/> ■ EXMVB16R <input type="checkbox"/> ■ EXMVB16T <input type="checkbox"/> ■ EXMVB16A <input type="checkbox"/> ■ EXMVS17R <input type="checkbox"/> ■ EXMVS17T <input type="checkbox"/> ■ EXMVS17A <input type="checkbox"/> ■ EXMVS18R <input type="checkbox"/> ■ EXMVS18T <input type="checkbox"/> ■ EXMVS18A <input type="checkbox"/> ■ EXMBH19R <input type="checkbox"/> ■ EXMBH19T <input type="checkbox"/> ■ EXMBH19A <input type="checkbox"/> ■ EXMBH20R <input type="checkbox"/> ■ EXMBH20T <input type="checkbox"/> ■ EXMBH20A
<p>Motor ventilador secado-EXMVS</p> 	
<p>Motor bomba hidráulica-EXMBH</p> 	

5.5.1 Espectro generados en la máquina de pre-expansión

5.5.1.1 Espectro en el punto 3 del motor de carga de material dirección radial y tangencial

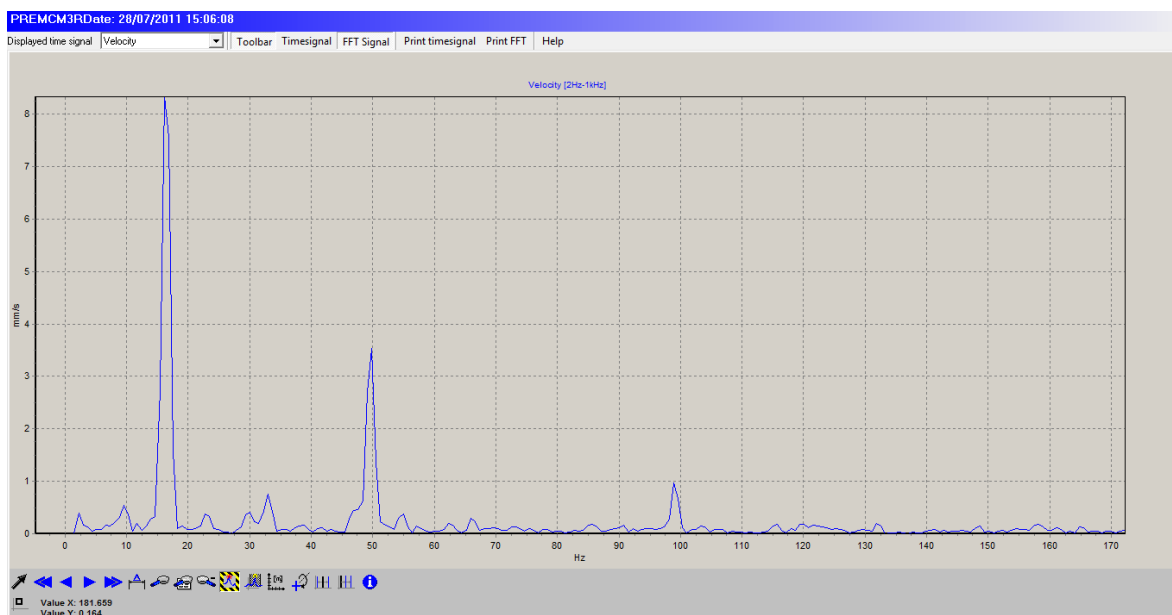


Figura 5.18: Espectro obtenido en el punto PREMCM3R

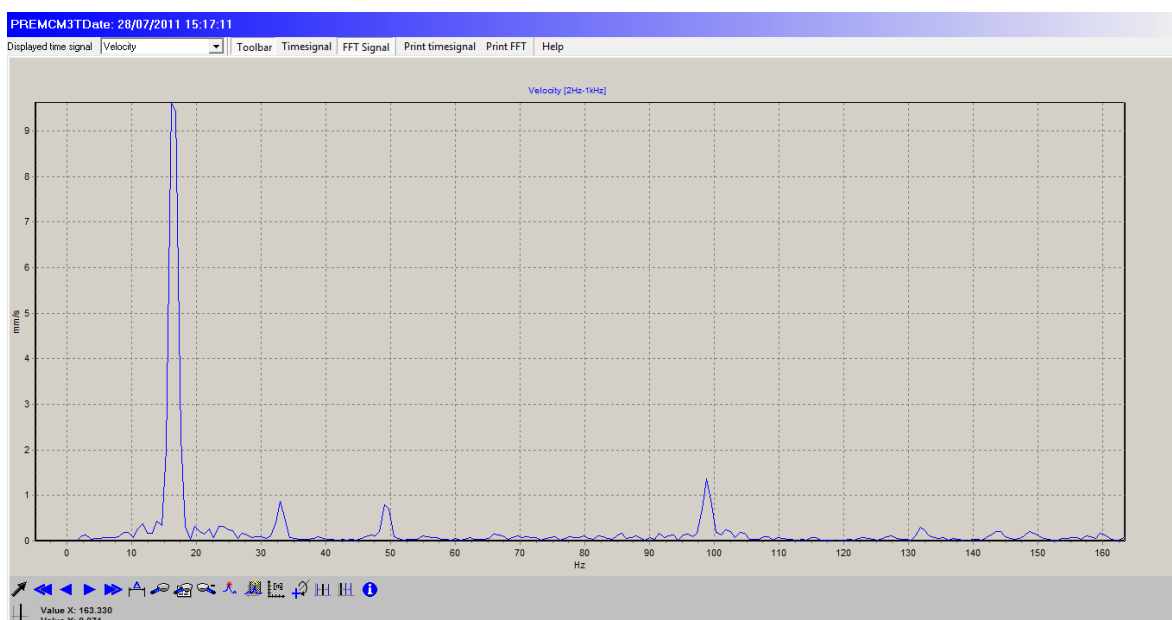


Figura 5.19: Espectro obtenido en el punto PREMCM3T

5.5.1.2 Espectro en el punto 4 del motor de carga de material dirección radial, tangencial y axial

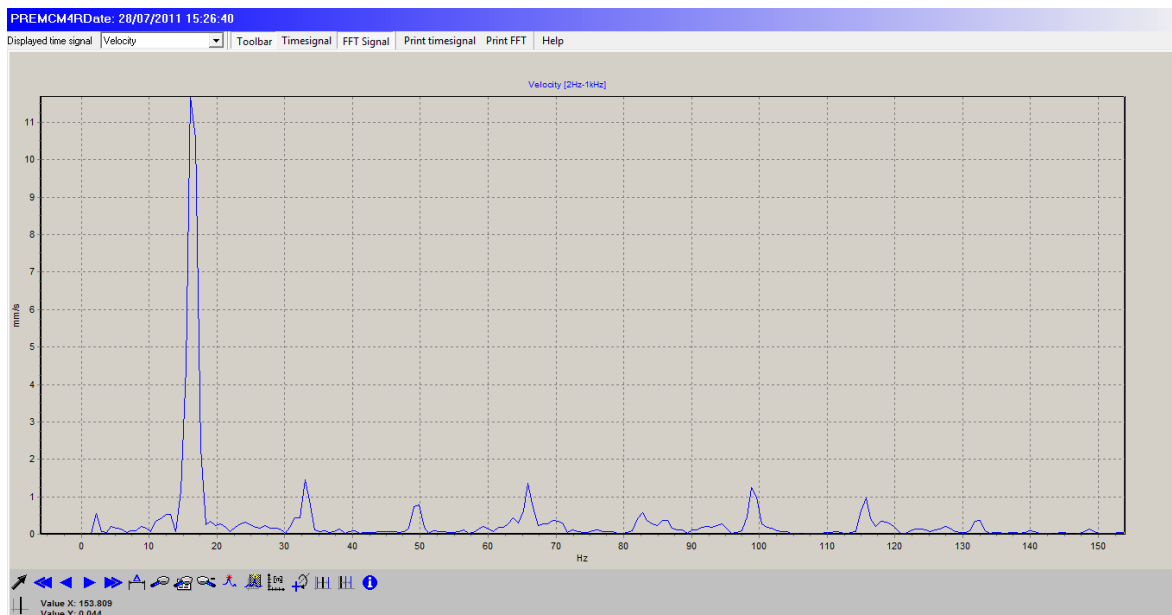


Figura 5.20: Espectro obtenido en el punto PREMCM4R

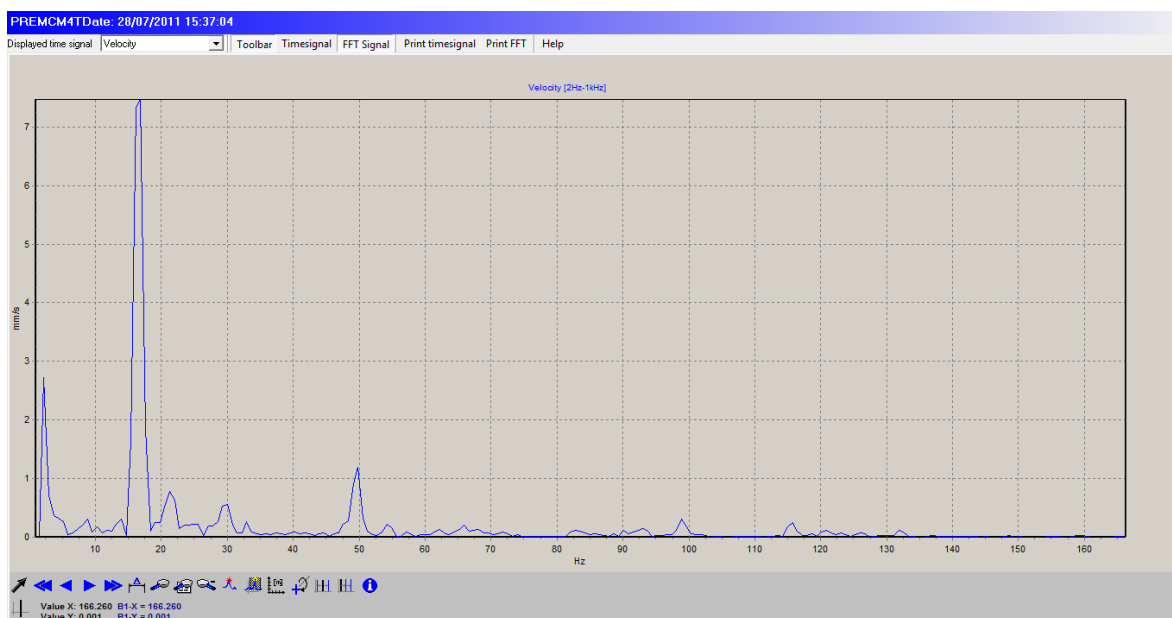


Figura 5.21: Espectro obtenido en el punto PREMCM4T

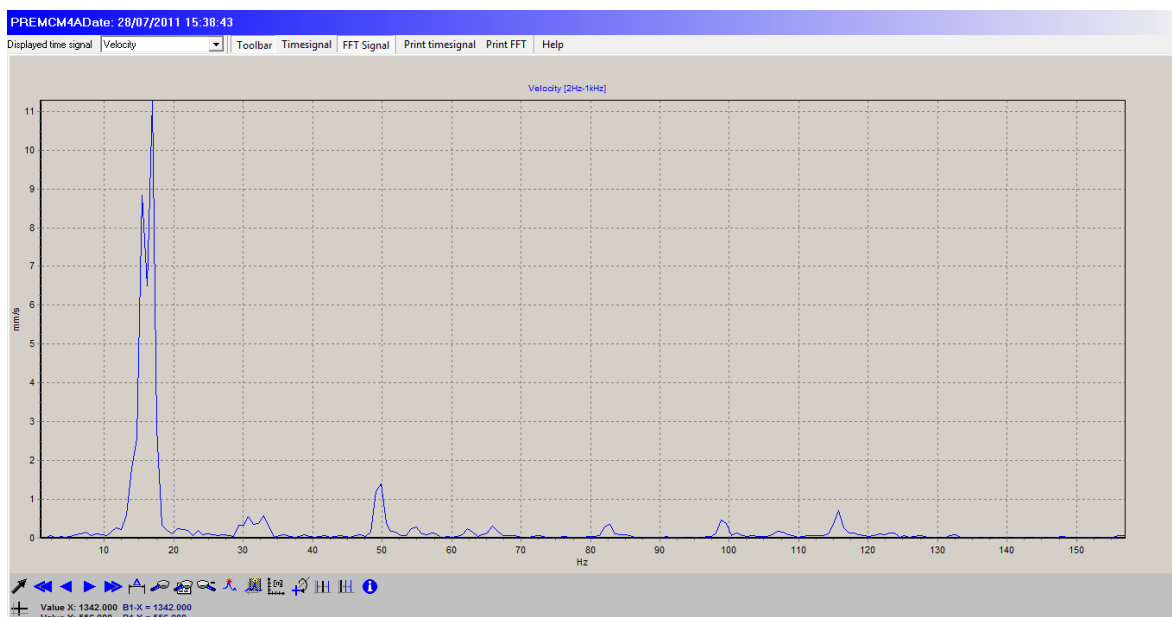


Figura 5.22: Espectro obtenido en el punto PREMCM4A

5.5.1.3 Espectro en el punto 5 del motor ventilador de secado dirección radial y axial

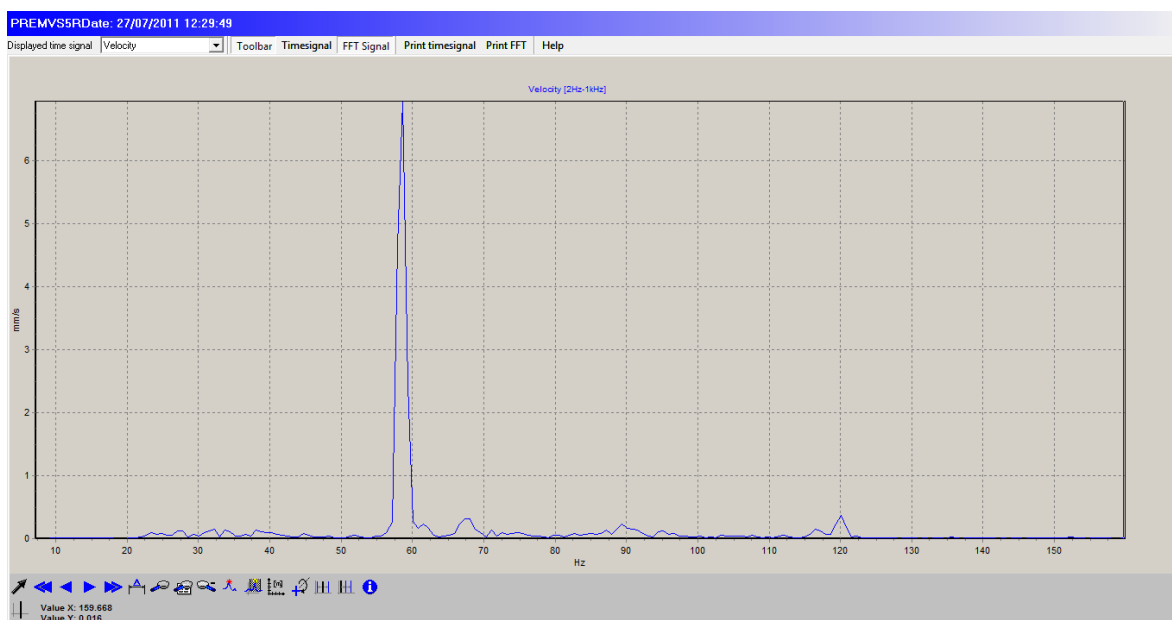


Figura 5.23: Espectro obtenido en el punto PREMVS5R

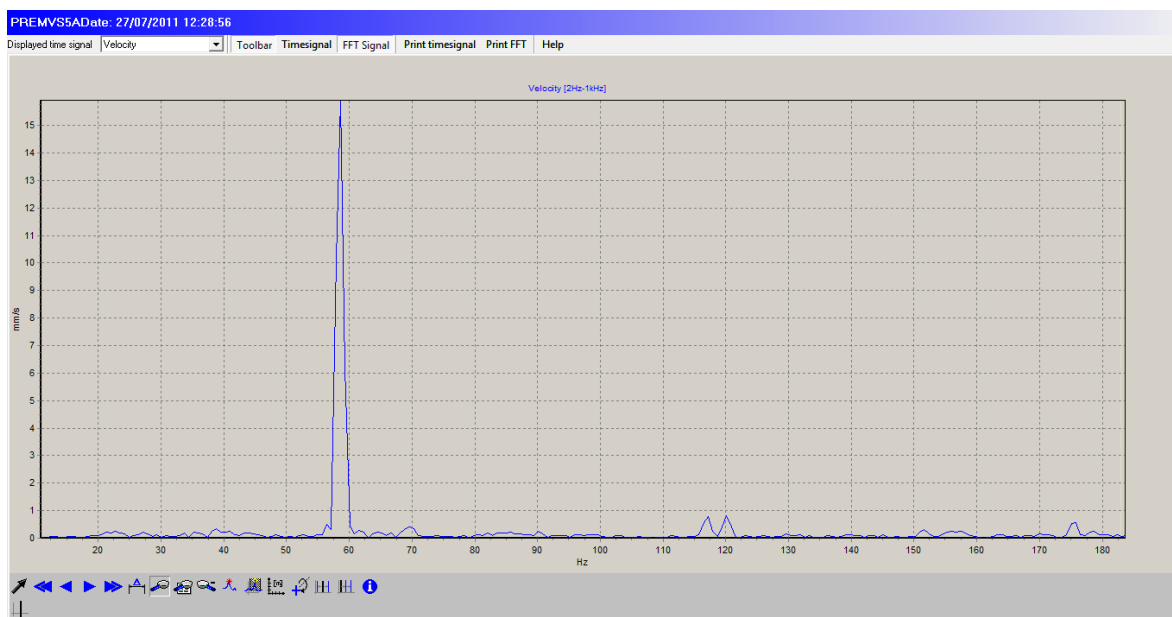


Figura 5.24: Espectro obtenido en el punto PREMVS5A

5.5.1.4 Espectro en el punto 6 del motor ventilador de secado dirección radial, tangencial y axial

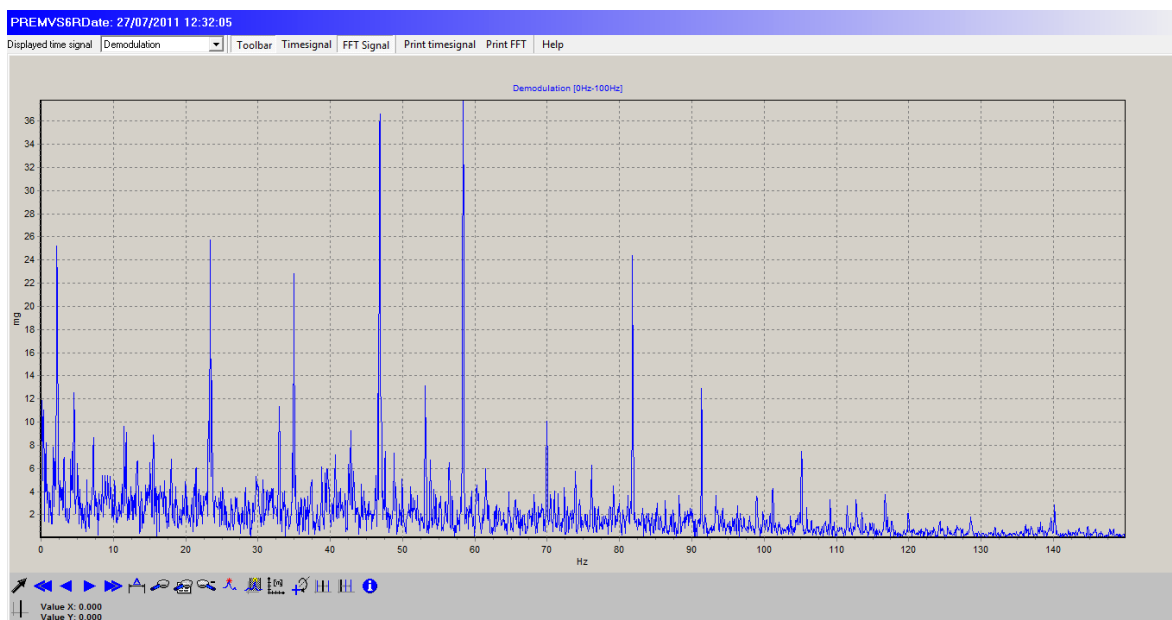


Figura 5.25: Espectro obtenido en el punto PREMVS6R

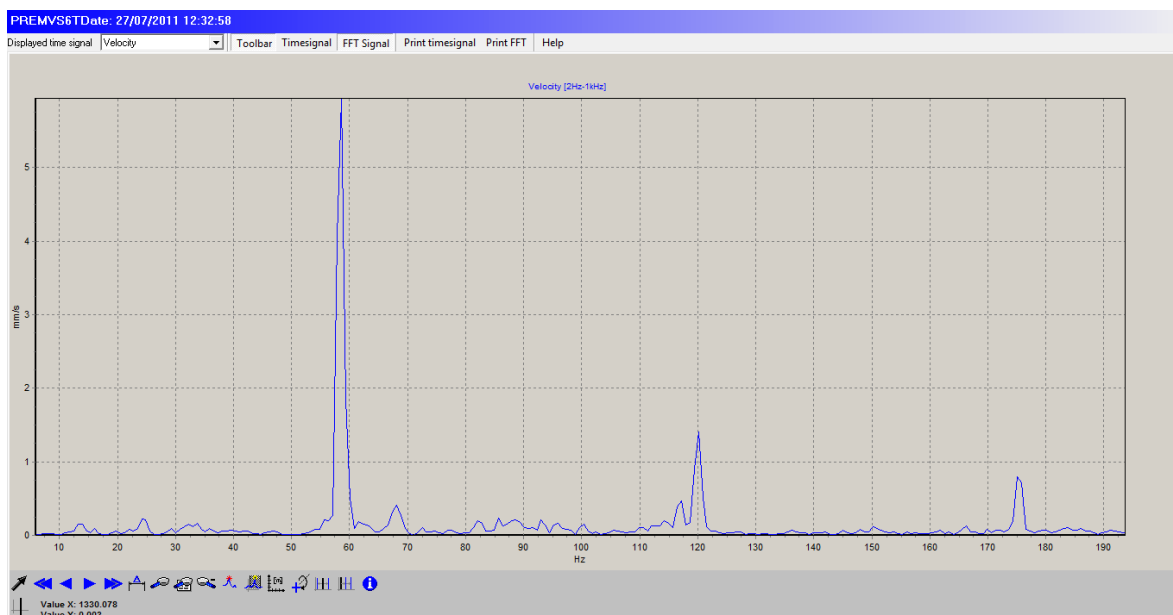


Figura 5.26: Espectro obtenido en el punto PREMVS6T

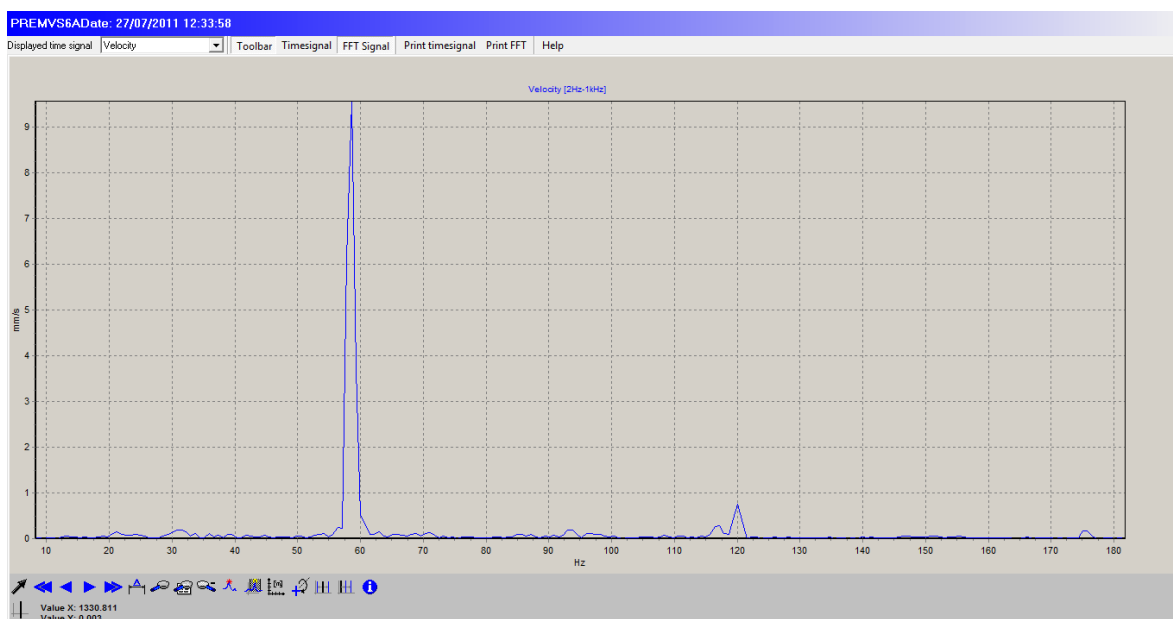


Figura 5.27: Espectro obtenido en el punto PREMVS6A

5.5.1.5 Espectro en el punto 7 del motor ventilador de transporte dirección radial y axial

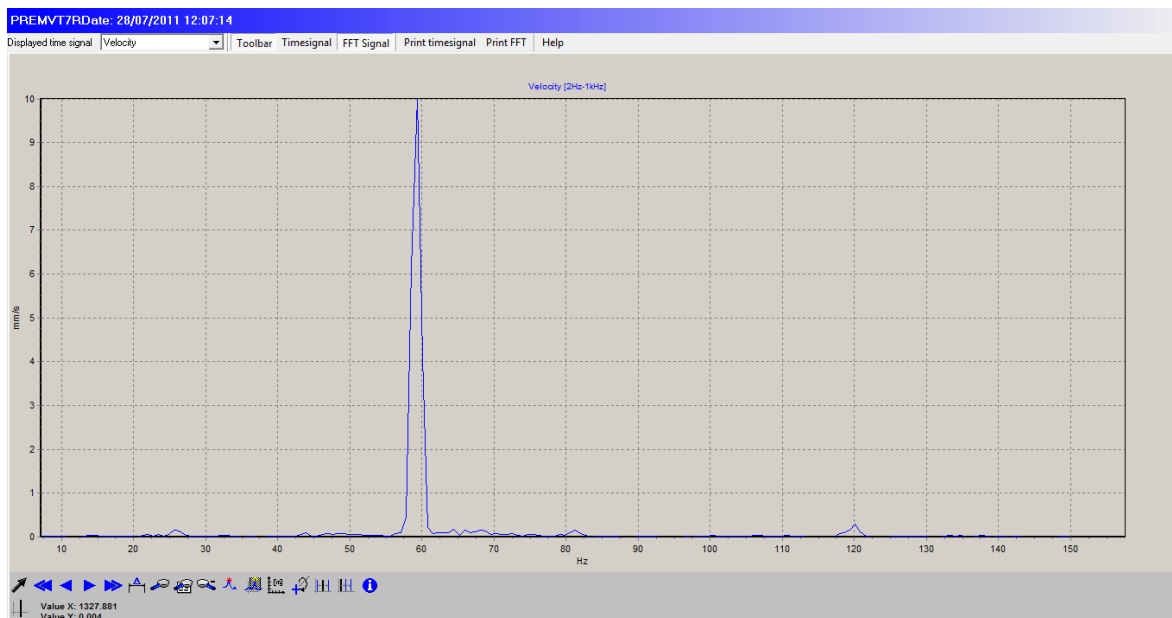


Figura 5.28: Espectro obtenido en el punto PREMVT7R

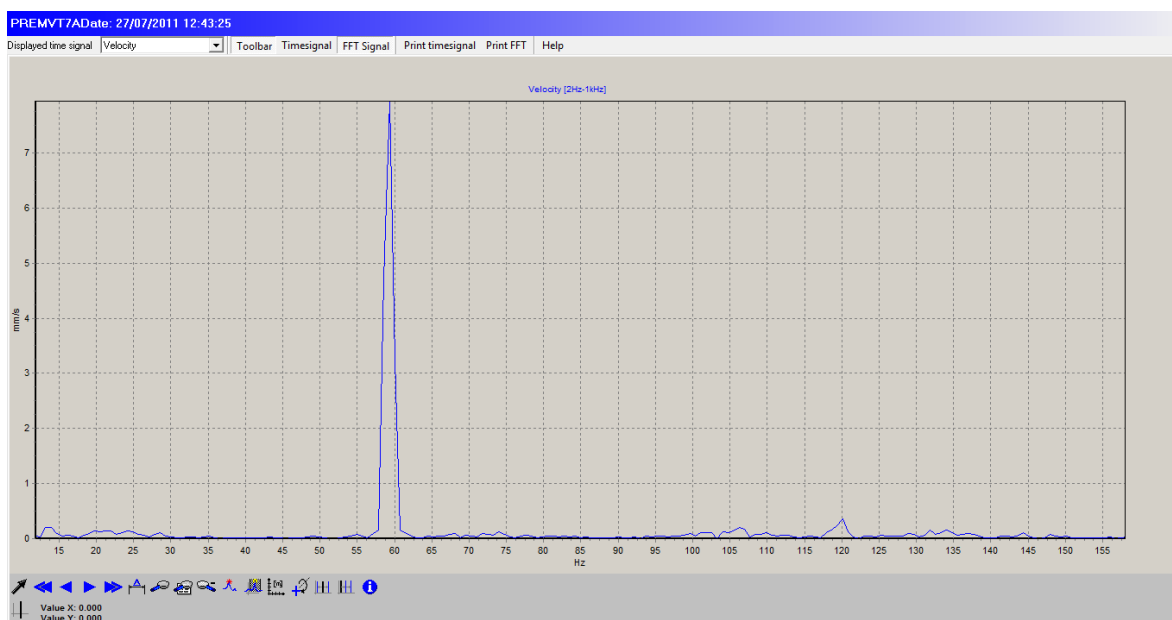


Figura 5.29: Espectro obtenido en el punto PREMVT7A

5.5.1.6 Espectro en el punto 8 del motor ventilador de transporte dirección radial, tangencial y axial

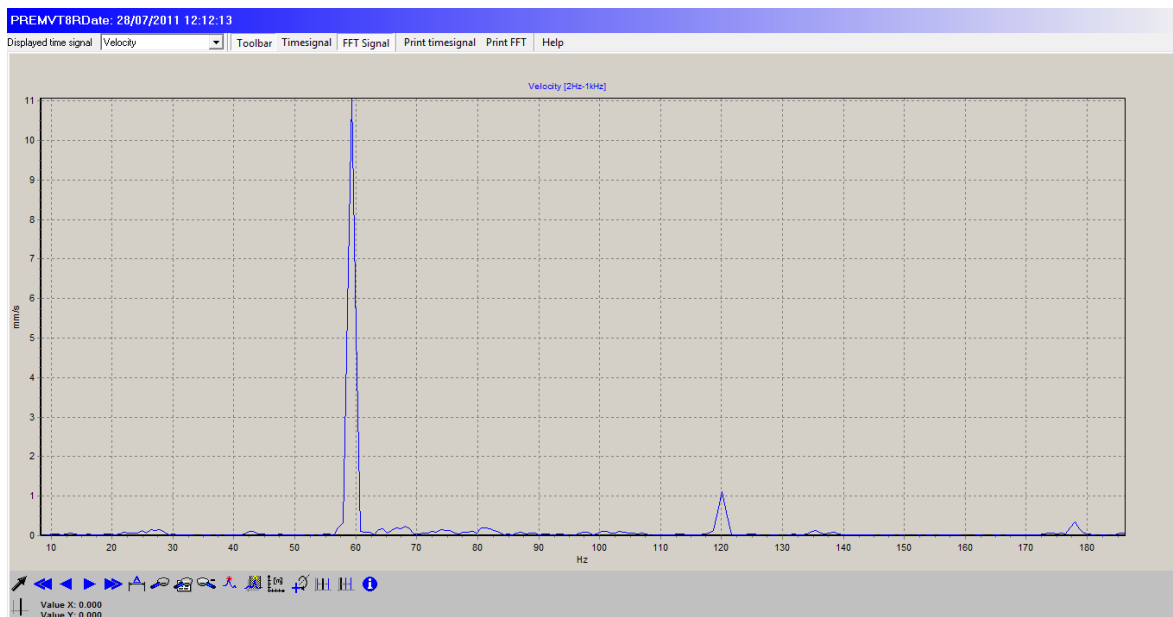


Figura 5.30: Espectro obtenido en el punto PREMVT8R

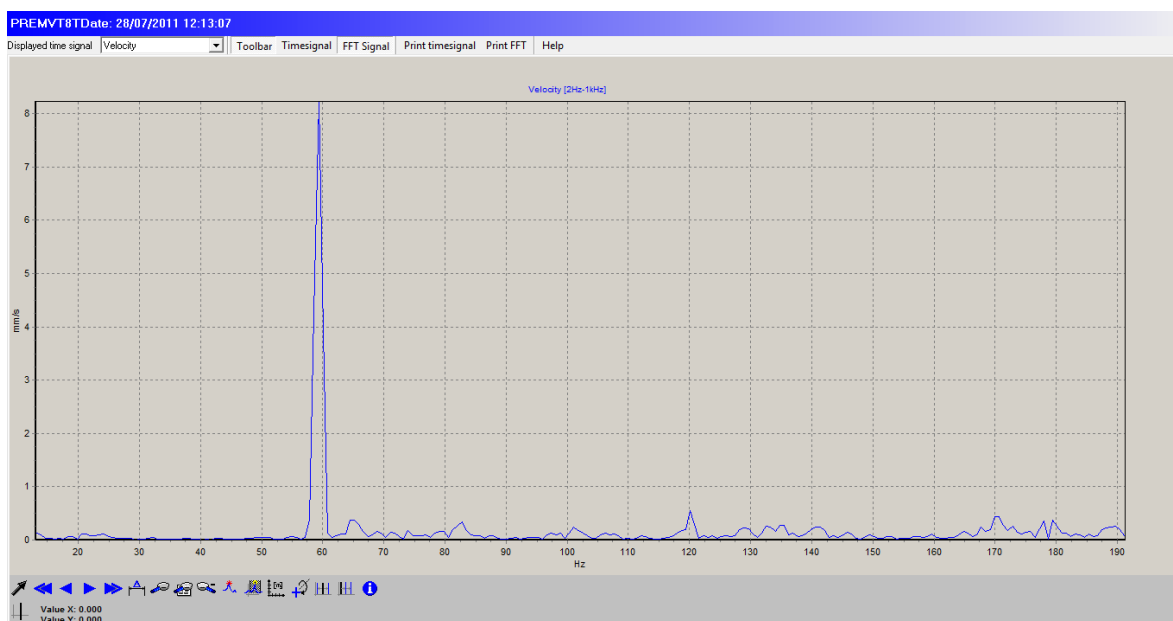


Figura 5.31: Espectro obtenido en el punto PREMVT8T

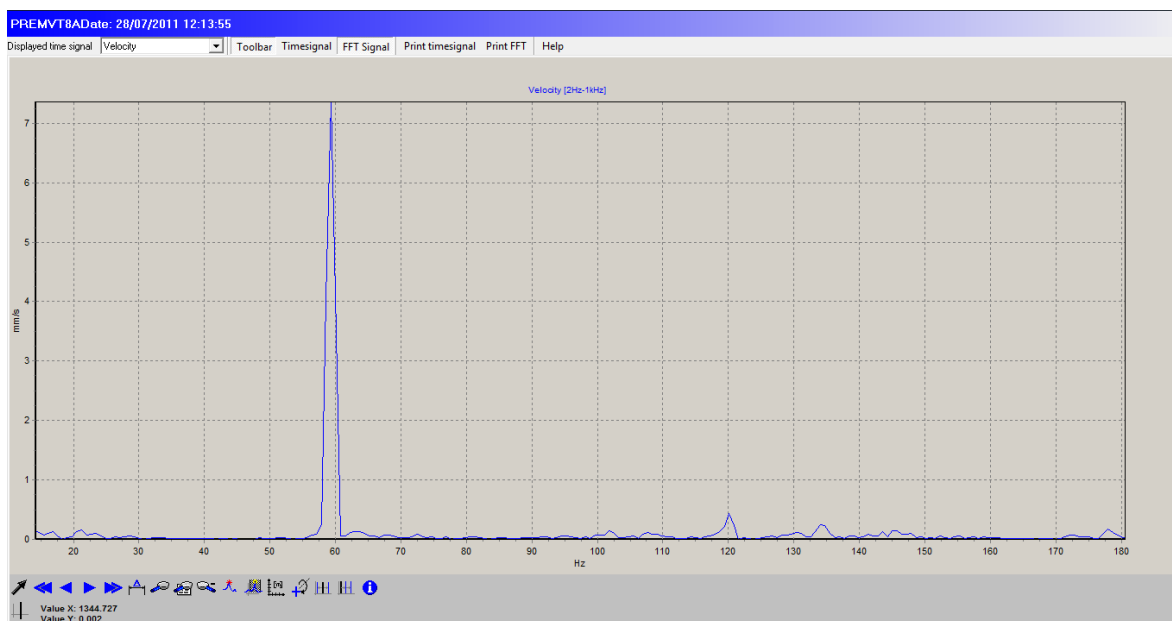


Figura 5.32: Espectro obtenido en el punto PREMVT8A

5.5.2 Espectro generados en el sistema silo

5.5.2.1 Espectro en el punto 9 del motor ventilador de la bloquera dirección radial, tangencial y axial

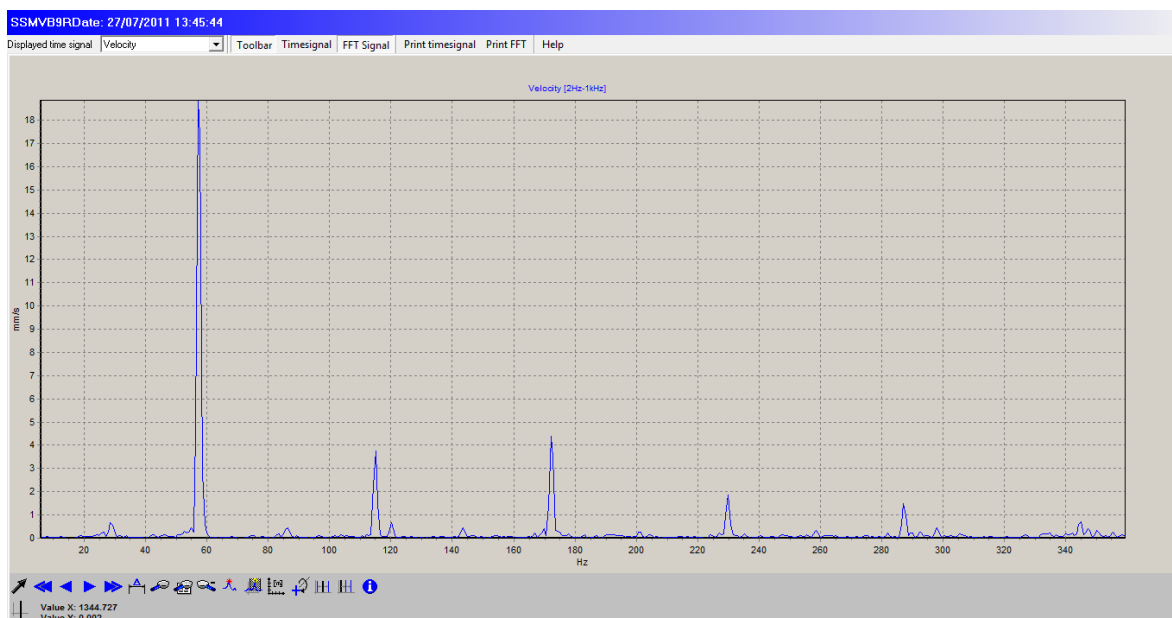


Figura 5.33: Espectro obtenido en el punto SSMVB9R

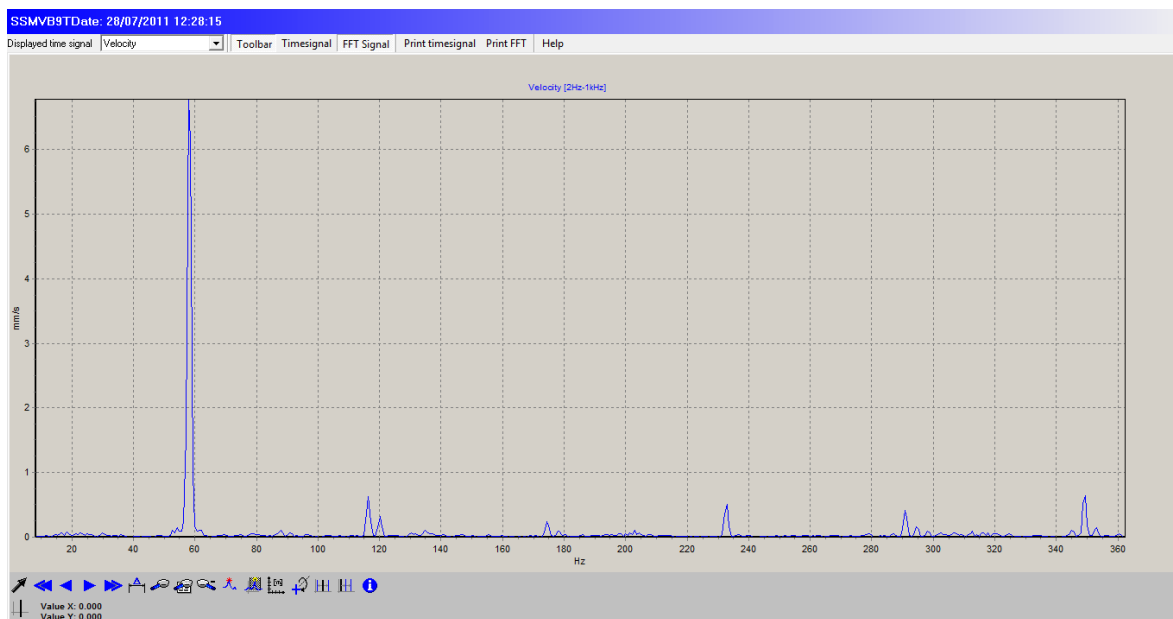


Figura 5.34: Espectro obtenido en el punto SSMVB9T

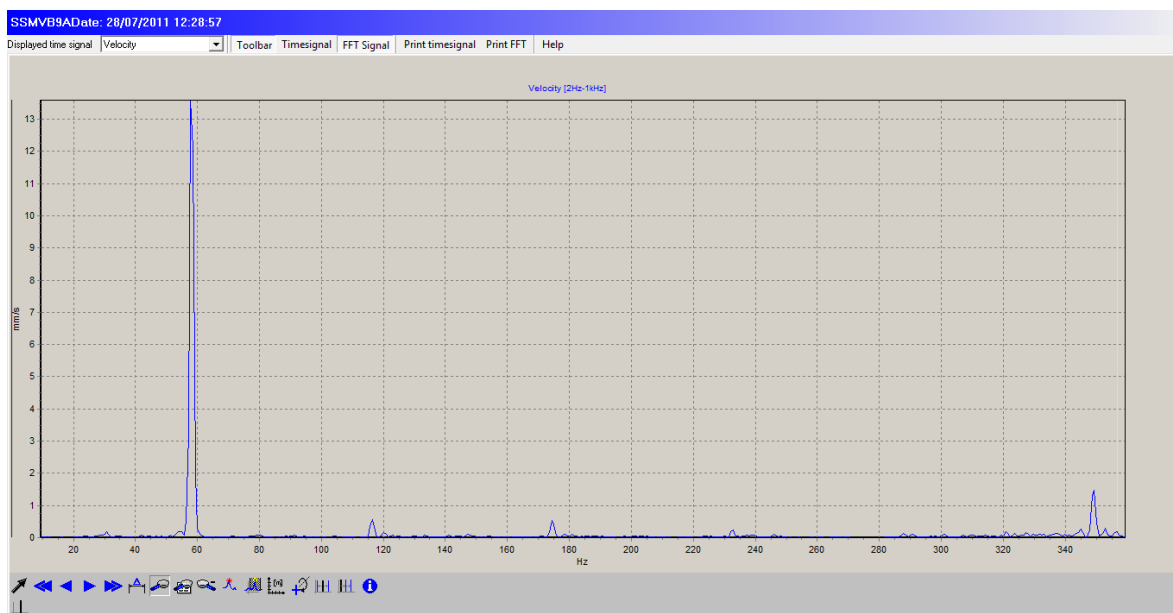


Figura 5.35: Espectro obtenido en el punto SSMVB9A

5.5.2.2 Espectro en el punto 10 del motor ventilador de la bloquera dirección radial, tangencial y axial

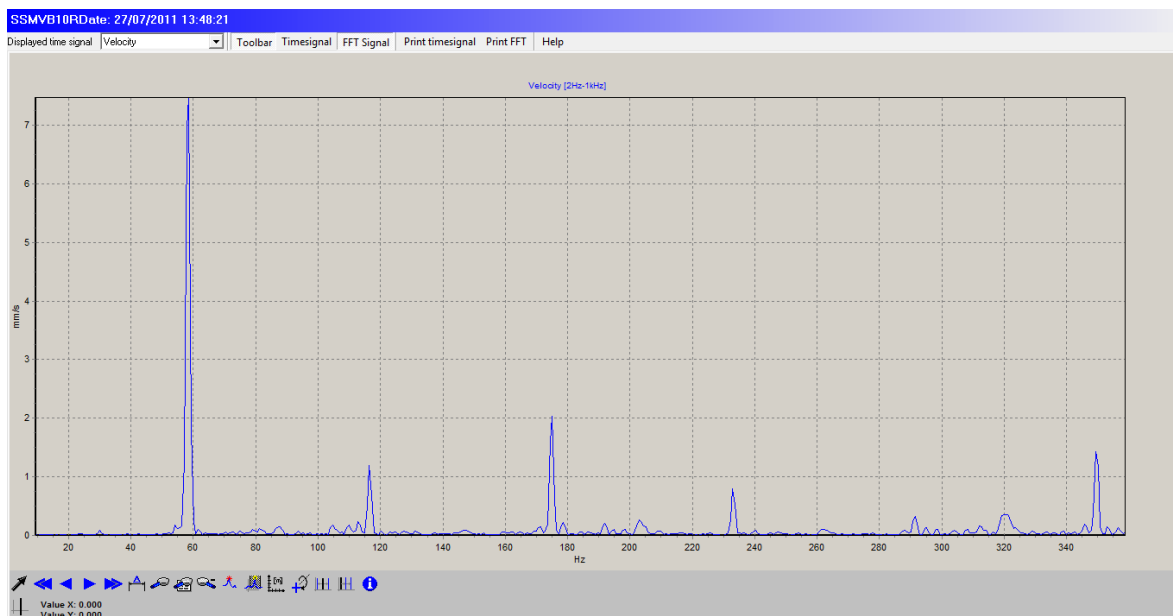


Figura 5.36: Espectro obtenido en el punto SSMVB10R

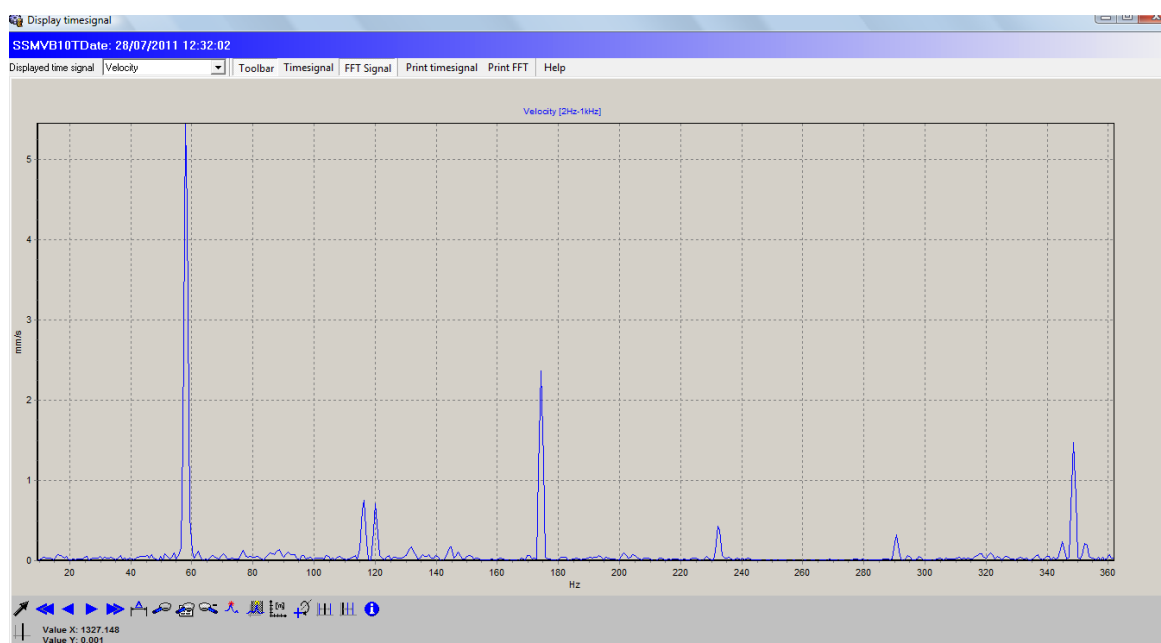


Figura 5.37: Espectro obtenido en el punto SSMVB10T

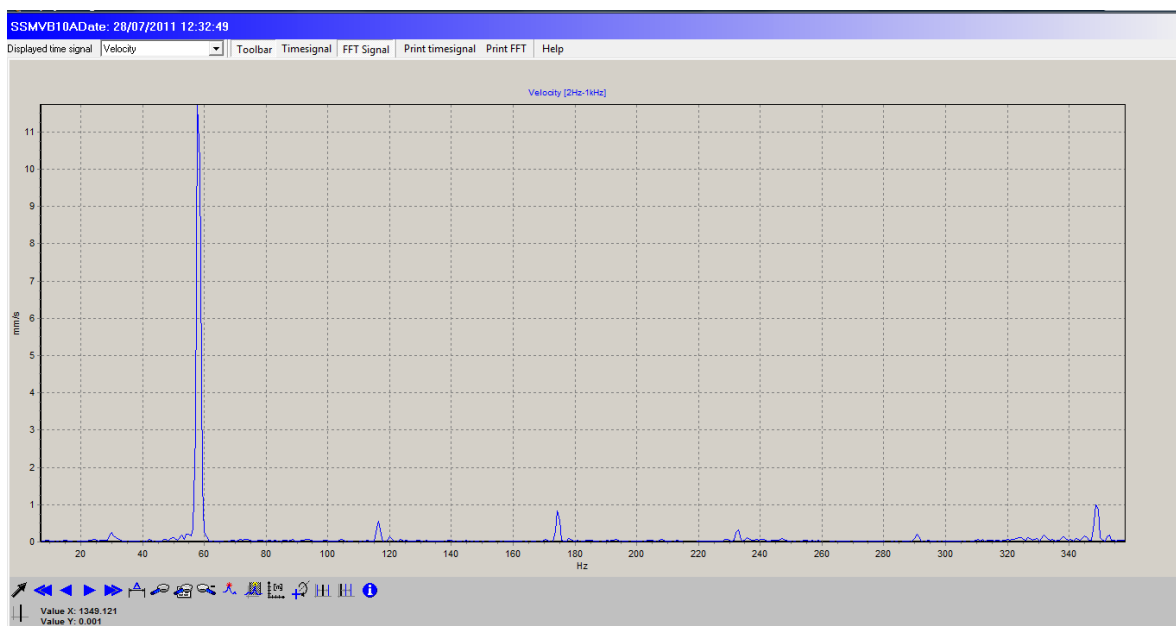


Figura 5.38: Espectro obtenido en el punto SSMVB10A

5.5.2.3 Espectro en el punto 11 del motor ventilador del silo dirección radial, tangencial y axial

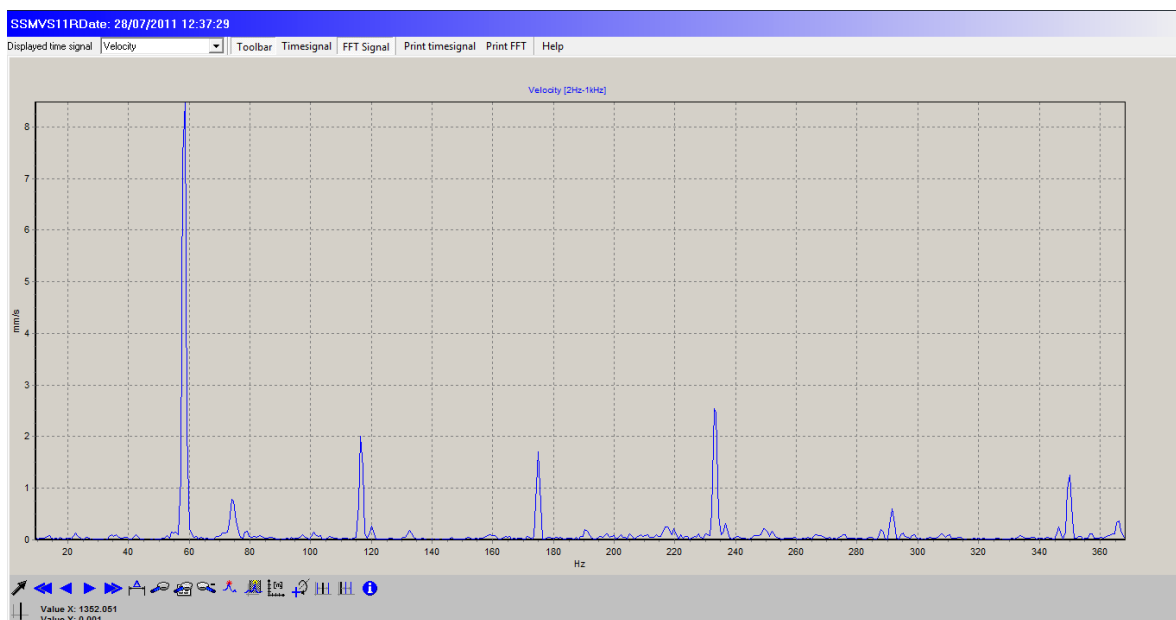


Figura 5.39: Espectro obtenido en el punto SSMVS11R

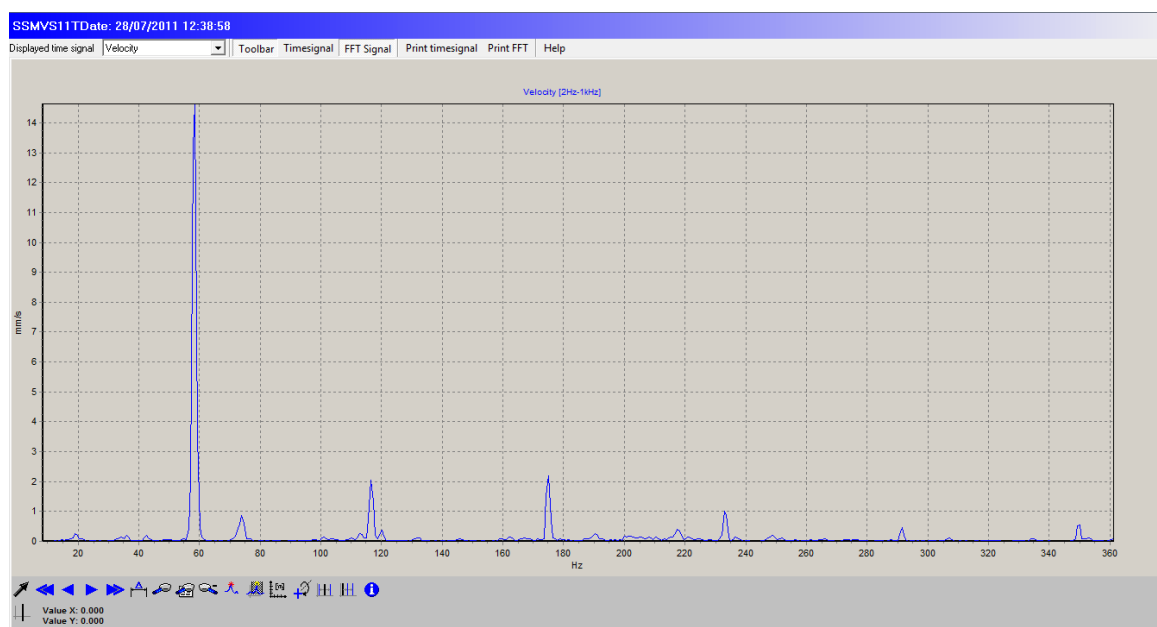


Figura 5.40: Espectro obtenido en el punto SSMVS11T

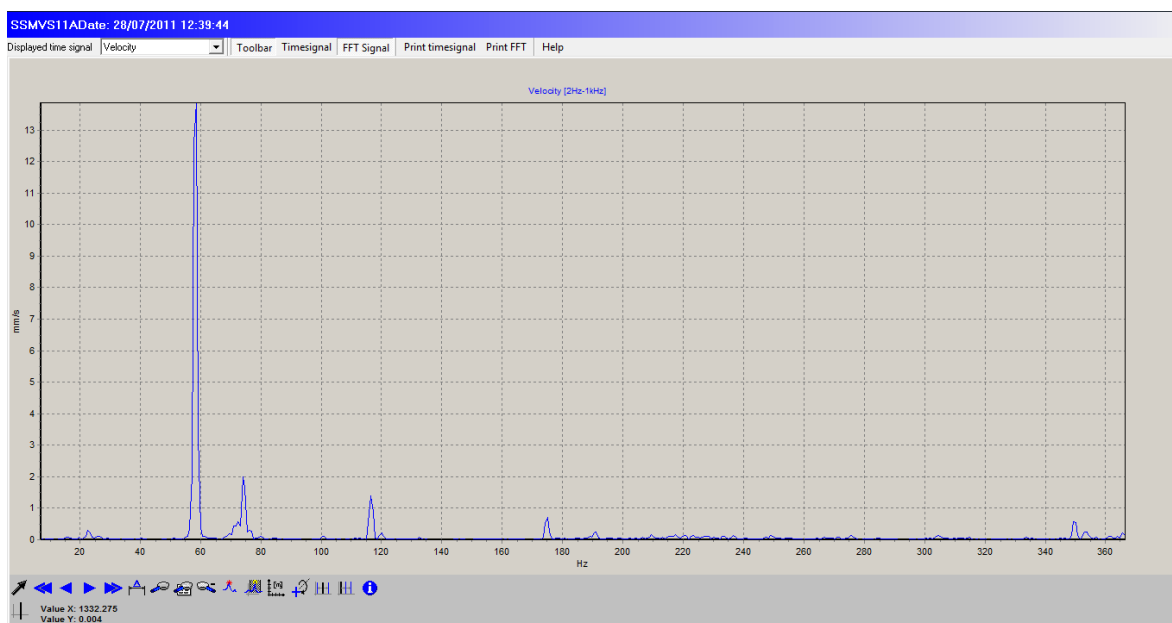


Figura 5.41: Espectro obtenido en el punto SSMVS11A

5.5.2.4 Espectro en el punto 12 del motor ventilador del silo dirección radial, tangencial y axial

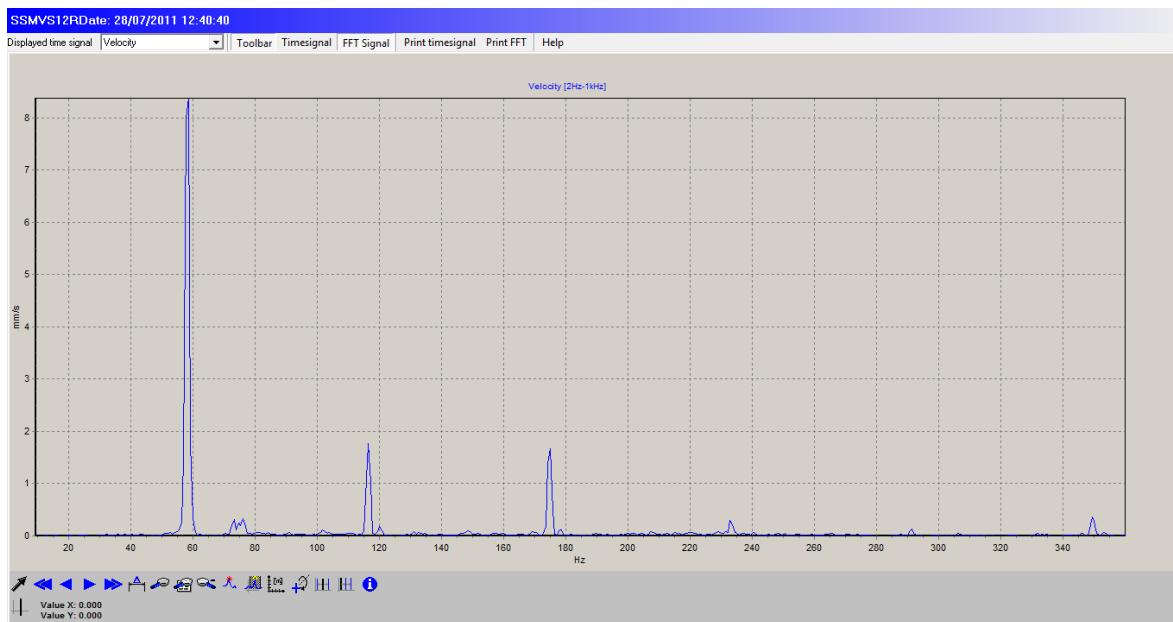


Figura 5.42: Espectro obtenido en el punto SSMVS12R

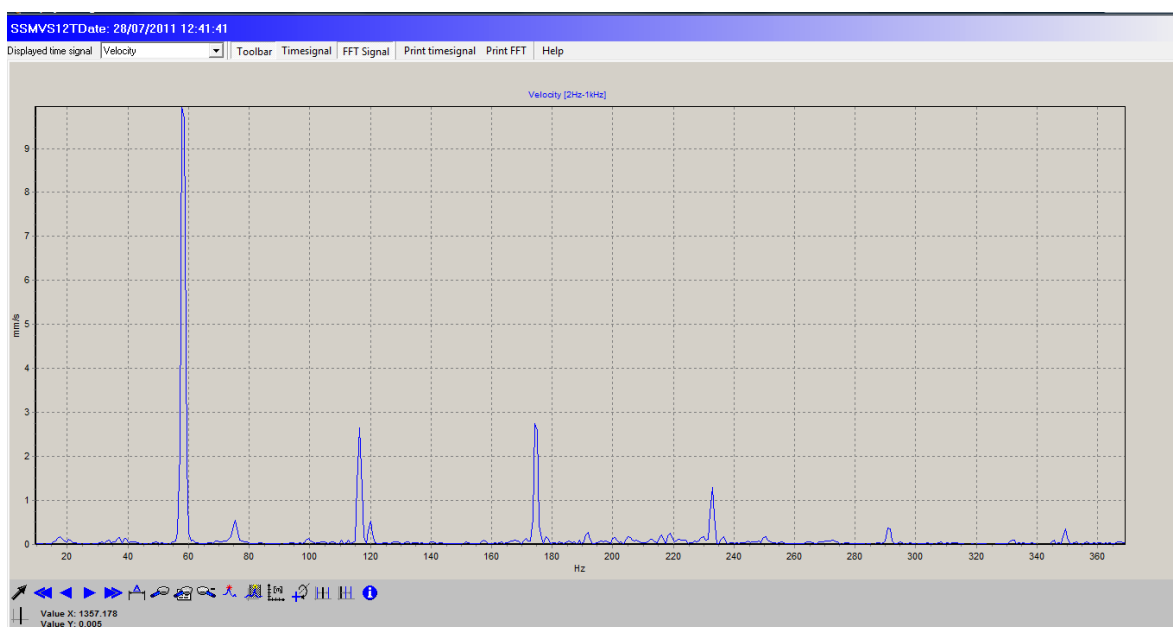


Figura 5.43: Espectro obtenido en el punto SSMVS12T

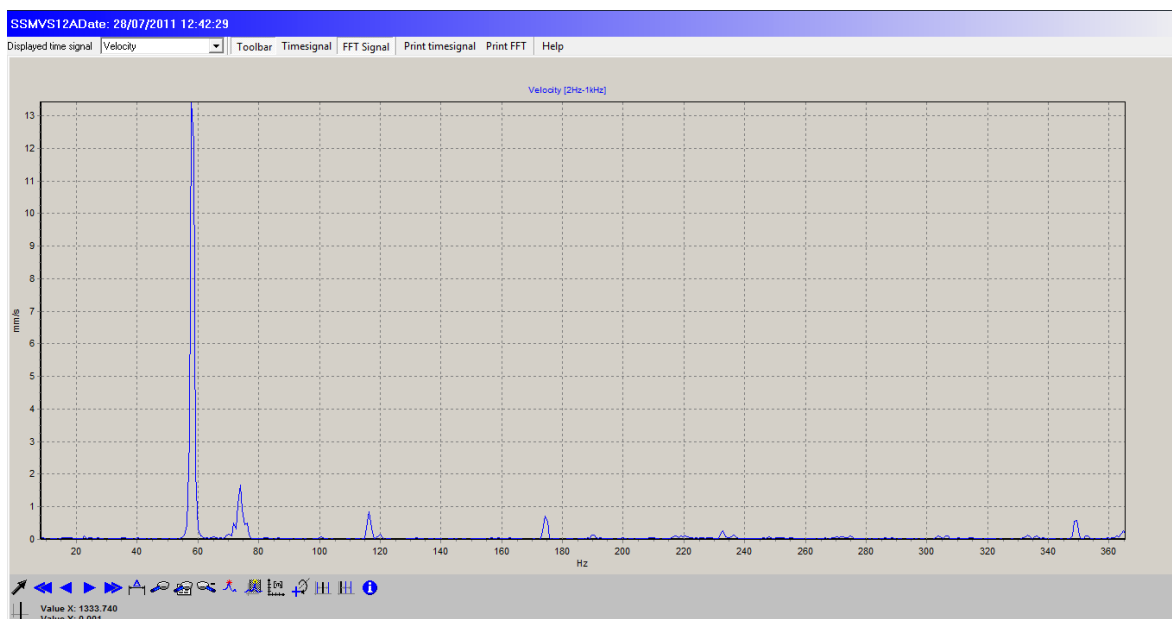


Figura 5.44: Espectro obtenido en el punto SSMVS12A

5.5.3 Espectro generados en la máquina de expansión

5.5.3.1 Espectro en el punto 15 del motor ventilador de la bloquera dirección radial, tangencial y axial

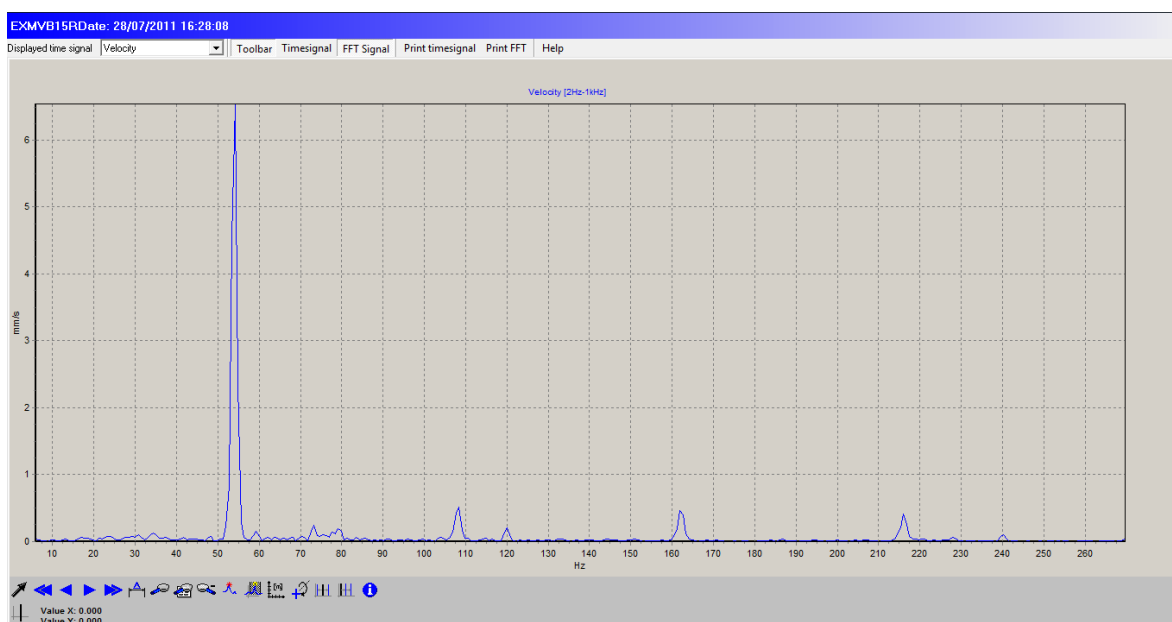


Figura 5.45: Espectro obtenido en el punto EXMVB15R

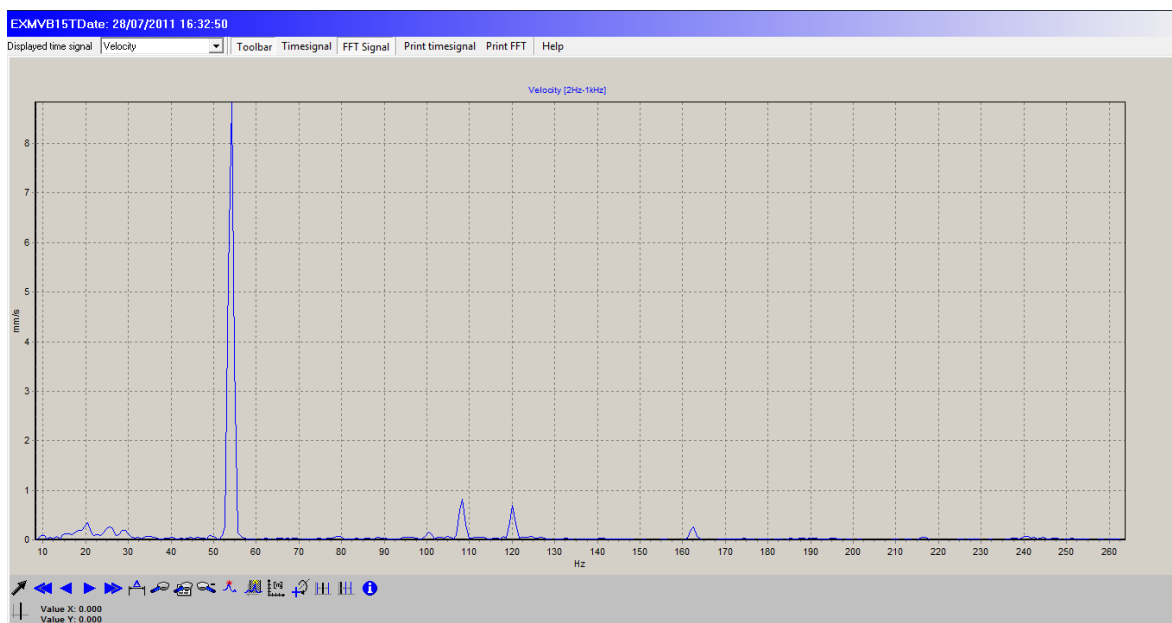


Figura 5.46: Espectro obtenido en el punto EXMVB15T

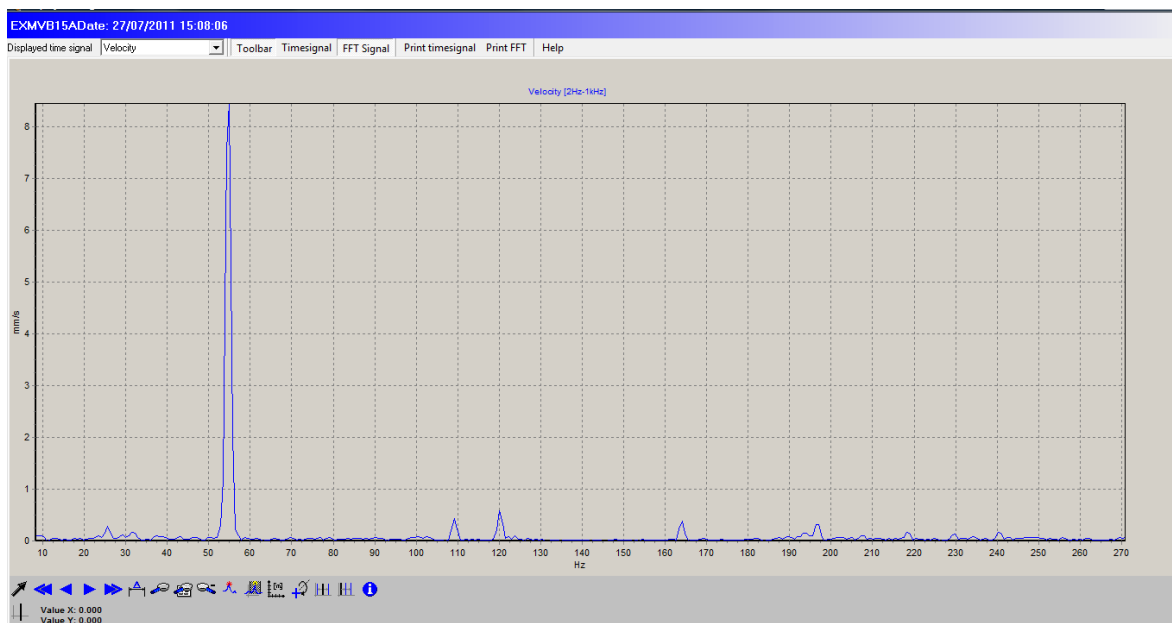


Figura 5.47: Espectro obtenido en el punto EXMVB15A

5.6 Interpretación datos obtenidos en la máquina pre-expansión

Los puntos 1 y 2 del motor reductor del agitador tiene un nivel de alarma normal por tanto no indica espectros de anomalías y no requiere seguimiento, a continuación se analizaran los puntos 3, 4, 5, 6, 7 y 8 con niveles de alarmas que requiere intervención.

5.6.1 Diagnóstico vibracional motor de carga de material

Tabla 5.9: DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR DE CARGA DE MATERIAL

PUNTO	INTERPRETACIÓN	DIAGNÓSTICO	CAUSA
3	Se observa un subarmónico de 16.1 Hz correspondiente a la frecuencia de rotación de banda $((\pi \times D \times N) / Lb)$ igual a 1XB con severidad de 8.3 mm/seg, 3XB con severidad de 3.5 mm/seg mayor a 2XB en la dirección radial. En la dirección tangencial se localiza un 1XB con severidad 9.6mm/seg La frecuencia del motor es de 28.66Hz con severidad por debajo de 1mm/seg, dando un estado normal en la dirección radial y axial.	Banda desgastada, o floja	Exceso en el ajuste de banda en la polea. Fuerza elevada en la transmisión de la polea a tornillo silfin Polea mal montada o canaleta desgastada. No existe ajuste cíclico.
4	Se observa la frecuencia de la banda 1XB con severidad de 11.69mm/seg en la dirección radial, mayor a 1XB en la dirección tangencial y axial. En 1XB axial la severidad es de 6.4mm/seg La frecuencia del motor es de 28.66Hz con severidad por debajo de 1mm/seg, dando un estado normal en la dirección R, T y A.	Banda desgastada y desalineamiento de la banda	Exceso en el ajuste de banda en la polea. Fuerza elevada en la transmisión de la polea a tornillo silfin Polea excéntrica No existe ajuste cíclico.
TAREAS RECOMENDADAS:			
Cambio de banda, inspección periódica, alineación de las poleas.			

5.6.2 Diagnóstico vibracional motor ventilador de secado

Tabla 5.10: DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR VENTILADOR DE SECADO

PUNTO	INTERPRETACIÓN	DIAGNÓSTICO	CAUSA
5	En la dirección radial se tiene un armónico sincrónico con una frecuencia de rotación del motor de 57.66Hz con severidad de 4.5mm/seg y en la dirección axial se tiene un armónico sincrónico de 57mm/seg con severidad de 5.4mm/s. no existe espectro en la dirección tangencial, predomina el 1XA	Desbalanceo del ventilador (rotor sobresaliente), combinado con pie cojo	Suciedad en el filtro y serpentín del ventilador. Deposito de incrustaciones de material en el ventilador. Abrasión o corrosión del rotor. Perno flojo. Resorte o amortiguadores de hule defectuoso. Método de mantenimiento no apropiado.
6	En la dirección radial presenta demodulación con varios picos y envolvente ancho en la frecuencia de rotación del motor 1XR con severidad de 1.49mg. Se tiene en la dirección tangencial un armónico sincrónico de 1XT de 4.8 mm/seg y un armónico sincrónico de 1XA de 6 mm/seg que predomina sobre 1XT	Posiblemente daño en rodamiento, combinado con holgura de base y desbalanceo en rotor sobresaliente	Mal montaje de rodamiento. Perno flojos o amortiguadores defectuoso. Suciedad en el filtro y serpentín del ventilador Deposito de incrustaciones de material en el ventilador
<p>TAREAS RECOMENDADAS: Ajuste de pernos de la base, revisión de amortiguadores, inspección periódica del motor ventilador, limpieza de los alabes del ventilador y filtro de aire.</p>			

5.6.3 Diagnóstico vibracional motor ventilador de transporte

Tabla 5.11: DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR VENTILADOR TRANSPORTE

PUNTO	INTERPRETACIÓN	DIAGNÓSTICO	CAUSA
7	En la frecuencia de rotación del motor se observa un armónico sincrónico correspondiente a 58.75HZ en la dirección radial 1XR con severidad de 6.1mm/seg que predomina a 1XA de severidad de 4.7. no presenta espectro en la dirección tangencial	Desbalanceo por par de fuerzas en el ventilador combinado con pie cojo	Suciedad en el filtro y silenciador. Deposito de incrustaciones de material en el ventilador. Perno flojo, Resorte o amortiguadores de hule defectuoso. Método de mantenimiento no apropiado.
8	Se tiene un armónico sincrónico en 1XR con severidad de 5.7mm/seg predominante sobre 1XT y 1XA. En la dirección tangencia 1 XT con severidad de 5.1 es mayor a 1XA de 4.5mm/seg	Desbalanceo par de fuerzas en el motor. combinado con Holgura de base	Suciedad en el filtro y silenciador. Deposito de incrustaciones de material en el ventilador. Pernos flojos, anclaje incorrecto. Método de mantenimiento no apropiado.
TAREAS RECOMENDADAS:			
Ajuste de pernos de la base, revisión de amortiguadores y anclaje, inspección periódica del motor ventilador, limpieza de los alabes del ventilador, filtro de aire y silenciador.			

5.7 Interpretación datos obtenidos en la sistema silos

Los puntos 13 y 14 del motor de material virgen tiene un nivel de pre-alarma por lo tanto no indican espectros de anomalías, pero que requiere el seguimiento del estado vibracional, a continuación se analizaran los puntos 9, 10 del motor ventilador de la

bloquera 11, 12 del motor ventilador del silo que presentan niveles de alarmas y que requiere intervención.

5.7.1 Diagnóstico vibracional motor ventilador bloquera

Tabla 5.12: DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR VENTILADOR BLOQUERA

PUNTO	INTERPRETACIÓN	DIAGNÓSTICO	CAUSA
9	En la dirección radial se tiene varios armónicos sincrónicos desde 1XR hasta 6XR con onda de ruido correspondiente a la frecuencia de rotación del motor a 57.6 Hz, en 1XR la severidad es de 17.32mm/seg, en la dirección tangencial se tiene un armónico sincrónico de 1XT con severidad de 6.7 mm/seg y múltiplos de 57.6 HZ con onda de ruido. En la dirección axial se tiene un armónico sincrónico elevado en 1XA con una severidad 13.5mm/seg	Holgura del rodamiento Desbalanceo del ventilador y flexibilidad transversal.	Montaje incorrecto del rodamiento. Suciedad en el filtro y silenciador. Deposito de incrustaciones de material en el ventilador. Pernos flojos, anclaje incorrecto. Método de mantenimiento no apropiado.
10	Se tienen en la dirección radial armónicos sincrónicos mayores a 1.5 mm/seg desde 1XR hasta 6XR con ondas de ruido, con un pico elevado en 1XR de severidad de 6.9 mm/seg. En la dirección tangencial se tiene armónicos sincrónicos desde 1XT hasta 7XT con ondas de ruido, en 1XT tiene un pico sincrónico con severidad de 11.7mm/seg. En 1XA con severidad de 11mm/seg. Predomina 1XA sobre 1XR	Holgura de rodamiento, Flexibilidad transversal y desbalance del ventilador	Montaje inadecuado de los rodamientos, contaminación del rodamiento. Pernos flojos, anclaje incorrecto, amortiguadores de vibraciones incorrectas. Método de mantenimiento no apropiado Incrustaciones de material en el ventilador.
TAREAS RECOMENDADAS:			
Inspeccionar el montaje de rodamiento, cambios de rodamientos, inspección del motor ventilador, limpieza del ventilador, ajuste de pernos, inspección del anclaje y amortiguadores de vibración.			

5.7.2 Diagnóstico vibracional motor ventilador de silo

Tabla 5.13: DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR VENTILADOR SILO

PUNTO	INTERPRETACIÓN	DIAGNÓSTICO	CAUSA
11	Existen armónicos sincrónicos en 1XR hasta 10XR correspondiente a múltiplos de la frecuencia de rotación del motor de 57.66 Hz, donde es evidente un pico alto en 1XR de severidad de 7.4 mm/seg estos van acompañados por ondas de ruido. En la dirección tangencial existe armónico 1XT de severidad elevada de 13.13mm/seg, combinado con armónicos sincrónicos desde 2XT hasta 6XT. Se observa en el plano axial 1XA un pico elevado de severidad de 13.55mm/seg, acompañado de armónicos desde 2XA hasta 10XA.	Holgura en el rodamiento acompañado de flexibilidad transversal severa y desbalanceo del ventilador	Montaje inadecuado de los rodamientos, contaminación del rodamiento, incorrecta lubricación. Soporte de la base incorrecto, Pernos flojos e incompletos Amortiguadores defectuosos. Deposito de incrustaciones de material en el ventilador. Abrasión o corrosión del rotor y pulsaciones. Método de mantenimiento no apropiado.
12	En la dirección radial se tiene armónicos sincrónicos desde 2XR hasta 10XR con severidad descendiente desde 2mm/seg, en 1XR corresponde a la frecuencia de rotación del motor de 57.66 Hz con una severidad de 7.9 mm/seg. En 1XT se tiene una severidad de 9.9mm/seg seguido de 2XT de 2.6 mm/seg y 3XT de 2.7mm/seg. En 1XA con severidad de 13.4 mm/seg que predomina sobre 1XR y 1XT.	Desbalance de rotor sobresalido –ventilador. Flexibilidad transversal. Holgura de rodamiento	Deposito de incrustaciones de material en el ventilador. Abrasión o corrosión del rotor, pulsaciones. Soporte de la base incorrecto, Pernos flojos e incompletos Amortiguadores defectuosos. Montaje inadecuado de los rodamientos, contaminación del rodamiento. Método de mantenimiento no apropiado.
TAREAS RECOMENDADAS:			
Inspeccionar el montaje de rodamiento, cambios de rodamientos, inspección del motor ventilador, limpieza del ventilador, ajuste de pernos, inspección del anclaje y amortiguadores de vibración.			

5.8 Interpretación datos obtenidos de la máquina expensor

El punto 15 del motor ventilador del la bloquera tiene un nivel de alarma que requiere intervención, el punto 16 no presenta espectros pero requiere seguimiento de vibraciones. Mientras que los puntos 17, 18 de la secadora y los puntos 19, 20 de la bomba hidráulica no presentan espectros pero requiere seguimiento del estado vibracional.

5.8.1 Diagnóstico vibracional motor ventilador bloquera

Tabla 5.14: DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL MOTOR VENT. DE LA BLOQUERA

PUNTO	INTERPRETACIÓN	DIAGNÓSTICO	CAUSA
15	Se observa en la dirección radial armónica sincrónica de frecuencia de rotación del motor ventilador correspondiente a 54.16 Hz con severidad de 6.5 mm/seg. En la dirección tangencial se tienen un armónico 1XT de 54.16 HZ con severidad de 8.8 mm/seg. Se tiene en la dirección axial un armónico correspondiente a 1XA de 3.6mm/seg	Flexibilidad transversal cambiando con desbalanceo del ventilador.	Pernos flojos, soporte de la base defectuoso. Deposito de incrustaciones de material en el ventilador. Abrasión o corrosión del rotor, pulsaciones. Método de mantenimiento no apropiado.
TAREAS RECOMENDADAS: Inspección del motor ventilador, limpieza del ventilador, ajuste de pernos, inspección del anclaje y amortiguadores de vibración.			

En el anexo 15, se indica el reporte de los diferentes niveles de alarmas generado por el software Trendline 2 de cada equipo analizado, este reporte presenta los diferentes valores medidos en los 3 planos con su grado de severidad según ISO 10816, Aeff, y Deff TP 1000 Hz.

5.9 Estandarización de tareas de mantenimiento para la línea de EPS

Luego de haber realizado el análisis vibracional en los equipos rotatorios es importante intervenir sobre los problemas encontrados, es por ello que cada tarea recomendada en la línea de EPS debe normalizarse para efectivizar la ejecución por parte del personal de mantenimiento.

Las tareas recomendadas están basadas en el estado real del equipo, por tanto cada tarea requiere de recursos específicos, de procedimientos para la ejecución, frecuencia de intervención y tiempo de duración. Estas tareas están sometidas al mejoramiento continuo dentro de ciclo PDCA, por lo que se planifica las tareas para ejecutarlas, se las controla y actúa para mejorar el estándar establecido.

5.10 Estandarización de las tareas de mantenimiento del pre-expansor

5.10.1 Banco de tareas del equipo motor reductor del agitador, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas

1. Medición de vibraciones

Procedimientos:

Frecuencia: Trimestral

Tiempo: 20 min

- Elaborar la configuración para las mediciones
- Cargar la configuración al colector de vibraciones.
- Accionar el equipo
- Limpiar la superficie del punto a medir.
- Encender el colector de datos
- Colocar el sensor en el punto pre-establecido
- Tomar la medida y guardar
- Retirar el sensor y seguir con la ruta.
- Descarga de datos en el PC
- Analizar los espectros y tendencias
- Diagnosticar el problema.

Equipos y Herramientas:	Materiales:	Repuestos:
Colector de vibraciones	Lija de agua # 80	No aplica
Software para diagnóstico	franela	
Transductor de vibraciones	Wype.	
1 juego de andamio 2 módulos	Guantes anti cortes.	
	Orejeras.	

2. Inspección del estado eléctrico del motor

Procedimientos: **Frecuencia:** 2000h **Tiempo:** 60 min

- Cortar el paso de energía al motor.
- Sacar las canaletas de las borneras.
- Sopletear el tablero eléctrico.
- Ajustar las tuercas y pernos de la bornera.
- Ajustar empalmes y tornillos.
- Limpiar los contactos.
- Verificar y ajustar el cable de tierra contra la carcasa del motor.
- Tapar y sellar la bornera.
- Medir los parámetros eléctricos en operación.
- Comprobar su funcionamiento y medir su temperatura.

Equipos y Herramientas:	Materiales:	Repuestos:
Pirómetro.	Guantes dieléctricos.	No aplica
Soplador de aire.	Type.	
Multímetro	Spray Limpia contactos.	
Destornillador plano y estrella.	Wype.	
Alicate.	Orejeras	
Pinza de electricista.		
1 juego de andamio 2 módulos		
1 guarda vida		

3. Inspección del estado mecánico del agitador

Procedimientos: **Frecuencia:** 2000h **Tiempo:** 60 min

- Con la máquina encendida.
- Verificar el funcionamiento del agitador
- Verificar el acoplamiento.
- Con el equipo en reposo
- Ajustar los pernos de la brida
- Revisar el estado de la carcasa y anclaje.
- Revisión las paletas del agitador.

Equipos y Herramientas:

Desarmador estrella y plano.

Juego de llaves mixtas.

Llaves de pico

Materiales:

Orejas.

Wype.

Guantes anti cortes.

Repuestos:

No aplica

4. Lubricación de las partes móviles del agitador

Procedimientos: **Frecuencia:** Mensual **Tiempo:** 60 min

- Con el equipo en reposo.
- Limpiar el acoplamiento, eje y soporte
- Lubricar el casquillo del agitador.
- No es necesario controlar el lubricante del reductor.
- Verificar su funcionamiento en marcha.

Equipos y Herramientas:

Desarmador estrella y plano.

Juego de llaves mixtas.

Llaves de pico

Materiales:

Lija de acero.

Lubricante W40

Grasa Shell Súper Grease A3.

Wype.

Guantes anti cortes.

Repuestos:

No aplica

- Revisar el estado de la polea
- Colocar y alinear la nueva banda.
- Tensar la banda y colocar lubricante de banda
- Lubricar las partes móviles
- Ajustar los pernos
- Colocar los resguardos
- Accionar el equipo y comprobar su funcionamiento

Equipos y Herramientas:

Juego de hexágonos
 Juego de llaves mixtas
 Regla de comparación.
 Destornillador plano y estrella
 Alicata.
 Llave pico 3 plg
 1 juego de andamio 2 módulos

Materiales:

Wype.
 Lija de agua # 200
 Grasa SKF- LGFP2.
 Brocha.
 Guantes anti cortes.
 Lubricante para bandas

Repuestos:

Banda 50 A
 trapecial.

3. Corrección de alineamiento de la polea**Procedimientos:****frecuencia:** Trimestral**Tiempo:** 90 min

- Cortar el paso de energía a la máquina.
- Retirar las tapas de seguridad.
- Sacar la banda de transmisión.
- Corregir alineamiento axial de las poleas.
- Corregir alineamiento radial de las poleas.
- Colocar la banda.
- Colocar la tapa respectiva.
- Encender la máquina y verificar su funcionamiento.

Equipos y Herramientas:	Materiales:	Repuestos:
Juego de hexágonos	Wype.	N/A
Juego de llaves mixtas	Brocha.	
Regla de comparación.	Guantes anti cortes.	
Destornillador plano y estrella		
Alicate.		
Llave pico 3 plg		
1 juego de andamio 2 módulos		

4. Inspección del estado mecánico del motor de carga de material

Procedimientos: frecuencia: 2000h **Tiempo:** 60 min

- Con la máquina encendida.
- Verificar el funcionamiento del silfin y poleas
- Verificar el funcionamiento del motor.
- Con el equipo en reposo
- Ajustar los pernos de la base
- Revisar el estado de la carcasa y anclaje.
- Revisar el estado de las polea
- Medir la distancia entre centros
- Verificar la holgura de las poleas y de ser corregir.

Equipos y Herramientas:	Materiales:	Repuestos:
Juego de hexágonos	Wype.	N/A
Juego de llaves mixtas	Brocha.	
Regla de comparación.	Guantes anti cortes.	
Destornillador plano y estrella		
Llave pico 3 plg		
1 juego de andamio 2 módulos		
Calibrador.		

5. Inspección del estado eléctrico del motor.

Procedimientos: **Frecuencia:** 2000h **Tiempo:** 60 min

- Cortar el paso de energía al motor.
- Sacar las canaletas de las borneras.
- Sopletear el tablero eléctrico.
- Ajustar las tuercas y pernos de la bornera.
- Ajustar empalmes y tornillos.
- Limpiar los contactos.
- Verificar y ajustar el cable de tierra contra la carcasa del motor.
- Tapar y sellar la bornera.
- Medir los parámetros eléctricos en operación.
- Comprobar su funcionamiento y medir su temperatura.

Equipos y Herramientas:

Pirómetro.
 Soplador de aire.
 Multimetro
 Destornillador plano y estrella.
 Alicata.
 Pinza de electricista.
 1 juego de andamio 2 módulos

Materiales:

Wype.
 Spray limpia contactos.
 Brocha.
 Guantes dieléctricos.
 Type

Repuestos:

N/A

6. Lubricación de las partes móviles del motor de carga

Procedimientos: **frecuencia:** Mensual **Tiempo:** 60 min

- Con el equipo en reposo.
- Retirar el resguardo de la polea
- Limpiar el poleas, eje del silfin y soporte
- Lubricar las partes móviles.
- Lubricar la banda
- Colocar el resguardo
- Verificar su funcionamiento en marcha.

2. Limpieza del ventilador y limpieza del filtro.

Procedimientos: **frecuencia:** trimestral **Tiempo:** 120 min

- Apagar y bloquear el equipo.
- Desconectar de las tuberías de descarga
- Retirar el filtro y lavarlo
- Retirar del pedestal o base el ventilador
- Retirar la placa de entrada
- Retirar la rueda
- Limpiar la rueda de agentes abrasivos, corrosivos o acumulaciones
- Verificar su estado para el remplazo o rebalanceo
- Limpiar la voluta y eje
- Lubricar los rodamientos
- Colocar el impulsor y la placa de entrada
- Conectar las tuberías
- Comprobar su funcionamiento.

Equipos y Herramientas:

Juego de hexágonos

Juego de llaves mixtas

Destornillador plano y estrella

Un martillo de goma

Llave pico 3 plg

Sopladora

Calibrador.

Engrasador manual

Materiales:

Wype.

Brocha.

Guantes anti cortes.

Cepillo de acero suave.

Lija de agua # 80

Grasa Shell Alvania #2

Diesel o gasolina

Orejeras.

Repuestos:

N/A

3. Inspección del estado mecánico del secador

Procedimientos: **frecuencia:** 2000h **Tiempo:** 60 min

- Con la máquina encendida.
- Verificar el funcionamiento del ventilador
- Verificar el funcionamiento del motor.

2. Limpieza del ventilador, filtro y silenciador.

Procedimientos: **frecuencia:** trimestral **Tiempo:** 120 min

- Apagar y bloquear el equipo.
- Desconectar de las tuberías de descarga
- Retirar el filtro y silenciador
- Limpiar el filtro y silenciador
- Retirar del pedestal o base el ventilador
- Retirar la placa de entrada
- Retirar la rueda
- Limpiar la rueda de agentes abrasivos, corrosivos o acumulaciones
- Verificar su estado para el remplazo o rebalanceo
- Limpiar la voluta y eje
- Lubricar los rodamientos
- Colocar el impulsor y la placa de entrada
- Colocar el filtro y silenciador
- Limpiar y revisar el sistema venturi.
- Conectar las tuberías
- Comprobar su funcionamiento.

Equipos y Herramientas:

Juego de hexágonos
 Juego de llaves mixtas
 Destornillador plano y estrella
 Un martillo de goma
 Llave pico 3 plg
 Sopladora
 Calibrador.
 Engrasador manual

Materiales:

Wype.
 Brocha.
 Guantes anti cortes.
 Cepillo de acero suave.
 Lija de agua # 80
 Grasa Shell Alvania #2
 Diesel o gasolina
 Orejeras.

Repuestos:

N/A

3. Inspección del estado mecánico del motor ventilador de transporte

Procedimientos: frecuencia: 2000h **Tiempo:** 60 min

- Con la máquina encendida.
- Verificar el funcionamiento del ventilador
- Verificar el funcionamiento del motor.
- Verificar el nivel de ruido y flujo de aire
- Con el equipo en reposo
- Ajustar los pernos de la base
- Revisar el estado de la carcasa y anclaje.
- Revisar los amortiguadores y filtro

Equipos y Herramientas:

Juego de hexágonos

Juego de llaves mixtas

Destornillador plano y estrella

Llave pico 3 plg

Calibrador.

Materiales:

Wype.

Brocha.

Guantes anti cortes.

Orejeras.

Repuestos:

N/A

4. Inspección del estado eléctrico del motor ventilador de transporte.

Procedimientos: Frecuencia: 2000h **Tiempo:** 60 min

- Cortar el paso de energía al motor.
- Sacar las canaletas de las borneras.
- Sopletear el tablero eléctrico.
- Ajustar las tuercas y pernos de la bornera.
- Ajustar empalmes y tornillos.
- Limpiar los contactos.
- Verificar y ajustar el cable de tierra contra la carcasa del motor.
- Tapar y sellar la bornera.
- Medir los parámetros eléctricos en operación.
- Comprobar su funcionamiento y medir su temperatura.

- Accionar el equipo
- Limpiar la superficie del punto a medir.
- Encender el colector de datos
- Colocar el sensor en el punto pre-establecido
- Tomar la medida y guardar
- Retirar el sensor y seguir con la ruta.
- Descarga de datos en el PC
- Analizar los espectros y tendencias
- Diagnosticar el problema.

Equipos y Herramientas:

Colector de vibraciones
 Software para diagnóstico
 Transductor de vibraciones

Materiales:

Lija de agua # 80
 franela
 Wype.
 Guantes anti cortes.
 Orejeras.

Repuestos:

No aplica

2. Cambio de rodamientos y revisión del motor ventilador de la bloquera.**Procedimientos:**

frecuencia: 12000h

Tiempo: 120 min

- Cortar el paso de energía al motor.
- Aflojar pernos de la carcasa.
- Marcar la posición de la tapa.
- Retirar el rotor acoplado con su respectivo eje.
- Sacar los rodamientos montados en el eje.
- Limpiar las superficies de montaje de los rodamientos.
- Limpiar devanados y aplicar anticorrosivo.
- Sopletear y limpiar rotor y sus superficies.
- Aplicar grasa en el eje donde se acoplan los rodamientos.
- Colocar los nuevos rodamientos.
- Lubricar los rodamientos y partes móviles.

- Realizar el respectivo montaje de carcasa, rotor.
- Alinear motor eléctrico con acople.
- Realizar la conexión eléctrica.
- Limpiar parte exterior del motor y puesto de trabajo.
- Comprobar su funcionamiento.

Equipos y Herramientas:

Multímetro
 Sopladora de aire
 Calentador de rodamientos
 Juego de hexágonos
 Juego de llaves mixtas
 Martillo de acero
 Martillo de goma
 Engrasadora manual
 Juego SKF para introducir rodamientos.
 Regla de comparación.
 Destornillador plano y estrella

Materiales:

Wype.
 Franela.
 Silicón.
 Lija de agua # 200
 Cepillo de acero.
 Grasa SKF- LGFP2.
 Brocha.
 Diesel.
 Lubricante W40.
 Esmalte para bobina.
 Type
 Guantes anti cortes.

Repuestos:

2 Rodamiento de bola SKF ¾ plg.

3. Limpieza del ventilador**Procedimientos:****frecuencia:** trimestral**Tiempo:** 120 min

- Apagar y bloquear el equipo.
- Desconectar de las tuberías de succión y descarga
- Retirar del pedestal o base el ventilador
- Retirar la placa de entrada
- Retirar la rueda
- Limpiar la rueda de agentes abrasivos, corrosivos o acumulaciones
- Verificar su estado para el remplazo o rebalanceo
- Limpiar la voluta y eje
- Lubricar los rodamientos

Llave pico 3 plg

Calibrador.

5. Inspección del estado eléctrico del motor ventilador de la bloquera.

Procedimientos: **Frecuencia:** 2000h **Tiempo:** 60 min

- Cortar el paso de energía al motor.
- Sacar las canaletas de las borneras.
- Sopletear el tablero eléctrico.
- Ajustar las tuercas y pernos de la bornera.
- Ajustar empalmes y tornillos.
- Limpiar los contactos.
- Verificar y ajustar el cable de tierra contra la carcasa del motor.
- Tapar y sellar la bornera.
- Medir los parámetros eléctricos en operación.
- Comprobar su funcionamiento y medir su temperatura.

Equipos y Herramientas:

Pirómetro.

Soplador de aire.

Multímetro

Destornillador plano y estrella.

Alicate.

Pinza de electricista.

Llave de pico 3 plg

Materiales:

Guantes dieléctricos.

Type.

Spray Limpia contactos.

Wype.

Orejeras

Repuestos:

No aplica

5.11.2 Banco de tareas del equipo motor ventilador del silo, procedimientos, tiempos de ejecución, frecuencias, repuestos, materiales y herramientas

1. Medición de vibraciones.

Procedimientos: **Frecuencia:** Trimestral **Tiempo:** 20 min

- Elaborar la configuración para las mediciones
- Cargar la configuración al colector de vibraciones.
- Accionar el equipo
- Limpiar la superficie del punto a medir.
- Encender el colector de datos
- Colocar el sensor en el punto pre-establecido
- Tomar la medida y guardar
- Retirar el sensor y seguir con la ruta.
- Descarga de datos en el PC
- Analizar los espectros y tendencias
- Diagnosticar el problema.

Equipos y Herramientas:

Colector de vibraciones
 Software para diagnóstico
 Transductor de vibraciones

Materiales:

Lija de agua # 80
 franela
 Wype.
 Guantes anti cortes.
 Orejeras.

Repuestos:

No aplica

2. Cambio de rodamientos y revisión del motor ventilador del silo.**Procedimientos:****frecuencia:** 12000h**Tiempo:** 120 min

- Cortar el paso de energía al motor.
- Aflojar pernos de la carcasa.
- Marcar la posición de la tapa.
- Retirar el rotor acoplado con su respectivo eje.
- Sacar los rodamientos montados en el eje.
- Limpiar las superficies de montaje de los rodamientos.
- Limpiar devanados y aplicar anticorrosivo.
- Sopletear y limpiar rotor y sus superficies.
- Aplicar grasa en el eje donde se acoplan los rodamientos.

- Colocar los nuevos rodamientos.
- Lubricar los rodamientos y partes móviles.
- Realizar el respectivo montaje de carcasa, rotor.
- Alinear motor eléctrico con acople.
- Realizar la conexión eléctrica.
- Limpiar parte exterior del motor y puesto de trabajo.
- Comprobar su funcionamiento.

Equipos y Herramientas:

Multímetro

Sopladora de aire

Calentador de rodamientos

Juego de hexágonos

Juego de llaves mixtas

Martillo de acero

Martillo de goma

Engrasadora manual

Juego SKF para introducir rodamientos.

Regla de comparación.

Destornillador plano y estrella

Materiales:

Wype.

Franela.

Silicón.

Lija de agua # 200

Cepillo de acero.

Grasa SKF- LGFP2.

Brocha.

Diesel.

Lubricante W40.

Esmalte para bobina.

Type

Guantes anti cortes.

Repuestos:

2 Rodamiento de bola SKF ¾ plg.

3. Limpieza del ventilador**Procedimientos:****frecuencia:** trimestral**Tiempo:** 120 min

- Apagar y bloquear el equipo.
- Desconectar de las tuberías de succión y descarga
- Retirar del pedestal o base el ventilador
- Retirar la placa de entrada
- Retirar la rueda
- Limpiar la rueda de agentes abrasivos, corrosivos o acumulaciones
- Verificar su estado para el remplazo o rebalanceo

- Limpiar la voluta y eje
- Lubricar los rodamientos
- Colocar el impulsor y la placa de entrada
- Limpiar y revisar el sistema venturi.
- Conectar las tuberías
- Comprobar su funcionamiento.

Equipos y Herramientas:

Juego de hexágonos
 Juego de llaves mixtas
 Destornillador plano y estrella
 Un martillo de goma
 Llave pico 3 plg
 Sopladora
 Calibrador.
 Engrasador manual

Materiales:

Wype.
 Brocha.
 Guantes anti cortes.
 Cepillo de acero suave.
 Lija de agua # 80
 Grasa Shell Alvania #2
 Diesel o gasolina
 Orejeras.

Repuestos:

N/A

4. Inspección del estado mecánico del motor ventilador del silo**Procedimientos:****frecuencia:** 2000h**Tiempo:** 60 min

- Con la máquina encendida.
- Verificar el funcionamiento del ventilador
- Verificar el funcionamiento del motor.
- Verificar el nivel de ruido y flujo de aire
- Con el equipo en reposo
- Ajustar los pernos de la base
- Revisar el estado de la carcasa y anclaje.
- Revisar los amortiguadores.

- Revisar el estado de la carcasa y anclaje.

Equipos y Herramientas:

Juego de hexágonos
 Juego de llaves mixtas
 Destornillador plano y estrella
 Calibrador.

Materiales:

Wype.
 Brocha.
 Guantes anti cortes.
 Orejeras.

Repuestos:

N/A

3. Inspección del estado eléctrico del motor de material virgen.**Procedimientos:**

Frecuencia: 2000h

Tiempo: 60 min

- Cortar el paso de energía al motor.
- Sacar las canaletas de las borneras.
- Sopletear el tablero eléctrico de la bloquera.
- Ajustar las tuercas y pernos de la bornera.
- Ajustar empalmes y tornillos.
- Limpiar los contactos.
- Verificar y ajustar el cable de tierra contra la carcasa del motor.
- Tapar y sellar la bornera.
- Medir los parámetros eléctricos en operación.
- Comprobar su funcionamiento y medir su temperatura.

Equipos y Herramientas:

Pirómetro.
 Soplador de aire.
 Multimetro
 Destornillador plano y estrella.
 Alicata.
 Pinza de electricista.
 Llave de pico 3 plg

Materiales:

Guantes dieléctricos.
 Type.
 Spray Limpia contactos.
 Wype.
 Orejeras

Repuestos:

No aplica

Calibrador.	Diesel o gasolina
Engrasador manual	Orejeras.

3. Inspección del estado mecánico del motor ventilador de la bloquera

Procedimientos: **frecuencia:** 2000h **Tiempo:** 60 min

- Con la máquina encendida.
- Verificar el funcionamiento del ventilador
- Verificar el funcionamiento del motor.
- Verificar el nivel de ruido y flujo de aire
- Con el equipo en reposo
- Ajustar los pernos de la base
- Revisar el estado de la carcasa y anclaje.
- Revisar los amortiguadores.

Equipos y Herramientas:	Materiales:	Repuestos:
Juego de hexágonos	Wype.	N/A
Juego de llaves mixtas	Brocha.	
Destornillador plano y estrella	Guantes anti cortes.	
Llave pico 3 plg	Orejeras.	
Calibrador.		

4. Inspección del estado eléctrico del motor ventilador de la bloquera.

Procedimientos: **Frecuencia:** 2000h **Tiempo:** 60 min

- Cortar el paso de energía al motor.
- Sacar las canaletas de las borneras.
- Sopletear el tablero eléctrico.
- Ajustar las tuercas y pernos de la bornera.
- Ajustar empalmes y tornillos.
- Limpiar los contactos.
- Verificar y ajustar el cable de tierra contra la carcasa del motor.
- Tapar y sellar la bornera.

Calibrador.	Diesel o gasolina
Engrasador manual	Orejeras.

3. Inspección del estado mecánico del motor ventilador de secado

Procedimientos: **frecuencia:** 2000h **Tiempo:** 60 min

- Con la máquina encendida.
- Verificar el funcionamiento del ventilador
- Verificar el funcionamiento del motor.
- Verificar el nivel de ruido y flujo de aire
- Con el equipo en reposo
- Ajustar los pernos de la base
- Revisar el estado de la carcasa y anclaje.
- Revisar los amortiguadores.

Equipos y Herramientas:	Materiales:	Repuestos:
Juego de hexágonos	Wype.	N/A
Juego de llaves mixtas	Brocha.	
Destornillador plano y estrella	Guantes anti cortes.	
Llave pico 3 plg	Orejeras.	
Calibrador.		

4. Inspección del estado eléctrico del motor ventilador de secado.

Procedimientos: **Frecuencia:** 2000h **Tiempo:** 60 min

- Cortar el paso de energía al motor.
- Sacar las canaletas de las borneras.
- Sopletear el tablero eléctrico.
- Ajustar las tuercas y pernos de la bornera.
- Ajustar empalmes y tornillos.
- Limpiar los contactos.
- Verificar y ajustar el cable de tierra contra la carcasa del motor.
- Tapar y sellar la bornera.

Equipos y Herramientas:	Materiales:	Repuestos:
Colector de vibraciones	Lija de agua # 80	No aplica
Software para diagnóstico	franela	
Transductor de vibraciones	Wype.	
	Guantes anti cortes.	
	Orejeras.	

2. Inspección del estado mecánico del motor de la bomba hidráulica

Procedimientos: frecuencia: 2000h **Tiempo:** 60 min

- Con la máquina encendida.
- Verificar el funcionamiento de la bomba
- Verificar el funcionamiento del motor.
- Verificar el estado del aceite
- Con el equipo en reposo
- Ajustar los pernos de la base
- Revisar el estado de la carcasa y anclaje.

Equipos y Herramientas:	Materiales:	Repuestos:
Juego de hexágonos	Wype.	N/A
Juego de llaves mixtas	Brocha.	
Destornillador plano y estrella	Guantes anti cortes.	
Llave pico 3 plg	Orejeras.	
Calibrador.		

3. Inspección del estado eléctrico del motor de la bomba hidráulica.

Procedimientos: Frecuencia: 2000h **Tiempo:** 60 min

- Cortar el paso de energía al motor.
- Sacar las canaletas de las borneras.
- Sopletear el tablero eléctrico.
- Ajustar las tuercas y pernos de la bornera.
- Ajustar empalmes y tornillos.

- Limpiar los contactos.
- Verificar y ajustar el cable de tierra contra la carcasa del motor.
- Tapar y sellar la bornera.
- Medir los parámetros eléctricos en operación.
- Comprobar su funcionamiento y medir su temperatura.

Equipos y Herramientas:	Materiales:	Repuestos:
Pirómetro.	Guantes dieléctricos.	No aplica
Soplador de aire.	Type.	
Multímetro	Spray Limpia contactos.	
Destornillador plano y estrella.	Wype.	
Alicate.	Orejeras	
Pinza de electricista.		

5.13 Programación de las tareas de mantenimiento

Al haber estandarizado las tareas de mantenimiento en función del estado real del equipo, es necesario determinar cuándo se debe intervenir, teniendo en cuenta que la empresa trabaja a 3 turno de 8 horas diarias los 5 días a la semana.

La programación que se determina está en función de los programas de producción y los recursos disponibles en el departamento de mantenimiento.

A continuación se presenta la programación de cada equipo rotatorio analizado de la línea de EPS para 2011 en base a la fecha de intervención del diagnóstico vibracional y determinación de tareas.

Tabla 5.15: PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA PRE-EXPANSIÓN

PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO MÁQUINA PRE-EXPANSIÓN 2011									
CÓDIGO	#	TAREAS	TIPO DE TAREA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	FRECUENCIA	SEP	OCT	NOV	DIC
PREMRA	1	Medición de vibraciones	Predictiva	20 min	trimestral			1	
	2	Inspección del estado eléctrico del motor	Preventiva	60 min	2000 h	5			29
	3	Inspección del estado mecánico del agitador	Preventiva	60 min	2000 h	5			29
	4	Lubricación de las partes móviles del agitador	Preventiva	60 min	mensual	5	5	7	5
PREMCM	1	Medición de vibraciones	Predictiva	20 min	trimestral			1	
	2	Cambio de banda	Correctivo	90 min	12000 h	2			
	3	Corrección de alineamiento de la polea	Correctivo	90 min	trimestral	2			
	4	Inspección del estado mecánico	Preventiva	60 min	2000 h	5			28
	5	Inspección del estado eléctrico del motor	Preventiva	60 min	2000 h	5			28
	6	Lubricación de las partes móviles	Preventiva	60 min	mensual	5	5	7	5
PREMVS	1	Medición de vibraciones	Predictiva	20 min	trimestral			1	
	2	Limpieza del ventilador y limpieza del filtro	Preventiva	120 min	trimestral	2			2
	3	Inspección del estado mecánico del secador	Preventiva	60 min	2000 h	6			28
	4	Inspección del estado eléctrico	Preventiva	60 min	2000 h	6			28
PREMVT	1	Medición de vibraciones	Predictiva	20 min	trimestral			1	
	2	Limpieza del ventilador, filtro y silenciador	Preventiva	120 min	trimestral	2			2
	3	Inspección del estado mecánico	Preventiva	60 min	2000 h	6			28
	4	Inspección del estado eléctrico	Preventiva	60 min	2000 h	6			28
PREMRD	1	Inspección del estado mecánico	Preventiva	60 min	2000 h	6			28
	2	Inspección del estado eléctrico	Preventiva	60 min	2000 h	6			28

Tabla 5.16: PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO SISTEMA SILOS

PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO SISTEMA SILOS 2011									
CÓDIGO	#	TAREAS	TIPO DE TAREA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	FRECUENCIA	SEP	OCT	NOV	DIC
SSMVB	1	Medición de vibraciones	Predictiva	20 min	trimestral			1	
	2	Cambio de rodamientos y revisión del motor	Correctivo	120 min	12000 h	6			
	3	Limpieza del ventilador	Preventiva	120 min	trimestral	6			6
	4	Inspección del estado mecánico	Preventiva	60 min	2000 h	7			29
	5	Inspección del estado eléctrico del motor	Preventiva	60 min	2000 h	7			29
SSMVS	1	Medición de vibraciones	Predictiva	20 min	trimestral			1	
	2	Cambio de rodamientos y revisión del motor	Correctivo	120 min	12000 h	6			
	3	Limpieza del ventilador	Preventiva	120 min	trimestral	6			6
	4	Inspección del estado mecánico	Preventiva	60 min	2000 h	7			29
	5	Inspección del estado eléctrico	Preventiva	60 min	2000 h	7			29
SSMMV	1	Medición de vibraciones	Predictiva	20 min	trimestral			1	
	2	Inspección del estado mecánico	Preventiva	60 min	2000 h	7			29
	3	Inspección del estado eléctrico	Preventiva	60 min	2000 h	7			29
SSMMR	1	Inspección del estado mecánico	Preventiva	60 min	2000 h	7			29
	2	Inspección del estado eléctrico	Preventiva	60 min	2000 h	7			29

Tabla 5.17: PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA EXPANSIÓN

PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO MÁQUINA EXPANSIÓN 2011									
CÓDIGO	#	TAREAS	TIPO DE TAREA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	FRECUENCIA	SEP	OCT	NOV	DIC
EXMVB	1	Medición de vibraciones	Predictiva	20 min	trimestral			1	
	2	Limpieza del ventilador	Preventiva	120 min	trimestral	8			8
	3	Inspección del estado mecánico	Preventiva	60 min	2000 h	9			30
	4	Inspección del estado eléctrico del motor	Preventiva	60 min	2000 h	9			30
EXMVS	1	Medición de vibraciones	Predictiva	20 min	trimestral			1	
	2	Limpieza del ventilador	Preventiva	120 min	trimestral	8			8
	3	Inspección del estado mecánico	Preventiva	60 min	2000 h	9			30
	4	Inspección del estado eléctrico del motor	Preventiva	60 min	2000 h	9			30
EXMBH	1	Medición de vibraciones	Predictiva	20 min	trimestral			1	
	2	Inspección del estado mecánico	Preventiva	60 min	2000 h	9			30
	3	Inspección del estado eléctrico del motor	Preventiva	60 min	2000 h	9			30

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se determinó la criticidad en los equipos rotatorios de la línea de EPS, siendo estos, diez equipos rotatorios críticos que le corresponde como política de mantenimiento, el análisis vibracional; y dos equipos no críticos con política de mantenimiento preventivo, dicho análisis esta en base a la teoría del riesgo y tecnología del TPM.
- Se estableció dos puntos de medición por equipo crítico en la dirección, radial, tangencial y axial en base a las características de funcionabilidad y accesibilidad dentro del proceso.
- Se diseñó la configuración de ruta en el software Trendline 2, en el que se define como límite de severidad vibracional 4.5 mm/seg según ISO10816 para cada dirección de los puntos determinados.
- Se realizó el levantamiento de datos para realizar el diseño de las fichas técnicas y evaluación del estado técnico de los equipos críticos, tomando en cuenta los datos y características más sobresalientes para el desarrollo del análisis vibracional, la evaluación dio en general un estado técnico relativamente bueno.
- Se ejecutó las mediciones y el diagnóstico vibracional en la línea de EPS, dando como resultado general la presencia de desbalanceo en los ventiladores, flexibilidad transversal y holgura de rodamientos en los equipos SSMVB, SSMVS.
- Se determinó las posibles causas de los problemas detectados por el método de causa efecto, en el que la causa para el desbalanceo es la incrustación de material en el rotor del ventilador a eso se suma que no se toma en cuenta la limpieza de los ventiladores,

en cambio las causas que ocasiona la flexibilidad transversal es la no atención en el ajuste de los pernos y para la holgura de rodamientos la causa sobresaliente es la deficiencia en el montaje del nuevo rodamiento.

- Se estandarizó las tareas de mantenimiento en base al estado real del equipo, las causas reportadas en el diagnóstico vibracional se intervienen con el mantenimiento preventivo y correctivo, finalmente se programó para su ejecución.

6.2 Recomendaciones

- Es necesario que el personal de mantenimiento y producción establezcan en todos los procesos productivos de la empresa los equipos críticos y definan la política de mantenimiento a regir sobre el activo, tomando como referencia el análisis de criticidad realizado en la línea de EPS.
- Para un mejor monitoreo del estado real del equipo a más de las inspecciones y análisis vibracional, se puede complementar con técnicas predictivas sencillas como mediciones eléctricas, de temperatura, presiones y flujo de aire; sobre todo el sistema productivo de EPS.
- Se recomienda que en la empresa se acoja a cada una de los formatos diseñados que permitirá generar información para la toma decisiones y poder llevar un mejor control, evaluación y gestión del mantenimiento.
- Es de vital importancia realizar las tareas determinadas en base al diagnóstico vibracional, seguir los procedimientos, frecuencias, tiempo de duración con el fin de optimizar los recursos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **GARCÍA, S.** Mantenimiento Predictivo. 1ra.ed. Madrid: Renovetec, 2009. pp 5
- [2] **GUTIÉRREZ, A.** Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios. 1ra.ed. Medellín: Copyright, 2006. pp 266
- [3] **GARCÍA, S.** Mantenimiento Predictivo. 1ra.ed. Madrid: Renovetec, 2009. pp 7
- [4] **PALOMINO, E.** la Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas Rotativas. Cuba: Ceim, 1997. pp 5
- [5] **GARCÍA, S.** Mantenimiento Predictivo. 1ra.ed. Madrid: Renovetec, 2009. pp 17
- [6] **CUATRECASAS, L.** Total Productive Maintenance. Barcelona, 2003. pp 194
- [7] **ALVARES, R.** Curso de Vibraciones Mecánicas. Quito, 2004. pp 4
- [8] **AMAQ S.A.** Tutoría de Vibraciones para Mantenimiento. México, 2005. pp 13
- [9] **ALVARES. R.** Curso de vibraciones Mecánicas. Quito, 2004. pp 45
- [10] **PALOMINO, E.** La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas Rotativas. Cuba: Ceim, 1997. pp 45
- [11] **RON BODRE.** DLI Engineering Tutoría de Vibraciones. Bainbridge Island. pp 43
- [12] **PALOMINO, E.** La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas Rotativas. Cuba: Ceim, 1997. pp 60
- [13] **GARCIA J,** Análisis de Vibraciones, Cali. 2003. pp 41
- [14] **KNEZEVIC, J.** Mantenimiento de Jezdimir. 4ra.ed. Madrid: Isdefe, 1996. pp 42
- [15] **FAG INDUSTRIAL SERVICES.** Manual Detector II Trendline 2. Versión 2.0, Germany, 2002

BIBLIOGRAFÍA

- **GARCÍA, S.** Mantenimiento Predictivo. 1ra.ed. Madrid: Renovetec, 2009
- **GUTIÉRREZ, A.** Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios. 1ra.ed. Medellín: Copyright, 2006
- **PALOMINO, E.** la Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas Rotativas. Cuba: Ceim, 1997
- **CUATRECASAS, L.** Total Productive Maintenance. Barcelona, 2003
- **ALVARES, R.** Curso de Vibraciones Mecánicas. Quito, 2004
- **AMAQ S.A.** Tutoría de Vibraciones para Mantenimiento. México, 2005
- **RON BODRE.** DLI Engineering Tutoría de Vibraciones. Bainbridge Island, 1995
- **GARCIA J,** Análisis de Vibraciones. Cali, 2003
- **KNEZEVIC, J.** Mantenimiento de Jezdimir. 4ra.ed. Madrid: Isdefe, 1996
- **MOSQUERA, G.** Las Vibraciones Mecánicas y su Aplicación al Mantenimiento Predictivo. 2da.ed. Caracas: Copyright, 2001
- **PARESH GIRDHAR.** Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. 1ra.ed. London- England: Copyright, 2004
- **BIANCHI; FACINELLI.** Diagnostico de Fallas Mediante Análisis Vibracional. 1ra.ed. Buenos Aires: Nueva Librería, 1986
- **MOROCHO, M.** Administración del Mantenimiento. DocuCentro, Riobamba-Ecuador 2002
- **FAG INDUSTRIAL SERVICES.** Manual Detector II Trendline 2. Versión 2.0, Germany, 2002

LINKOGRAFÍA

SINAIS Ingeniería de Mantenimiento

http://www.sinais.es/normativa/normalizacion_vibraciones.html

01/06/2011

ISO Vibraciones

<http://www.iso.org/iso/search.htm?qt=vibraciones&sort=rel&type=simple&published=on>

15/07/2011

Ingeniería de Mantenimiento

http://grupos.emagister.com/ingenieria_de_mantenimiento/1606

28/07/2011

Estandarización del Mantenimiento

<http://es.scribd.com/doc/56545577/1-Estandarizacion-de-las-actividades-de-mantenimiento>

28/07/2011

Vibración en Ventiladores

<http://www.evisaventiladores.com/evisaweb/ventiladores/calimpio.html>

11/08/2011

Hormig2

www.hormi2.com

12/09/2011

Emmedue Italia

www.mdue.it

11/10/2011