



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO MEDIANTE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS
VIBRACIONAL PARA LOS MOTORES Y BOMBAS DEL
LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA
SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**

**MENDOZA OLMEDO DENYS MIGUEL
MIRANDA QUISHPE DIEGO DARÍO**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-04-22

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

DENYS MIGUEL MENDOZA OLMEDO

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
MEDIANTE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA LOS
MOTORES Y BOMBAS DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE
LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO”**

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

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Eduardo Hernández Dávila.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marco Almendáriz Puente.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-04-22

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

DIEGO DARÍO MIRANDA QUISHPE

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
MEDIANTE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA LOS
MOTORES Y BOMBAS DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE
LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO”**

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

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Eduardo Hernández Dávila.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marco Almendáriz Puente.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DENYS MIGUEL MENDOZA OLMEDO

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO MEDIANTE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA LOS MOTORES Y BOMBAS DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: 2013-11-26

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Fernando González Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Eduardo Hernández Dávila DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Marco Almendariz Puente ASESOR DE TESIS			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Fernando González Puente
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DIEGO DARÍO MIRANDA QUISHPE

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO MEDIANTE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS VIBRACIONAL PARA LOS MOTORES Y BOMBAS DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: 2013-11-26

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Fernando González Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Eduardo Hernández Dávila DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Marco Almendariz Puente ASESOR DE TESIS			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Fernando González Puente
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

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

Denys Miguel Mendoza Olmedo

Diego Darío Miranda Quishpe

DEDICATORIA

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí. A mis hermanos, tíos, primos, abuelos y amigos.

Mil palabras no bastarían para agradecer su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles. A todos espero no defraudarlos contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

Denys Mendoza Olmedo

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí. A mi hermano, tíos, primos, abuelos y amigos.

Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida

Diego Miranda Quishpe

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Denys Miguel Mendoza Olmedo

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil para la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Diego Darío Miranda Quishpe

CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Análisis vibracional en maquinaria industrial.....	3
2.2 Clase de movimiento oscilatorios.....	3
2.3 Movimiento armónico simple.....	4
2.4 Frecuencias naturales y resonancias.....	6
2.5 Sentidos de medición.....	6
2.6 Espectros utilizados en el análisis vibracional.....	7
2.6.1 <i>Desbalanceo</i>	7
2.6.1.1 <i>Desbalanceo estático</i>	7
2.6.1.2 <i>Desbalanceo dinámico</i>	8
2.6.1.3 <i>Rotor colgante</i>	8
2.6.2 <i>Desalineación</i>	8
2.6.2.1 <i>Desalineación angular</i>	8
2.6.2.2 <i>Desalineación paralela</i>	9
2.6.2.3 <i>Desalineación entre chumaceras</i>	9
2.6.3 <i>Holgura mecánica</i>	10
2.6.3.1 <i>Holgura eje- agujero</i>	10
2.6.4 <i>Soltura estructural</i>	10
2.6.4.1 <i>Soltura estructural</i>	10
2.6.5 <i>Excentricidad</i>	11
2.6.5.1 <i>Rotor excéntrico</i>	11
2.6.6 <i>Rotor o eje pandeado</i>	11
2.6.6.1 <i>Pandeo</i>	11
2.6.7 <i>Resonancias y pulsaciones</i>	11
2.6.7.1 <i>Resonancias</i>	11
2.6.7.2 <i>Pulsaciones</i>	12
2.6.8 <i>Flujo de líquidos</i>	12
2.6.8.1 <i>Frecuencia de aspas (L)</i>	12
2.6.8.2 <i>Cavitación</i>	13
2.6.9 <i>Fallas en rodamientos</i>	13
2.6.9.1 <i>Falla en pista interna</i>	13
2.6.9.2 <i>Falla en pista externa</i>	14
2.6.9.3 <i>Fallas en elementos rodantes</i>	14
2.6.9.4 <i>Deterioro de jaula</i>	15
2.7 Reglas para el análisis de los espectros.....	15
2.8 Tecnologías para la detección de defectos en cojinetes de rodamiento	16
2.8.1 <i>Energía espectral emitida (SEE)</i>	17
2.8.2 <i>Bearing condition unit/ bearing condition spectrum (BCU/BSC)</i>	17

2.9	Clasificación y Selección de Transductores.....	18
2.9.1	<i>Transductor de desplazamiento</i>	18
2.9.1	<i>Transductor de velocidad</i>	19
2.9.1	<i>Transductor piezoeléctrico</i>	20
2.10	Normas de severidad vibracional.....	21
2.10.1	<i>Tabla de Rathbone</i>	22
2.10.2	<i>Norma ISO 2372</i>	22
2.10.3	<i>MIL- STD -167 - 1 y MIL - STD - 167 – 2</i>	23
2.10.4	<i>Norma 10816-3</i>	23
2.11	Tabla de resumen de diagnóstico vibracional.....	26
2.12	Organigrama de la ubicación del departamento de Mantenimiento...	30
3.	ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS MOTORES Y BOMBAS DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA	
3.1	Contexto operacional.....	31
3.1.1	<i>Resumen operativo</i>	31
3.1.1.1	<i>Propósito del sistema</i>	31
3.1.2	<i>Descripción de equipos</i>	31
3.1.2.1	<i>Fichas técnicas y características de los activos</i>	31
3.1.3	<i>Seguridad orden y limpieza</i>	35
3.1.3.1	<i>Seguridad</i>	35
3.1.3.2	<i>Orden y limpieza</i>	35
3.2	Estado técnico de los equipos.....	36
3.3	Análisis de criticidad.....	41
3.3.1	<i>Criticidad de los equipos según las áreas de impacto</i>	44
3.3.1.1	<i>Turbina Pelton</i>	44
3.3.1.2	<i>Turbina Francis</i>	46
3.3.1.3	<i>Turbina Kaplan</i>	48
3.3.1.4	<i>Turbina Francis 2</i>	50
3.3.1.5	<i>Bomba centrífuga</i>	54
3.3.1.6	<i>Bomba Reciprocante</i>	56
3.4	Determinación de los componentes funcionales.....	59
3.4.1	<i>Banco de pruebas de la turbina Pelton</i>	59
3.4.2	<i>Banco de pruebas de la turbina Francis</i>	59
3.4.3	<i>Banco de pruebas de la turbina Kaplan</i>	60
3.4.4	<i>Banco de pruebas de la turbina Francis 2</i>	61
3.5	Análisis funcional.....	61
3.5.1	<i>Función primaria</i>	62
3.5.2	<i>Función secundaria</i>	62
3.5.3	<i>Función de protección</i>	62
3.5.4	<i>Función de control</i>	62
3.5.5	<i>Funciones subsidiarias</i>	62
3.6	Análisis de modo y efecto de falla.....	65
3.6.1	<i>AMEF del banco de pruebas de la turbina Pelton</i>	67
3.6.2	<i>AMEF del banco de pruebas de la turbina Francis</i>	70
3.6.3	<i>AMEF del banco de pruebas de la turbina Kaplan</i>	73
3.6.4	<i>AMEF del banco de pruebas de la turbina Francis 2</i>	77
4.	PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
4.1	Selección de las frecuencias de inspección.....	81
4.2	Desarrollo del plan de mantenimiento predictivo.....	82

4.2.1	<i>Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Pelton</i>	83
4.2.2	<i>Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis</i>	84
4.2.3	<i>Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Kaplan</i>	85
4.2.4	<i>Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis 2</i>	86
4.3	Homogenización del plan de mantenimiento.....	88
4.4	Manual de mantenimiento proactivo.....	90
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	
5.1	Equipo de diagnóstico vibracional utilizado.....	107
5.1.1	<i>Descripción del equipo</i>	107
5.2	Sensores.....	108
5.3	Conexión USB.....	108
5.4	Software que utiliza.....	108
5.5	Transferencia de datos.....	109
5.6	Determinación de las rutas de medición.....	110
5.7	Recopilación de datos.....	113
5.8	Determinación de los niveles de severidad de vibración.....	126
5.9	Diseño de los reportes de medición.....	126
5.10	Análisis de resultados.....	129
5.11	Resumen de las mediciones.....	160
5.12	Comparación de resultados de frecuencia de falla de rodamientos.....	162
5.13	Estadística de los resultados obtenidos.....	163
5.13.1	<i>Banco de pruebas de la turbina Pelton</i>	163
5.13.2	<i>Banco de pruebas de la turbina Francis</i>	164
5.13.3	<i>Banco de pruebas de la turbina Kaplan</i>	165
5.14	Comparación del estado técnico con el estado de la condición.....	166
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones.....	169
6.2	Recomendaciones.....	170

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Tabla de Rathbone.....	22
2	Norma ISO 2372	22
3	Norma ISO- 10816-3 para vibraciones en velocidad	24
4	Norma ISO- 10816-3 para vibraciones en desplazamiento.....	25
5	Desbalanceo.....	26
6	Desalineamiento.....	26
7	Problemas de turbinas.....	27
8	Problema de ventiladores.....	27
9	Holgura mecánica.....	28
10	Problemas de rodamientos con elementos rodantes.....	28
11	Ficha técnica del banco de pruebas de la Turbina Pelton.....	31
12	Ficha técnica del banco de pruebas de la Turbina Francis.....	32
13	Ficha técnica del banco de pruebas de la Turbina Kaplan.....	33
14	Ficha técnica del banco de pruebas de la Turbina Francis 2.....	34
15	Estado técnico del motor y bomba del banco de pruebas de la Turbina Pelton.....	37
16	Estado técnico del motor y bomba del banco de pruebas de la Turbina Francis....	38
17	Estado técnico del motor y bomba del banco de pruebas de la Turbina Kaplan....	39
18	Estado técnico del motor y bomba del banco de pruebas de la Turbina Francis 2...	40
19	Matriz de criticidad.....	42
20	Análisis de criticidad.....	58
21	Análisis funcional del banco de pruebas de la turbina Pelton.....	63
22	Análisis funcional del banco de pruebas de la turbina Francis.....	63
23	Análisis funcional del banco de pruebas de la turbina Kaplan.....	64
24	Análisis funcional del banco de pruebas de la turbina Francis 2.....	64
25	Análisis de modo y efecto de falla del banco de pruebas de la turbina Pelton.....	67
26	Análisis de modo y efecto de falla del banco de pruebas de la turbina Francis.....	70
27	Análisis de modo y efecto de falla del banco de pruebas de la turbina Kaplan.....	73
28	Análisis de modo y efecto de falla del banco de pruebas de la turbina Francis 2....	77
29	Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Pelton.....	83
30	Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis.....	84
31	Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Kaplan.....	85
32	Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis 2.....	86
33	Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis 2.....	87
34	Homogenización del plan de mantenimiento.....	88
35	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis vibracional del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Pelton.....	91
36	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis termográfico del sistema eléctrico del banco de pruebas de la turbina Pelton.....	92
37	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis de ultrasonido del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Pelton.....	93
38	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis vibracional del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis.....	94
39	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis termográfico del sistema eléctrico del banco de pruebas de la turbina Francis.....	95
40	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis de ultrasonido del motor y	

	bomba del banco de pruebas de la turbina Francis.....	96
41	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis vibracional del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Kaplan.....	97
42	Manual de mantenimiento proactivo para la alineación del acople del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Kaplan.....	98
43	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis termográfico del sistema eléctrico del banco de pruebas de la turbina Kaplan.....	99
44	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis de ultrasonido del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Kaplan.....	100
45	Manual de mantenimiento proactivo para la inspección eléctrica del motor 1 y motor 2 del banco de pruebas de la turbina Francis 2.....	101
46	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis vibracional del motor 1 y bomba 1 del banco de pruebas de la turbina Francis 2.....	102
47	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis termográfico del sistema eléctrico del banco de pruebas de la turbina Francis 2.....	103
48	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis de ultrasonido del motor 1 y bomba 1 del banco de pruebas de la turbina Francis 2.....	104
49	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis vibracional del motor 2 y bomba 2 del banco de pruebas de la turbina Francis 2.....	105
50	Manual de mantenimiento proactivo para el análisis de ultrasonido del motor 2 y bomba 2 del banco de pruebas de la turbina Francis 2.....	106
51	Rutas de medición del banco de pruebas de la turbina Pelton.....	110
52	Rutas de medición del banco de pruebas de la turbina Francis.....	111
53	Rutas de medición del banco de pruebas de la turbina Kaplan.....	112
54	Nivel de severidad vibracional en parámetros de aceleración.....	126
55	Reporte de análisis vibracional.....	128
56	Reporte N° 001.....	129
57	Reporte N° 002.....	130
58	Reporte N° 003.....	131
59	Reporte N° 004.....	132
60	Reporte N° 005.....	133
61	Reporte N° 006.....	134
62	Reporte N° 007.....	136
63	Reporte N° 008.....	138
64	Reporte N° 009.....	140
65	Reporte N° 010.....	141
66	Reporte N° 011.....	142
67	Reporte N° 012.....	143
68	Reporte N° 013.....	144
69	Reporte N° 014.....	145
70	Reporte N° 015.....	146
71	Reporte N° 016.....	147
72	Reporte N° 017.....	148
73	Reporte N° 018.....	149
74	Reporte N° 019.....	150
75	Reporte N° 020.....	151
76	Reporte N° 021.....	152
77	Reporte N° 022.....	153
78	Reporte N° 023.....	154
79	Reporte N° 024.....	155
80	Reporte N° 025.....	156
81	Reporte N° 026.....	157
82	Reporte N° 027.....	158
83	Reporte N° 028.....	159
84	Resumen de las mediciones realizadas.....	160
85	Comparación de resultados del rodamiento 6205.....	162

86	Comparación de resultados del rodamiento 6206.....	163
87	Número de problemas encontrados en la turbina Pelton.....	163
88	Número de problemas encontrados en la turbina Francis.....	164
89	Número de problemas encontrados en la turbina Kaplan.....	165
90	Comparación del estado técnico con el estado de la condición.....	167

LISTA DE FIGURAS

		Pag.
1	Movimiento oscilatorio regular	3
2	Movimiento oscilatorio irregular.....	4
3	Movimiento armónico simple.....	4
4	Desplazamiento, Velocidad, Aceleración.....	5
5	Sentidos de medición	6
6	Desbalanceo estático.....	7
7	Desbalanceo dinámico.....	8
8	Rotor colgante.....	8
9	Desalineación angular.....	9
10	Desalineación paralela.....	9
11	Desalineación entre chumaceras.....	9
12	Holgura eje-agujero.....	10
13	Soltura estructural.....	10
14	Rotor excéntrico.....	11
15	Pandeo.....	11
16	Resonancia.....	12
17	Pulsaciones.....	12
18	Frecuencia de aspa (L).....	13
19	Cavitación.....	13
20	Falla en pista interna.....	14
21	Falla en pista externa.....	14
22	Falla en elementos rodantes.....	15
23	Deterioro de jaula.....	15
24	Transductor de desplazamiento.....	19
25	Transductor de velocidad.....	20
26	Transductor piezoeléctrico.....	21
27	MIL -STD- 167 -1.....	23
28	Ubicación del departamento de Mantenimiento.....	30
29	Flujograma de criticidad.....	43
30	Equipo Vibracheck 200.....	107
31	Transferencia de datos.....	109
32	Carpeta contenedora de datos.....	113
33	Carpeta de base de datos.....	114
34	Creación de la maquina a analizar.....	114
35	Ingreso de las frecuencias a observar.....	115
36	Ingreso de la imagen de la maquina.....	115
37	Creación del punto de medición.....	116
38	Ingreso de las direcciones de medición.....	116
39	Ingreso de las variables de vibración.....	117
40	Creación del punto de medición motor lado libre H.....	117
41	Ingreso de las variables de vibración.....	118
42	Creación del punto de medición motor lado libre A.....	118
43	Ingreso de las variables de vibración.....	119
44	Creación del punto de medición motor lado acoplado V.....	119
45	Ingreso de las variables de vibración.....	120
46	Creación del punto de medición motor lado acoplado H.....	120
47	Ingreso de las variables de vibración.....	121
48	Creación del punto de medición motor lado acoplado A.....	121
49	Ingreso de las variables de vibración.....	122

50	Creación del punto de medición llamado bomba V.....	122
51	Ingreso de las variables de vibración.....	123
52	Creación del punto de medición llamado bomba H.....	123
53	Ingreso de las variables de vibración.....	124
54	Creación del punto de medición llamado bomba A.....	124
55	Ingreso de las variables de vibración.....	125
56	Creación de los demás puntos de medición.....	125

LISTA DE ABREVIACIONES

AMEF	Análisis de Modo y Efecto de Falla
BSF	Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en la pista externa
BPFO	Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en la pista externa
BPMF	Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en la pista interna
Fn	Es la frecuencia que presenta cada componente por su propia naturaleza y características. Esta frecuencia oscilará si es excitada por agente externo que opere a una frecuencia muy cercana
Hz	Unidad más común de la frecuencia. Equivale a ciclos por segundo
ISO	Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization)
MAS	Movimiento Armónico Simple
RPM	Equivale al número de ciclos por minuto que presenta la máquina

LISTA DE ANEXOS

- A** Carta de Charlotte
- B** Especificaciones técnicas del equipo Vibracheck 200
- C** Evaluación de rodamiento 6205
- D** Evaluación de rodamiento 6206
- E** Criterios de Severidad de la Vibración de Charlotte (mm/s, rms)
- F** Procedimiento para el cambio de rodamientos

RESUMEN

La implementación de un plan de mantenimiento predictivo mediante la técnica de análisis vibracional para los motores y bombas del laboratorio de turbomaquinaria de la Facultad de Mecánica, tiene como objetivo diagnosticar el estado técnico de los bancos de pruebas Pelton, Francis, Kaplan, Francis 2, para presentar un plan de mantenimiento predictivo que permita aumentar la efectividad de los equipos, y predecir a tiempo las fallas que pueden presentarse.

Se seleccionó los equipos de mayor importancia con sus respectivas especificaciones de tareas predictivas adecuadas mediante análisis de criticidad y el análisis de modo y efecto de falla (AMEF); mismos que, se sometieron al análisis de la condición con el equipo Vibracheck 200. Se obtuvo información sobre niveles de vibración y el total que se convierte en valor de comparación y análisis de fallas en motores y bombas de los bancos de pruebas analizados. Como elemento básico de trabajo y diagnóstico en espectros de velocidad se aplicó lo establecido en la norma ISO 10816-3; y, para el análisis espectral de fallas en rodamientos lo indicado en las cartas de Charlotte.

Los niveles de vibración total en motores y bombas no superaron los límites de alarma según la norma ISO 10816-3; el análisis de los espectros de aceleración indica que los rodamientos se encuentran ya en la segunda etapa de falla.

Se realizó el plan de mantenimiento predictivo y su respectiva homogenización; así como también, el manual de mantenimiento proactivo en donde se detallaron los procedimientos a seguir para efectuar correctamente las inspecciones predictivas. Se recomienda seguir las instrucciones del plan de mantenimiento; a fin de que, los bancos de pruebas analizados funcionen efectivamente sin paros imprevistos; y, se alargue la vida útil del activo.

ABSTRACT

The implementation of a predictive maintenance plan using the technique of vibrational analysis for motor and pumps turbomachinery laboratory of the Faculty of Mechanics, aims to diagnose the technical condition of the test suites Pelton, Francis, Kaplan, Francis 2 to present a plan that allows predictive maintenance to increase the equipment effectiveness, and timely predictions of failures that may occur.

The major equipment with their respective specifications of predictive tasks were selected by the criticality and the failure mode and effect analysis (FMEA); same that were submitted to the condition analysis with the Vibracheck 200 equipment.

Was obtained information on vibration levels and the total become comparison value and failure analysis of motors and pumps of test banks analyzed.

As a basic element of work and diagnostic in speed spectra was applied the established in the norm ISO 10816- 3, and for the spectral analysis for bearing fault the indicated in the letters of Charlotte.

The total vibration levels in motors did not exceed the alarm limits according to the norm ISO 10816- 3, the analysis of the acceleration spectra indicates that the bearings are already in the second stage of failure.

The predictive maintenance plan and their respective homogenization was performed, as well as the proactive maintenance manual where are detailed the procedures follow for properly performing of predictive inspections. It is recommended to follow the maintenance plan instructions, so that analyzed test banks operate effectively without unpredicted stops, and the useful life of the asset could be lengthened.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, acorde con el adelanto tecnológico y científico del mundo contemporáneo y en atención a la necesidad de la industria Ecuatoriana, fundo la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, con la finalidad de formar profesionales capaces de aceptar el desafío e incursionar en el campo laboral, proponiendo proyectos de mantenimiento, como una herramienta eficaz, que garanticen la sostenibilidad de la empresa, al poder utilizar adecuadamente y en forma racional los recursos tecnológicos modernos. La globalización de la economía mundial hace necesario que las universidades cuenten con laboratorios equipados para un buen aprendizaje de los estudiantes permitiéndoles mejorar y perfeccionar sus habilidades y conocimientos para su desempeño en el campo laboral.

La Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo adquiere diversos laboratorios para la formación profesional de sus estudiantes, varios de los mismos tienen décadas de funcionamiento sin un correcto mantenimiento, por lo que sus equipos han disminuido en su disponibilidad y operatividad, este es el caso del laboratorio de turbomaquinaria que hasta el momento no existe un plan de mantenimiento predictivo para sus motores y bombas, por lo que hemos visto la necesidad de la aplicación de la técnica de análisis de vibraciones, que es la más adecuada en equipos rotativos, permitiéndonos así establecer cuál es el estado de los mismos. La aplicación de esta técnica genera mayor fiabilidad y disponibilidad de los equipos o sistemas para llegar así a un óptimo funcionamiento.

1.2 Justificación

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo al ser una Institución Educativa que se encarga del desarrollo académico de las futuras generaciones, requiere estar a la vanguardia de los avances tecnológicos y de la innovación de métodos y técnicas modernas para la solución de problemas industriales, los mismos que en la actualidad requieren conocer los estudiantes, por lo que es necesario mantener los laboratorios en estado operativo. La Escuela de Ingeniería de Mantenimiento al beneficiarse con el

equipo de análisis vibracional Vibracheck 200, que puede determinar los diferentes parámetros como son desbalanceo, desalineamiento, falla de rodamientos entre otros de una manera efectiva y acertada y así realizar un diagnóstico correcto de los diversos problemas generados por el mismo.

Por lo que se propone realizar un plan de mantenimiento predictivo mediante la técnica de análisis vibracional para los motores y bombas del Laboratorio de Turbomaquinaria de la Facultad de Mecánica, también se incluirá un manual de mantenimiento proactivo en donde se detallara con exactitud los pasos necesarios a seguir para ejecutar una correcta técnica de mantenimiento predictivo cualquiera que esta sea, análisis vibracional, termografía, ultrasonidos, para que de esta manera se puedan beneficiar las futuras generaciones de estudiantes, al contar con un laboratorio funcional y así poder adquirir los conocimientos y habilidades necesarias para hacer frente a la problemática de las industrias en la actualidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Implementar un plan de mantenimiento predictivo mediante la técnica de análisis vibracional para los motores y bombas del laboratorio de turbomaquinaria de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3.2 Objetivos específicos:

Realizar el análisis preliminar de los equipos.

Determinar los componentes funcionales.

Determinar los puntos de medición.

Desarrollar el plan de mantenimiento predictivo.

Recopilar los datos obtenidos.

Analizar los resultados.

Determinar las recomendaciones correspondientes.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

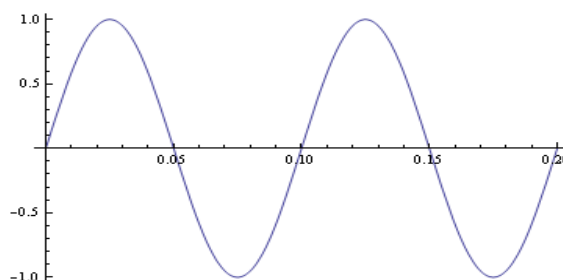
2.1 Análisis vibracional en maquinaria industrial

Mediante el análisis de vibraciones se pueden detectar problemas vibratorios debido al diseño defectuoso o a una fabricación deficiente, las vibraciones pueden provocar problemas de desbalanceo, desalineación, holguras, bases y cimentaciones insuficientes, desgaste de piezas internas interferencia de engranajes, problemas electromagnéticos, etc. Siempre que la frecuencia natural de la vibración de una máquina o de una estructura coincide con la frecuencia de la excitación externa se presenta un fenómeno conocido como resonancia, el cual conduce a deflexión y fallas excesivas. El análisis de vibraciones se aplica con eficacia desde hace más de 30 años al control y diagnóstico de fallos mecánicos en máquinas rotativas. Inicialmente, se emplearon equipos analógicos para la medida de la vibración en banda ancha, lo que hacía imposible el diagnóstico fiable de fallos en rodamientos y engranajes. Más tarde, se incorporaron filtros sintonizables a la electrónica analógica, lo que incrementó enormemente la capacidad de diagnóstico. (PALOMINO, 2007, págs. 9-10)

2.2 Clases de movimientos oscilatorios

Regulares. Cuando a intervalos regulares de tiempo se repiten los valores de las magnitudes que lo caracterizan. Un movimiento oscilatorio es vibratorio si su trayectoria es rectilínea y su origen se encuentra en el centro de la misma. (SINGIRESUS, 2011, págs. 100-102)

Figura 1. Movimiento oscilatorio regular



Fuente: SINGIRESUS Rao, Vibraciones Mecánicas. p.100

Irregulares. Son aquellas que no repiten los valores de las magnitudes que lo caracterizan, hay componentes de todas las frecuencias la cual genera un espectro continuo.

Figura 2. Movimiento oscilatorio regular



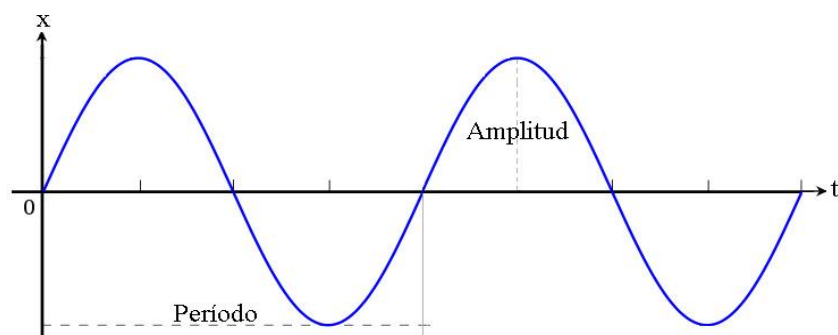
Fuente: SINGIRESUS Rao, Vibraciones Mecánicas. p.102

2.3 Movimiento armónico simple

Decimos que una partícula que se mueve a lo largo del eje de las X tiene un movimiento armónico simple cuando su desplazamiento x respecto al origen del sistema de coordenadas está dado en función del tiempo por la relación. (WOLFSON, 2010, págs. 200-202).

$$x = A \text{ sen } \omega t \quad (1)$$

Figura 3. Movimiento armónico simple



Fuente: WOLFSON Richard, Fundamentos de Física II. P.100

Dónde:

x = Desplazamiento

A = Amplitud de onda pico a pico (μm , mils)

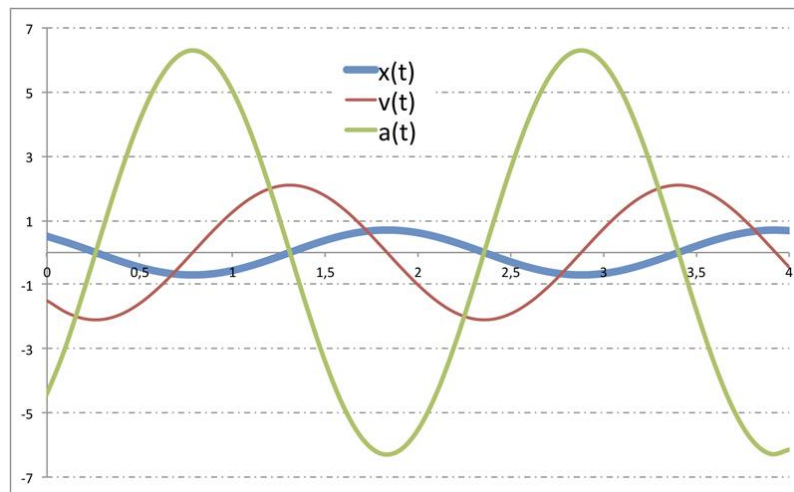
ω = Frecuencia circular o angular de oscilación (rad/seg)

T = Periodo de oscilación (seg, min)

F = Frecuencia de oscilación (cpm, Hz)

En un movimiento armónico simple podemos definir, desplazamiento, velocidad y aceleración como se indica en la figura.

Figura 4. Desplazamiento, Velocidad, Aceleración



Fuente: WOLFSON Richard, Fundamentos de Física II. P.100

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.

$$X = A \cdot \text{sen} Wt \quad (2)$$

La velocidad constituye la primera derivada del desplazamiento.

$$V = A \cdot W \cos Wt \quad (3)$$

La aceleración constituye la segunda derivada del desplazamiento o la primera derivada de la velocidad.

$$Ac = -A \cdot W^2 \cdot \text{sen} Wt \quad (4)$$

2.4 Frecuencias naturales y resonancias

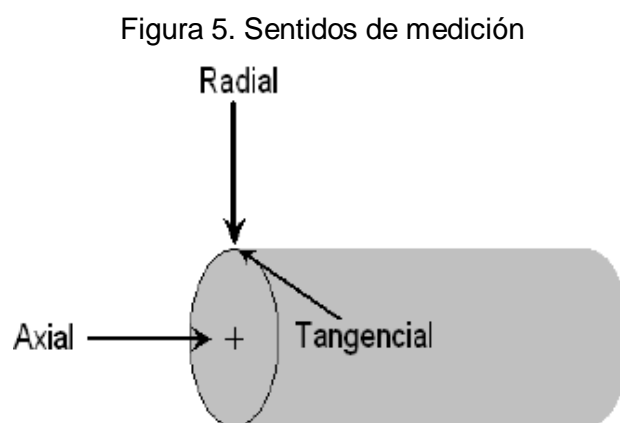
La frecuencia natural depende de las características estructurales de la máquina, tales como su masa, su rigidez y su amortiguación, incluyendo los soportes y tuberías adjuntas a ella.

Si la frecuencia natural es excitada por un agente externo, la amplitud de vibración de la máquina se incrementará enormemente causando daños que a corto o mediano plazo pueden llegar a ser catastróficos. Esto es lo que se conoce con el nombre de resonancia. Cuando una resonancia es detectada, es necesario identificar el agente externo que la está produciendo e inmediatamente debe aislarse estructuralmente o cambiar su velocidad de operación.

Decimos que una partícula que se mueve a lo largo del eje de las X tiene un movimiento armónico simple cuando su desplazamiento x respecto al origen del sistema de coordenadas está dado en función del tiempo por la relación. (PALOMINO, 2007, pág. 78)

2.5 Sentidos de medición

Para ayudar en la determinación de problemas de máquinas es muy útil obtener datos de vibración de cada punto de medición en tres direcciones. (MOROCHO, 2003, págs. 38-40)



Fuente: MOROCHO Manuel, Análisis vibracional y Alineamiento laser. p.38

Axial. Es la dirección paralela a la flecha, se coloca en la misma dirección del eje, en condiciones ideales presenta valores más bajos que las radiales, dado que las fuerzas

generalmente son perpendiculares al eje. Sin embargo, los problemas de desalineación crean vibraciones en este sentido.

Radial. Es la dirección desde el transductor hacia el centro de la flecha, normalmente es menor que en el plano horizontal, debido a la diferencia de rigidez y a la acción de la gravedad.

Tangencial. Es 90 grados de radial, tangente a la flecha, normalmente las máquinas son más elásticas en el plano tangencial, por lo tanto el desbalanceo se manifiesta generalmente en este sentido.

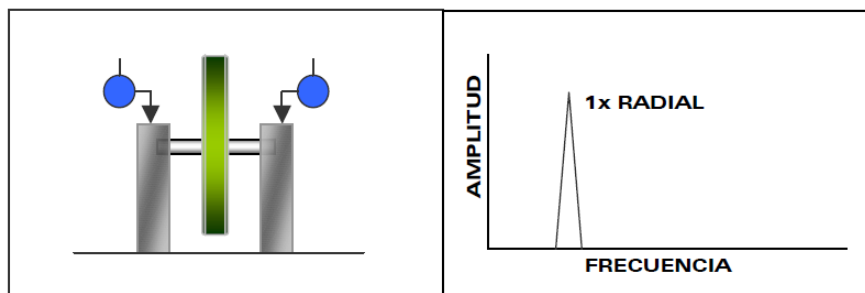
2.6 Espectros utilizados en el análisis vibracional

Un espectro de vibración es una imagen de cálculo de datos que nos muestra los datos de frecuencia / amplitud. La frecuencia ayuda a determinar el origen de la vibración, mientras la amplitud ayuda a determinar la severidad del problema. Un incremento en el nivel de frecuencia indica un cambio en el mecanismo: bandas flojas, grietas en la estructura, daños en los rodamientos, desbalanceo, desgaste excesivo de piezas. (AMaq, 2008, págs. 17-35)

2.6.1 Desbalanceo

2.6.1.1 Desbalanceo estático. Producido generalmente por desgaste radial superficial no uniforme en rotores en los cuales su largo es despreciable en comparación con su diámetro. El espectro presenta vibración dominante con una frecuencia igual a 1 X RPS del rotor.

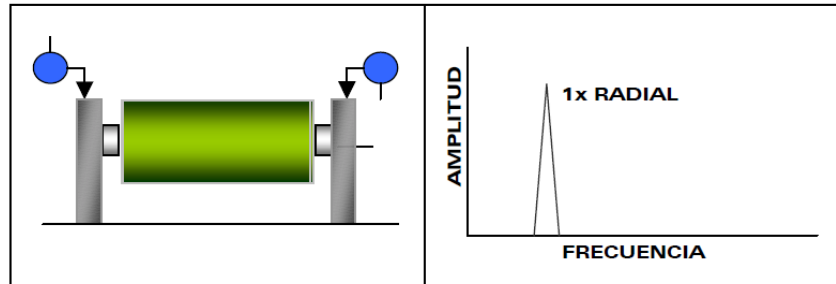
Figura 6. Desbalanceo estático



Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.1.2 Desbalanceo dinámico. El desbalanceo dinámico ocurre en rotores medianos y largos. Es debido principalmente a desgastes radiales y axiales simultáneos en la superficie del rotor. El espectro presenta vibración dominante y vaivén simultáneo a frecuencia igual a 1 X RPS del rotor.

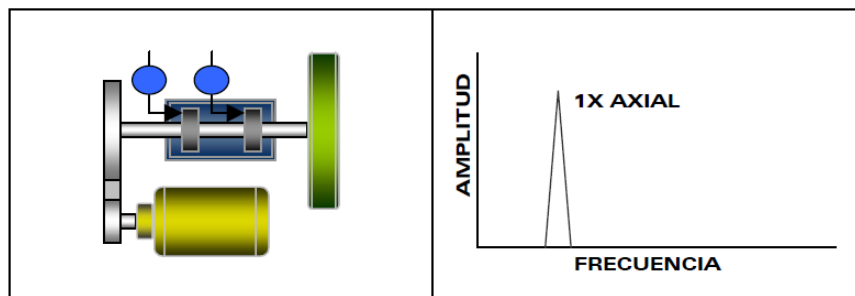
Figura 7. Desbalanceo dinámico



Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

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

Figura 8. Rotor colgante

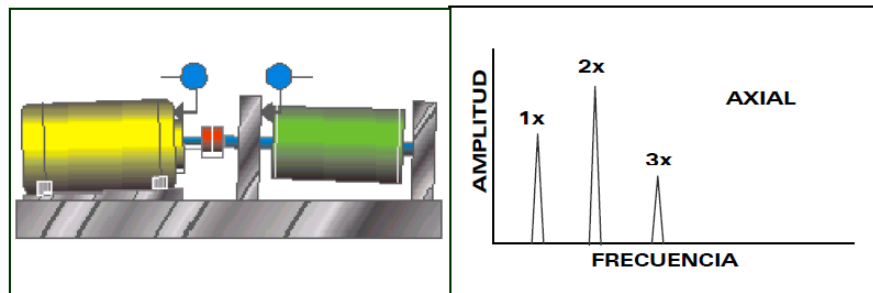


Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.2 Desalineación

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

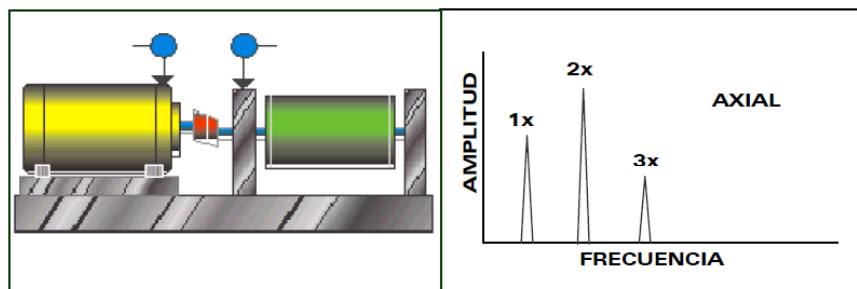
Figura 9. Desalineación angular



Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

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

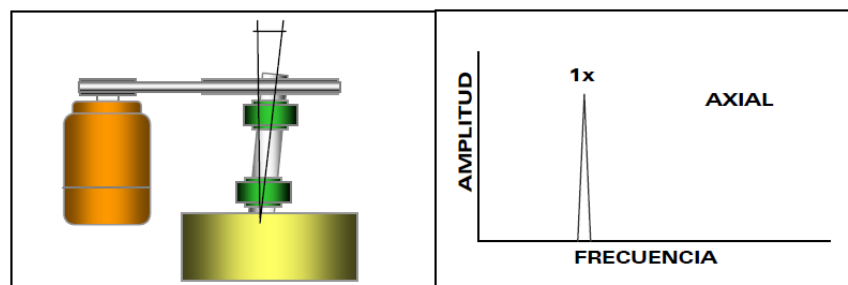
Figura 11. Desalineación paralela



Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

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

Figura 12. Desalineación entre chumaceras

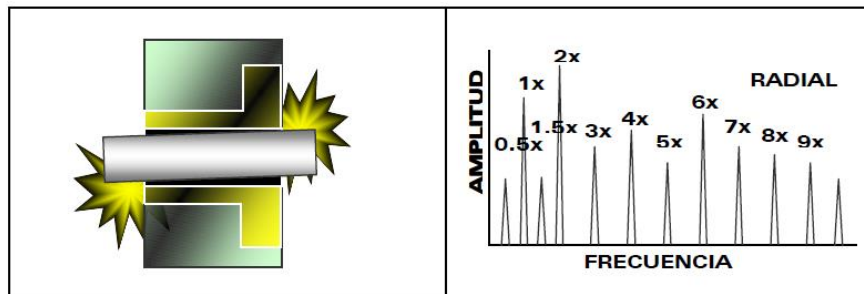


Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.3 Holgura mecánica

2.6.3.1 Holgura eje-agujero. Aflojamiento de manguitos, tolerancias de manufactura inadecuadas (con juego), y holgura entre el impulsor y su eje en bombas. Causa un truncamiento en la forma de onda en el dominio del tiempo. La falla genera múltiples armónicos y sub-armónicos de 1X RPS, destacándose los armónicos fraccionarios 1/2 X, 1/3 X, 1.5 X, 2.5 X.

Figura 13. Holgura eje-agujero

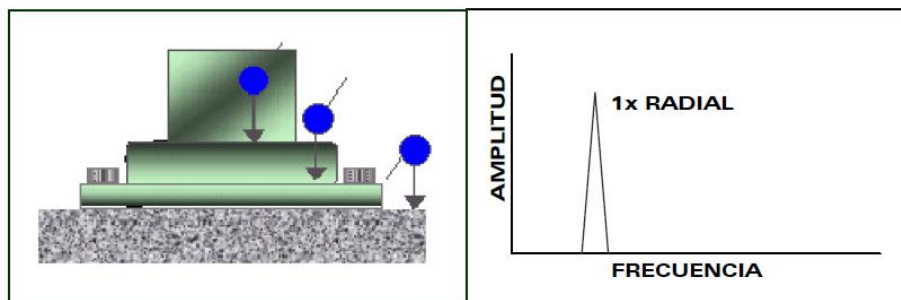


Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.4 Soltura estructural

2.6.4.1 Soltura estructural. Ablandamiento o desplazamiento del pie de la máquina, por holgura en los pernos de la base o por deterioro de los componentes de la sujeción. El espectro presenta vibración a 1X RPS en la base de la máquina con desfase a 180 grados entre los elementos sujetos en el anclaje.

Figura 14. Soltura estructural

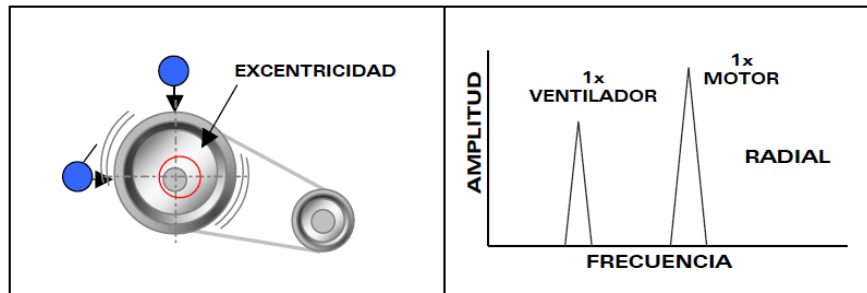


Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.5 Excentricidad

2.6.5.1 Rotor excéntrico. Fácilmente confundible con desbalanceo. Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en una polea o engranaje. La mayor vibración ocurre a 1 X RPS del elemento con excentricidad, en dirección de la línea que cruza por los centros de los dos rotores.

Figura 15. Rotor excéntrico

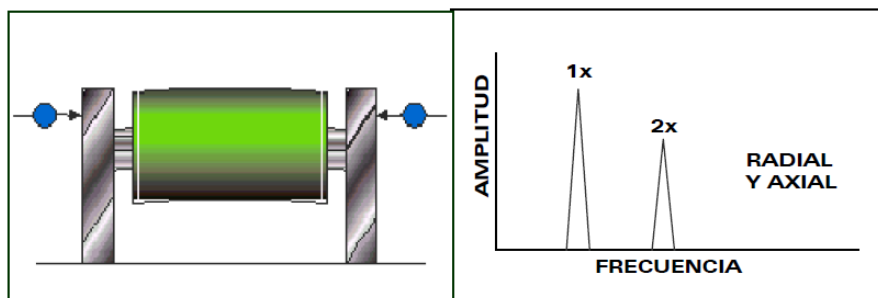


Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.6 Rotor o eje pandeado

2.6.6.1 Pandeo. Más común en ejes largos. Se produce por esfuerzos excesivos en el eje. Genera Vibración AXIAL alta con diferencia de fase de 180 grados medida en los dos soportes del rotor. La vibración dominante es de 1X RPS si el pandeado está cercano al centro del eje, y es de 2X RPS si el pandeado está cerca del rodamiento.

Figura 16. Pandeo



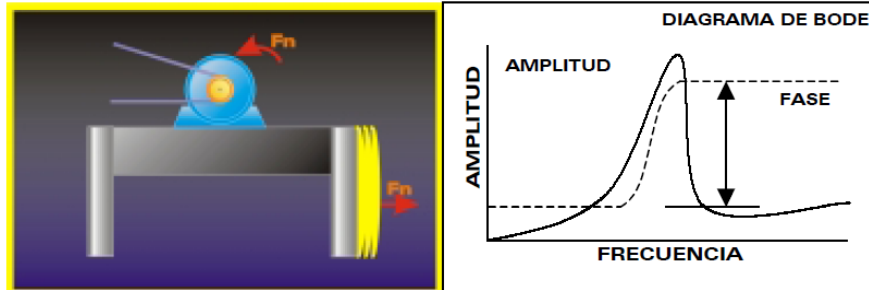
Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.7 Resonancias y pulsaciones

2.6.7.1 Resonancia. Ocurre cuando la velocidad de una fuerza conducida igual a la frecuencia natural de una estructura o una parte de ella. Puede causar dramáticas

amplificaciones de la amplitud lo que puede terminar en fallas prematuras y posiblemente catastróficas. Presenta un cambio de fase de 90° por resonancia y 180° cuando lo sobrepasa.

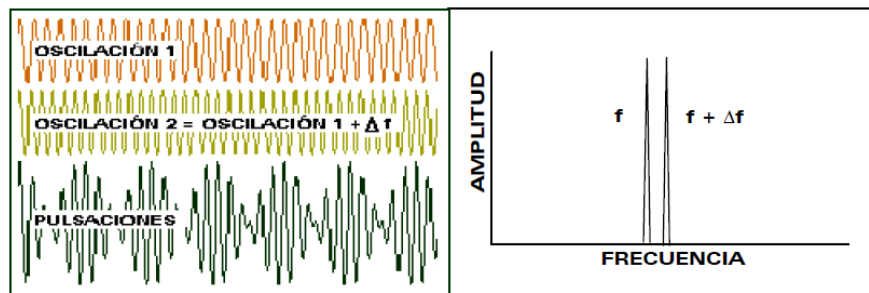
Figura 17. Resonancia



Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.7.2 Pulsaciones. Sucede cuando una fuente de vibración interfiere con otra. Generalmente se produce por dos máquinas cercanas que trabajan casi a la misma velocidad. El espectro muestra dos picos con frecuencias similares. La diferencia de estas da como resultado una pulsación. La ilustración izquierda representa estas frecuencias en el dominio del tiempo y la suma de ambas.

Figura 18. Pulsaciones

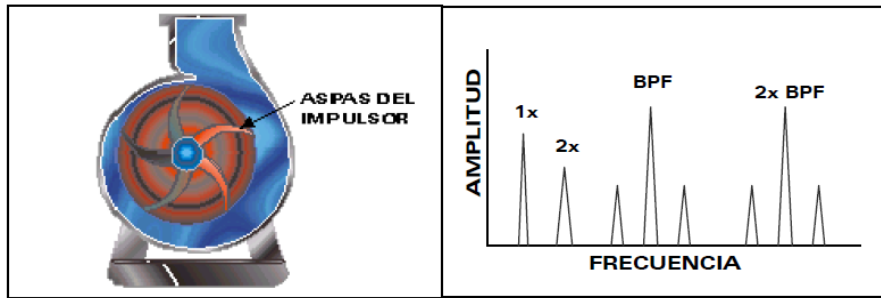


Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.8 Flujo de líquidos

2.6.8.1 Frecuencia de aspas (L). Frecuencia a la cual, cada aspa pasa por un punto de la carcasa. Producida por obstrucciones, cambios abruptos de direcciones o desgastes de juntas. La BPF (frecuencia de paso de aspas) es excitada en sus primeros dos armónicos con bandeamientos laterales. La BPF es igual al número de aspas por la frecuencia. La BPF algunas veces coincide con la frecuencia natural lo cual causa altas vibraciones.

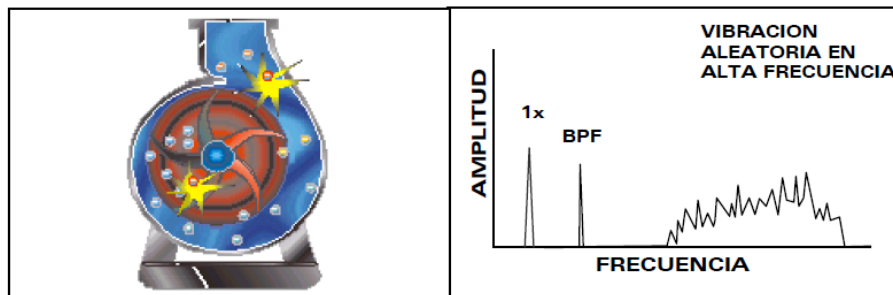
Figura 19. Frecuencia de aspas (L)



Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.8.2 Cavitación. Es la entrada de aire o vaporización de un fluido dentro de la bomba. Ocurre cuando la presión de fluido es menor que la presión de vapor a esta temperatura. La cavitación causará erosión a las partes internas de la bomba. El espectro muestra una vibración imprecisa que se presenta a altas frecuencias (del orden de 2000 Hz).

Figura 20. Cavitación

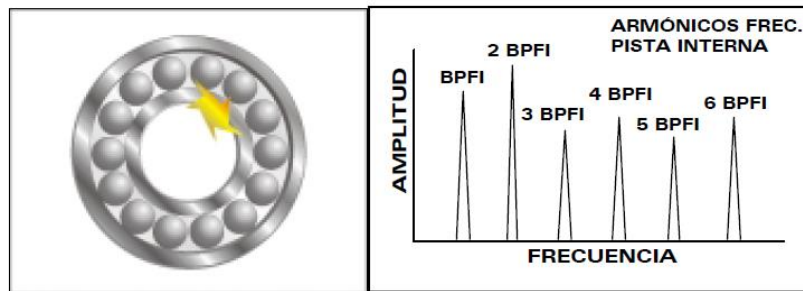


Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.9 Fallas en rodamientos

2.6.9.1 Fallas en pista interna. Agrietamiento o desastillamiento del material en la pista interna, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente. Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de la pista interna, en dirección radial. Además el contacto metal - metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 kHz.

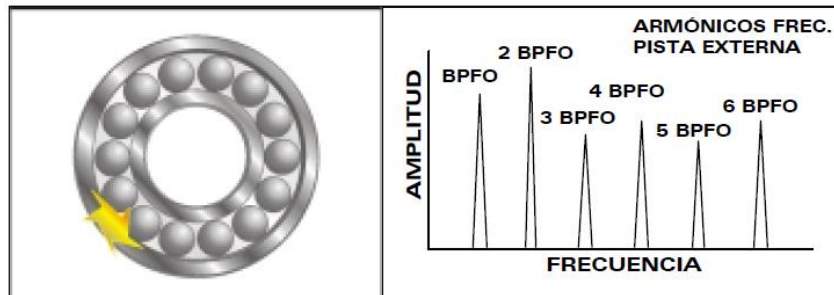
Figura 21. Fallas en pista interna



Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.9.2 Fallas en pista externa. Agrietamiento o desastillamiento del material en la pista externa, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente. Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de la pista externa, en dirección radial. Además el contacto metal - metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 kHz.

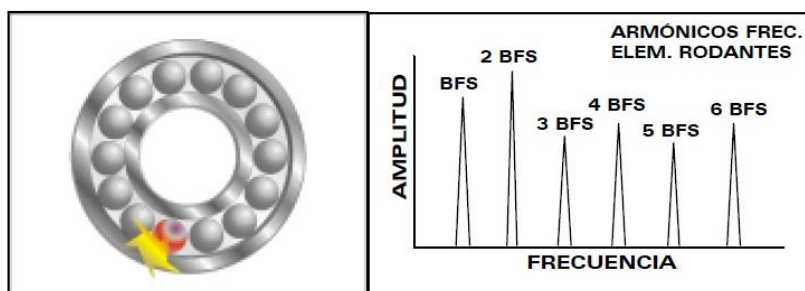
Figura 22. Fallas en pista externa



Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.9.3 Fallas en elementos rodantes. Agrietamiento o desastillamiento del material en los elementos rodantes, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente. Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de los elementos rodantes, en dirección radial. Además el contacto metal – metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 kHz.

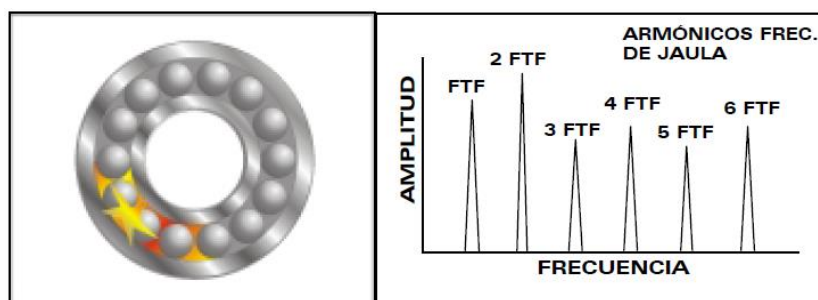
Figura 23. Fallas en elementos rodantes



Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.6.9.4 Deterioro de jaula. Deformación de la jaula, caja o cubierta que mantiene en su posición a los elementos rodantes. Se produce una serie de armónicos de la frecuencia de la jaula siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS de la frecuencia de falla en jaula, en dirección radial o axial.

Figura 24. Deterioro de jaula



Fuente: A-MAQ S.A, Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico

2.7 Reglas para el análisis de los espectros

Una forma importante de facilitar el análisis y diagnóstico de fallas es comparar el espectro medido con el espectro base de las fallas más comunes en equipos rotatorios.

- **DESBALANCEO**
Ejes soportados en ambos lados = 1XR y 1XT altos en ambos lados
Eje en voladizo = 1XA mayor que 1XR o 1XT
- **DESALINEAMIENTO ANGULAR**
2X mayor que 1X en cualquier lado

- DESALINEAMIENTO PARALELO
2XR o 2XT mayor que 1XR o 1XT en cualquier lado del motor
- RODAMIENTO DESALINEADO
2X mayor que 1X en cualquier lado
- PIE COJO
1XR alto
- FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL
1XT mayor que 1XR en los dos lados del motor
- EJE PANDEADO
1XA alto en ambos lados del motor
- ROZAMIENTOS
Picos menores a 1X altos
- FALLAS DE ACOPLES
Picos en 3X altos
- FALLA DE RODAMIENTOS
Armónicos no síncronos
Bandas laterales
- HOLGURA MECÁNICA
Picos altos desde 3X
- FASE ELÉCTRICA
Pico alto a 120 Hz

2.8 Tecnologías para la detección de defectos en cojinetes de rodamientos

Para la medición de vibraciones y funciones de análisis digital de señales vibroacústicas han devenido en un grupo de tecnologías propias para la detección temprana de defectos en cojinetes de rodamientos. A continuación se relacionan las

más utilizadas en el campo del diagnóstico de este tipo de cojinetes. (PALOMINO, 2007, págs. 190-195)

- Energía espectral emitida (SEE).
- Bearing Condition Unit / Bearing Condition Spectrum (BCU/BCS).

2.8.1 *Energía espectral emitida (SEE)*. Basada en la medición de emisiones acústicas sobre la base de las cuales es posible detectar la severidad del contacto metal – metal, siendo muy útil para verificar la efectividad de la película hidrodinámica de lubricante en cojinetes de rodamientos e incluso en transmisiones por engranajes.

Los transductores SEE pueden ser interpretados como micrófonos, razón por la cual no tienen que estar vinculados firmemente a la superficie de medición. La señal acústica es muy susceptible de sufrir atenuaciones, sobre todo cuando tiene que viajar a través del aire. Por ello, el “secreto” del contacto transductor – superficie de medición radica en la utilización de una solución gel especial o en su defecto grasa, la cual se encarga de ocupar los espacios entre el transductor y la superficie de medición en los que pudiera mediar el aire, debido a las irregularidades superficiales de los elementos en contacto.

2.8.2 *Bearing condition unit/ bearing condition spectrum (BCU/BSC)*. Está basado en la medición de los impulsos de choque y las vibraciones de la propia máquina en la misma superficie de medición. Para ello se emplea un transductor de aceleración convencional con una frecuencia de resonancia de aproximadamente 32 kHz.

La razón de la necesidad de tal frecuencia de resonancia radica en el hecho de que los impulsos de choque, que están “mezclados” con las vibraciones de la máquina y que llegan a la superficie donde está colocado el transductor, provocan que éste vibre a su frecuencia de resonancia. Desde luego, para eliminar las vibraciones de mayor energía y baja frecuencia así como, el ruido que siempre está presente en el rango de alta frecuencia, la señal proveniente del transductor se hace pasar por un filtro cuyo ancho de banda es de (15 – 60) kHz. Con posterioridad a la etapa de filtrado, sólo habrá quedado la señal eléctrica proporcional a los impulsos de choque. El instrumento que procesará esta señal, detectará el valor pico de la misma cuantificando la amplitud y el ancho de los picos así como, la regularidad de estos, todo lo cual estará relacionado con el estado general del rodamiento.

2.9 Clasificación y selección de transductores

El transductor es el elemento que transforma la vibración mecánica en una señal eléctrica analógica para ser procesada, medida y analizada. Atendiendo a su principio constructivo, hay traductores de vibración de desplazamiento, velocidad y aceleración, cada uno de ellos más o menos idóneo a cada aplicación industrial.

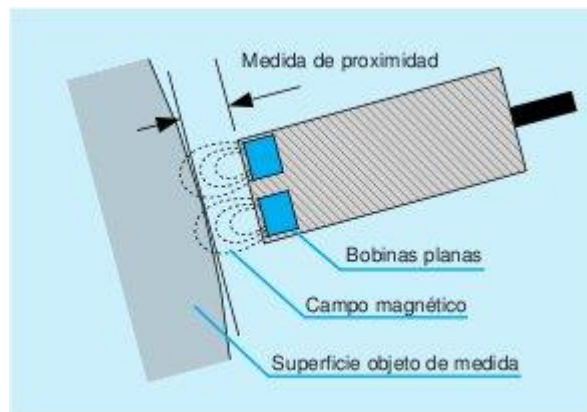
Todo los transductores deben ser precisos a la hora de tomar las lecturas de amplitud, ofreciendo repetitividad, también deben ser muy precisos en información de frecuencias de la señal mecánica.

Los tipos de transductores responden a parámetros diferentes de la fuente de vibración, para ello contamos con los siguientes. (PALOMINO, 2007, págs. 39-44)

- Transductor de desplazamiento
- Transductor de velocidad
- Transductor piezoeléctrico

2.9.1 *Transductor de desplazamiento.* Conocido también como transductor de “corriente Eddy” o proximetro estos son empleados para medir el desplazamiento radial o axial de ejes. El enrollado primario se energiza a través de una tensión eléctrica alterna (AC) con amplitud constante y frecuencia de entre 1 y 10 kHz. Esto a su vez produce un campo magnético en el centro del transductor que induce una señal eléctrica en el enrollado secundario de acuerdo con la posición del núcleo. La señal de salida del secundario se procesa y luego de ser rectificadas y filtradas se cuantifica como una señal de directa (DC) que puede variar entre 4 y 20 mA en función de la posición del núcleo móvil. Se instalan en las cubiertas de rodamientos a su lado y detectan el desplazamiento del eje en relación a su posición de anclaje. No tiene un límite inferior de frecuencia de trabajo y se emplea en la medición tanto de vibración como de la posición axial de ejes.

Figura 25. Transductor de desplazamiento



Fuente: SINAIS, Ingeniería de Mantenimiento

Ventajas:

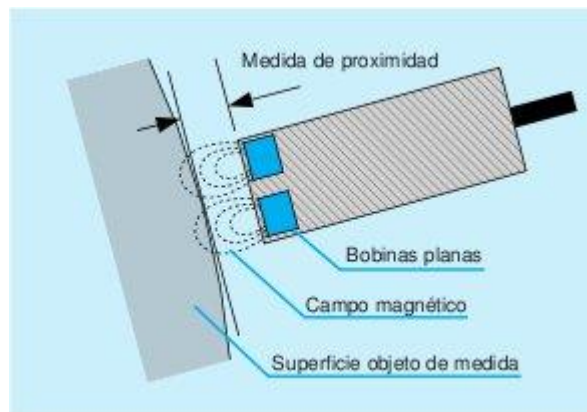
- Se emplea en maquinaria rígida donde se transmite muy poca vibración
- Mide el movimiento relativo entre su punta y el eje de giro
- Puede ser utilizado con cualquier material conductor

Desventajas:

- El rango de frecuencia está limitado entre 0 a 1000 Hz Mide el movimiento relativo entre su punta y el eje de giro
- Estos transductores deben instalarse permanentemente
- Requiere fuente externa de poder

2.9.2 Transductor de velocidad. El transductor sísmico de velocidad o sonda de velocidad se aplica a máquinas donde el eje transmite la vibración a la carcasa con poca amortiguación, es decir, las amplitudes de vibración en la carcasa son grandes. Su aplicación está especialmente en el rango de 2 Hz a 1 kHz., no es aplicable para altas frecuencias por su baja frecuencia natural. La masa del sistema es una bobina soportada por resortes. Estos transductores son diseñados para medir vibraciones preferentemente a frecuencias mayores que la frecuencia natural del sistema masa – resorte.

Figura 26. Transductor de velocidad



Fuente: SINAIS, Ingeniería de Mantenimiento

Ventajas:

- Mide directamente la velocidad, que es proporcional a la severidad de la vibración
- No necesita fuente externa de alimentación
- Construcción robusta

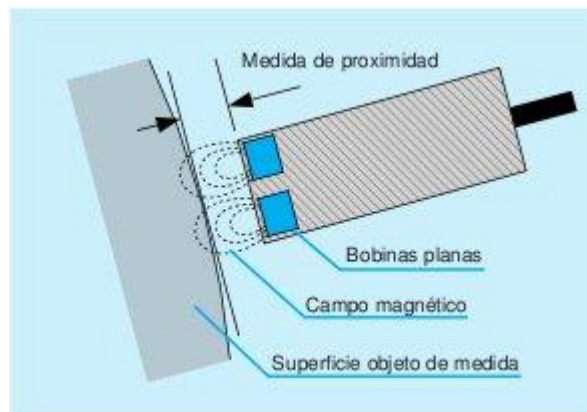
Desventajas:

- La calibración puede perderse por el desgaste y la temperatura
- La orientación de la medida vertical u horizontal del transductor, puede alterar la señal de salida del orden de un 5 al 10%
- Comparativamente mayor peso y tamaño que otros transductores de vibración

2.9.3 Transductor de piezoeléctrico. También conocido como acelerómetro este tipo de transductor genera una tensión eléctrica proporcional a la aceleración por presión sobre un cristal piezoeléctrico. Estos dispositivos son muy apropiados para tomar datos de vibración a alta frecuencia, donde aparecen grandes esfuerzos con desplazamientos relativamente pequeños.

La recogida de datos de vibración a altas frecuencia depende del medio de fijación del transductor a la máquina.

Figura 27. Transductor piezoeléctrico



Fuente: SINAIS, Ingeniería de Mantenimiento

Ventajas:

- Estos transductores son muy compactos, sin partes móviles, ligeros y de tamaño reducido
- Amplio rango de frecuencia, normalmente entre 2 a 15000 Hz
- Carcaza inoxidable sellada herméticamente

Desventajas:

- Necesita una fuente de alimentación externa
- Muy sensibles a los golpes
- La salida de amplitud viene dada en unidades de aceleración

2.10 Normas de severidad vibracional

Un punto importante a la hora de hablar de vibraciones es conocer la severidad de vibración, ella indica la gravedad que puede tener un defecto. La amplitud de la vibración expresa la gravedad del problema, pero es difícil establecer valores límites de la vibración que detecten un fallo. Una vez obtenido un histórico de datos para cada elemento de las máquinas que se estudian, el valor medio refleja la normalidad en su funcionamiento.

2.10.1 Tabla de Rathbone. La tabla Rathbone, inventada por T.C Rathbone en 1939, compara la velocidad general de vibración con varios grados de suavidad de la máquina. Rathbone no hizo deducciones al contenido de frecuencias de la vibración o al tamaño de la máquina.

Tabla 1. Tabla de Rathbone

Condición de operación de la máquina	Velocidad de vibración general
Muy ruda	0.628
Ruda	0.314
Ligeramente ruda	0.157
Regular	0.0785
Buena	0.392
Muy buena	0.0196
Suave	0.0098
Muy suave	0.0049

Fuente: Norma T.C Rathbone

2.10.2 Norma ISO 2372. La norma ISO 2372 proporciona guías para aceptación de la amplitud de vibración, para maquinaria rotativa operando desde 600 hasta 12000 RPM. Especifica niveles de velocidad general de vibración en lugar de niveles espectrales, y puede ser muy engañosa. ISO 2372 especifica los límites de la velocidad de vibración basándose en los caballos vapor de la máquina y cubre un rango de frecuencias desde 10 Hz hasta 1000 Hz., debido al rango limitado de alta frecuencia.

Tabla 2. Norma ISO 2372

Tabla de Severidad, ISO 2372						
RANGO DE VIBRACIÓN			CLASES DE MÁQUINAS			
VELOCIDAD RMS (mm/s)	VELOCIDAD 0-P (mm/s)	VELOCIDAD 0-P (pul/s)	Máquinas Pequeñas	Máquinas Medianas	Máquinas Grandes	
			CLASE I	CLASE II	Soporte rígido	soporte flexible
					CLASE III	CLASE IV
0.28	0.396	0.016				
0.45	0.636	0.025				
0.71	1.004	0.040				
1.12	1.584	0.062				
1.80	2.546	0.100				
2.80	3.960	0.156				
4.50	6.364	0.251				
7.10	10.041	0.395				
11.20	15.839	0.624				
18.00	25.456	1.002				
28.00	39.598	1.559				
45.00	63.640	2.505				
71.00	100.409	3.953				

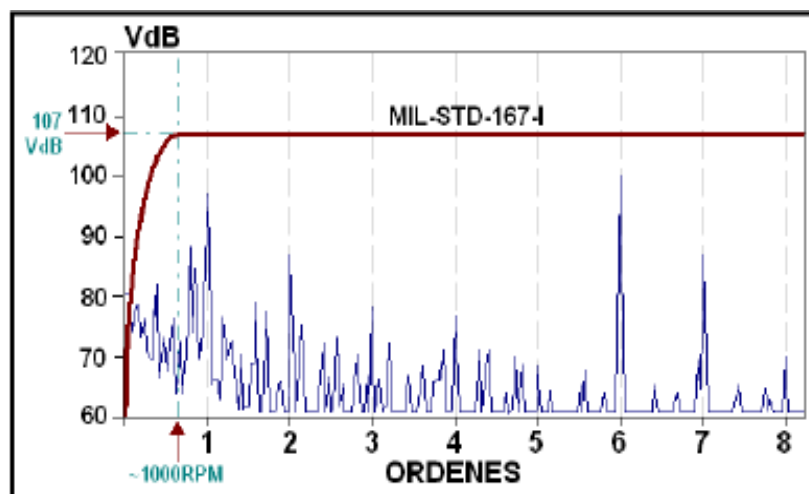
Fuente: Norma ISO 2372

2.10.2 MIL STD-167-1 y MIL-STD-167-2. Estas normas que datan de 1974, son un intento de proporcionar un nivel de vibración límite, como función de la frecuencia para pruebas de aceptación de maquinaria rotativa.

MIL STD-167-1 cubre la vibración excitada internamente en toda clase de maquinaria rotativa con la excepción de maquinaria recíproca, y MIL34 STD-167-2 cubre la maquinaria recíproca, sistemas de propulsión y flechas.

Se han usado por muchos años y se consideran como pasadas. Se basan en un espectro de desplazamiento (mils pico) que es equivalente a una velocidad constante de 0-13 pulgadas por segundo (107 VdB) arriba de 1200 RPM. Esas normas siguen siendo usadas como una referencia aproximada para niveles aceptables de vibración para máquinas sencillas, de tamaño medio, como motores de bombas eléctricas, pero no se deben usar como una norma absoluta.

Figura 28. MIL-STD-167-1



Fuente: NORMA MIL-STD-167-1

2.10.4 Norma 10816-3. Norma internacional que clasifica a las máquinas en grupos de acuerdo a la potencia del motor. Mientras más grande es la máquina, mayor es su capacidad de soportar vibración. La norma ISO 10816 es aplicable para máquinas, con registros de vibración tomados en la carcasa.

Aplicaciones:

- Motores eléctricos de cualquier tipo

- Ventiladores, sopladores (excluidos aquellos de peso ligero)
- Bombas centrífugas de flujo mixto o flujo axial
- Generadores
- Turbinas de gas sobre los 3 MW

Se excluye de esta norma:

- Máquinas acopladas con máquinas reciprocantes
- Conjunto motor bomba sumergida y turbinas eólicas

Tabla 3. Norma ISO- 10816-3 para vibraciones en velocidad

Velocidad *	in/s rms	mm/s rms																
	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	Rígida	Flexible					
			Tipo de máquina		Bomba > 15kW Flujo radial, axial o mixto				Tamaño medio 15 KW < P < 300 kW		Grandes máquinas 300 kW < P < 50 MW							
			Motor integrado		Motor separado		Motores 160mm < H < 315mm		Motores 315 mm < H									
			Grupo 0	Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1								

* Velocidad 10 - 1000 Hz r > 600 rpm 2 - 1000 Hz r > 120 rpm

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

Fuente: NORMA ISO- 10816-3

Tabla 4. Norma ISO- 10816-3 para vibraciones en desplazamiento

		Velocidad *									
		Rígida		Flexible		Rígida		Flexible			
		Grupo 4				Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1	
Velocidad *	in/s rms										
	mm/s rms										
	0,43	11		C		D		C		D	
	0,28	7,1		B		D		B		D	
	0,18	4,5		A		B		A		B	
	0,14	3,5		A		B		A		B	
	0,11	2,8		A		B		A		B	
	0,09	2,3		A		B		A		B	
0,06	1,4		A		B		A		B		
0,03	0,71		A		B		A		B		
Base		Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible		
Tipo de máquina		Bomba > 15kW Flujo radial, axial o mixto				Tamaño medio 15 KW < P < 300 kW		Grandes máquinas 300 kW < P < 50 MW			
		Motor integrado		Motor separado		Motores 160mm < H < 315mm		Motores 315 mm < H			
Grupo 0		Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1			

* Velocidad 10 - 1000 Hz r > 600 rpm 2 - 1000 Hz r > 120 rpm

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

Fuente: NORMA ISO- 10816-3

2.10 Tabla de resumen de diagnóstico vibracional

Tabla 5. Desbalanceo

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Desbalanceo de masa	1X	Radial*	Uniforme	Banda angosta	Flexión debida a tensiones estáticas que pueden causar un incremento de la amplitud con la temperatura
Dinámico	1X	Radial		Por lo general algunos armónicos 1X	Forma más común de desbalanceo
Par de fuerzas	1X	Radial, axial			
Rotor sobresaliente	1X	Axial, radial			

Fuente: GLENN, White, Introducción al análisis de vibraciones

Tabla 6. Desalineación

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Desalineación angular	1X, 2X	Axial	Uniforme	Banda angosta	La mayoría de las desalineaciones son una combinación de paralelo y angular
Desalineación paralelo	1X, 2X	Radial	Uniforme	Banda angosta	En largos acoplamientos, 1X será más alto
Combinación de paralelo y angular	1X, 2X	Radial, axial	Uniforme	Banda angosta	Desalineación también se ve múltiplos de 2X
Rodamiento chueco	2X, 1X incrementados y tonos de rodamiento	Radial, axial	Alta uniforme	Banda angosta	Generalmente acompañada de componentes axiales

Tabla 6. (Continuación)

Impulsadora desalineada	2X, incremento en armónicos de ritmo de álabes	Radial	Uniforme	Banda angosta	Generalmente acompañada de amplitudes bajas axiales
Desalineamiento de engranes	Fuerte ritmo de engrane	Radial, axial	Uniforme	Generalmente bandas laterales alrededor del ritmo del engrane.	Armónicos de engrane son comunes

Fuente: GLEN, White, Introducción al análisis de vibraciones

Tabla 7. Problemas de turbinas

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Problema de juego del rotor	Ritmo de paso de álabes del rotor	Radial	Uniforme	Banda angosta	Los armónicos por lo general son más altos en nivel que 1X. Bandas laterales alrededor del paso de álabes en 1X.

Fuente: GLENN, White, Introducción al análisis de vibraciones

Tabla 8. Problemas de ventiladores

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. De la envolvente	Comentarios
Problema de juego de aspas y del cárter del ventilador	Ritmo de aspas = X veces el número de aspas	Radial	Uniforme	Banda angosta	A veces hay armónicos al paso de aspas
Desbalanceo del ventilador	1X	Radial	Uniforme	Banda angosta	
Problema de paso	1X	Axial	Uniforme	Banda angosta	

Fuente: GLENN, White, Introducción al análisis de vibraciones

Tabla 9. Holgura mecánica

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Holgura de la base	Armónicos 1X	Generalmente tangencial	Uniforme	Banda angosta	Indicado por flexibilidad de la base
Holgura en rodamiento gorrón	Armónicos 1X	Radial	Uniforme	Banda angosta	Los armónicos se pueden extender hasta 10X
Holgura extrema de rodamiento con gorrón	Armónicos 0.5X	Radial	Uniforme		A veces también hay armónicos 0.25X

Fuente: GLENN White, Introducción al análisis de vibraciones

Tabla 10. Problemas de rodamientos con elementos rodantes

Observen:

X: frecuencia de rotación

fff: frecuencia fundamental de tren (aprox. 0.38X hasta 0.42X)

bsf: frecuencia de rotación de bola (aprox. 1.5X hasta 3X)

bpfi: frecuencia de paso de bola, anillo interior (aprox. 4X hasta 10X)

bpfo: frecuencia de paso de bola, anillo exterior (aprox. 2X hasta 7X)

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Anillo interior defectuoso. Defecto pequeño	bpfi, armónicos de bpfi	Radial	Uniforme	Picos no síncronos	Carga radial
Defecto interior defectuoso, un defecto moderado	bpfi con armónicos y bandas laterales de 1X	Radial	Modulado en amplitud	Picos no síncronos con bandas laterales de 1X	Niveles de carga radial incrementados
Anillo interior defectuoso. Dos o tres defectos pequeños	bpfi y armónicos Radial prominentes	Radial	Alta, uniforme	Banda ancha	El ruido de banda ancha incrementa
Anillo exterior defectuoso. Un pequeño defecto	bpfo y armónicos	Radial	Uniforme	Picos no síncronos	Los armónicos tienen un más alto que la frecuencia fundamental

Tabla 10. (Continuación)

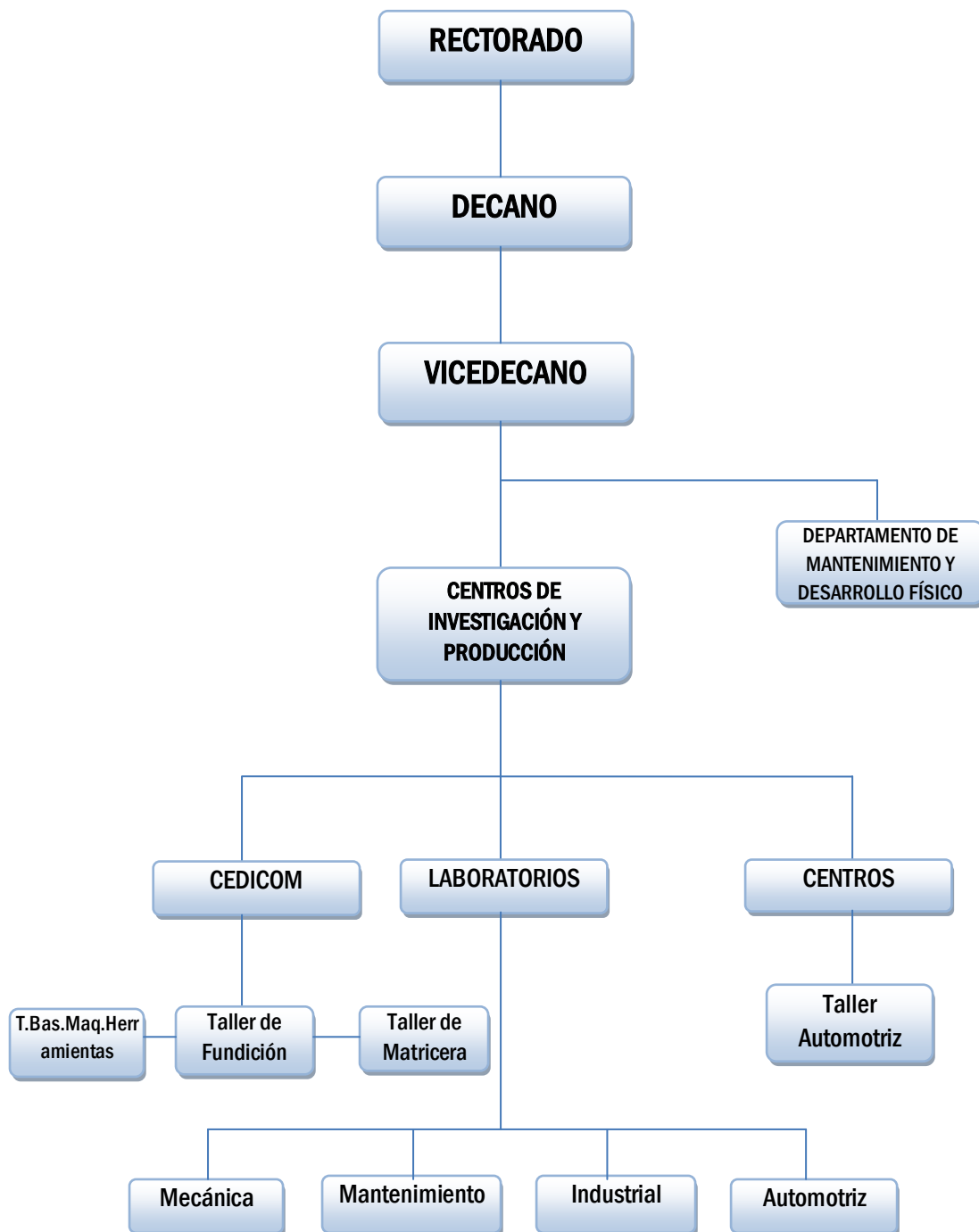
Anillo exterior defectuoso. Un solo defecto moderado	bpfo y armónicos	Radial	Uniforme	Picos no síncronos	El ruido de banda ancha incrementa
Bola o rodillo defectuoso (Único)	bsf y armónicos	Radial	Alta uniforme	Banda angosta	
Bolas defectuosas (varias)	bsf y armónicos	Radial	Uniforme	Banda angosta	El ruido de banda ancha incrementa
Jaula defectuosa rota en un lugar	Ruido de banda ancha	Radial	Uniforme	Banda ancha	Nivel de ruido bajo
Jaula rota en pedazos	Ruido de banda ancha	Radial	Uniforme	Banda ancha	Ruido causado por los pedazos de la jaula en el rodamiento
Precarga o lubricación inadecuada	Ruido de alta frecuencia	Radial		Banda ancha	El ruido de banda ancha incrementa
Holgura del cárter	1X, 2X, 3X	Radial		Banda angosta	
Holgura extrema o falla	0.5X, 1X Armónicos	Radial			Línea de base del ruido de baja frecuencia se va elevando
Juego excesivo en un rodamiento	Armónicos 0.5X, 1X	Radial			4X hasta 8X o 7X hasta 15X
Rodamiento chueco	2X, 1X, Tonos de rodamiento	Radial, axial	Elevado uniforme	Banda angosta	Diferencia de fase de 180 grados en medidas axiales en cada lado del cárter del rodamiento

Fuente: GLENN White, Introducción al análisis de vibraciones

2.11 Organigrama de la ubicación del departamento de Mantenimiento

A continuación se detallara la ubicación correcta del departamento de Mantenimiento el cual se encargara de la administración, organización, planificación, y control de los servicios de mantenimiento de la Facultad de Mecánica.

Figura 29. Ubicación del departamento de Mantenimiento



Fuente: Autores

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS MOTORES Y BOMBAS DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA

3.1 Contexto operacional

3.1.1 Resumen operativo

3.1.1.1 Propósito del sistema. Una turbina hidráulica es una turbomáquina motora hidráulica, que aprovecha la energía de un fluido proporcionado por una motobomba, que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación que transferido mediante un eje, mueve directamente una máquina o bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica.

3.1.2 Descripción de equipos

3.1.2.1 Fichas técnicas y características de los activos

Tabla 11. Ficha técnica del banco de pruebas de la Turbina Pelton

BANCO DE PRUEBAS: TURBINA PELTON	
Marca: Armfield	# de código: ELFTPEO1
Modelo: R15 10 inch laboratory Pelton Turbine	Año de fabricación: # de Serie: 25140
Fecha de adquisición: 1980	Costo de adquisición: \$22.64
Fabricante o Vendedor: Armfield	# de parte de la máquina:
Turbina Pelton de rodete: 250 Número de cucharas:21 Velocidad óptima: 8000 rpm Diámetro de tubería de entrada: 6.35 cm Capacidad del tanque reservorio: 1200 lt	

Tabla 11. (A continuación)

MOTOR	
Marca: Brook Crompton	# de Serie: 160L
Tipo de bomba: Centrífuga	Frame: D132SH
Modelo:	Año de fabricación:
Fecha de adquisición: 1980	Fabricante o Vendedor: Armfield
RPM: 3480	Potencia: 7.5 kW Voltaje: 220 V
Hz: 60	# de fases: 3
Rodamientos:	
Lado libre: 6205 Lado acoplado: 6206	
Tipo de motor:	
Corriente Alterna	

Fuente: Autores

Tabla 12. Ficha técnica del banco de pruebas de la Turbina Francis

BANCO DE PRUEBAS: TURBINA FRANCIS	
Marca: Armfield	# de código: ELFTPEO1
Modelo: R16 6" Ns.36 Mk II Francis turbine	Año de fabricación: # de Serie:
Fecha de adquisición: 1980	Costo de adquisición: \$26.85
Fabricante o Vendedor: Armfield	# de parte de la máquina:
<p>Turbina con rodete Francis de voluta revestida Velocidad específica: 36 rpm Caudal: 7,86 Lt/s # de aletas del rodete:10 # de álabes directrices: 8 Diámetro de tubería de entrada: 6"</p>	
MOTOR	
Marca: Brook Crompton	# de Serie: K159L
Tipo de bomba: Centrífuga	Amperaje: 27.5 A

Tabla 12. (Continuación)

Modelo:	Año de fabricación:
Fecha de adquisición: 1980	Fabricante o Vendedor: Armfield
RPM: 1750	Potencia. 7.5 kW Voltaje: 220 V
Hz: 60	# de fases: 3
Rodamientos:	
Lado libre: 6205	Lado acoplado: 6206
Tipo de motor:	
Corriente Alterna	

Fuente: Autores

Tabla 13. Ficha técnica del banco de pruebas de la Turbina Kaplan

BANCO DE PRUEBAS: TURBINA KAPLAN	
Marca: Armfield	# de código: ELFTKE01
Modelo: Kaplan vertical	Año de fabricación:
Fecha de adquisición: 1980	Costo de adquisición: \$78.28
Fabricante o Vendedor: Armfield	# de parte de la máquina:
<p>Turbina con el tipo de voluta Kaplan Velocidad específica: 135 rpm Diámetro nominal del rotor: 8 # de aletas del rotor: 4 # de álabes directrices: 16 Diámetro tubería de entrada: 344 mm Diámetro tubería de salida: 271 mm</p>	
MOTOR	
Marca: Brook Crompton	# de Serie: K739E
Tipo de bomba: Axial	Frame: C200LH
Modelo:	Año de fabricación:
Fecha de adquisición: 1980	Fabricante o Vendedor: Armfield
RPM: 1740/1145	Potencia. 22/15 kW Voltaje: 220 V

Tabla 13. (Continuación)

Hz: 60	# de fases: 3
Rodamientos:	
Lado libre: 6205	Lado acoplado: 6206
Tipo de motor:	
Corriente Alterna	

Fuente: Autores

Tabla 14. Ficha técnica del banco de pruebas de la Turbina Francis 2

BANCO DE PRUEBAS: TURBINA FRANCIS 2	
Marca:	# de código:
Modelo: Francis Turbina	Año de fabricación: # de Serie: 10652
Fecha de adquisición:	Costo de adquisición:
Fabricante o Vendedor:	# de parte de la máquina:
Turbina Francis Número de cucharas: Velocidad óptima: Diámetro de tubería de entrada: Capacidad del tanque reservorio:	
MOTOR	
Marca:	# de Serie:
Tipo de bomba: Centrífuga	Frame:
Modelo: 3656	Año de fabricación:
Fecha de adquisición:	Fabricante o Vendedor: Goulds Pumps
RPM: 3500	Potencia: 3,75 kW Voltaje: 220 V
Hz: 60	# de fases: 3
Rodamientos:	
Lado libre: 6205	Lado acoplado: 6206
Tipo de motor:	
Corriente Alterna	

Fuente: Autores

3.1.3 *Seguridad orden y limpieza*

3.1.3.1 *Seguridad.* La organización del laboratorio debe ser estudiada a fondo con el fin de procurar que sea adecuada para realizar un buen mantenimiento cualquiera que se aplique preventivo, correctivo o predictivo. La limpieza y el orden son de gran importancia a este respecto. Las instalaciones, equipos e instrumentos deben mantenerse en perfecto estado, las salidas y espacios reservados para las manipulaciones deben mantenerse siempre libres.

En el caso de llevar a cabo operaciones de riesgo, todas las personas deben estar informadas, incluso aquellas que no participen en ellas. Además queda prohibido realizar en los laboratorios trabajos diferentes a los autorizados por los responsables directos.

3.1.3.2 *Orden y limpieza.* Hay muchas reglas que se pueden establecer para lograr el orden y la limpieza, muchas son conocidas, pero poco las respetamos en nuestro hacer diario.

- Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas
- Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas
- No coloque objetos sobre el piso
- Mantener los pisos secos
- Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo
- Guarde todos los elementos que use al finalizar el trabajo

3.2 Estado técnico de los equipos

Para detectar fallos incipientes de un equipo, desarrollándose una rama de las ciencias técnicas que estudia y determina el estado técnico de cada componente en funcionamiento, estableciendo los síntomas de un estado de fallo. Este enfoque individual que ayuda a restablecer los requisitos de funcionamiento de los artículos se denomina diagnóstico técnico.

La base del diagnóstico técnico consiste en saber medir los parámetros (directos o indirectos) que caracterizan el estado técnico de los elementos en particular, hasta establecer su estado real y determinar su posible restante tiempo de funcionamiento, hasta el momento en que alcance su estado límite.

El diagnóstico emplea métodos, principios e instrumentos de medición para llegar a conclusiones respecto al estado técnico de los sistemas que forman las máquinas sin tener que desarmarlos, y además pronosticar los recursos necesarios para restablecer la funcionalidad y los requisitos del sistema.

Al realizar la inspección técnica y visual previa para cada uno de los aspectos que comprende esta, se puede determinar el estado técnico de un equipo dentro de una valoración que puede ser buena, regular, mala, y muy mala dependiendo su condición. Para lo cual se emplea el siguiente procedimiento:

- Multiplicamos la cantidad de aspectos obtenidos como buenos por 1
- Multiplicamos la cantidad de aspectos obtenidos como regulares por 0,80
- Multiplicamos la cantidad de aspectos obtenidos como malos por 0,60
- Multiplicamos la cantidad de aspectos obtenidos como muy malos por 0,40
- Sumamos todos los productos obtenidos
- El resultado se divide para la cantidad de aspectos evaluados

Este resultado se multiplica por 100 y se obtiene el índice para evaluar según los criterios ya señalados el estado técnico del equipo. A continuación se presentan las tablas que recopilan la información obtenida en la evaluación.

Tabla 15. Estado técnico del motor y bomba del banco de pruebas de la Turbina Pelton

ESTADO TÉCNICO DEL MOTOR Y BOMBA DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA						
PELTON						
Marca: Broock Cromptor Parkinson		Responsable del mantenimiento:				
Código Técnico:		Significado:				
Código del activo físico: O9953		Significado:				
Manuales : Si _____ No _____ _____x_____	Planos : Si _____ No _____x_____	Repuestos: Si _____ No _____x_____				
DESCRIPCIÓN		ESTADO				
		B	R	M	MM	
Estado de la carcasa		X				
Estado del anclaje			X			
Estado del sistema eléctrico		X				
Estado del panel de control		X				
Estado de la cimentación			X			
Estado de los bornes de conexión			X			
Estado de los sellos mecánicos		X				
Lubricación			X			
ESTADO TÉCNICO						
ESTADO	#	FACTOR				TOTAL
		1	0,80	0,60	0,4	
BUENO	4	X				4,00
REGULAR	4		X			3,20
MALO	-			-		-
MUY MALO	-				-	-
ΣTotal					7,20	
$ET = \frac{\Sigma Total}{\# \text{ de aspectos evaluados}} \times 100$					90,00	
Estado	%		Tipo de mantenimiento			
Bueno	90-100		Revisión		X	

Fuente: Autores

Tabla 16. Estado técnico del motor y bomba del banco de pruebas de la Turbina Francis

ESTADO TÉCNICO DEL MOTOR Y BOMBA DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA							
FRANCIS							
Marca: Broock Cromptor Parkinson			Responsable del mantenimiento:				
Código Técnico:			Significado:				
Código del activo físico:10623			Significado:				
Manuales :		Planos :		Repuestos:			
Si _____ No _____ _____x_____		Si _____ No _____x_____		Si _____ No _____x_____			
DESCRIPCIÓN				ESTADO			
				B	R	M	MM
Estado de la carcasa				X			
Estado del anclaje					X		
Estado del sistema eléctrico				X			
Estado del panel de control				X			
Estado de la cimentación					X		
Estado de los bornes de conexión					X		
Estado de los sellos mecánicos					X		
Lubricación					X		
ESTADO TÉCNICO							
ESTADO	#	FACTOR				TOTAL	
		1	0,80	0,60	0,4		
BUENO	3	X				3,00	
REGULAR	5		X			4,00	
MALO	-			-		-	
MUY MALO	-				-	-	
ΣTotal						7,00	
$ET = \frac{\Sigma Total}{\# \text{ de aspectos evaluados}} \times 100$						87,50	
Estado		%		Tipo de mantenimiento			
Regular		75-89		Reparación pequeña		X	

Fuente: Autores

Tabla 17. Estado técnico del motor y bomba del banco de pruebas de la Turbina Kaplan

ESTADO TÉCNICO DEL MOTOR Y BOMBA DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA							
KAPLAN							
Marca:			Responsable del mantenimiento:				
Código Técnico:			Significado:				
Código del activo físico:: 10633			Significado:				
Manuales :		Planos :		Repuestos:			
Si _____ No _____ _____x_____		Si _____ No _____x_____		Si _____ No _____x_____			
DESCRIPCIÓN				ESTADO			
				B	R	M	MM
Estado de la carcasa				X			
Estado del anclaje				X			
Estado del sistema eléctrico				X			
Estado del panel de control				X			
Estado de la cimentación					X		
Estado de los bornes de conexión					X		
Estado de los sellos mecánicos				X			
Lubricación					X		
ESTADO TÉCNICO							
ESTADO	#	FACTOR				TOTAL	
		1	0,80	0,60	0,4		
BUENO	5	X				5,00	
REGULAR	3		X			2,40	
MALO	-			-		-	
MUY MALO	-				-	-	
ΣTotal						7,40	
$ET = \frac{\Sigma Total}{\# \text{ de aspectos evaluados}} \times 100$						92,50	
Estado			%	Tipo de mantenimiento			
Bueno			90-100	Revisión		X	

Fuente: Autores

Tabla 18. Estado técnico del motor y bomba del banco de pruebas de la Turbina Francis 2

ESTADO TÉCNICO DEL MOTOR Y BOMBA DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA						
FRANCIS 2						
Marca: Goulds Pumps			Responsable del mantenimiento:			
Código Técnico:			Significado:			
Código del activo físico:10652			Significado:			
Manuales :		Planos :		Repuestos:		
Si _____ No ___x___		Si _____ No ___x___		Si _____ No ___x___		
DESCRIPCIÓN			ESTADO			
			B	R	M	MM
Estado de la carcasa				X		
Estado del anclaje						X
Estado del sistema eléctrico					X	
Estado del panel de control					X	
Estado de la cimentación					X	
Estado de los bornes de conexión					X	
Estado de los sellos mecánicos					X	
Lubricación				X		
ESTADO TÉCNICO						
ESTADO	#	FACTOR				TOTAL
		1	0,80	0,60	0,4	
BUENO	-	-				-
REGULAR	2		X			1,60
MALO	5			X		3,00
MUY MALO	1				X	0,40
ΣTotal						5,00
					$ET = \frac{\Sigma Total}{\# \text{ de aspectos evaluados}} \times 100$	62,50
Estado		%		Tipo de mantenimiento		
Malo		50-74		Reparación media		X

Fuente: Autores

3.2 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componente, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento.

El análisis de criticidades genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: crítico, semicrítico y no crítico. (JUAREZ, 2007, págs. 30-34)

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con:

Causas de paradas no planeadas

- Seguridad y salud (S&S)
- Medio ambiente (MA)
- Calidad y productividad (C&P)
- Producción

Operación del equipo

- Tiempo de operación (TO)
- Intervalo entre actividades (TBF)
- Tiempo y costo de mantenimiento (MT)

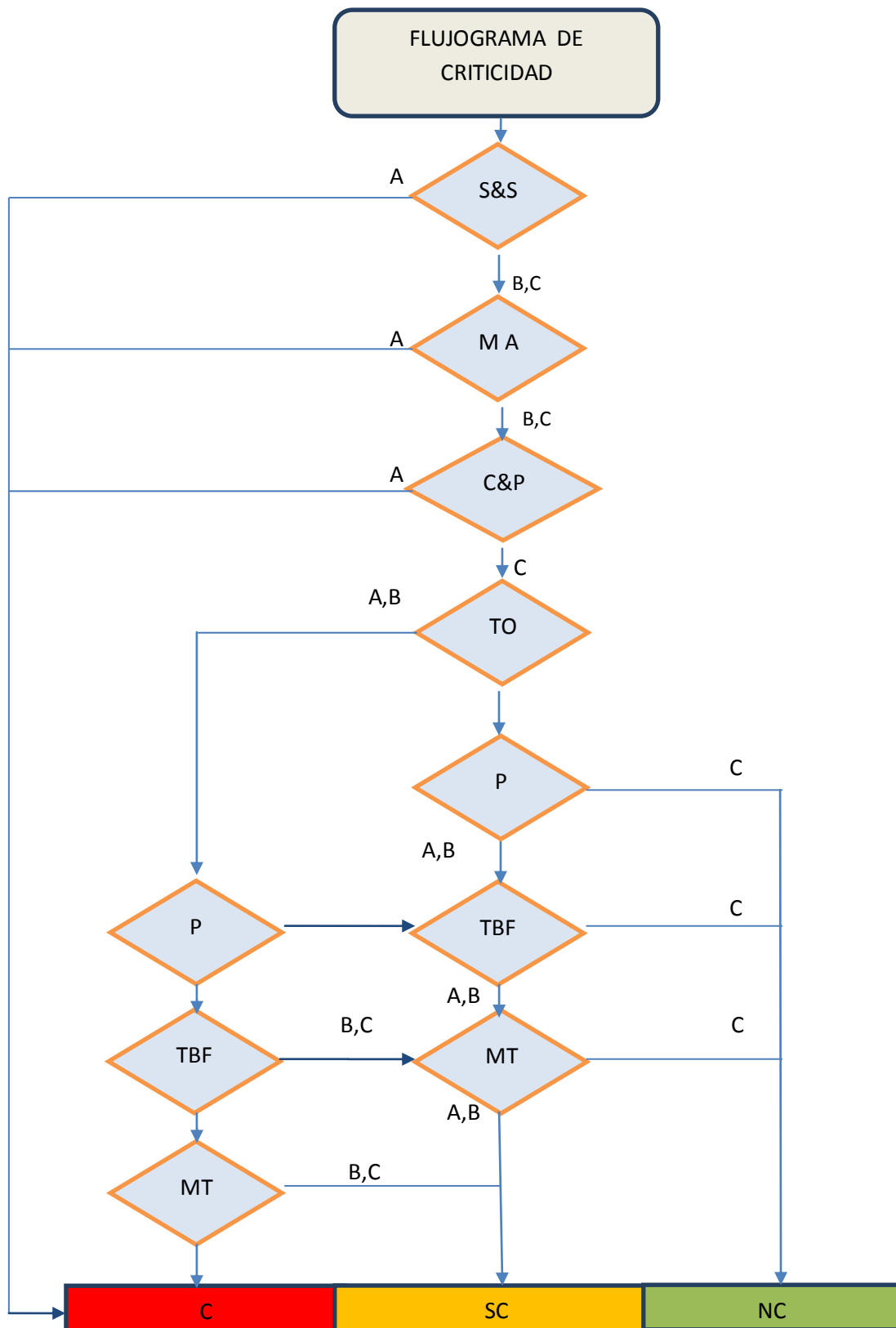
La lista generada, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades, y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

Tabla 19. Matriz de criticidad

MATRIZ DE CRITICIDAD			
Causas de paradas no planeadas			
Área de impacto	A Riesgo Alto	B Riesgo Medio	C Riesgo Bajo
Seguridad y salud (S&S)	Alto riesgo de vida del personal	Riesgo de vida significativa del personal	No existe riesgo ni de salud ni de daños del personal
	Daños graves en la salud del personal	Daños menores en la salud del personal	
Medio ambiente (MA)	Alto excedente de los límites permitidos de derrames y fugas	Excedente de los límites permitidos y repetitivos de derrames y fugas	Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos
Calidad y productividad (C&P)	Defecto de producción	Variaciones en las especificaciones de calidad y producción	Sin efectos
	Reducción de velocidad		
	Reducción de producción		
Producción (P)	Parada de todo el proceso	Parada de una parte del proceso	Sin efectos
Operación del equipo			
Área de impacto	A Riesgo Alto	B Riesgo Medio	C Riesgo Bajo
Tiempo de operación (TO)	24 horas diarias	2 turnos u horas normales de trabajo	Ocasionalmente o no es un equipo de producción
Intervalos entre actividades (TBF)	Menos de 6 meses	En promedio una vez al año	Raramente
Tiempo y costo de mantenimiento (MT)	Tiempo y/o costo de reparación altos	Tiempo y/o costos de reparación razonable	Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

Fuente: Autores

Figura 30. Flujoograma de criticidad



Fuente: GIDME, Mantenimiento basado en la confiabilidad II

3.3.1 *Criticidad de los equipos según las áreas de impacto*

3.3.1.1 *Turbina Pelton*

Motor:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Medio (B)** → Daños menores en la salud del personal. (No impide el trabajo habitual o no necesita asistencia médica, y, en caso contrario, descansó menor de 15 días)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Medio (B)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio)

De acuerdo al Flujograma de criticidad el motor de la turbina Pelton se encuentra en la categoría de equipo semicrítico (SC)

Bomba:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Bajo (C)** → No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal. (No impide el trabajo habitual o no necesita asistencia médica, y, en caso contrario, descansó menor de 15 días)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Medio (B)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio).

De acuerdo al Flujograma de criticidad la bomba de la turbina Pelton se encuentra en la categoría de equipo semicrítico (SC)

3.3.1.2 Turbina Francis

Motor:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Medio (B)** → Daños menores en la salud del personal. (No impide el trabajo habitual o no necesita asistencia médica, y, en caso contrario, descansó menor de 15 días)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Medio (B)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio)

De acuerdo al Flujograma de criticidad el motor de la turbina Francis se encuentra en la categoría de equipo semicrítico (SC)

Bomba:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Bajo (C)** → No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal. (No impide el trabajo habitual o no necesita asistencia médica, y, en caso contrario, descansó menor de 15 días)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Medio (B)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio).

De acuerdo al Flujograma de criticidad la bomba de la turbina Francis se encuentra en la categoría de equipo semicrítico (SC)

3.3.1.3 Turbina Kaplan

Motor:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Medio (B)** → Daños menores en la salud del personal. (No impide el trabajo habitual o no necesita asistencia médica, y, en caso contrario, descansó menor de 15 días)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Alto (A)** → Tiempo y/o costo de reparación alto. (Debido a que es un equipo de un tamaño grande por ende sus componentes se considera el tiempo y costo de mantenimiento alto)

De acuerdo al Flujograma de criticidad el motor de la turbina Kaplan se encuentra en la categoría de equipo semicrítico (SC)

Bomba:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Bajo (C)** → No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal. (No impide el trabajo habitual o no necesita asistencia médica, y, en caso contrario, descansó menor de 15 días)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Alto (A)** → Tiempo y/o costo de reparación alto. (Debido a que es un equipo de un tamaño grande por ende sus componentes se considera el tiempo y costo de mantenimiento alto)

De acuerdo al Flujograma de criticidad la bomba de la turbina Kaplan se encuentra en la categoría de equipo semicrítico (SC)

3.3.1.4 Turbina Francis 2

Motor 1:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Medio (B)** → Daños menores en la salud del personal. (No impide el trabajo habitual o no necesita asistencia médica, y, en caso contrario, descansó menor de 15 días)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Medio (B)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio).

De acuerdo al Flujograma de criticidad el motor 1 de la turbina Francis 2 se encuentra en la categoría de equipo semicrítico (SC)

Bomba 1:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Bajo (C)** → No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal. (No impide el trabajo habitual o no necesita asistencia médica, y, en caso contrario, descansó menor de 15 días)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Medio (B)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio)

De acuerdo al Flujograma de criticidad la bomba 1 de la turbina Francis 2 se encuentra en la categoría de equipo semicrítico (SC)

Motor 2:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Bajo (C)** → No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal. (No impide el trabajo habitual ya que no está propenso a recibir lesiones, golpes debido al tamaño del equipo)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Bajo (C)** → Sin efectos. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Medio (B)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio)

De acuerdo al Flujograma de criticidad el motor 2 de la turbina Francis 2 se encuentra en la categoría de equipo semicrítico (SC)

Bomba 2:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Bajo (C)** → No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal. (No impide el trabajo habitual o no necesita asistencia médica, y, en caso contrario, descansó menor de 15 días)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Bajo (C)** → Parada de una parte del proceso. . (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Medio (B)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio).

De acuerdo al Flujograma de criticidad la bomba 2 de la turbina Francis 2 se encuentra en la categoría de equipo semicrítico (SC)

3.3.1.5 Bomba centrífuga

Motor:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Bajo (C)** → No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal. (No impide el trabajo habitual ya que no está propenso a recibir lesiones, golpes debido al tamaño del equipo)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Bajo (C)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio).

De acuerdo al Flujograma de criticidad el motor de la bomba centrífuga se encuentra en la categoría de equipo no crítico (NC)

Bomba:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Bajo (C)** → No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal. (No impide el trabajo habitual o no necesita asistencia médica, y, en caso contrario, descansó menor de 15 días)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Bajo (C)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio)

De acuerdo al Flujograma de criticidad el componente de la bomba centrífuga se encuentra en la categoría de equipo no crítico (NC)

3.3.1.6 Bomba recíproca

Motor:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Bajo (C)** → No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal. (No impide el trabajo habitual ya que no está propenso a recibir lesiones, golpes debido al tamaño del equipo)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado del laboratorio así lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias a los equipos)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Bajo (C)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio).

De acuerdo al Flujograma de criticidad el motor de la bomba recíproca se encuentra en la categoría de equipo no crítico (NC)

Bomba:

- Seguridad y Salud (S&S) → **Riesgo Bajo (C)** → No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal. (No impide el trabajo habitual o no necesita asistencia médica, y, en caso contrario, descansó menor de 15 días)
- Medio Ambiente (MA) → **Riesgo bajo (C)** → Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos. (Ningún riesgo para el medio ambiente opera con fluido no peligroso para afectar a éste)
- Calidad y Productividad C&P) → **Riesgo bajo (C)** → Sin efectos. (En condiciones normales de funcionamiento no presenta ninguna restricción, o en calidad para el producto final del sistema)
- Tiempos de Operación (TO) → **Riesgo bajo (C)** → Ocasionalmente o no es un equipo de producción. (Funcionan los equipos cuando el encargado lo requiera)
- Producción (P) → **Riesgo Medio (B)** → Parada de una parte del proceso. (Al dejar de funcionar el componente afecta a la correcta operación del sistema)
- Intervalos Entre Actividades (TBF) → **Riesgo Medio (B)** → En promedio una vez al año. (Cada este tiempo se ha efectuado correcciones necesarias)
- Tiempo y Costo de Mantenimiento (MT) → **Riesgo Bajo (C)** → Tiempo y/o costo de reparación razonable. (Debido a que es un equipo de un tamaño y características considerables el tiempo y costo de mantenimiento es medio)

De acuerdo al Flujograma de criticidad el componente de la bomba recíproca se encuentra en la categoría de equipo no crítico (NC)

Tabla 20. Análisis de criticidad

Sección	Banco de prueba	Componente	Código	Nº inventario	S&S	MA	C&P	TO	P	TBF	MT	Criticidad
Laboratorio	T. Pelton	Motor	ELFTPE01	09953	B	C	C	C	B	B	B	SC
Laboratorio	T. Pelton	Bomba	ELFTPE01	09953	C	C	C	C	B	B	B	SC
Laboratorio	T. Francis	Motor	ELFTFE01	10623	B	C	C	C	B	B	B	SC
Laboratorio	T. Francis	Bomba	ELFTFE01	10623	C	C	C	C	B	B	B	SC
Laboratorio	T. Kaplan	Motor	ELFTKE01	10633	B	C	C	C	B	B	A	SC
Laboratorio	T. Kaplan	Bomba	ELFTKE01	10633	B	C	C	C	B	B	A	SC
Laboratorio	TF. 2	Motor 1	-	10652	B	C	C	C	B	B	B	SC
Laboratorio	TF. 2	Bomba 1	-	10652	C	C	C	C	B	B	B	SC
Laboratorio	TF. 2	Motor 2	-	10652	C	C	C	C	C	B	B	SC
Laboratorio	TF. 2	Bomba 2	-	10652	C	C	C	C	C	B	B	SC
Laboratorio	B. Centrífuga	Motor	ELFBCE01	9939	C	C	C	C	B	B	C	NC
Laboratorio	B. Centrífuga	Bomba	ELFBCE01	9939	C	C	C	C	B	B	C	NC
Laboratorio	B. Reciprocante	Motor	ELFBRE01	9926	C	C	C	C	B	B	C	NC
Laboratorio	B. Reciprocante	Bomba	ELFBRE01	9926	C	C	C	C	B	B	C	NC

Fuente: Autores

NOTA: Se realizara el plan de mantenimiento predictivo y manual de mantenimiento proactivo a las máquinas que se encuentren en las categorías de crítica y semicritica debido a la importancia de uso con respecto a los demás equipos.

3.4 Determinación de los componentes funcionales

En esta se detallan cada uno de los elementos que componen los bancos de pruebas, describiendo diámetros, caudal, rendimiento en las turbinas, así mismo el tipo de motor, tipo de bomba, su potencia y velocidad. Todos estos elementos debidamente acoplados para llegar al objetivo final para los que fueron diseñados.

3.4.1 Banco de pruebas de la turbina Pelton

Turbina

- Cabeza neta de diseño: 30.5 m
- Cabeza de trabajo máxima: 76.2 m
- Diámetro máximo del chorro: 1.88 cm
- Diámetro del círculo de ataque del rodete: 24.4 cm
- Velocidad óptima del eje: 8000 rpm
- Diámetro de la tubería de admisión: 6.35 cm.

Motor

- Tipo de motor: Trifásico
- Potencia: 7.5 kW
- Velocidad: 3480 rpm

Bomba

- Tipo de bomba: Centrífuga

3.4.2 Banco de pruebas de la turbina Francis

Turbina

- Tipo de turbina: Carcasa espiral (voluta)
- Tamaño nominal del rodete: 6" (152.5 mm)
- Número de álabes directrices: 8

- Velocidad específica: 36 rpm
- Cabeza neta de diseño: 6m
- Rendimiento máximo del eje: 2.9 BHP
- Caudal: 7,86 Lt/s

Motor

- Tipo de motor: Trifásico
- Potencia: 7.5 kW
- Velocidad: 1750 rpm

Bomba

- Tipo de bomba: Centrífuga

3.4.3 Banco de pruebas de la turbina Kaplan

Turbina

- Tipo de turbina: Kaplan (voluta)
- Velocidad específica: 135 rpm
- Diámetro nominal de rotor: 8 cm
- # de aletas del rotor: 4
- # de álabes directrices: 16
- Diámetro de tubería de entrada: 344 mm
- Diámetro de tubería de salida: 271 mm

Motor

- Tipo de motor: Trifásico
- Potencia: 22/15 kW
- Velocidad: 1740/1145 rpm
- Longitud del brazo porta pesas: 0.365 m

Bomba

- Tipo de bomba: Axial

3.4.4 *Banco de pruebas de la turbina Francis 2*

Turbina

- Tipo de turbina: Francis carcasa espiral (voluta)

Motor

- Tipo de motor: Trifásico
- Potencia: 5Hp
- Velocidad: 3500 rpm

Bomba

- Tipo de bomba: Centrífuga

3.2 Análisis funcional

Para decidir cuándo un activo no está trabajando satisfactoriamente, es necesario definir qué es lo que el activo debe hacer para trabajar apropiadamente, por lo cual, uno de los aspectos importantes dentro de AMEF, consiste en definir adecuadamente la función o las funciones asociadas a cada activo en su contexto operacional. Hay que tener presente que cada activo, usualmente tiene más de una función. (SANCHEZ, 2007, págs. 209-210)

Para el AMEF, las funciones evidentes de un activo pueden ser divididas en cinco categorías:

- Función primaria
- Función secundaria
- Función de protección
- Función de control
- Funciones subsidiarias

3.5.1 Función Primaria. Constituyen la razón de ser de un activo. es importante aclarar que las funciones primarias de un activo podrán ser definidas a partir de la descripción de sus salidas. La descripción de cualquier función siempre contendrá claramente definidos los estándares a los cuales el activo será operado y mantenido.

3.5.1 Función Secundaria. Estas son usualmente menos obvias que las funciones primarias, pero las consecuencias que podrían generar sus fallas pueden ser más serias que las consecuencias originadas por las fallas de una función primaria.

3.5.1 Función de Protección. Las funciones de protección de un activo, solo reaccionan cuando algo malo está ocurriendo haciendo en la mayoría de los casos que el activo deje de cumplir con sus funciones principales. El propósito de los equipos de protección será básicamente proteger en primer lugar al recurso humano de los posibles efectos de las fallas y en segundo lugar, a los activos.

3.5.1 Función de control. Básicamente los equipos que cumplen funciones de control indican variables tales como presión, temperatura, velocidad, tasa de flujo y niveles de ruido dentro de un rango específico de operaciones previamente especificadas.

3.5.1 Función subsidiarias. Ocurre cuando un activo posee equipos adicionales ajustados a un particular y adicional proceso diferente del proceso principal. En otras palabras son funciones realizadas en el proceso principal por equipos especiales adecuados a procesos específicos que no están relacionados directamente con el producto final del proceso principal.

A continuación se detallan las funciones primarias y secundarias de cada uno de los bancos de pruebas.

Tabla 21. Análisis funcional del banco de pruebas de la turbina Pelton

Banco de pruebas de la turbina Pelton		
BOMBA	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Generar un caudal de 7,86 Lt/s hacia la turbina. • Mantener una presión constante de 27,8 m H₂O.
	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Sirve como soporte para el banco de pruebas. • Contener el fluido.
TUBERÍAS	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Transportar un caudal de 7,86 Lt/s hacia la turbina. • Sirve como soporte para el banco de pruebas.
	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios. • Contener el fluido.
TURBINA	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Transformar energía. • Generar energía eléctrica.
	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Contener el fluido. • Sirve como soporte para el banco de pruebas.

Fuente: Autores

Tabla 22. Análisis funcional del banco de pruebas de la turbina Francis

Banco de pruebas de la turbina Francis		
BOMBA	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Generar un caudal de 7,86 Lt/s hacia la turbina • Mantener una presión constante de 3,06 m H₂O.
	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Sirve como soporte para el banco de pruebas. • Contener el fluido.
TUBERÍAS	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Transportar un caudal de 7,86 Lt/s hacia la turbina. • Sirve como soporte para el banco de pruebas.
	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios. • Contener el fluido.
TURBINA	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Transformar energía. • Generar energía eléctrica.

Tabla 22. (Continuación)

TURBINA	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios. • Contener el fluido.
---------	-----------------------	--

Fuente: Autores

Tabla 23. Análisis funcional del banco de pruebas de la turbina Kaplan

Banco de pruebas de la turbina Kaplan		
BOMBA	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Generar un caudal de 156,01 Lt/s hacia la turbina. • Mantener una presión constante de 4,02 m H₂O.
	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Sirve como soporte para el banco de pruebas. • Contener el fluido.
TUBERÍAS	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Transportar un caudal de 156,01 Lt/s hacia la turbina. • Sirve como soporte para el banco de pruebas.
	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios. • Contener el fluido.
TURBINA	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Transformar energía. • Generar energía eléctrica.
	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Contener el fluido. • Sirve como soporte para el banco de pruebas.

Fuente: Autores

Tabla 24. Análisis funcional del banco de pruebas de la turbina Francis 2

Banco de pruebas de la turbina Francis 2		
BOMBA 1	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Generar un caudal de 5,25 Lt/s hacia la turbina • Mantener una presión constante de 2,02 m H₂O.
	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Sirve como soporte para el banco de pruebas. • Contener el fluido.
BOMBA 2	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Generar un caudal de 5,25 Lt/s hacia la turbina • Mantener una presión constante de 2,02 m H₂O.

Tabla 24. (Continuación)

TUBERÍAS	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Transportar un caudal de 5,25 Lt/s hacia la turbina. • Sirve como soporte para el banco de pruebas.
	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios. • Contener el fluido.
TURBINA	Funciones primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Transformar energía. • Generar energía eléctrica.
	Funciones secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Contener el fluido. • Sirve como soporte para el banco de pruebas.

Fuente: Autores

3.6 Análisis de modo y efecto de falla

Es un método que permite cuantificar las consecuencias o impacto de las fallas de los componentes de un equipo, y la frecuencia con que se presentan para establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que están generando mayor repercusión en la funcionalidad, confiabilidad, mantenibilidad, riesgos y costos totales, con el fin de mitigarlas de forma sistemática. (RIOS, 2005, págs. 1-9)

Por ende, cada causa potencial debe ser considerada por su efecto sobre el producto o proceso y de acuerdo al riesgo las acciones deben ser determinadas. Para la elaboración del AMEF se toma en cuenta los siguientes parámetros:

- *Función.* La misión de un activo ya sea primaria o secundaria
- *Descripción de la función:* El propósito de un activo dentro de un contexto operacional
- *Falla funcional.* Es la negación de la propia función descrita
- *Modo de falla.* Un modo de falla podemos definirlo como la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función, o en otras palabras, la forma en que un activo falla

- *Efecto de modo de falla.* Los efectos de la falla son considerados como la forma en la que la falla se manifiesta, es decir, como se ve perturbado el sistema ante la falla del equipo o activo
- *Consecuencia del modo de falla.* Se define en función a los aspectos que son de mayor importancia como el de seguridad, medio ambiente, operacionales, no operacionales y fallas ocultas

A continuación se describe el Análisis de modo y efecto de falla AMEF para cada uno de los bancos de pruebas.

3.6.1 AMEF del banco de pruebas de la turbina Pelton

Tabla 25. Análisis de modo y efecto de falla del banco de pruebas de la turbina Pelton

AMEF						
Sección: Laboratorio de Turbomaquinaria Banco de prueba: Turbina Pelton			Componentes: Bomba, Tuberías, Turbina.		Código: ELFTPE01	
Tipo de función	Descripción de la función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos del modo de falla	Consecuencias del modo de falla	Evaluación de tareas
BOMBA						
Primarias	Generar un caudal mínimo de 7,86 Lt/s hacia la turbina.	No Generar el caudal de 7,86 Lt/s hacia la turbina.	Rodamientos en mal estado	Obstrucción en la descarga	Operacional	Vibraciones
			Motor quemado	Mal olor en el equipo		Termografía
			Sellos en mal estado	Fluido regado en el piso		Inspeccionar
			Conexiones defectuosas	No funciona el equipo		Termografía
	Mantener una presión constante de 27,8 m H ₂ O.	No mantener una presión constante de 27,8 m H ₂ O.	Desalineamiento	Vibración excesiva	Operacional	Vibraciones
			Pérdida de fase	No funciona el equipo		Termografía
			Desbalanceo	Vibración excesiva		Vibraciones
			Pista interna deteriorada	Ruido.		Vibraciones

Tabla 25. (A continuación)

Secundarias	Sirve como soporte	No sirve como soporte	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
	Contener el fluido	No Contener el fluido	Sellos deteriorados	Goteo continuo		Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado		Corregir fisuras
TUBERÍAS						
Primarias	Transportar un caudal mínimo de 7,86 Lt/s hacia la turbina	No transportar un caudal de 7,86 Lt/s hacia la turbina	Uniones rotas	Goteo continuo de fluido	Operacional	Cambiar uniones
			Tubería fisurada	Piso mojado		Reparar fisuras
			Válvulas mal acopladas	Paso de fluido insuficiente		Ajustar válvulas
			Diámetro inadecuado de tubería	Caudal limitado a la turbina		Cambiar tuberías
	Sirve como soporte para el banco de pruebas	No sirve como soporte para el banco de pruebas	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro

Tabla 25. (A continuación)

Secundarias	Como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios.	No sirve como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios.	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
			Accesorios incorrectos	Fuga de líquido		Nuevos accesorios
	Contener el fluido.	No contener el fluido.	Sellos deteriorados	Goteo continuo	Operacional	Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado		Corregir fisuras
TURBINA						
Primarias	Transformar energía.	No Transformar energía.	Tablero de control dañado	No prenden los equipos	Operacional	Termografía
			Cavitación en la bomba	Vibración		Vibraciones
			Succión obstruida	Ruido		Inspección
	Generar energía eléctrica.	No Generar energía eléctrica.	Álabes rotos	Ruido excesivo	Operacional	Vibraciones
			Generador deteriorado	Ausencia de electricidad		Comprobación
			Desalineación del eje	Vibración excesiva		Vibraciones
Secundarias	Contener el fluido.	No Contener el fluido.	Empaques en mal estado	Goteo continuo	Operacional	Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado en el suelo		Corregir fisuras

Tabla 25. (A continuación)

Secundarias	Contener el fluido.	No Contener el fluido.	Empaques en mal estado	Goteo continuo	Operacional	Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado en el suelo		Corregir fisuras
	Sirve como soporte para el banco de pruebas.	No sirve como soporte para el banco de pruebas.	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
			Accesorios incorrectos	Fuga de líquido		Nuevos accesorios

Fuente: Autores

70

3.6.2 AMEF del banco de pruebas de la turbina Francis

Tabla 26. Análisis de modo y efecto de falla del banco de pruebas de la turbina Francis

AMEF						
Sección: Laboratorio de Turbomaquinaria			Componentes: Bomba, Tuberías, Turbina.		Código: ELFTFE01	
Banco de prueba: Turbina Francis						
Tipo de función	Descripción de la función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos del modo de falla	Consecuencias del modo de falla	Evaluación de tareas
BOMBA						

Tabla 26. (A continuación)

Primarias	Generar un caudal mínimo de 7,86 Lt/s hacia la turbina.	No Generar el caudal de 7,86 Lt/s hacia la turbina.	Bobinado del rotor dañado	Equipo apagado	Operacional	Termografía
			Cojinete en mal estado	Vibración excesiva		Vibraciones
			Cortocircuito entre fases	Equipo apagado		Termografía
			Conexiones defectuosas	No funciona el equipo		Termografía
	Mantener una presión constante de 3,06 m H ₂ O.	No mantener una presión constante de 3,06 m H ₂ O.	Desalineamiento	Vibración excesiva	Operacional	Vibraciones
			Desbalance de voltajes	No funciona el equipo		Termografía
			Desbalanceo	Vibración excesiva		Vibraciones
			Rotor bloqueado	Ruido		Vibraciones
Secundarias	Sirve como soporte	No sirve como soporte	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
	Contener el fluido	No Contener el fluido	Sellos deteriorados	Goteo continuo		Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado		Corregir fisuras
TUBERÍAS						
Primarias	Transportar un caudal mínimo de 7,86 Lt/s hacia la turbina	No transportar un caudal de 7,86 Lt/s hacia la turbina	Uniones rotas	Goteo continuo de fluido	Operacional	Cambiar uniones
			Tubería fisurada	Piso mojado		Reparar fisuras
			Válvulas mal acopladas	Paso de fluido insuficiente		Ajustar válvulas
			Diámetro inadecuado	Caudal limitado a la turbina		Cambiar tuberías

Tabla 26. (Continuación)

	Sirve como soporte para el banco de pruebas	No sirve como soporte para el banco de pruebas	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
Secundarias	Como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios.	No sirve como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios.	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
			Accesorios incorrectos	Fuga de líquido		Nuevos accesorios
	Contener el fluido.	No contener el fluido.	Sellos deteriorados	Goteo continuo	Operacional	Cambiar sellos
		Fisuras en la carcasa	Fluido regado	Corregir fisuras		
TURBINA						
Primarias	Transformar energía.	No Transformar energía.	Desalineación de cojinete	No prenden los equipos	Operacional	Vibraciones
			Cavitación en la bomba	Vibración		Vibraciones
			Succión obstruida	Ruido		Inspección
	Generar energía eléctrica.	No Generar energía eléctrica.	Álabes rotos	Ruido excesivo	Operacional	Vibraciones
			Generador deteriorado	Ausencia de electricidad		Comprobación
			Desalineación del eje	Vibración excesiva		Vibraciones

Tabla 26. (Continuación)

Secundarias	Contener el fluido.	No Contener el fluido.	Empaques en mal estado	Goteo continuo	Operacional	Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado en el suelo		Corregir fisuras
	Sirve como soporte para el banco de pruebas.	No sirve como soporte para el banco de pruebas.	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
			Accesorios incorrectos	Fuga de líquido		Nuevos accesorios

Fuente: Autores

3.6.3 AMEF del banco de pruebas de la turbina Kaplan

Tabla 27. Análisis de modo y efecto de falla del banco de pruebas de la turbina Kaplan

AMEF						
Sección: Laboratorio de Turbomaquinaria Banco de prueba: Turbina Kaplan			Componentes: Bomba, Tuberías, Turbina.		Código: ELFTKE01	
Tipo de función	Descripción de la función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos del modo de falla	Consecuencias del modo de falla	Evaluación de tareas

Tabla 27. (Continuación)

BOMBA						
Primarias	Generar un caudal mínimo de 156,01 Lt/s hacia la turbina.	No Generar el caudal de 156,01 Lt/s hacia la turbina.	Válvula de retención pequeña	Disminución de caudal	Operacional	Cambiar válvula
			Partes giratorias rozando	Ruido		Termografía
			Excesivo ajuste rodamientos	Recalentamiento		Vibraciones
			Conexiones defectuosas	No funciona el equipo		Termografía
	Mantener una presión constante de 4,02 m H ₂ O.	No mantener una presión constante de 4,02 m H ₂ O.	Protector térmico mal regulado	Salta protector térmico	Operacional	Termografía
			Desbalance de voltajes	No funciona el equipo		Termografía
			Bomba mal seleccionada	Presión insuficiente		Cambiar bomba
			Rotor bloqueado	Ruido		Vibraciones
Secundarias	Sirve como soporte	No sirve como soporte	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
	Contener el fluido	No Contener el fluido	Sellos deteriorados	Goteo continuo		Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado		Corregir fisuras

Tabla 27. (Continuación)

TUBERÍAS						
Primarias	Transportar un caudal mínimo de 156,01 Lt/s hacia la turbina	No transportar un caudal de 7,86 Lt/s hacia la turbina	Uniones rotas	Goteo continuo de fluido	Operacional	Cambiar uniones
			Tubería fisurada	Piso mojado		Reparar fisuras
			Válvulas mal acopladas	Paso de fluido insuficiente		Ajustar válvulas
			Diámetro inadecuado de la tubería	Caudal limitado a la turbina		Cambiar tuberías
	Sirve como soporte para el banco de pruebas	No sirve como soporte para el banco de pruebas	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
Secundarias	Como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios.	No sirve como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios.	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
			Accesorios incorrectos	Fuga de líquido		Nuevos accesorios
	Contener el fluido.	No contener el fluido.	Sellos deteriorados	Goteo continuo	Operacional	Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado		Corregir fisuras

Tabla 27. (Continuación)

TURBINA						
Primarias	Transformar energía.	No Transformar energía.	Desprendimiento de material de los álabes	Paso de agua al interior del rodete	Operacional	Reparación de los álabes
			Desgaste de anillos	Vibración en la turbina		Vibraciones
			Desgaste de chumaceras	Desgaste en el Babbit		Reparación de chumaceras
	Generar energía eléctrica.	No Generar energía eléctrica.	Álabes rotos	Ruido excesivo	Operacional	Vibraciones
			Generador deteriorado	Ausencia de electricidad		Comprobación
			Desalineación del eje	Vibración excesiva		Vibraciones
Secundarias	Contener el fluido.	No Contener el fluido.	Empaques en mal estado	Goteo continuo	Operacional	Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado en el suelo		Corregir fisuras
	Sirve como soporte para el banco de pruebas.	No sirve como soporte para el banco de pruebas.	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
			Accesorios incorrectos	Fuga de líquido		Nuevos accesorios

Fuente: Autores

3.6.4 AMEF del banco de pruebas de la turbina Francis 2

Tabla 28. Análisis de modo y efecto de falla del banco de pruebas de la turbina Francis 2

AMEF						
Sección: Laboratorio de Turbomaquinaria Banco de prueba: Turbina Francis 2			Componentes: Bomba, Tuberías, Turbina.		Código:-	
Tipo de función	Descripción de la función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos del modo de falla	Consecuencias del modo de falla	Evaluación de tareas
BOMBA 1						
Primarias	Generar un caudal mínimo de 5,25 Lt/s hacia la turbina.	No Generar el caudal de 5,25 Lt/s hacia la turbina.	Válvula de retención pequeña	Disminución de caudal	Operacional	Cambiar válvula
			Partes giratorias rozando	Ruido		Termografía
			Excesivo ajuste rodamientos	Recalentamiento		Vibraciones
			Conexiones defectuosas	No funciona el equipo		Termografía
	Mantener una presión constante de 2,02 m H ₂ O.	No mantener una presión constante de 2,02 m H ₂ O.	Protector térmico mal regulado	Salta el protector térmico	Operacional	Termografía
			Desbalance de voltajes	No funciona el equipo		Termografía
			Bomba mal seleccionada	Presión insuficiente		Cambiar bomba
			Rotor bloqueado	Ruido		Vibraciones

Tabla 28. (Continuación)

Secundarias	Sirve como soporte	No sirve como soporte	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
	Contener el fluido	No Contener el fluido	Sellos deteriorados	Goteo continuo		Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado		Corregir fisuras
BOMBA 2						
Primarias	Generar un caudal mínimo de 5,25 Lt/s hacia la turbina.	No Generar el caudal de 5,25 Lt/s hacia la turbina.	Válvula de retención pequeña	Disminución de caudal	Operacional	Cambiar válvula
			Partes giratorias rozando	Ruido		Termografía
			Excesivo ajuste rodamientos	Recalentamiento		Vibraciones
			Conexiones defectuosas	No funciona el equipo		Termografía
	Mantener una presión constante de 2,02 m H ₂ O.	No mantener una presión constante de 2,02 m H ₂ O.	Protector térmico mal regulado	Salta el protector térmico	Operacional	Termografía
			Desbalance de voltajes	No funciona el equipo		Termografía
			Bomba mal seleccionada	Presión insuficiente		Cambiar bomba
			Rotor bloqueado	Ruido		Vibraciones
Secundarias	Sirve como soporte	No sirve como soporte	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
	Contener el fluido	No Contener el fluido	Sellos deteriorados	Goteo continuo		Cambiar sellos

Tabla 28. (Continuación)

TUBERÍAS						
Primarias	Transportar un caudal mínimo de 156,01 Lt/s hacia la turbina	No transportar un caudal de 7,86 Lt/s hacia la turbina	Uniones rotas	Goteo continuo de fluido	Operacional	Cambiar uniones
			Tubería fisurada	Piso mojado		Reparar fisuras
			Válvulas mal acopladas	Paso de fluido insuficiente		Ajustar válvulas
			Diámetro inadecuado de la tubería	Caudal limitado a la turbina		Cambiar tuberías
	Sirve como soporte para el banco de pruebas	No sirve como soporte para el banco de pruebas	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
Secundarias	Como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios.	No sirve como soporte para el acoplamiento de válvulas y demás accesorios.	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
			Accesorios incorrectos	Fuga de líquido		Nuevos accesorios
	Contener el fluido.	No contener el fluido.	Sellos deteriorados	Goteo continuo	Operacional	Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado		Corregir fisuras

Tabla 28. (Continuación)

TURBINA						
Primarias	Transformar energía.	No Transformar energía.	Disco roto	No desvía el paso del fluido	Operacional	Reemplazo del disco
			Desgaste de anillos	Vibración en la turbina		Vibraciones
			Asientos gastados	La tobera tiene fuga		Mantenimiento correctivo
	Generar energía eléctrica.	No Generar energía eléctrica.	Destrucción del rodete	Ruido excesivo	Operacional	Vibraciones
			Generador deteriorado	Ausencia de electricidad		Comprobación
			Desalineación del eje	Vibración excesiva		Vibraciones
Secundarias	Contener el fluido.	No Contener el fluido.	Empaques en mal estado	Goteo continuo	Operacional	Cambiar sellos
			Fisuras en la carcasa	Fluido regado en el suelo		Corregir fisuras
	Sirve como soporte para el banco de pruebas.	No sirve como soporte para el banco de pruebas.	Anclajes en mal estado	Vibraciones excesivas	Operacional	Vibraciones
			Aprietes inadecuados	Movimiento		Torcometro
			Accesorios incorrectos	Fuga de líquido		Nuevos accesorios

Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4 PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

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 prever, con cierto margen de error, cuando un equipo fallará. (PALOMINO, 2007, págs. 1-6)

El mantenimiento predictivo tiene la ventaja indudable de que en la mayoría de las ocasiones no es necesario realizar grandes desmontajes, y en muchos casos ni siquiera es necesario parar la máquina. Generalmente son técnicas no invasivas. Si tras la inspección se aprecia algo irregular se propone o se programa una intervención, Además de prever el fallo catastrófico de una pieza, y por tanto, anticiparse a éste, las técnicas de mantenimiento predictivo ofrecen una ventaja adicional: la compra de repuestos se realiza cuando se necesita, eliminando pues stocks (capital inmovilizado).

4.1 Selección de las frecuencias de inspección

Para establecer los intervalos de medición se deben tomar en cuenta los criterios de clasificación del equipo y los factores “de entorno”. Los siguientes intervalos son recomendados, sin que por ello cada empresa deba fijar el lapso que considere adecuado. (AMaq, 2008, págs. 40-41)

- Si la historia de operación es buena **la inspección es trimestral**
- Si la maquinaria es altamente confiable **los intervalos pueden ser de 6 a 12 meses.**
- Equipo vital sin respaldo **puede evaluarse cada 1 o 2 semanas**

- Equipo no vital con respaldo se evalúa **trimestralmente**
- Equipo no vital operado intermitentemente **se puede monitorear trimestral o semestralmente**

De acuerdo a lo expuesto anteriormente nuestros equipos encajan en la categoría de equipo no vital operado intermitentemente la cual tiene una frecuencia de inspección semestral, dicha frecuencia de inspección se usara en nuestro plan de mantenimiento predictivo.

4.2 Desarrollo del plan de mantenimiento predictivo

El objetivo principal de un plan de mantenimiento predictivo es la reducción y optimización de gastos en mantenimiento. Aplicando una serie de técnicas de medición y análisis, podemos establecer un sistema de monitoreo de maquinaria, con la que se lograra obtener una información actualizada del estado de funcionamiento de nuestras máquinas y observar las tendencias temporales de dicho estado para poder prever las averías y anticiparnos a ellas planeando las intervenciones oportunas en cada caso. Es necesario ajustar la periodicidad en la toma de valores en cada caso para que la efectividad del sistema de predicción sea total. (Wikipedia, 2013)

De manera esquemática, podemos resumir que el Mantenimiento Predictivo nos permite:

- Evaluar el estado de funcionamiento de la maquinaria y de sus componentes.
- Determinar si el equipo funcionará de forma fiable hasta la próxima intervención programada
- Evalúa la condición de los equipos
- Permitir una programación del trabajo que se requiera en el mantenimiento
- Evitar paradas imprevistas y reducir al mínimo la paralización de la producción
- Mantener los equipos de máquinas en un estado óptimo de funcionamiento

4.2.1 Plan de Mantenimiento Predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Pelton

Tabla 29. Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Pelton

EQUIPO	COMPONENTE	TAREA	TIPO DE TAREA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	FRECUENCIA	FECHA DE EJECUCIÓN	RESPONSABLE
BANCO DE PRUEBA DE LA TURBINA PELTON	Motor	Análisis vibracional	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Termografía en el sistema eléctrico	Inspección predictiva	3 horas	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis de ultrasonido	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
	Bomba	Análisis vibracional	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis de ultrasonido	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio

Fuente: Autores

4.2.2 Plan de Mantenimiento Predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis

Tabla 30. Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis

EQUIPO	COMPONENTE	TAREA	TIPO DE TAREA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	FRECUENCIA	FECHA DE EJECUCIÓN	RESPONSABLE
BANCO DE PRUEBA DE LA TURBINA FRANCIS	Motor	Análisis vibracional	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Termografía en el sistema eléctrico	Inspección predictiva	3 horas	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis de ultrasonido	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
	Bomba	Análisis vibracional	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis de ultrasonido	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio

Fuente: Autores

4.2.3 Plan de Mantenimiento Predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Kaplan

Tabla 31. Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Kaplan

EQUIPO	COMPONENTE	TAREA	TIPO DE TAREA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	FRECUENCIA	FECHA DE EJECUCIÓN	RESPONSABLE
BANCO DE PRUEBA DE LA TURBINA KAPLAN	Motor	Análisis vibracional	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Alineación del acople motor-bomba	Inspección predictiva	2 horas	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Termografía en el sistema eléctrico	Inspección predictiva	3 horas.	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis de ultrasonido	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
	Bomba	Análisis vibracional	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis de ultrasonido	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio

Fuente: Autores

4.2.4 Plan de Mantenimiento Predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis 2

Tabla 32. Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis 2

EQUIPO	COMPONENTE	TAREA	TIPO DE TAREA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	FRECUENCIA	FECHA DE EJECUCIÓN	RESPONSABLE
BANCO DE PRUEBA DE LA TURBINA FRANCIS 2	Motor 1	Inspección eléctrica	Trabajo preventivo	30 min.	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis vibracional	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Termografía en el sistema eléctrico del equipo	Inspección predictiva	3 horas	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis de ultrasonido	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
	Bomba 1	Análisis vibracional	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis de ultrasonido	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio

Fuente: Autores

4.2.4 Plan de Mantenimiento Predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis 2

Tabla 33. Plan de mantenimiento predictivo para el motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis 2

EQUIPO	COMPONENTE	TAREA	TIPO DE TAREA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	FRECUENCIA	FECHA DE EJECUCIÓN	RESPONSABLE
BANCO DE PRUEBA DE LA TURBINA FRANCIS 2	Motor 2	Inspección eléctrica	Trabajo preventivo	30 min.	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis vibracional	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis de ultrasonido	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
	Bomba 2	Análisis vibracional	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio
		Análisis de ultrasonido	Inspección predictiva	1 hora	Semestral	1 mes antes de culminar el semestre	Asistente de laboratorio

Fuente: Autores

4.3 Homogenización del plan de mantenimiento

La homogenización del plan de mantenimiento distribuye ordenadamente las tareas de mantenimiento especificadas para cada equipo analizado, evitando así la acumulación de trabajo para el personal de mantenimiento.

Tabla 34. Homogenización del plan de mantenimiento

N	TAREA	EQUIPO	FRECUENCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	Análisis vibracional del motor	T. Pelton	Semestral																										X	
2	Análisis vibracional de la bomba	T. Pelton	Semestral																							X				
3	Termografía en el sistema eléctrico del equipo	T. Pelton	Semestral																								X			
4	Análisis de ultrasonido del motor	T. Pelton	Semestral																									X		
5	Análisis de ultrasonido de la bomba	T. Pelton	Semestral																										X	
6	Análisis vibracional del motor	T. Francis	Semestral																							X				
7	Análisis vibracional de la bomba	T. Francis	Semestral																								X			
8	Termografía en el sistema eléctrico del equipo	T. Francis	Semestral																									X		
9	Análisis de ultrasonido del motor	T. Francis	Semestral																										X	
10	Análisis de ultrasonido de la bomba	T. Francis	Semestral																						X					
11	Análisis vibracional del motor	T. Kaplan	Semestral																								X			
12	Alineación del acople motor-bomba	T. Kaplan	Semestral																									X		
13	Análisis vibracional de la bomba	T. Kaplan	Semestral																											X

I
∞
I

4.4 Manual de mantenimiento proactivo

Un manual de mantenimiento proactivo describe las normas, la organización y los procedimientos que se utilizan en una empresa para efectuar la función de mantenimiento. Dicho manual eleva el papel del mantenimiento a un lugar muy importante de la organización, cuando los procesos se encuentran ordenados y son llevados a cabo de una manera satisfactoria.


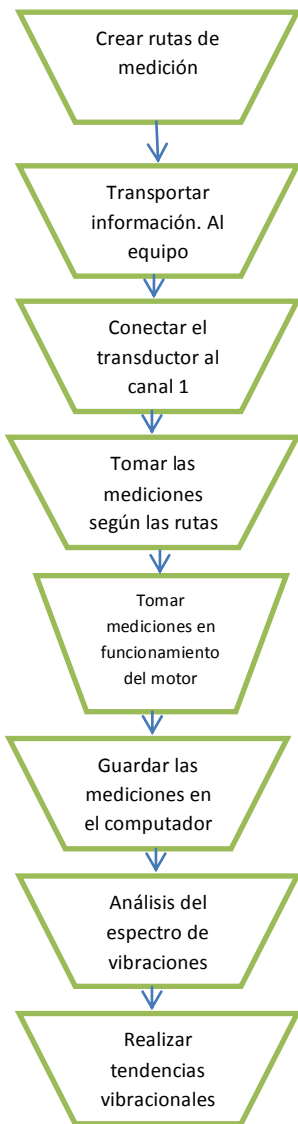
Un manual de mantenimiento está compuesto por los procesos básicos como los son la planeación, organización, ejecución y control. Donde en cada una de las técnicas predictivas descritas se elaboran los procedimientos y las operaciones necesarias para administrar el proceso de mantenimiento de una forma amplia. (TORRES, 2008, págs. 1-5)

Objetivos del Manual de mantenimiento proactivo

- Controlar las actividades de mantenimiento realizadas a instalaciones y equipos
- Facilitar las actividades del mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, ordenando cada uno de los procesos dentro de la unidad de mantenimiento
- Controlar la satisfacción de los usuarios de las instalaciones y equipos
- Controlar el servicio prestado, mediante la normativa y procesos ordenados
- Establecer normas de seguridad relacionadas con el trabajo de mantenimiento
- Constituye el medio que facilita una acción planificada y eficiente del mantenimiento
- Influye en el desarrollo de un ambiente de trabajo propio a establecer una conducta responsable y participativa del personal y al cumplimiento de las tareas establecidas


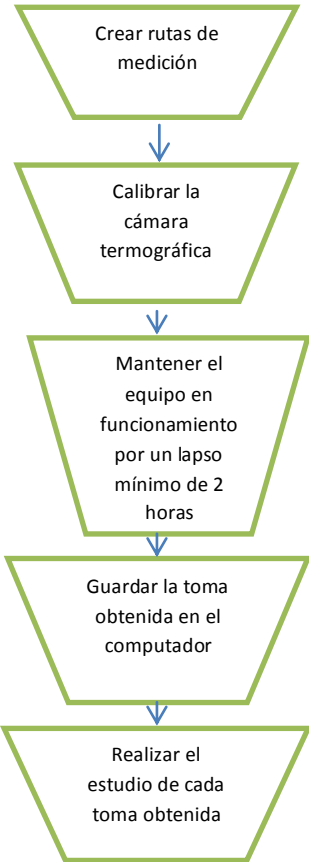
A continuación se detalla el manual del mantenimiento proactivo.

Tabla 35. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis vibracional del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Pelton

	Análisis vibracional del motor y bomba de la Turbina Pelton	Código: ELFTPE01-INT- 01	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		<p>Crear rutas de medición utilizando el programa Maintraq Predictive</p>	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador a con el programa instalado Maintraq Predictive • Cable de datos USB • Equipo Vibracheck 200 ABG • Transductor piezoeléctrico <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaipe • Franela
		<p>Transportar la información al equipo Vibracheck 200</p>	
		<p>Conectar el transductor piezoeléctrico al canal 1 del equipo</p>	
		<p>Tomar las mediciones según las rutas diseñadas</p>	
		<p>Todas las mediciones deben ser tomadas en plena carga del motor</p>	
		<p>Guardas todas las mediciones tomadas en el computador</p>	
		<p>Analizar los espectros de vibraciones ,para detectar fallas potenciales</p>	
		<p>Realizar tendencias vibracionales para determinar cuándo planificar las respectiva actividad correctiva</p>	
		<p>Realizar tendencias vibracionales</p>	


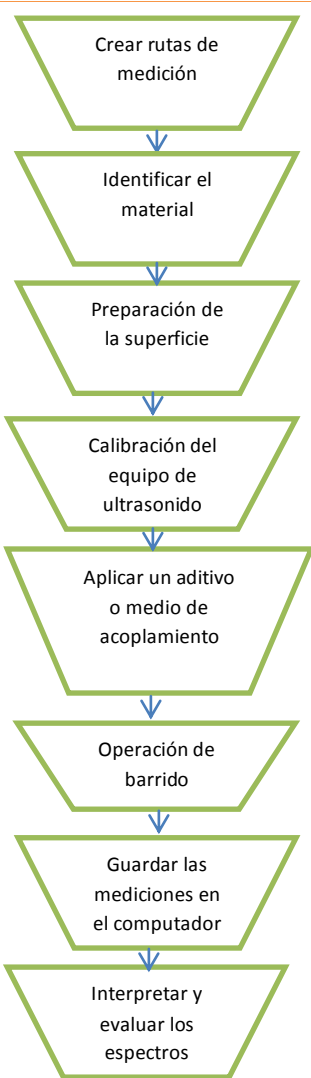
Fuente: Autores

Tabla 36. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis termográfico del sistema eléctrico del banco de pruebas de la turbina Francis

	Termografía en el sistema eléctrico de la Turbina Pelton	Código: ELFTFE01-INT- 02		
		Fecha de elaboración: 17/07/13		
		Ultima aprobación: 05/11/13		
		Versión: 01		
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por Ing. Marco Ordóñez		
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.				
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales	
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		Realizar las rutas de medición para el equipo	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador • Cámara termográfica SATIR E8-GN • Lector de memoria • Caja de herramientas <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaipe 	
		Calibrar la cámara termográfica de acuerdo a su manual de operación		El equipo debe funcionar un mínimo de 2 horas para poder obtener los resultados adecuados.
		Guardar la toma obtenida en el computador		Guardas todas las tomas termográficas obtenidas en el computador
		Realizar el estudio de cada toma obtenida		Analizar las tomas termográficas para detectar las fallas potenciales


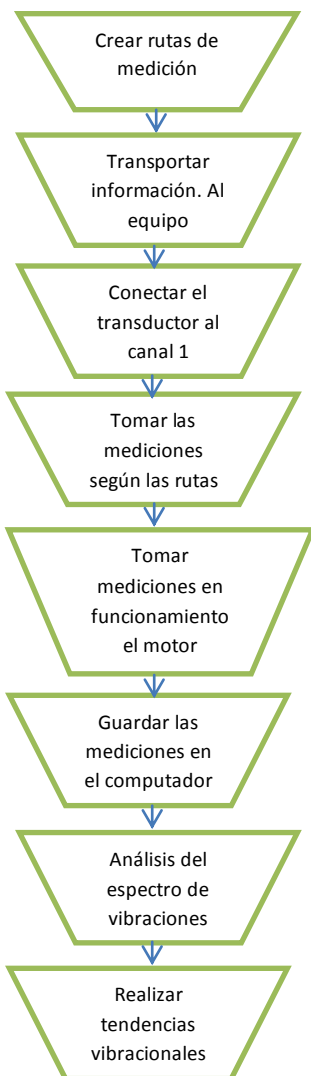
Fuente: Autores

Tabla 37. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis de ultrasonido del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Pelton

	Análisis de ultrasonido del motor y bomba de la Turbina Pelton	Código: ELFTPE01-INT- 01	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		<p>Crear rutas de medición en el equipo para análisis por ultrasonido 45MG</p> <p>Identificar el material a hacer analizar para la calibración del equipo</p> <p>Quitar elementos extraños en la superficie</p> <p>Calibrar el equipo de acuerdo al material del componente a hacer analizar</p> <p>Aplicar un medio aditivo entre la superficie y el palpador</p> <p>Operación de rastreo para localizar las posibles fallas</p> <p>Guardar las mediciones obtenidas en el computador</p> <p>Interpretar y evaluar los espectros obtenidos para la elaboración de un plan de acción</p>	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador • Equipo para análisis por ultrasonido 45MG • Palpador Emisor-Reflector • Cable de datos USB <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaípe • Aceite SAE 20 • Lija


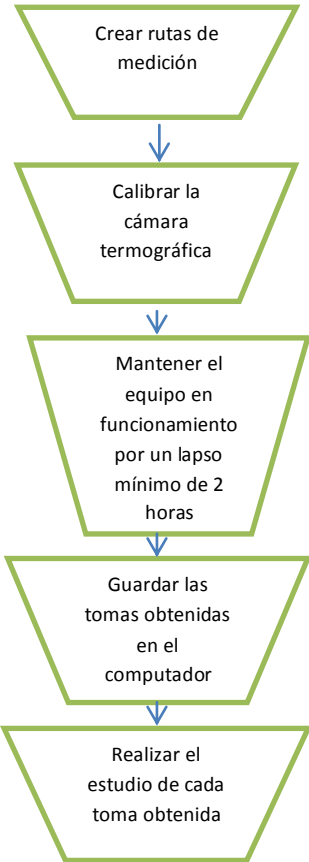
Fuente: Autores

Tabla 38. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis vibracional del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis

	Análisis vibracional del motor y bomba de la Turbina Francis	Código: ELFTFE01-INT- 02	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		<p>Crear rutas de medición utilizando el programa Maintraq Predictive</p> <p>Transportar la información al equipo Vibracheck 200</p> <p>Conectar el transductor piezoeléctrico al canal 1 del equipo</p> <p>Tomar las mediciones según las rutas diseñadas</p> <p>Todas las mediciones deben ser tomadas en plena carga del motor</p> <p>Guardas todas las mediciones tomadas en el computador</p> <p>Analizar los espectros de vibraciones ,para detectar fallas potenciales</p> <p>Realizar tendencias vibracionales para determinar cuándo planificar la respectiva actividad correctiva</p>	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador a con el programa instalado Maintraq Predictive • Cable de datos USB • Equipo Vibracheck 200 ABG • Transductor piezoeléctrico <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaipe • Franela


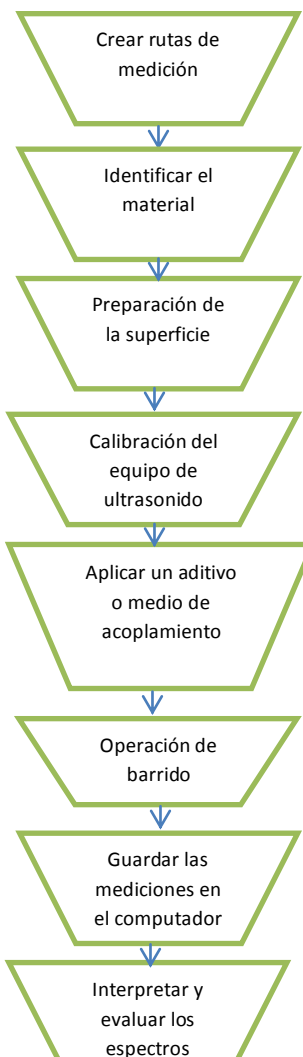
Fuente: Autores

Tabla 39. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis termográfico del sistema eléctrico del banco de pruebas de la turbina Francis

	Termografía en el sistema eléctrico de la Turbina Francis	Código: ELFTFE01-INT- 02	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		Realizar las rutas de medición para el equipo	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador • Cámara termográfica SATIR E8-GN • Lector de memoria • Caja de herramientas <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaipe
		Calibrar la cámara termográfica de acuerdo a su manual de operación	
		El equipo debe funcionar un mínimo de 2 horas para poder obtener los resultados adecuados.	
		Guardas todas las tomas termográficas obtenidas en el computador	
		Analizar las tomas termográficas para detectar las fallas potenciales	


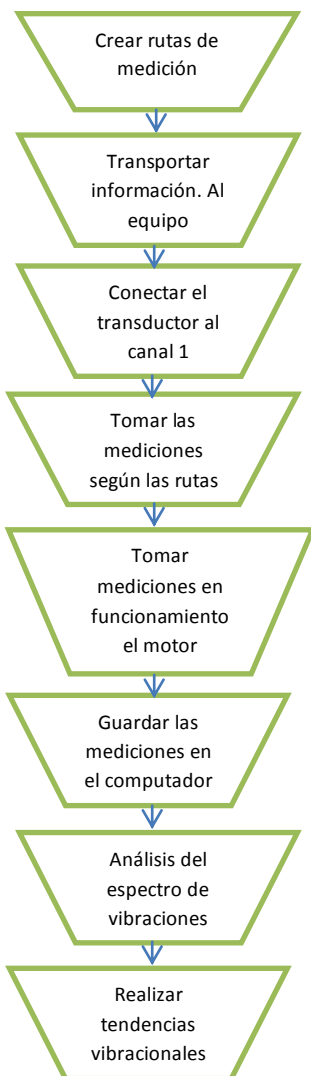
Fuente: Autores

Tabla 40. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis de ultrasonido del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis

	Análisis de ultrasonido del motor y bomba de la Turbina Francis	Código: ELFTPE01-INT- 01	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		<p>Crear rutas de medición en el equipo para análisis por ultrasonido 45MG</p> <p>Identificar el material a ser analizado para la calibración del equipo</p> <p>Quitar elementos extraños en la superficie</p> <p>Calibrar el equipo de acuerdo al material del componente a ser analizado</p> <p>Aplicar un medio aditivo entre la superficie y el palpador</p> <p>Operación de rastreo para localizar las posibles fallas</p> <p>Guardar las mediciones obtenidas en el computador</p> <p>Interpretar y evaluar los espectros obtenidos para la elaboración de un plan de acción</p>	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador • Equipo para análisis por ultrasonido 45MG • Palpador Emisor-Reflector • Cable de datos USB <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaípe • Aceite SAE 20 • Lija


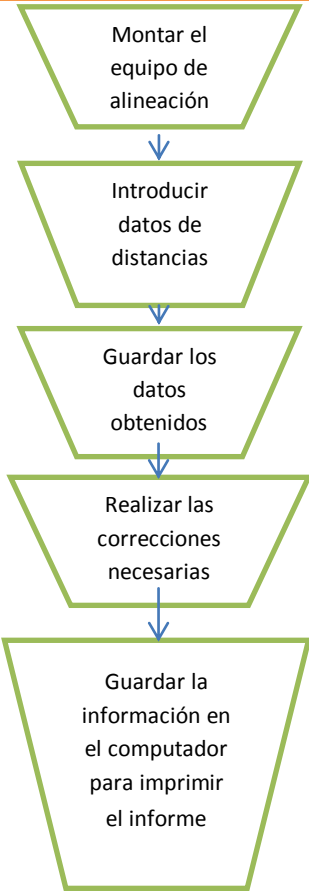
Fuente: Autores

Tabla 41. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis vibracional del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Kaplan

	Análisis vibracional del motor y bomba de la Turbina Kaplan	Código: ELFTFE01-INT- 02	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		<p>Crear rutas de medición utilizando el programa Maintraq Predictive</p> <p>Transportar la información al equipo Vibracheck 200</p> <p>Conectar el transductor piezoeléctrico al canal 1 del equipo</p> <p>Tomar las mediciones según las rutas diseñadas</p> <p>Todas las mediciones deben ser tomadas en plena carga del motor</p> <p>Guardas todas las mediciones tomadas en el computador</p> <p>Analizar los espectros de vibraciones ,para detectar fallas potenciales</p> <p>Realizar tendencias vibracionales para determinar cuándo planificar la respectiva actividad correctiva</p>	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador a con el programa instalado Maintraq Predictive • Cable de datos USB • Equipo Vibracheck 200 ABG • Transductor piezoeléctrico <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaipe • Franela


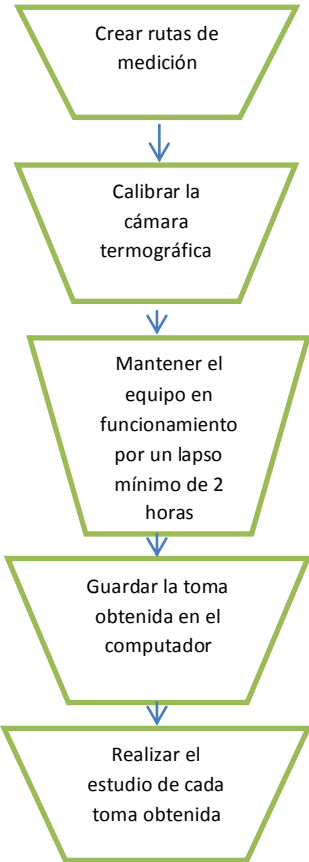
Fuente: Autores

Tabla 42. Manual de mantenimiento proactivo para la alineación del acople del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Kaplan

	Alineación del acople del motor y bomba de la Turbina Kaplan	Código: ELFTKE01-INT- 03	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustible, etc. del suelo. 		<p>Realizar el montaje del equipo de alineación Optaling Plus</p>	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equipo de alineación Optaling Plus • Computador • Cable de datos puerto serial • Caja de herramientas • Flexómetro <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaípe • Shims de precisión
	<p>Introducir los datos de distancia que requiere el equipo de alineación</p>		
	<p>Guardar todos los datos obtenidos</p>		
	<p>Efectuar todas las correcciones necesarias</p>		
	<p>Guardar la información en el computador para imprimir el informe y así poder emitir los resultados y correcciones obtenidas</p>		


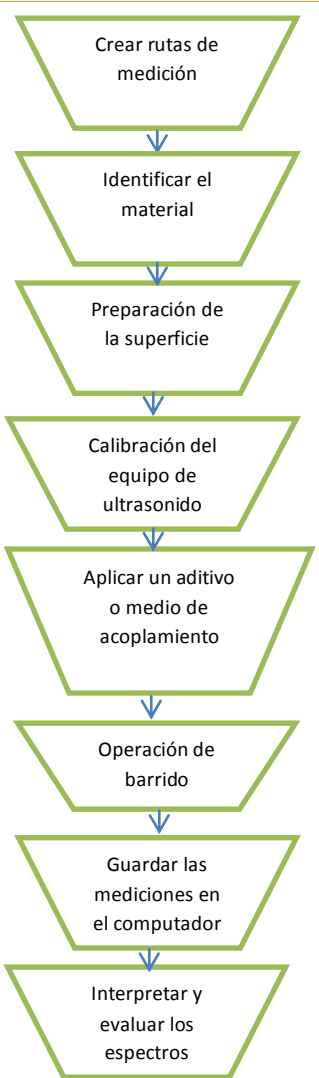
Fuente: Autores

Tabla 43. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis termográfico del sistema eléctrico del banco de pruebas de la turbina Kaplan

	Termografía en el sistema eléctrico de la Turbina Kaplan	Código: ELFTFE01-INT- 02	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		Realizar las rutas de medición para el equipo	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador • Cámara termográfica SATIR E8-GN • Lector de memoria • Caja de herramientas <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaipe
		Calibrar la cámara termográfica de acuerdo a su manual de operación	
		El equipo debe funcionar un mínimo de 2 horas para poder obtener los resultados adecuados.	
		Guardar todas las tomas termográficas obtenidas en el computador	
		Analizar las tomas termográficas para detectar las fallas potenciales	


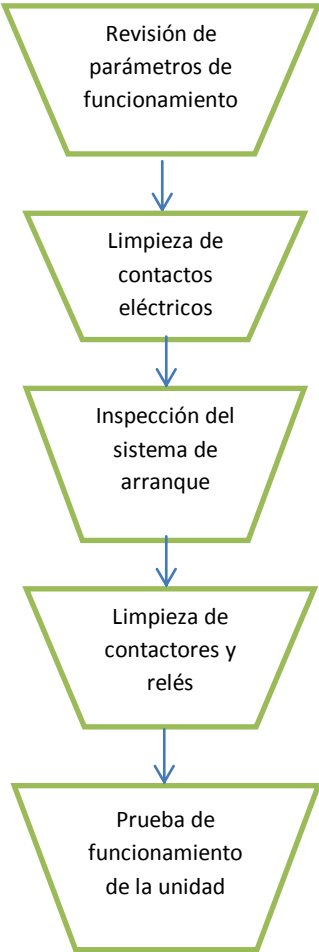
Fuente: Autores

Tabla 44. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis de ultrasonido del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Kaplan

	Análisis de ultrasonido del motor y bomba de la Turbina Kaplan	Código: ELFTPE01-INT- 01	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		<p>Crear rutas de medición en el equipo para análisis por ultrasonido 45MG</p> <p>Identificar el material a hacer analizar para la calibración del equipo</p> <p>Quitar elementos extraños en la superficie</p> <p>Calibrar el equipo de acuerdo al material del componente a hacer analizar</p> <p>Aplicar un medio aditivo entre la superficie y el palpador</p> <p>Operación de rastreo para localizar las posibles fallas</p> <p>Guardar las mediciones obtenidas en el computador</p> <p>Interpretar y evaluar los espectros obtenidos para la elaboración de un plan de acción</p>	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador • Equipo para análisis por ultrasonido 45MG • Palpador Emisor-Reflector • Cable de datos USB <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaípe • Aceite SAE 20 • Lija


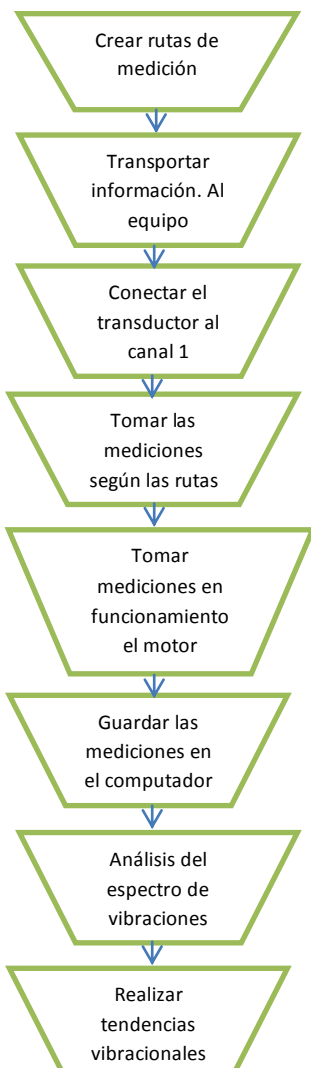
Fuente: Autores

Tabla 45. Manual de mantenimiento proactivo para la inspección eléctrica del motor 1 y motor 2 del banco de pruebas de la turbina Francis 2

	Inspección eléctrica del motor 1 y motor 2 de la Turbina Francis 2	Código: -INT- 04	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustible, etc. del suelo. 		Revisar y verificar parámetros de funcionamiento como: voltaje y amperaje	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caja de herramientas • Multímetro <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaípe • Brocha
		Limpieza e inspección de todos los contactos eléctricos	
		Verificar y revisar sistema de arranque del equipo	
		Limpieza e inspección de contactores y relés del sistema eléctrico	
		Una vez finalizado la inspección y ejecución de todos los parámetros anteriores procedemos a poner en funcionamiento	


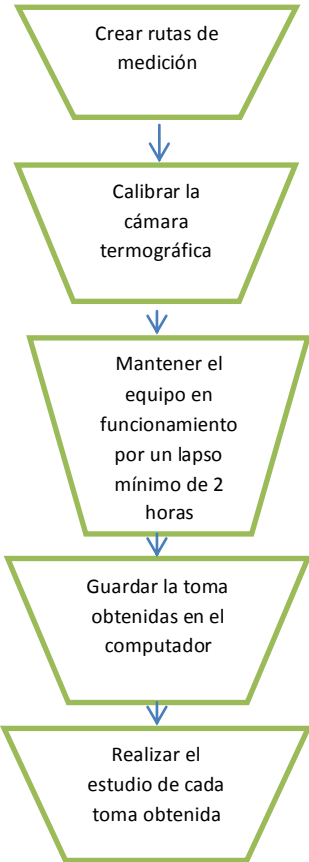
Fuente: Autores

Tabla 46. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis vibracional del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis 2

	Análisis vibracional del motor1 y bomba 1 de la Turbina Francis 2	Código: ELFTFE01-INT- 02	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		<p>Crear rutas de medición utilizando el programa Maintraq Predictive</p> <p>Transportar la información al equipo Vibracheck 200</p> <p>Conectar el transductor piezoeléctrico al canal 1 del equipo</p> <p>Tomar las mediciones según las rutas diseñadas</p> <p>Todas las mediciones deben ser tomadas en plena carga del motor</p> <p>Guardas todas las mediciones tomadas en el computador</p> <p>Analizar los espectros de vibraciones ,para detectar fallas potenciales</p> <p>Realizar tendencias vibracionales para determinar cuándo planificar la respectiva actividad correctiva</p>	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador a con el programa instalado Maintraq Predictive • Cable de datos USB • Equipo Vibracheck 200 ABG • Transductor piezoeléctrico <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaipe • Franela


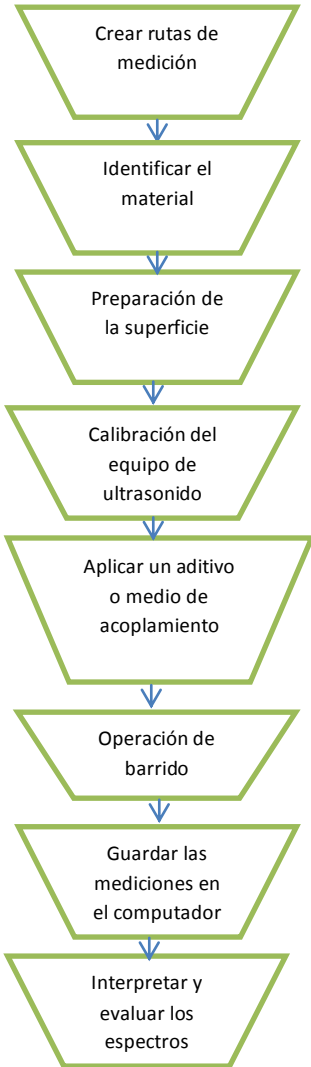
Fuente: Autores

Tabla 47. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis termográfico del sistema eléctrico del banco de pruebas de la turbina Francis 2

	Termografía en el sistema eléctrico de la Turbina Francis 2	Código: ELFTFE01-INT- 02	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		Realizar las rutas de medición para el equipo	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador a • Cámara termográfica SATIR E8-GN • Lector de memoria • Caja de herramientas <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaipe
		Calibrar la cámara termográfica de acuerdo a su manual de operación	
		El equipo debe funcionar un mínimo de 2 horas para poder obtener los resultados adecuados.	
		Guardas todas las tomas termográficas obtenidas en el computador	
		Analizar las tomas termográficas para detectar las fallas potenciales	


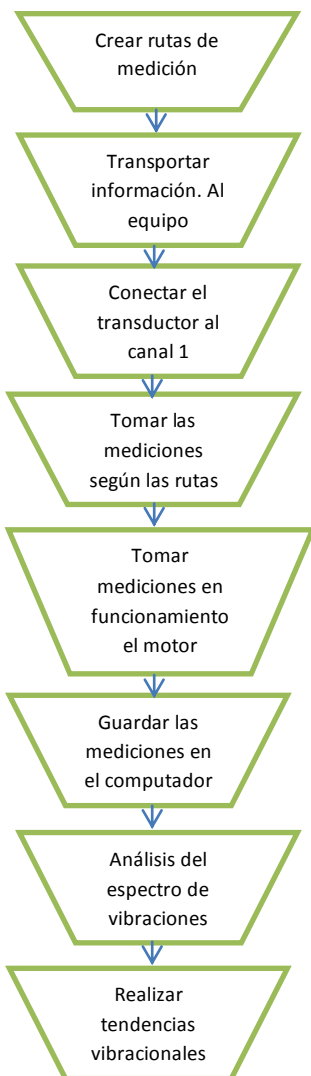
Fuente: Autores

Tabla 48. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis de ultrasonido del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis 2

	Análisis de ultrasonido del motor 1 y bomba 1 de la Turbina Francis 2	Código: ELFTPE01-INT- 01	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 	 <pre> graph TD A[Crear rutas de medición] --> B[Identificar el material] B --> C[Preparación de la superficie] C --> D[Calibración del equipo de ultrasonido] D --> E[Aplicar un aditivo o medio de acoplamiento] E --> F[Operación de barrido] F --> G[Guardar las mediciones en el computador] G --> H[Interpretar y evaluar los espectros] </pre>	<p>Crear rutas de medición en el equipo para análisis por ultrasonido 45MG</p> <p>Identificar el material a hacer analizar para la calibración del equipo</p> <p>Quitar elementos extraños en la superficie</p> <p>Calibrar el equipo de acuerdo al material del componente a hacer analizar</p> <p>Aplicar un medio aditivo entre la superficie y el palpador</p> <p>Operación de rastreo para localizar las posibles fallas</p> <p>Guardar las mediciones obtenidas en el computador</p> <p>Interpretar y evaluar los espectros obtenidos para la elaboración de un plan de acción</p>	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador • Equipo para análisis por ultrasonido 45MG • Palpador Emisor-Reflector • Cable de datos USB <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaípe • Aceite SAE 20 • Lija


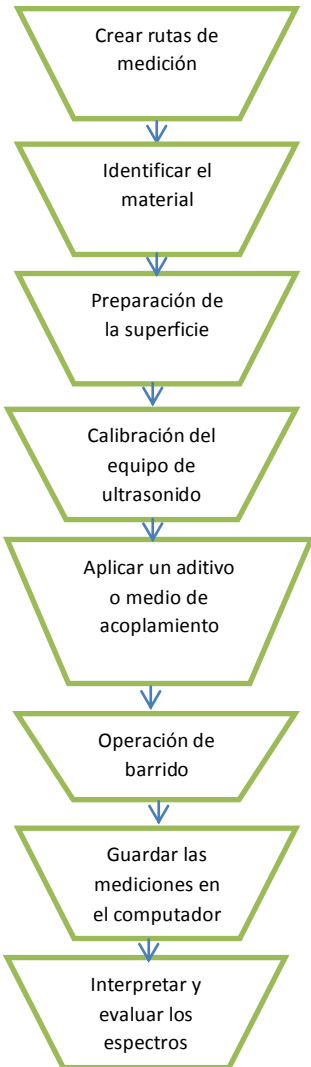
Fuente: Autores

Tabla 49. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis vibracional del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis 2

	Análisis vibracional del motor2 y bomba 2 de la Turbina Francis 2	Código: ELFTFE01-INT- 02	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		<p>Crear rutas de medición utilizando el programa Maintraq Predictive</p> <p>Transportar la información al equipo Vibracheck 200</p> <p>Conectar el transductor piezoeléctrico al canal 1 del equipo</p> <p>Tomar las mediciones según las rutas diseñadas</p> <p>Todas las mediciones deben ser tomadas en plena carga del motor</p> <p>Guardas todas las mediciones tomadas en el computador</p> <p>Analizar los espectros de vibraciones ,para detectar fallas potenciales</p> <p>Realizar tendencias vibracionales para determinar cuándo planificar la respectiva actividad correctiva</p>	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador a con el programa instalado Maintraq Predictive • Cable de datos USB • Equipo Vibracheck 200 ABG • Transductor piezoeléctrico <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaipe • Franela

Fuente: Autores

Tabla 50. Manual de mantenimiento proactivo para el análisis de ultrasonido del motor y bomba del banco de pruebas de la turbina Francis 2

	Análisis de ultrasonido del motor 2 y bomba 2 de la Turbina Francis 2	Código: ELFTPE01-INT- 01	
		Fecha de elaboración: 17/07/13	
		Ultima aprobación: 05/11/13	
		Versión: 01	
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez	
Objetivo: Determinar detalladamente todos los procedimientos a seguir para obtener una adecuada inspección predictiva.			
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos/ Materiales
<p>1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Orejeras • Guantes <p>2. Toda situación insegura o de riesgo debe ser comunicada inmediatamente.</p> <p>ORDEN Y LIMPIEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ponga la herramienta de vuelta en la estantería cuando termine de usarlas. • Mantener los pasillos, escaleras y puertas libres al paso, limpias y bien señalizadas. • No coloque objetos sobre el piso. • Mantener los pisos secos. • Eliminar las manchas de aceite, grasa, combustibles, etc. del suelo. 		<p>Crear rutas de medición en el equipo para análisis por ultrasonido 45MG</p> <p>Identificar el material a ser analizado para la calibración del equipo</p> <p>Quitar elementos extraños en la superficie</p> <p>Calibrar el equipo de acuerdo al material del componente a ser analizado</p> <p>Aplicar un medio aditivo entre la superficie y el palpador</p> <p>Operación de rastreo para localizar las posibles fallas</p> <p>Guardar las mediciones obtenidas en el computador</p> <p>Interpretar y evaluar los espectros obtenidos para la elaboración de un plan de acción</p>	<p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computador • Equipo para análisis por ultrasonido 45MG • Palpador Emisor-Reflector • Cable de datos USB <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guaípe • Aceite SAE 20 • Lija

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Equipo de diagnóstico vibracional utilizado

5.1.1 Descripción del equipo. El equipo Vibracheck 200 es un poderoso analizador portátil de vibraciones mecánicas de dos canales, pensado para controlar confiabilidad y diagnosticar problemas en máquinas.

Figura 31. Equipo Vibracheck 200



Fuente: IDEAR, Manual Vibracheck 200

Características principales:

- Dos entradas dinámicas para conectar acelerómetros o sensores de proximidad
- Mide aceleración, velocidad, desplazamiento y envolvente
- Mide espectros, formas de onda y órbitas
- Protegido contra ingreso de polvo y humedad

Ventajas:

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

5.2 Sensores

Vibracheck puede trabajar con los siguientes sensores:

- Acelerómetros
- Sensores de proximidad de no contacto
- Sensores de velocidad
- Otros sensores con unidades configurables
- Racks de monitoreo continuo

5.3 Conexión USB

Vibracheck permite descargar los datos rápidamente por USB

5.4 Software que utiliza

El software MAINTraq es una herramienta especialmente diseñada para que el sector de mantenimiento pueda implementar un programa de monitoreo de condición de máquinas de forma simple y efectiva.

La operación del Explorador de Máquinas de MAINTraq es muy intuitiva, gracias a su similitud con el Explorador de Windows.

El poderoso espectral, permite interpretar las mediciones gracias al más completo conjunto de herramientas, además la organización de las mediciones, los diagnósticos y los mantenimientos, permitiendo mantener ordenado el historial de cada máquina.

Características principales:

- Organiza la base de datos de máquinas a monitorear
- Genera rutas de mediciones
- Evalúa máquinas espectralmente y por valores globales de vibraciones
- Indica las máquinas con alarmas
- Muestra las tendencias
- Genera reportes
- Identifica frecuencias de falla en rodamientos
- Almacena los diagnósticos y los mantenimientos en el historial de cada máquina

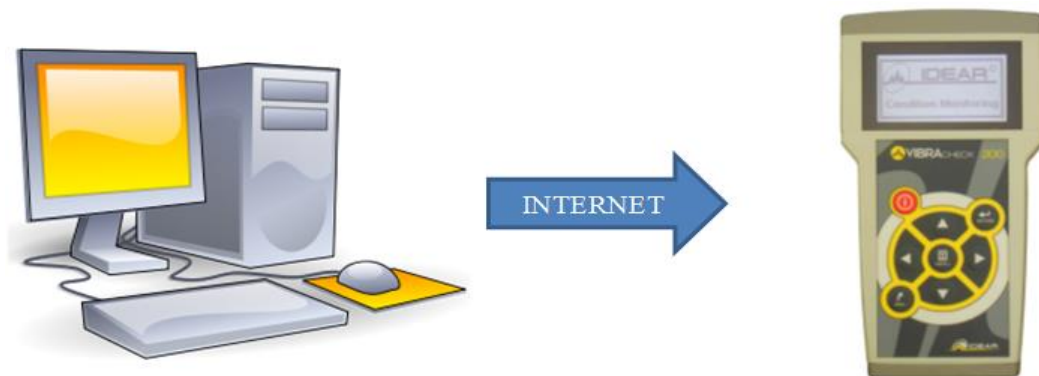
Comunicaciones:

- MAINTraq se comunica con Vibracheck por puerto USB a alta velocidad
- Su operación es simple e intuitiva
- La carga de datos se efectúa en pocos segundos seleccionando a las rutas o a las máquinas de interés y presionando un botón
- MAINTraq informa la cantidad de memoria requerida para realizar las mediciones solicitadas evitando así que no se puedan grabar en campo

5.5 Transferencia de datos

MAINTraq permite operar a Vibracheck a la distancia. Simplemente, los archivos con las rutas a realizar que se transfieren por correo electrónico para que el inspector las cargue en Vibracheck usando el programa TRANSFER.

Figura 32. Transferencia de datos



Fuente: IDEAR, Manual Vibracheck 200

5.4 Determinación de las rutas de medición

En esta etapa fueron determinados los puntos de medición en cada uno de los motores y bombas, los puntos quedaron marcados con el fin de realizar las mediciones siempre en el mismo lugar para lograr uniformidad en los resultados. Además estos tienen que estar lo más cerca posible a cada apoyo de la máquina. Las mediciones fueron realizadas en tres direcciones vertical (V), horizontal (H) y axial (A), y dependiendo de la configuración del equipo pueden existir, varios puntos de medición.

Tabla 51. Rutas de medición del banco de pruebas de la turbina Pelton

BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA PELTON		
Marca: Armfield	Código: ELFTPE01	Serie: K160L
RUTAS DE MEDICIÓN		
1V: Motor lado libre vertical*	2V: Motor lado acoplado vertical	3V: Bomba vertical *
1H: Motor lado libre horizontal	2H: Motor lado acoplado horizontal	3H: Bomba horizontal
1A: Motor lado libre axial*	2A: Motor lado acoplado axial*	3A: Bomba axial



Nota: *La configuración del equipo no permite realizar la toma de datos en este punto
Fuente: Autores

Tabla 52. Rutas de medición del banco de pruebas de la turbina Francis

BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA FRANCIS		
Marca: Armfield	Código: ELTFE01	Serie: K159L
RUTAS DE MEDICIÓN		
1V: Motor lado libre vertical*	2V: Motor lado acoplado vertical	3V: Bomba vertical *
1H: Motor lado libre horizontal	2H: Motor lado acoplado horizontal	3H: Bomba horizontal
1A: Motor lado libre axial*	2A: Motor lado acoplado axial *	3A: Bomba axial




Nota: *La configuración del equipo no permite realizar la toma de datos en este punto

Fuente: Autores

Tabla 53. Rutas de medición del banco de pruebas de la turbina Kaplan

BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA KAPLAN		
Marca: Armfield	Código: ELFTPE01	Serie: K739E
RUTAS DE MEDICIÓN		
1V: Motor lado libre vertical	2V: Motor lado acoplado vertical	3V: Bomba vertical
1H: Motor lado libre horizontal	2H: Motor lado acoplado horizontal	3H: Bomba horizontal
1A: Motor lado libre axial	2A: Motor lado acoplado axial *	3A: Bomba axial *



La imagen muestra un banco de pruebas industrial con tres motores principales. Se han colocado sensores de medición en varios puntos, etiquetados como 1V, 1A, 1H, 2V, 2A, 2H, 3V, 3A y 3H. El motor central es el más grande y tiene un ventilador. A su derecha hay un motor más pequeño con una correa de transmisión y un manómetro. A la izquierda del motor central hay un motor más pequeño. El fondo muestra una estructura metálica y una ventana.

Nota: *La configuración del equipo no permite realizar la toma de datos en este punto

Las vibraciones en maquinaria rotativa no se presentan en una sola dirección, por esta razón en el análisis de vibraciones se toman mediciones en dos direcciones radiales y en la dirección axial, la falta de una toma en una dirección no tendrá mucha influencia en el análisis e interpretación de las fallas, ya que se cuenta con el apoyo de las tomas restantes en cada punto de medición.

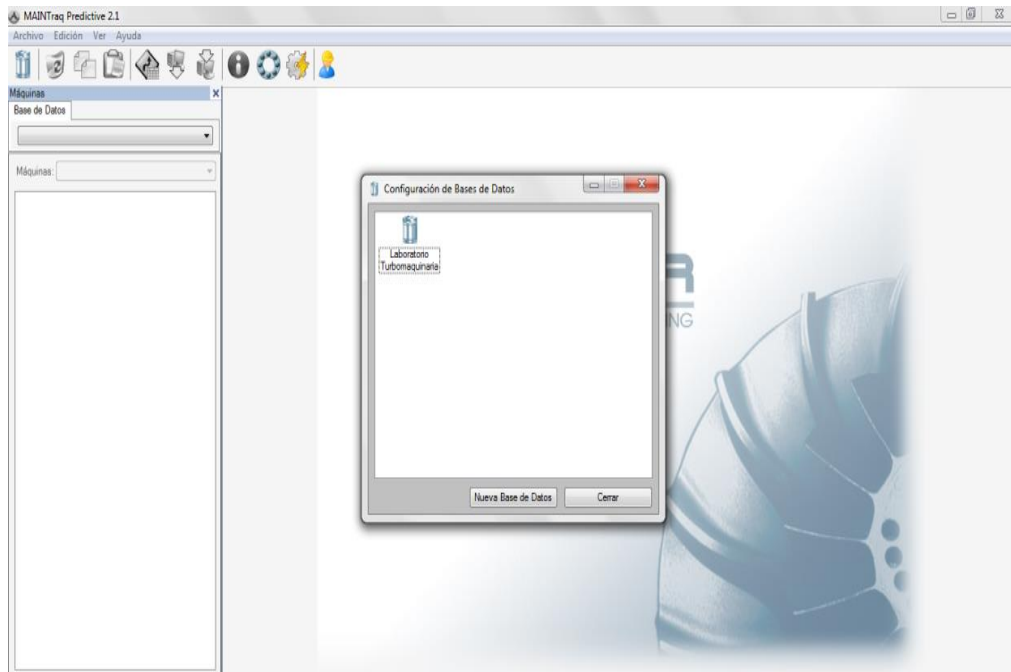
5.4 Recopilación de datos

En esta etapa tenemos que ingresar toda la información obtenida en las fichas técnicas de cada banco de prueba, en cuanto a las características de operación de cada uno de ellos.

Secuencia a realizar:

1. Crear una carpeta contenedora de datos.

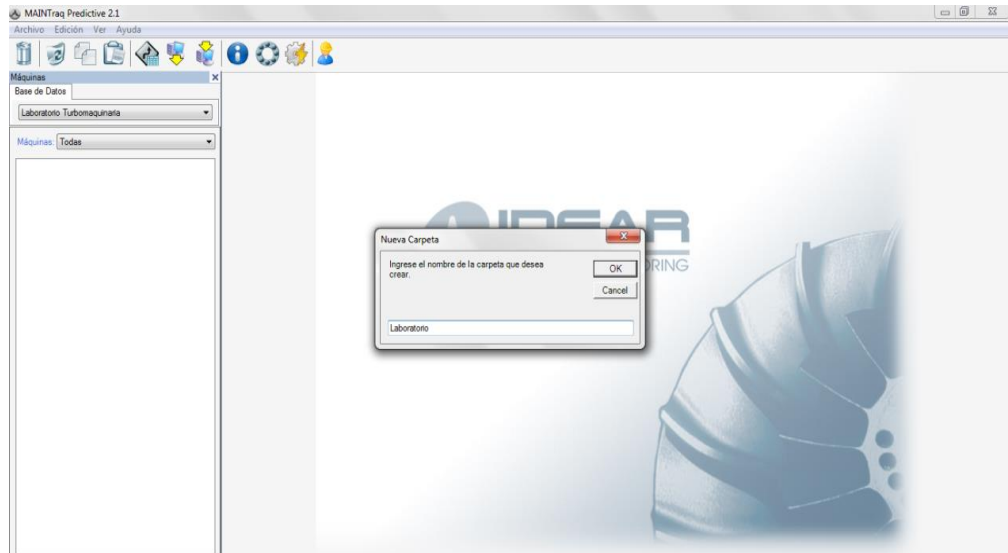
Figura 33. Carpeta contenedora de datos



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

2. Crear una carpeta dentro de esta base de datos con el nombre de Laboratorio

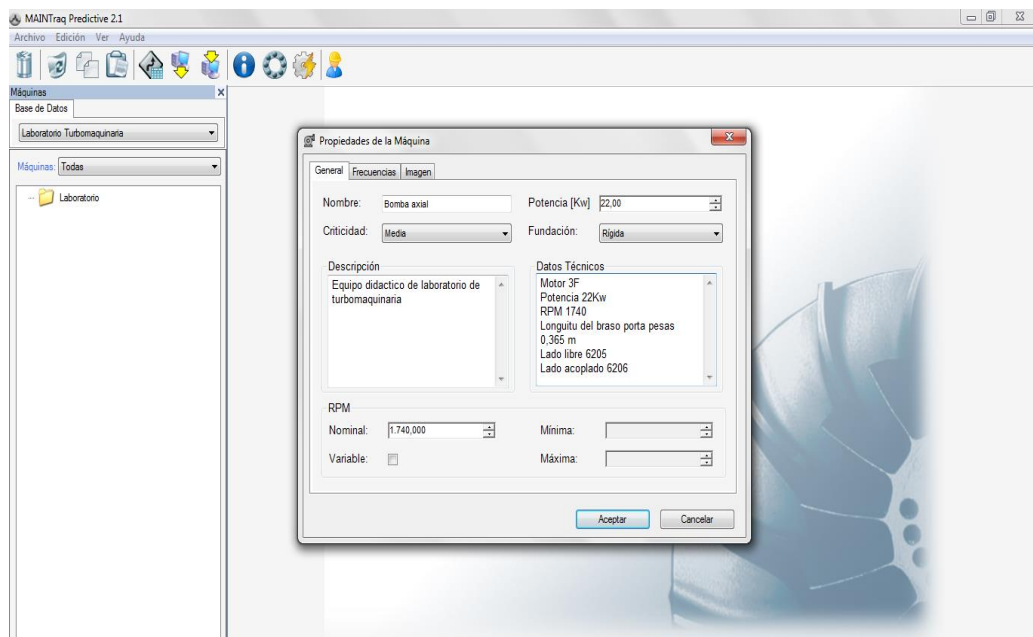
Figura 34. Carpeta de base de datos



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

3. Dentro de esta carpeta laboratorio creamos las máquinas que se van a analizar en este caso es la bomba axial, con sus respectivas características de funcionamiento

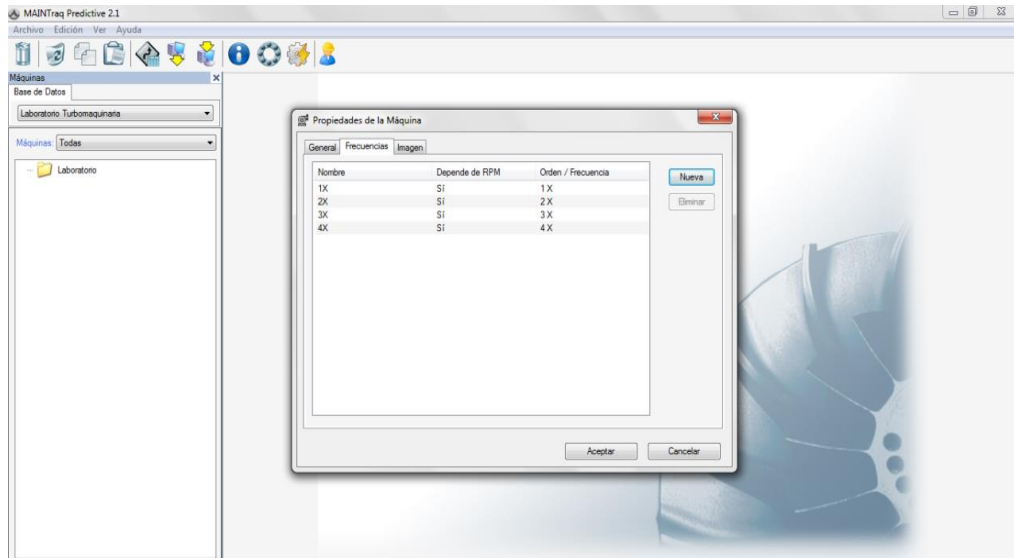
Figura 35. Creación de la máquina a analizar



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

4. Damos clic en el icono de frecuencia e ingresamos las frecuencias que deseamos observar en los espectros

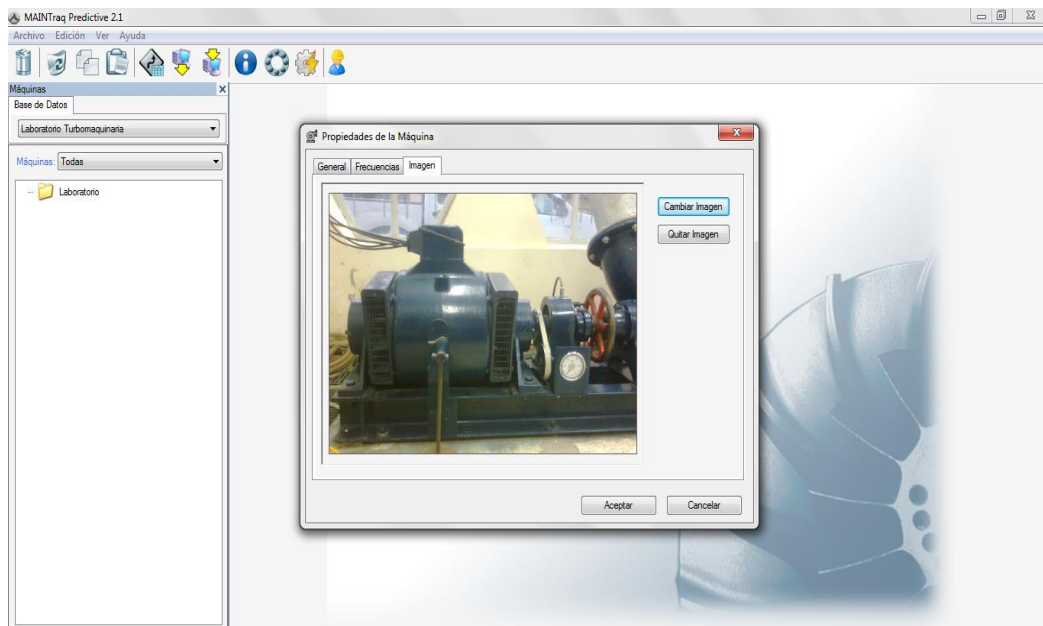
Figura 36. Ingreso de las frecuencias a observar



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

5. Luego damos clic en el icono imagen y colocamos la foto de la máquina que se está examinando.

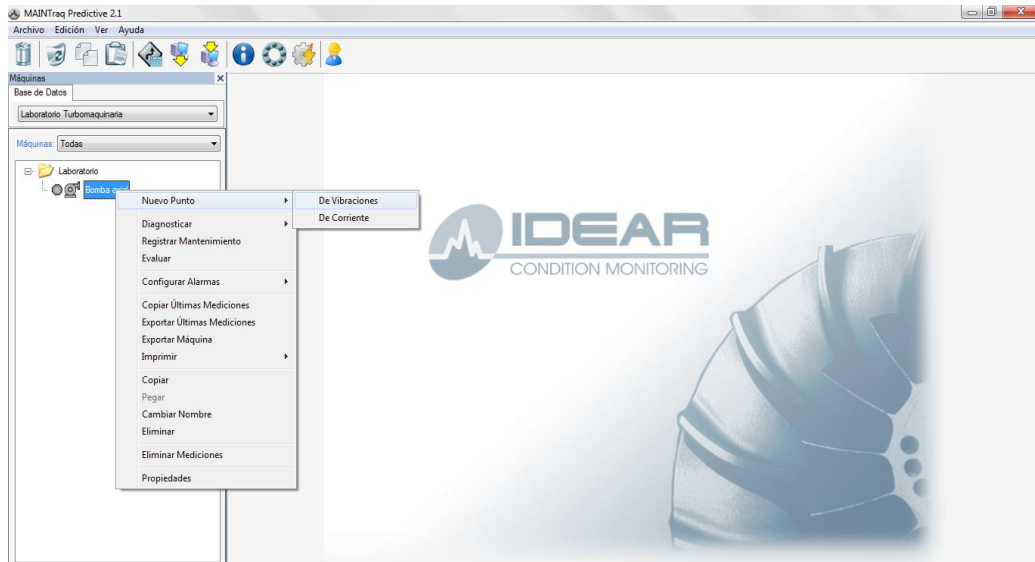
Figura 37. Ingreso de la imagen de la máquina



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

- Hacemos clic derecho en la máquina y creamos el punto de medición motor lado libre V

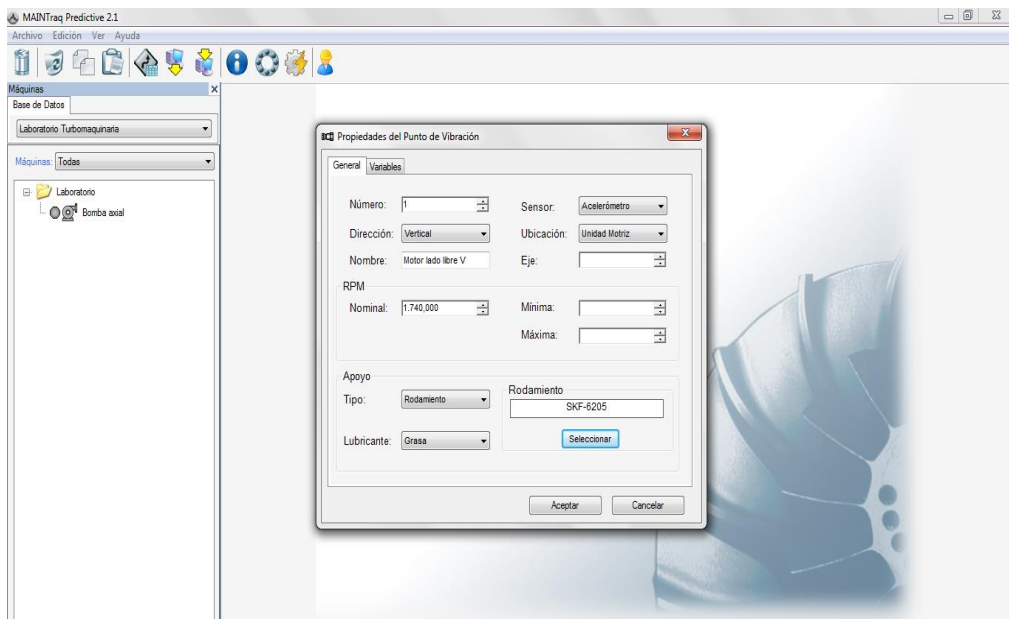
Figura 38. Creación del punto de medición



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

- Una vez creado el punto de medición procedemos a ingresar las propiedades de este

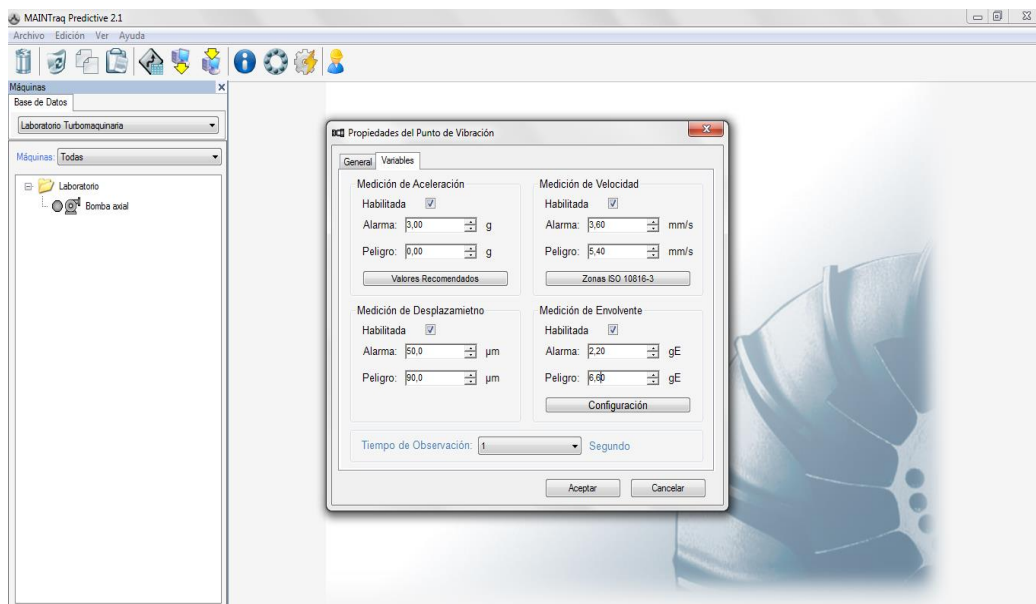
Figura 39. Ingreso de las direcciones de medición



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

- Damos clic en el icono variable y procedemos a ingresar las variables de vibración para este punto

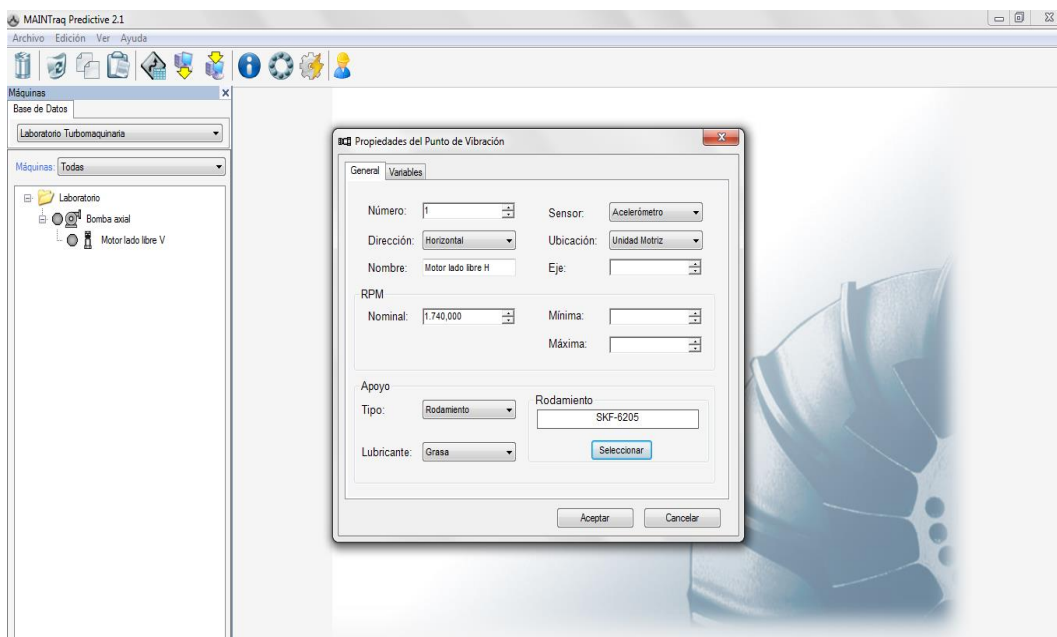
Figura 40. Ingreso de las variables de vibración



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

- Creamos otro punto de medición con el nombre motor lado libre H

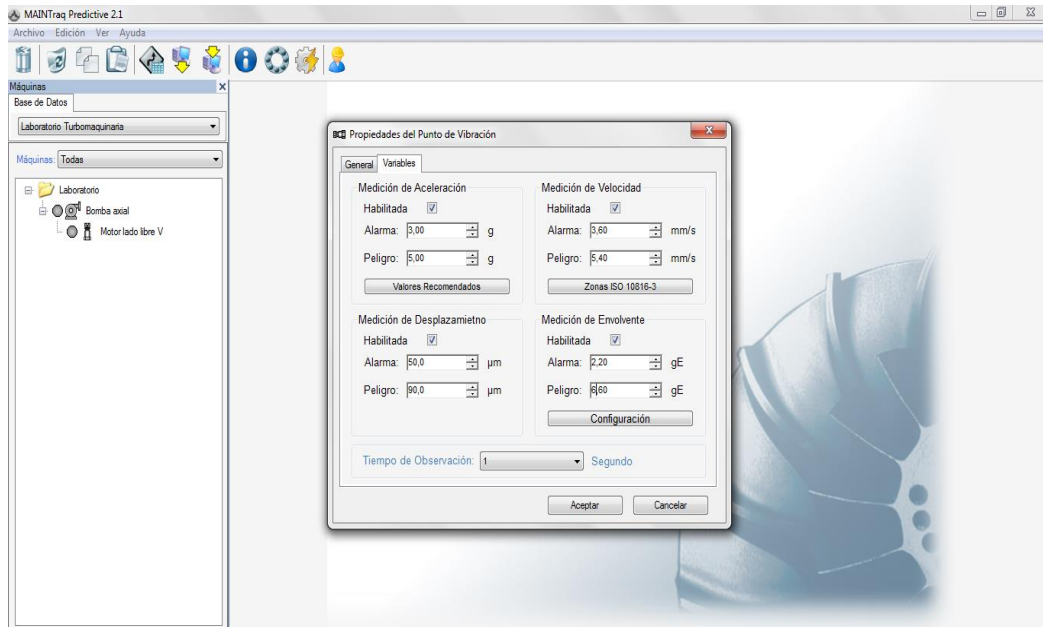
Figura 41. Creación del punto de medición motor lado libre H



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

- Ingresamos las variables para este punto de medición

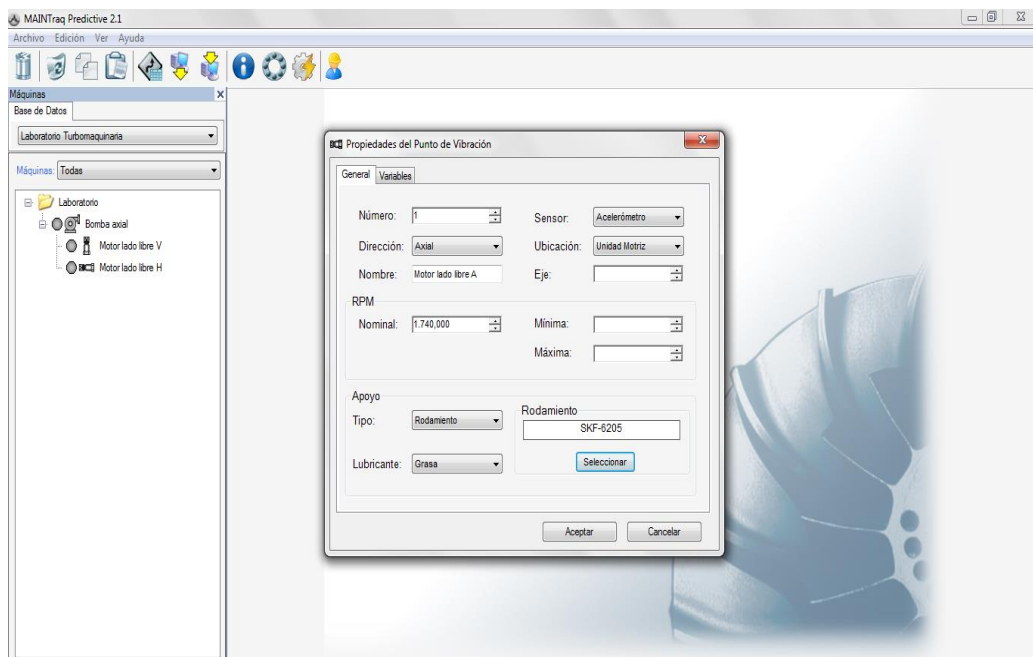
Figura 42. Ingreso de las variables de vibración



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

- Creamos otro punto de medición con el nombre motor lado libre A

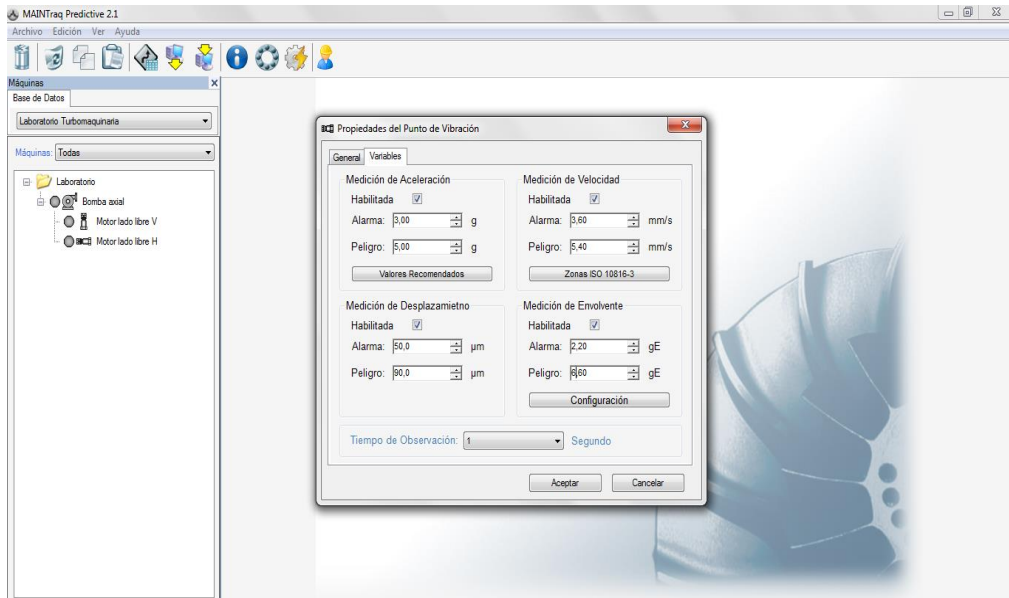
Figura 43. Creación del punto de medición motor lado libre A



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

12. Ingresamos las variables para este punto de medición

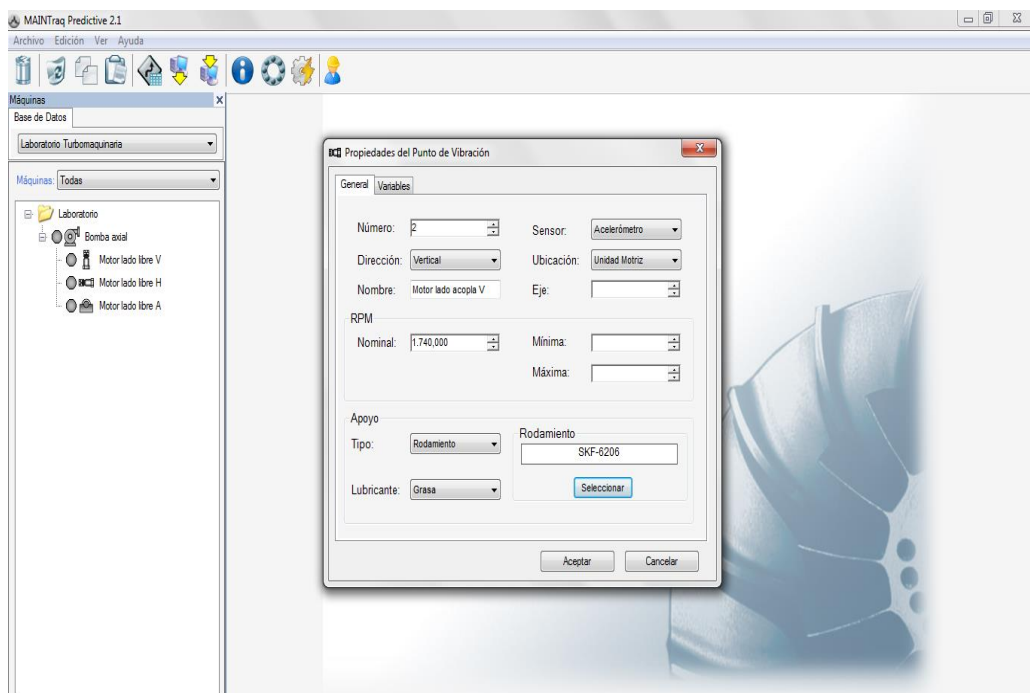
Figura 44. Ingreso de las variables de vibración



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

13. Creamos un nuevo punto de medición llamado motor lado acoplado V

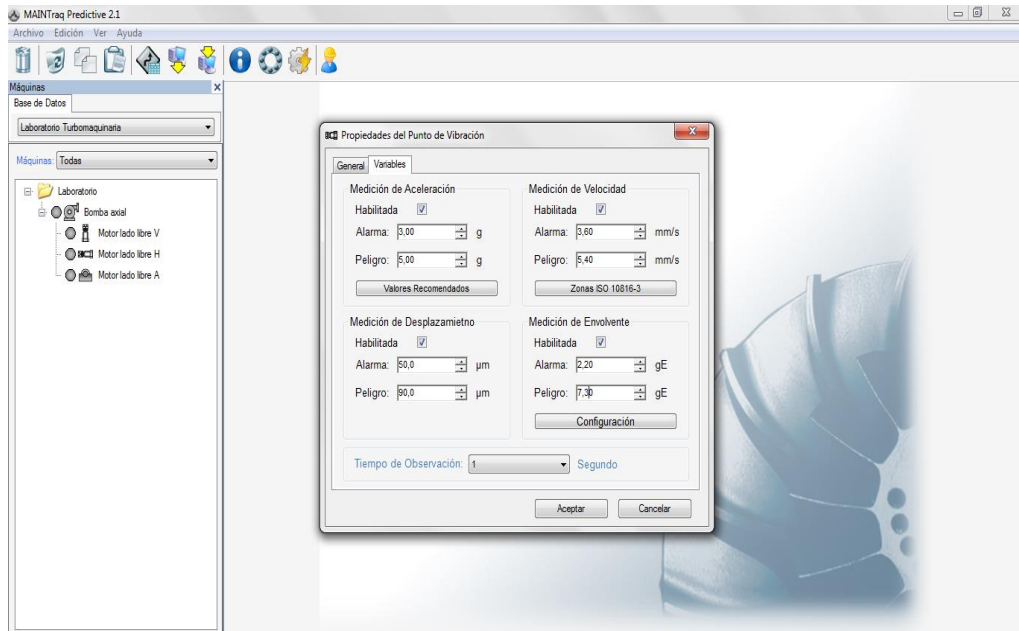
Figura 45. Creación del punto de medición motor lado acoplado V



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

- Ingresamos las variables para este punto de medición

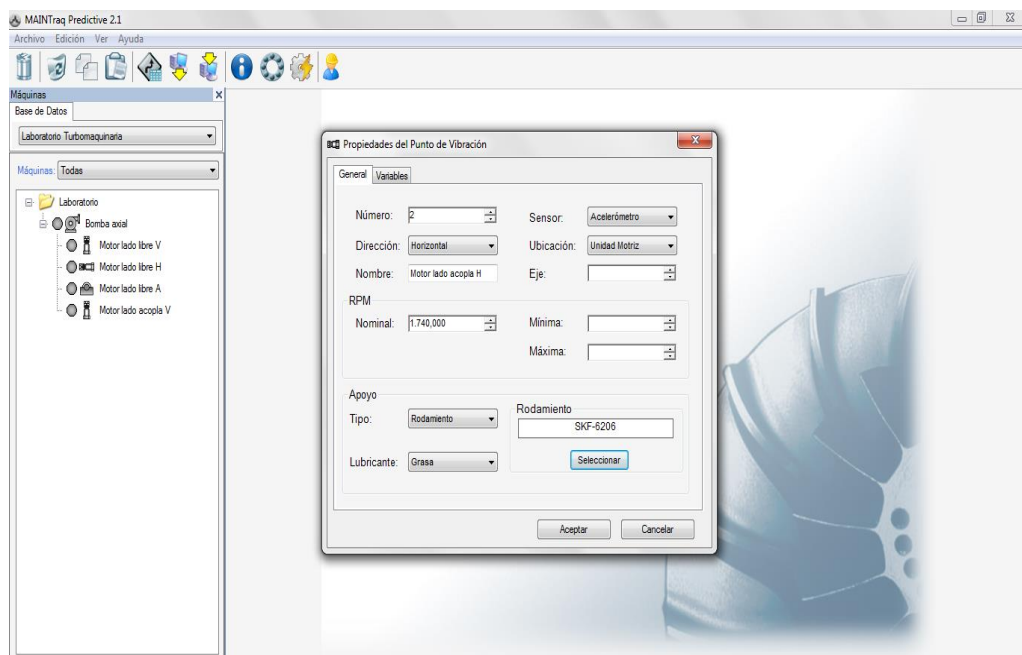
Figura 46. Ingreso de las variables de vibración



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

- Creamos un nuevo punto de medición llamado motor lado acoplado H

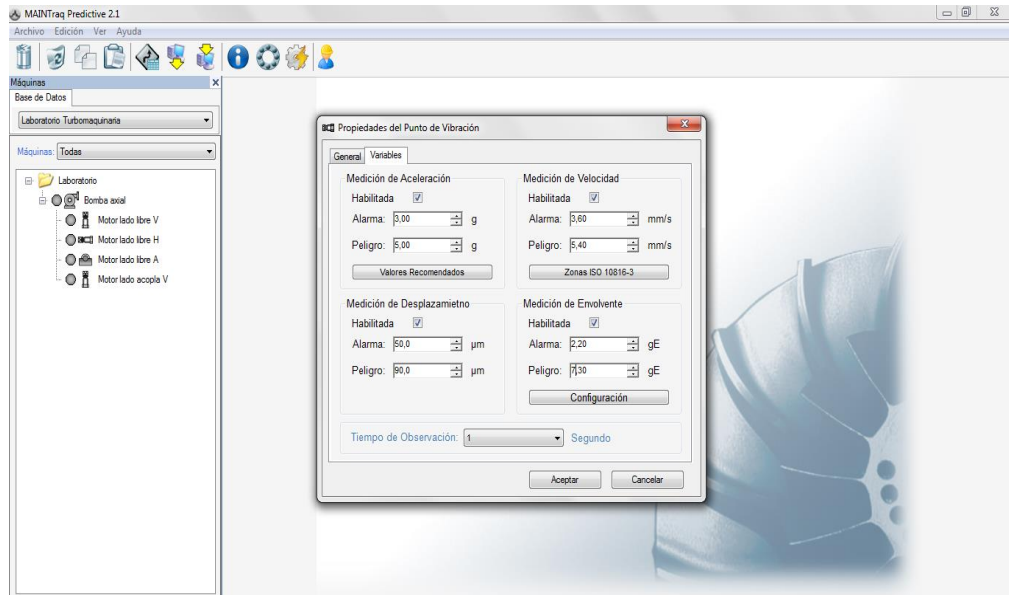
Figura 47. Creación del punto de medición motor lado acoplado H



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

16. Ingresamos las variables para este punto de medición

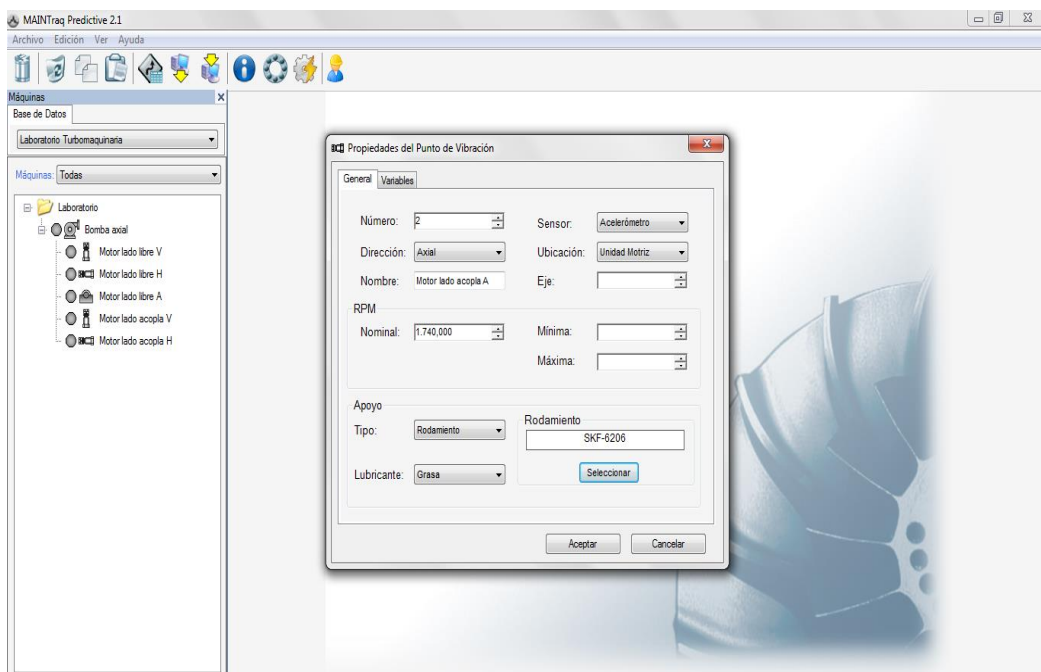
Figura 48. Ingreso de las variables de vibración



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

17. Creamos un nuevo punto de medición llamado motor lado acoplado A

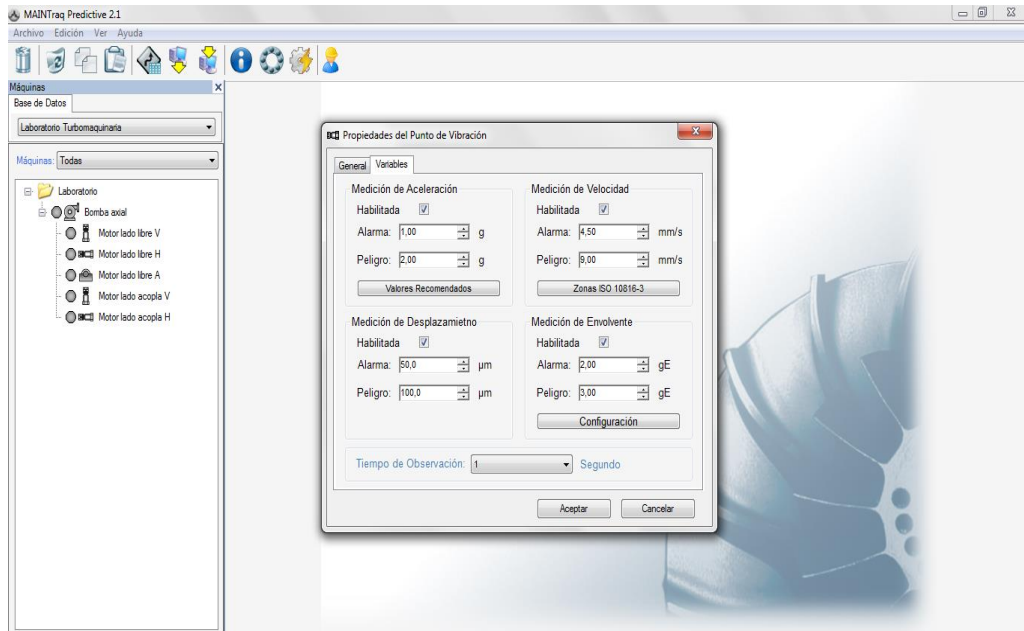
Figura 49. Creación del punto de medición motor lado acoplado A



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

18. Ingresamos las variables para este punto de medición

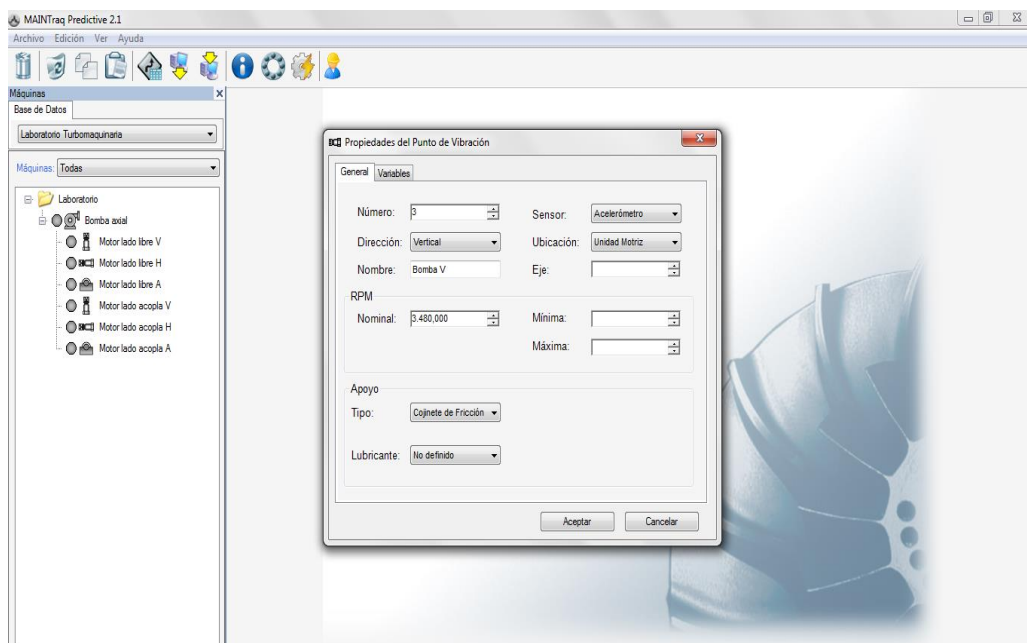
Figura 50. Ingreso de las variables de vibración



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

19. Creamos un nuevo punto de medición llamado bomba V

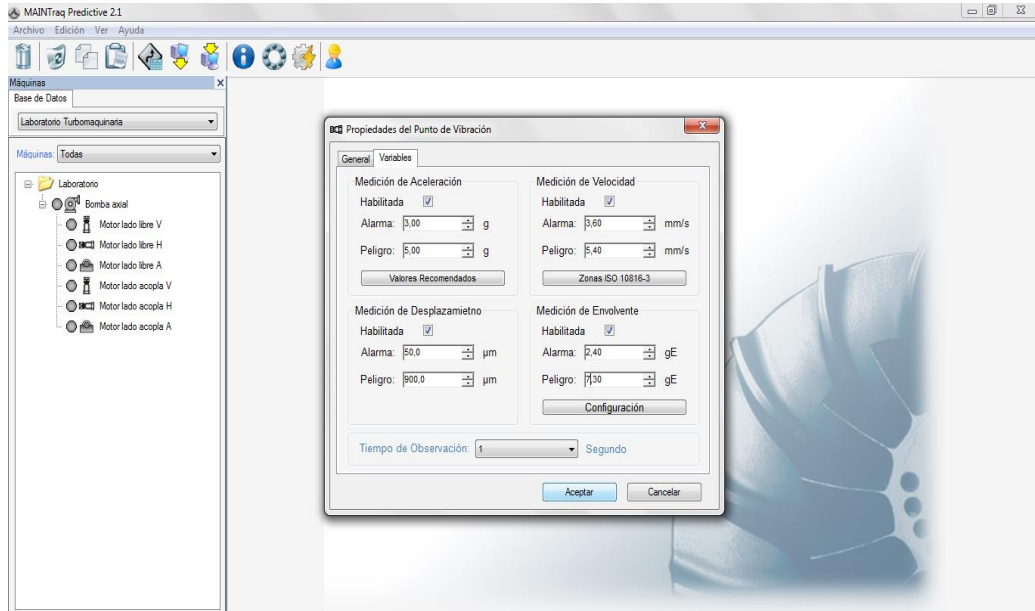
Figura 51. Creación del punto de medición llamado bomba V



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

20. Ingresamos las variables para este punto de medición

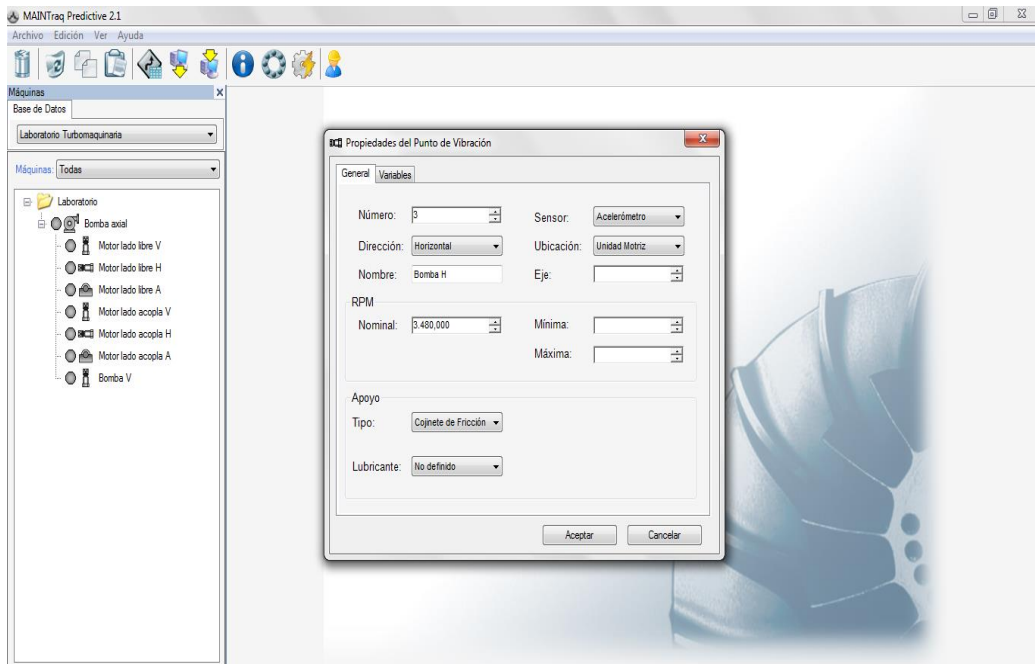
Figura 52. Ingreso de las variables de vibración



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

21. Creamos un nuevo punto de medición llamado bomba H

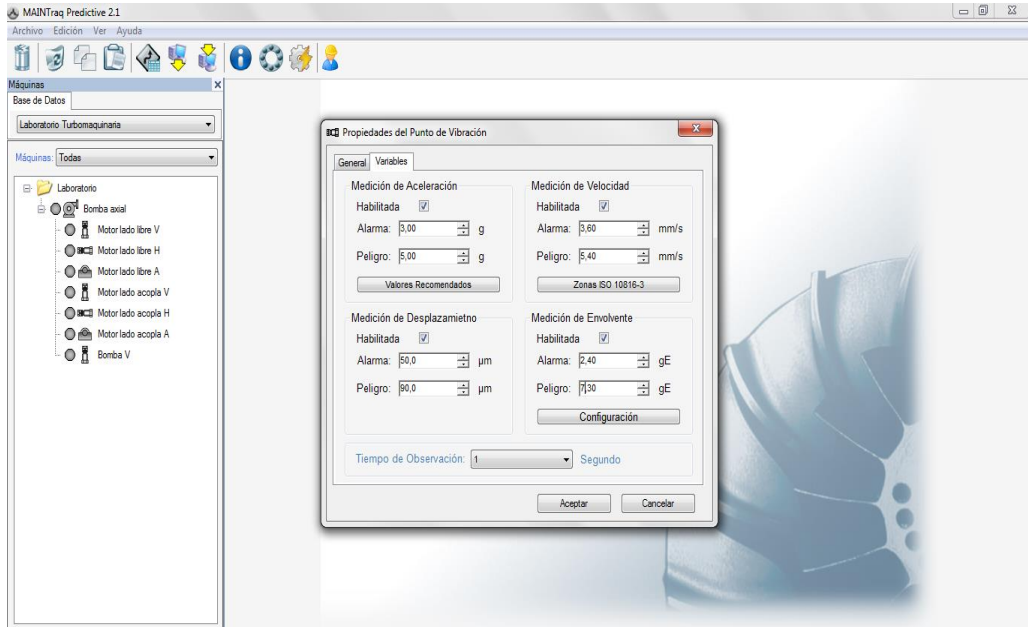
Figura 53. Creación del punto de medición llamado bomba H



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

22. Ingresamos las variables para este punto de medición

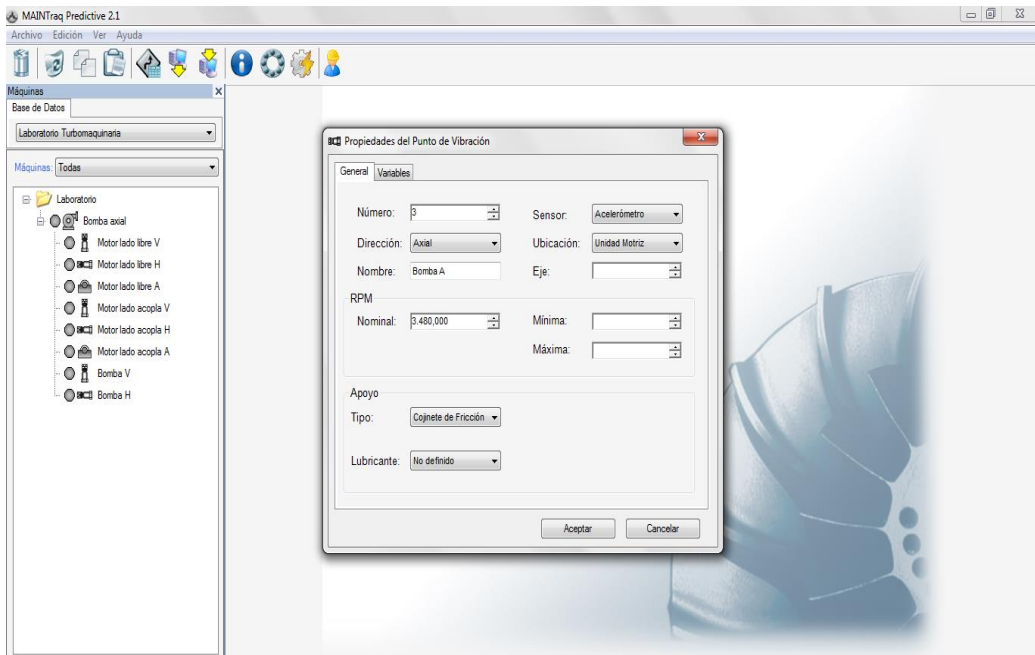
Figura 54. Ingreso de las variables de vibración



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

23. Creamos un nuevo punto de medición llamado bomba A

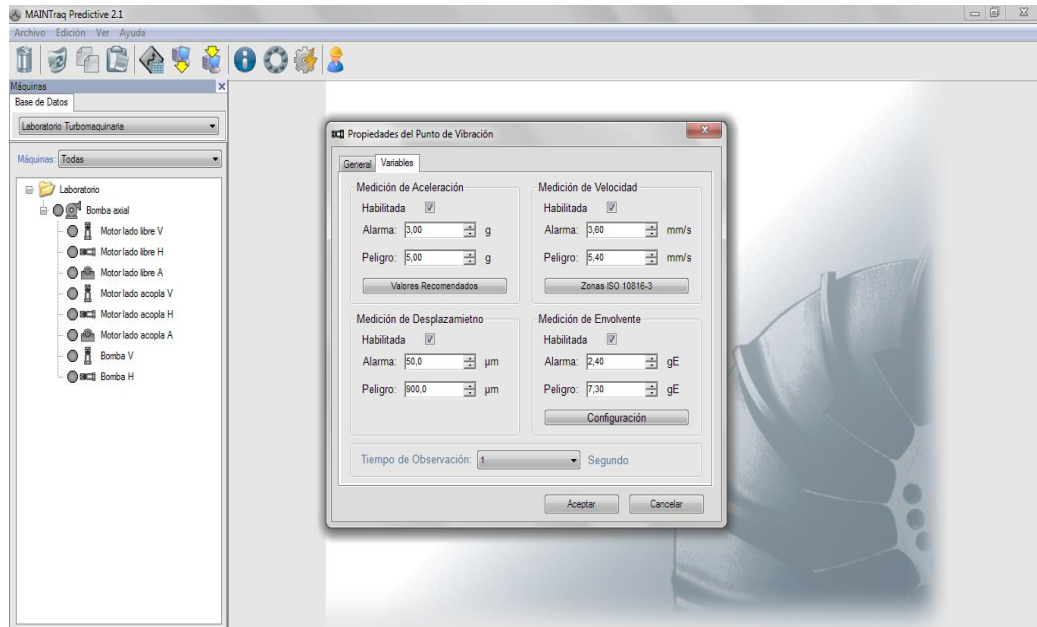
Figura 55. Creación del punto de medición llamado bomba A



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

24. Ingresamos las variables para este punto de medición

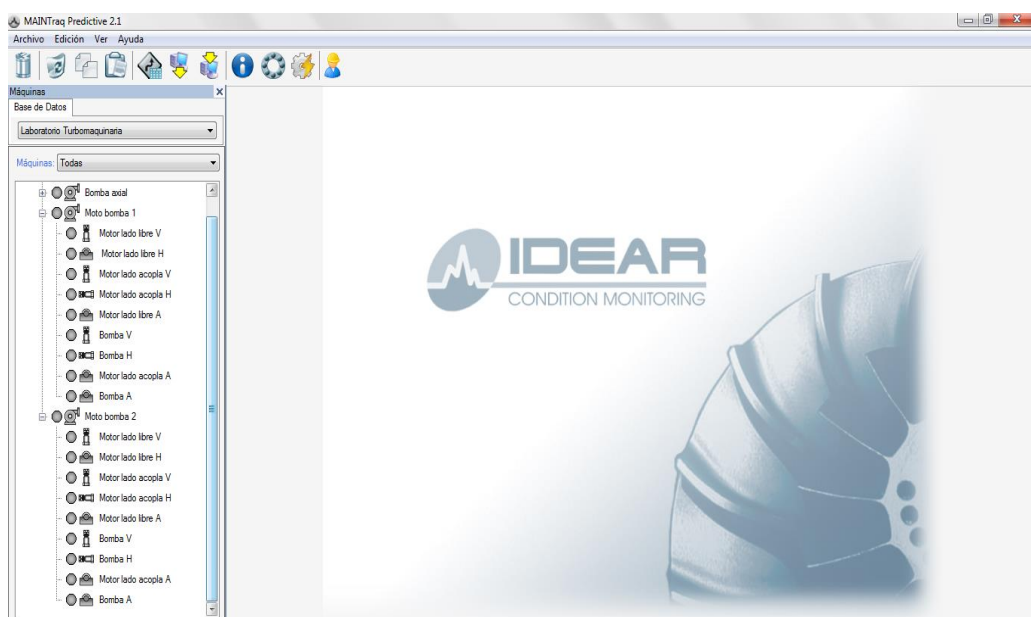
Figura 56. Ingreso de las variables de vibración



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

25. Repetimos los pasos 3 al 19 para crear los puntos de medición para la motobomba 1 y motobomba 2.

Figura 57. Creación de los demás puntos de medición



Fuente: SOFTWARE MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1

5.8 Determinación de los niveles de severidad de vibración

Para determinar el nivel de severidad vibracional en el parámetro de velocidad utilizamos la norma ISO 10816-3, la cual indica que el límite de vibración es de 2,8mm/s en valores totales RMS, debido a que nuestros equipos corresponden a las siguientes categorías:

- Bombas hasta 15 kW
- Motor integrado a la bomba (Grupo 4)
- Soportado en base rígida
- Máquinas consideradas aceptables

A sí mismo para establecer el nivel de severidad vibracional en el parámetro de aceleración utilizamos la recomendación dada por IDEAR, la cual indica que el límite de vibración es de 1.5g en valores totales RMS, debido a que nuestras nuestros equipos corresponden a la siguiente categoría:

Tabla 54. Nivel de severidad vibracional en parámetros de aceleración

Aceleración g,RMS	Severidad (1500-3600 rpm)
5	Excedido
3	Regular
1.5	Bueno

Fuente: IDEAR, Manual Vibracheck 200

5.9 Diseño de los reportes de medición

Se diseñara una hoja de reporte de medición que contendrá la información necesaria para la localización y fácil interpretación de los resultados obtenidos en el análisis de los componentes de cada uno de los equipos analizados.

A continuación se detalla la información que debe poseer esta hoja de reporte de medición:

- Sello de la institución
- Título de la hoja de reporte
- Número de reporte
- Fecha de toma de medición
- Área en la que se encuentra el equipo analizado
- Nombre del equipo analizado
- Componente analizada
- Condición en la que se encuentra el equipo según el estado técnico
- Información detallada de quien elabora, revisa, y aprueba el reporte
- Descripción detallada del punto y sentido de medición
- Imagen del espectro obtenido
- Análisis detallado del espectro
- En el diagnóstico se determinará la falla que se esté presentando
- Se darán las recomendaciones necesarias de acuerdo al diagnóstico realizado


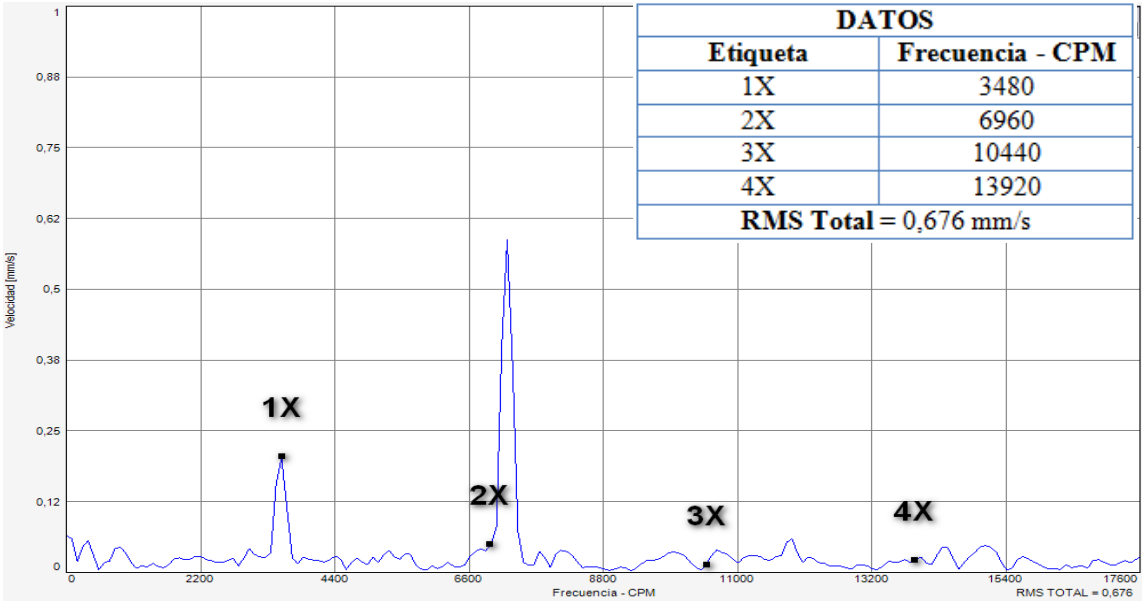
Tabla 55. Reporte de análisis vibracional

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>		Reporte N°:
			Fecha:
			Área:
			Equipo:
			Componente:
		Condición:	
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	
Punto de medición:		Espectro de:	
<h2>Imagen del espectro</h2>			
ANÁLISIS			
DIAGNÓSTICO			
RECOMENDACIÓN			

Fuente: Autores


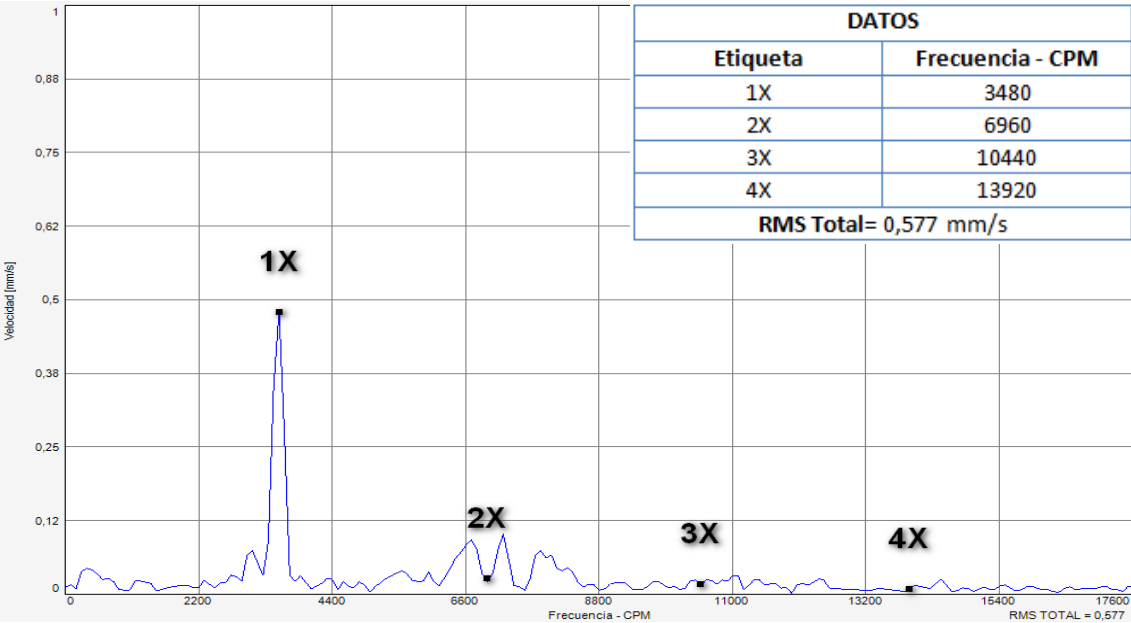
5.10 Análisis de resultados

Tabla 56. Reporte N° 001

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 001														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Pelton														
		Componente: Motor														
		Condición: Buena														
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Motor lado libre Horizontal		Espectro de: Velocidad														
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 0.5; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 10px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">DATOS</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Etiqueta</th> <th style="text-align: center;">Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1X</td> <td style="text-align: center;">3480</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2X</td> <td style="text-align: center;">6960</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3X</td> <td style="text-align: center;">10440</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4X</td> <td style="text-align: center;">13920</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total = 0,676 mm/s</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	3480	2X	6960	3X	10440	4X	13920	RMS Total = 0,676 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	3480															
2X	6960															
3X	10440															
4X	13920															
RMS Total = 0,676 mm/s																
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,676 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.</p>																
DIAGNÓSTICO <p>Observamos que la amplitud de 1XT es mayor que las demás indicándonos que se está iniciando un problema por pie cojo.</p>																
RECOMENDACIÓN <p>Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.</p>																


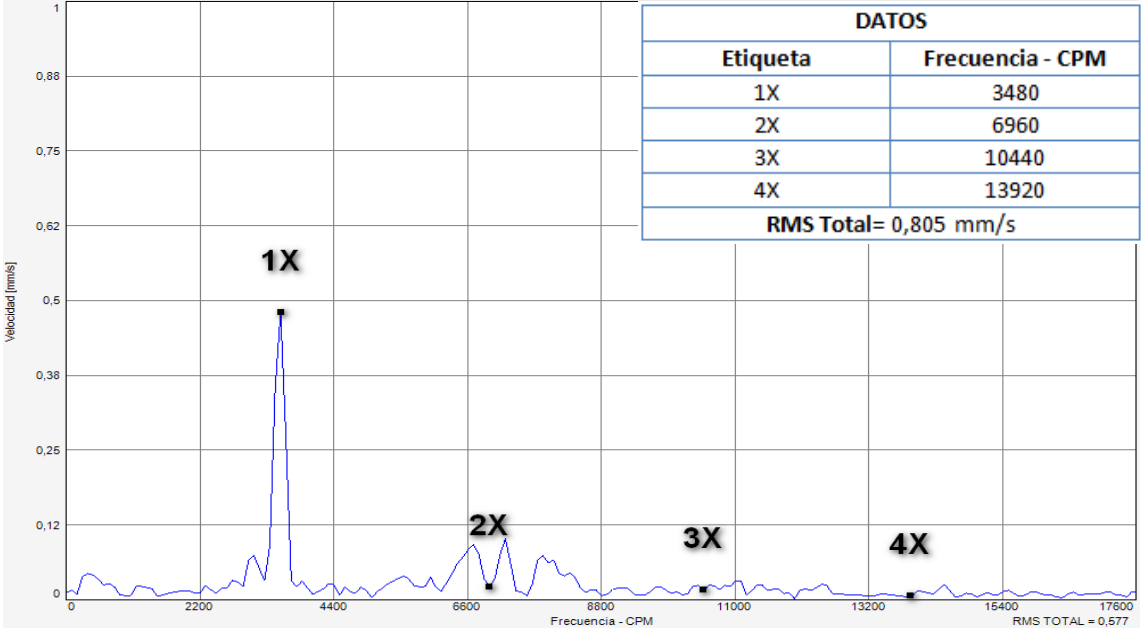
Fuente: Autores

Tabla 57. Reporte N° 002

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 002														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Pelton														
		Componente: Motor														
Condición: Buena																
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Motor lado acoplado Vertical		Espectro de: Velocidad														
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1X</td> <td>3480</td> </tr> <tr> <td>2X</td> <td>6960</td> </tr> <tr> <td>3X</td> <td>10440</td> </tr> <tr> <td>4X</td> <td>13920</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 0,577 mm/s</td> </tr> </tbody> </table> </div>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	3480	2X	6960	3X	10440	4X	13920	RMS Total= 0,577 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	3480															
2X	6960															
3X	10440															
4X	13920															
RMS Total= 0,577 mm/s																
<p>ANÁLISIS</p> <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,577 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.</p>																
<p>DIAGNÓSTICO</p> <p>Observamos que la amplitud de 1XR es mayor que las demás indicándonos que se está iniciando una falla por desbalance.</p>																
<p>RECOMENDACIÓN</p> <p>Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.</p>																


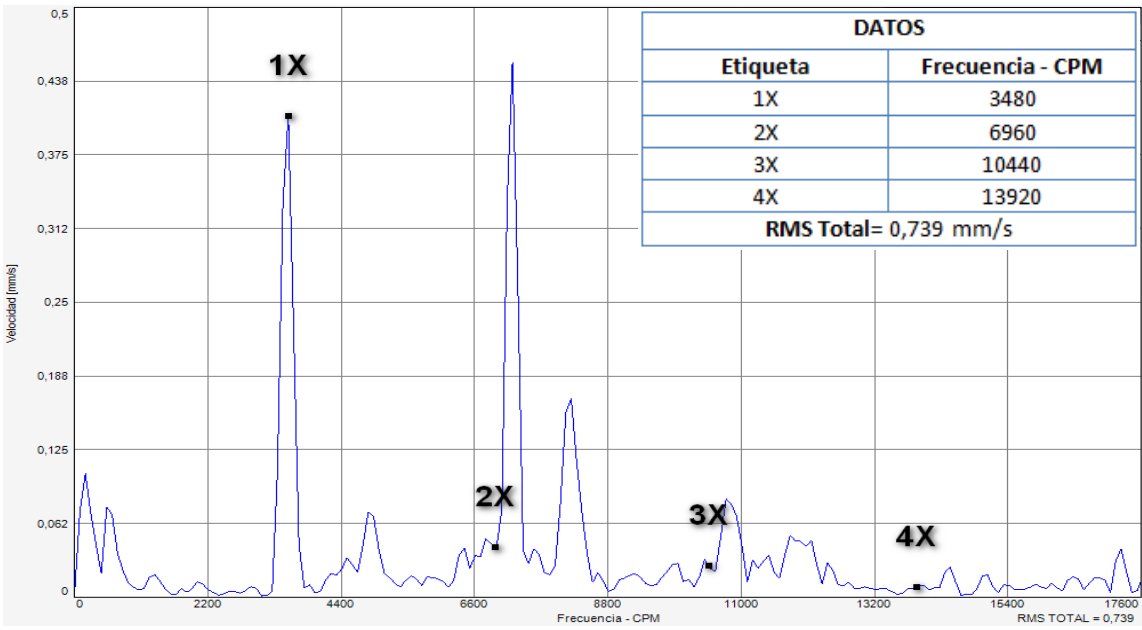
Fuente: Autores

Tabla 58. Reporte N° 003

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 003														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Pelton														
		Componente: Motor														
		Condición: Buena														
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Motor lado acoplado Horizontal		Espectro de: Velocidad														
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1X</td> <td>3480</td> </tr> <tr> <td>2X</td> <td>6960</td> </tr> <tr> <td>3X</td> <td>10440</td> </tr> <tr> <td>4X</td> <td>13920</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 0,805 mm/s</td> </tr> </tbody> </table> </div>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	3480	2X	6960	3X	10440	4X	13920	RMS Total= 0,805 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	3480															
2X	6960															
3X	10440															
4X	13920															
RMS Total= 0,805 mm/s																
<p>ANÁLISIS</p> <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,805 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.</p>																
<p>DIAGNÓSTICO</p> <p>Observamos que la amplitud de 1XT es mayor que las demás indicándonos que se está iniciando un problema por pie cojo.</p>																
<p>RECOMENDACIÓN</p> <p>Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.</p>																


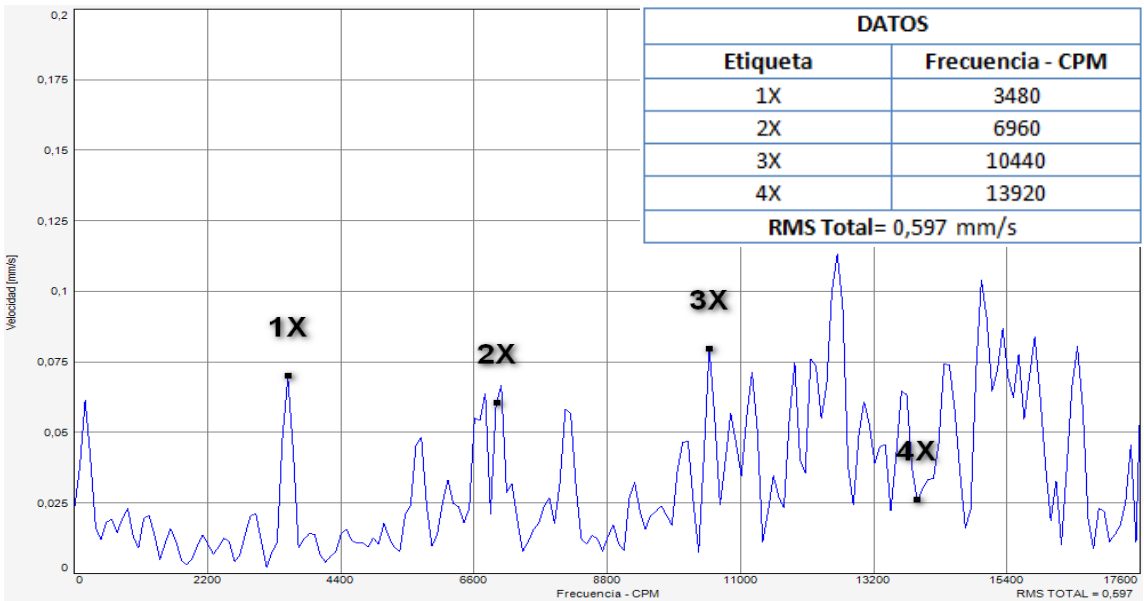
Fuente: Autores

Tabla 59. Reporte N° 004

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 004
		Fecha: 12/06/2013
		Área: Turbomaquinaria
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Pelton
		Componente: Bomba Condición: Buena
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez
Punto de medición: Bomba Horizontal		Espectro de: Velocidad
		
ANÁLISIS La vibración RMS Total registrada es de 0,739 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.		
DIAGNÓSTICO Podemos observar que existen vibraciones de alta frecuencia aleatoria indicándonos que se está iniciando un problema de holgura mecánica.		
RECOMENDACIÓN Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.		

Fuente: Autores

Tabla 60. Reporte N° 005

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 005														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Pelton														
		Componente: Bomba														
Condición: Buena																
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Bomba Axial		Espectro de: Velocidad														
 <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1X</td> <td>3480</td> </tr> <tr> <td>2X</td> <td>6960</td> </tr> <tr> <td>3X</td> <td>10440</td> </tr> <tr> <td>4X</td> <td>13920</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 0,597 mm/s</td> </tr> </tbody> </table>		DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	3480	2X	6960	3X	10440	4X	13920	RMS Total= 0,597 mm/s		
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	3480															
2X	6960															
3X	10440															
4X	13920															
RMS Total= 0,597 mm/s																
ANÁLISIS La vibración RMS Total registrada es de 0,597 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.																
DIAGNÓSTICO Podemos observar que existen vibraciones de alta frecuencia aleatoria indicándonos que se está iniciando un problema de holgura mecánica.																
RECOMENDACIÓN Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.																

Fuente: Autores

Tabla 61. Reporte N° 006

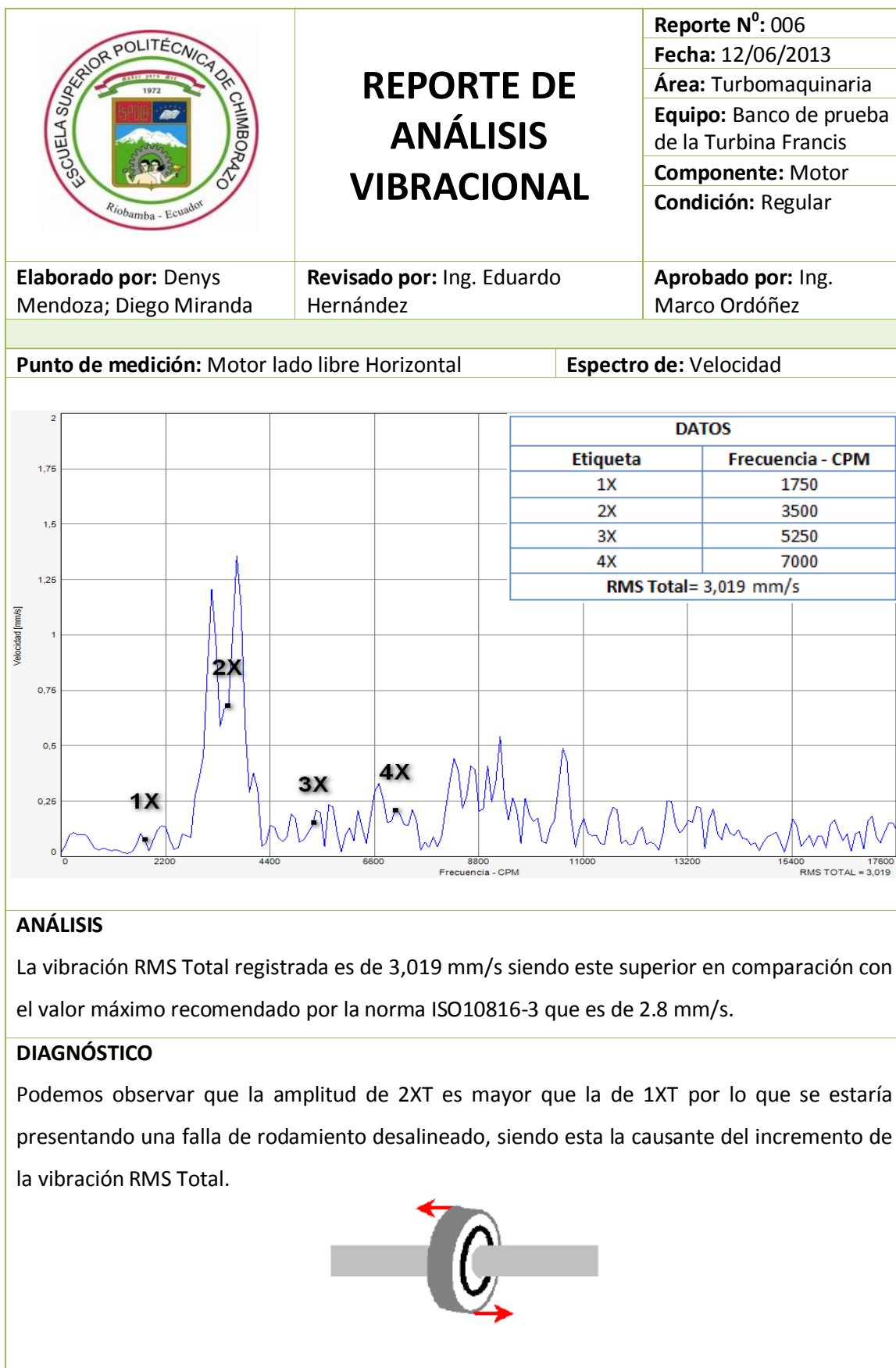


Tabla 61. (Continuación)

RECOMENDACIÓN

Programar el cambio de rodamiento.

El problema de rodamiento desalineado se puede presentar por varios motivos por lo que se recomienda analizar cada uno de los siguientes puntos:

- Rodamientos mal colocados sobre los ejes
- Fallas prematuras de rodamientos
- Si uno de los soportes de la máquina no está en el mismo plano que las otras o si la bancada no está plana
- Al apretar los pernos de anclaje se generará una deformación y como consecuencia una desalineación
- Altas temperaturas en la carcasa cerca de los rodamientos o temperaturas altas del aceite de lubricación
- Fallas prematuras de sellos
- Excesiva fuga de aceite lubricante por los sellos de los rodamientos.
- Rotura de los ejes o agrietamiento en o a los asientos de los rodamientos
- Consumo de energía más alto de lo normal

Fuente: Autores

Tabla 62. Reporte N° 007



Tabla 62. (Continuación)

RECOMENDACIÓN

Programar el cambio de rodamiento.

El problema de rodamiento desalineado se puede presentar por varios motivos por lo que se recomienda analizar cada uno de los siguientes puntos:

- Rodamientos mal colocados sobre los ejes
- Fallas prematuras de rodamientos
- Si uno de los soportes de la máquina no está en el mismo plano que las otras o si la bancada no está plana
- Al apretar los pernos de anclaje se generará una deformación y como consecuencia una desalineación
- Altas temperaturas en la carcasa cerca de los rodamientos o temperaturas altas del aceite de lubricación
- Fallas prematuras de sellos
- Excesiva fuga de aceite lubricante por los sellos de los rodamientos.
- Rotura de los ejes o agrietamiento en o a los asientos de los rodamientos
- Consumo de energía más alto de lo normal

Fuente: Autores

Tabla 63. Reporte N° 008

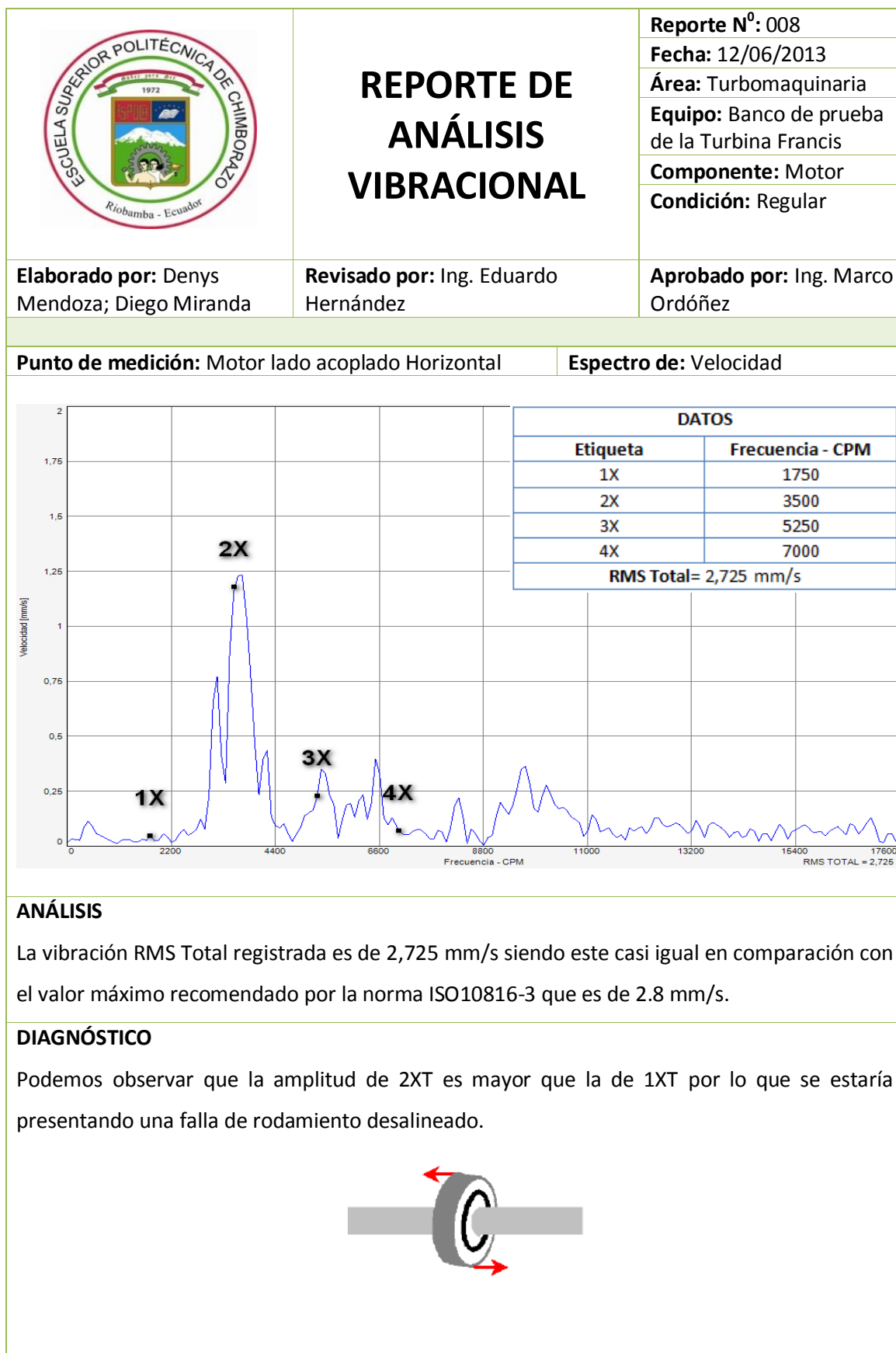


Tabla 63. (Continuación)

RECOMENDACIÓN


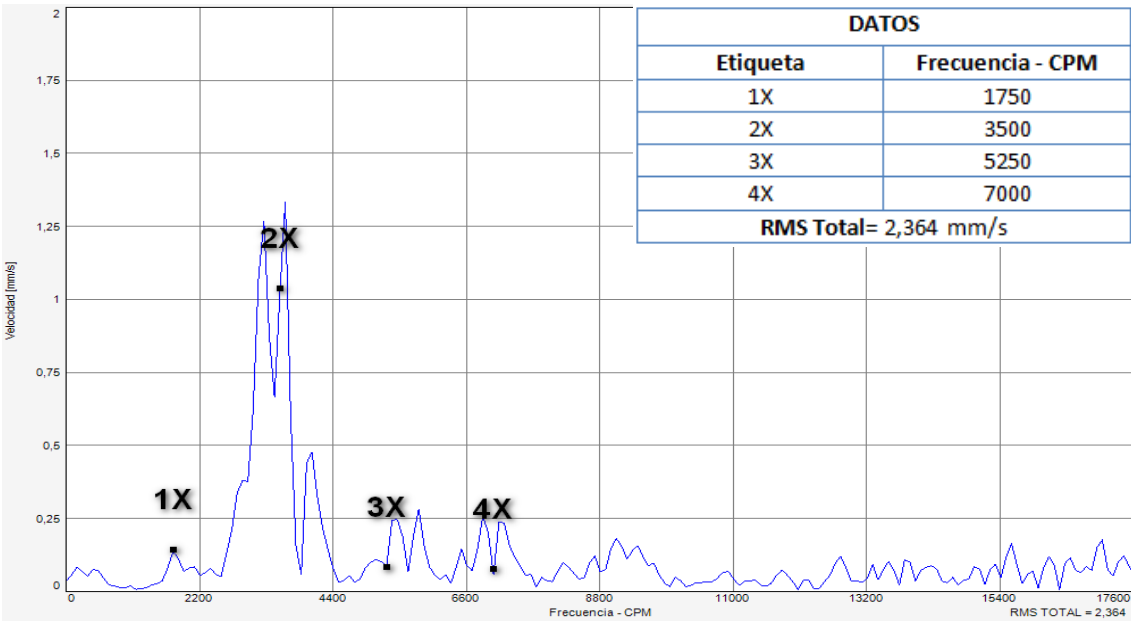
Programar el cambio de rodamiento.

El problema de rodamiento desalineado se puede presentar por varios motivos por lo que se recomienda analizar cada uno de los siguientes puntos:

- Rodamientos mal colocados sobre los ejes
- Fallas prematuras de rodamientos
- Si uno de los soportes de la máquina no está en el mismo plano que las otras o si la bancada no está plana
- Al apretar los pernos de anclaje se generará una deformación y como consecuencia una desalineación
- Altas temperaturas en la carcasa cerca de los rodamientos o temperaturas altas del aceite de lubricación
- Fallas prematuras de sellos
- Excesiva fuga de aceite lubricante por los sellos de los rodamientos.
- Rotura de los ejes o agrietamiento en o a los asientos de los rodamientos
- Consumo de energía más alto de lo normal


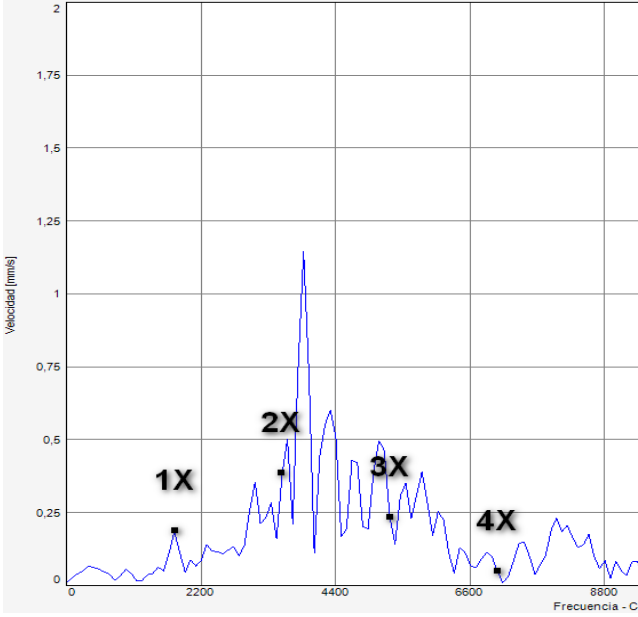
Fuente: Autores

Tabla 64. Reporte N° 009

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 009														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Francis														
		Componente: Bomba Condición: Regular														
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Bomba Horizontal		Espectro de: Velocidad														
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 0.5; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 10px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">DATOS</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Etiqueta</th> <th style="text-align: center;">Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1X</td> <td style="text-align: center;">1750</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2X</td> <td style="text-align: center;">3500</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3X</td> <td style="text-align: center;">5250</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4X</td> <td style="text-align: center;">7000</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 2,364 mm/s</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	1750	2X	3500	3X	5250	4X	7000	RMS Total= 2,364 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	1750															
2X	3500															
3X	5250															
4X	7000															
RMS Total= 2,364 mm/s																
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 2,364 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.</p>																
DIAGNÓSTICO <p>Podemos observar que existen vibraciones de alta frecuencia aleatoria indicándonos que se está iniciando un problema de holgura mecánica.</p>																
RECOMENDACIÓN <p>Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.</p>																


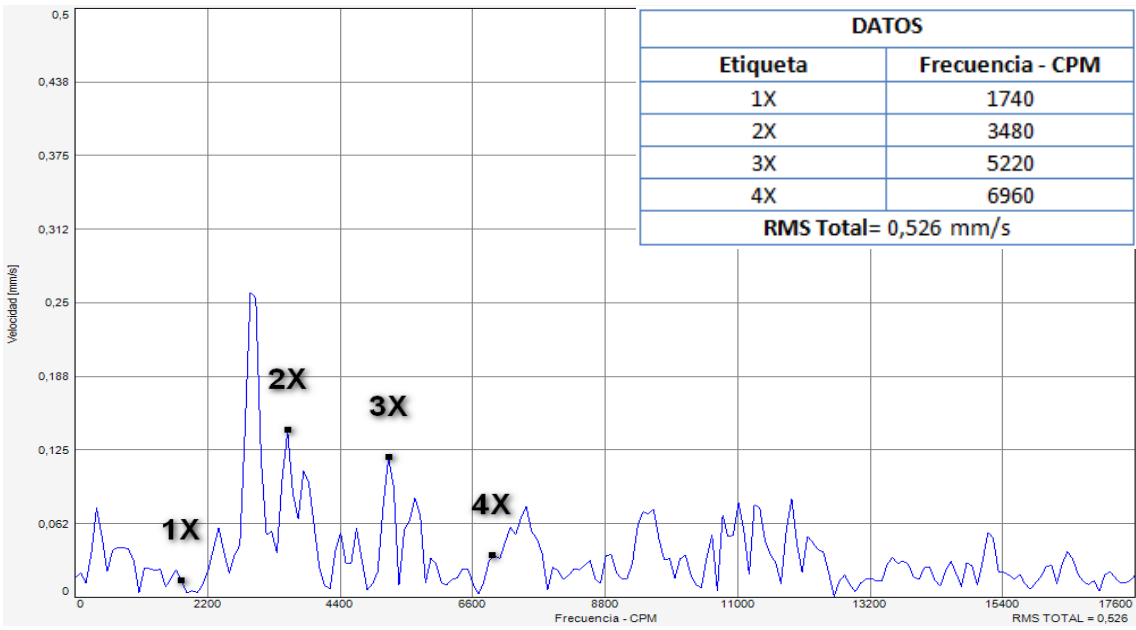
Fuente: Autores

Tabla 65. Reporte N° 010

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 010														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Francis														
		Componente: Bomba Condición: Regular														
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Bomba Axial		Espectro de: Velocidad														
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 0.5; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 10px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">DATOS</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Etiqueta</th> <th style="text-align: center;">Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1X</td> <td style="text-align: center;">1750</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2X</td> <td style="text-align: center;">3500</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3X</td> <td style="text-align: center;">5250</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4X</td> <td style="text-align: center;">7000</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 2,082 mm/s</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	1750	2X	3500	3X	5250	4X	7000	RMS Total= 2,082 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	1750															
2X	3500															
3X	5250															
4X	7000															
RMS Total= 2,082 mm/s																
<p>ANÁLISIS</p> <p>La vibración RMS Total registrada es de 2,082 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.</p>																
<p>DIAGNÓSTICO</p> <p>Podemos observar que existen vibraciones de alta frecuencia aleatoria indicándonos que se está iniciando un problema de holgura mecánica.</p>																
<p>RECOMENDACIÓN</p> <p>Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.</p>																


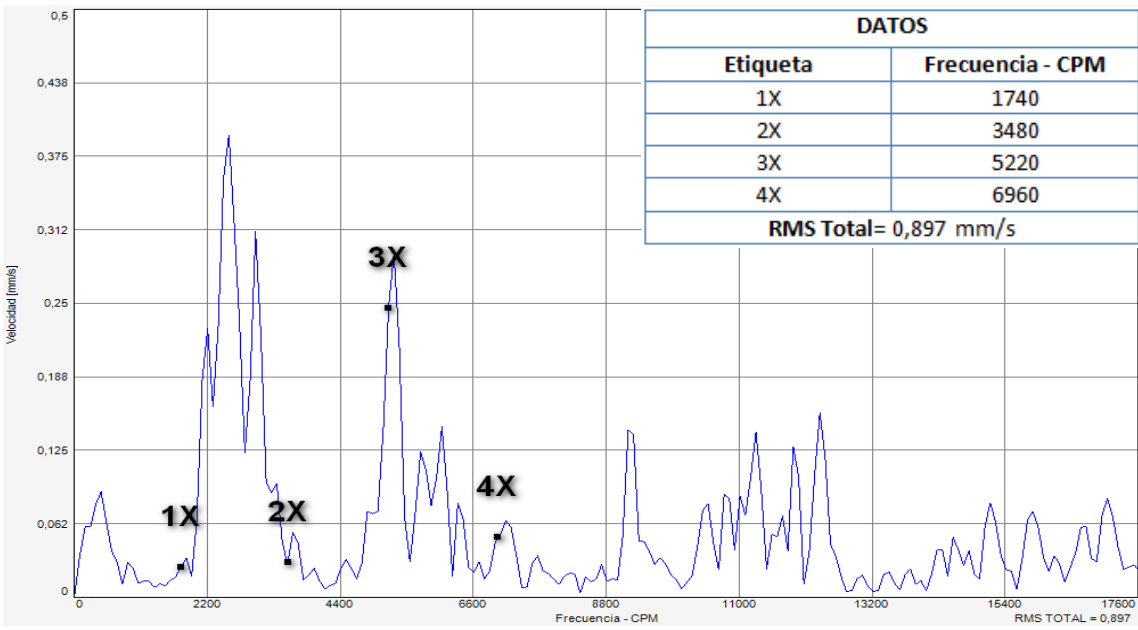
Fuente: Autores

Tabla 66. Reporte N° 011

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 011														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan														
		Componente: Motor														
		Condición: Buena														
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Motor lado libre Vertical		Espectro de: Velocidad														
 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1X</td> <td>1740</td> </tr> <tr> <td>2X</td> <td>3480</td> </tr> <tr> <td>3X</td> <td>5220</td> </tr> <tr> <td>4X</td> <td>6960</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 0,526 mm/s</td> </tr> </tbody> </table>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	1740	2X	3480	3X	5220	4X	6960	RMS Total= 0,526 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	1740															
2X	3480															
3X	5220															
4X	6960															
RMS Total= 0,526 mm/s																
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,526 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.</p>																
DIAGNOSTICO <p>Podemos observar que la amplitud de 2XR es mayor que la de 1XR lo que nos indica que se está iniciando un problema de rodamiento desalineado.</p>																
RECOMENDACIÓN <p>Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.</p>																


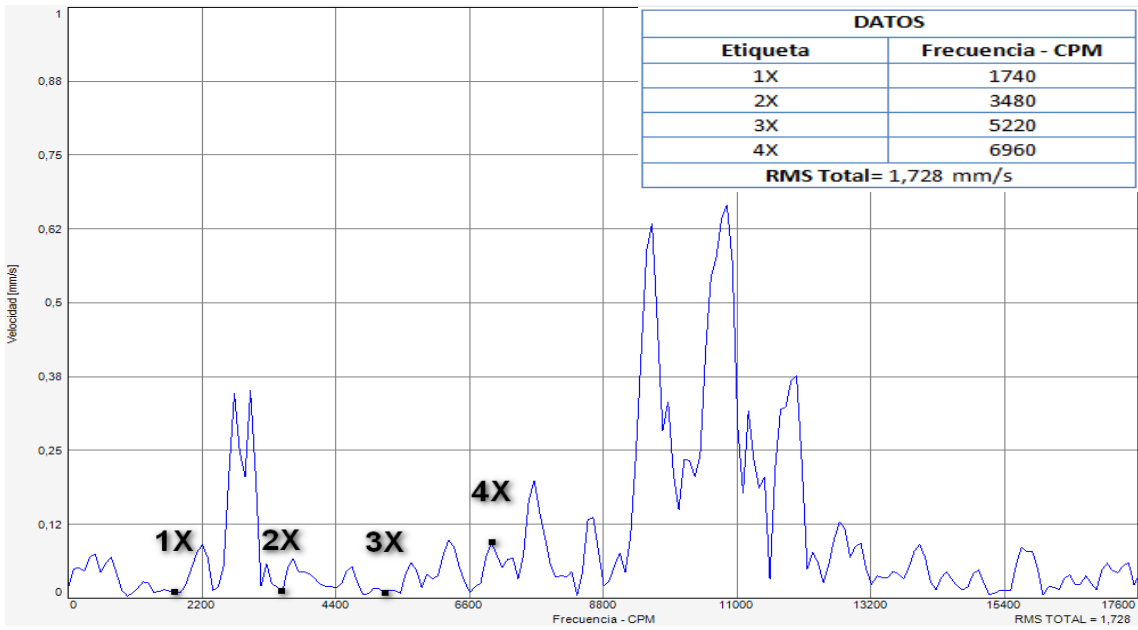
Fuente: Autores

Tabla 67. Reporte N° 012

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 012														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan														
		Componente: Motor														
		Condición: Buena														
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Motor lado libre Horizontal		Espectro de: Velocidad														
 <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1X</td> <td>1740</td> </tr> <tr> <td>2X</td> <td>3480</td> </tr> <tr> <td>3X</td> <td>5220</td> </tr> <tr> <td>4X</td> <td>6960</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 0,897 mm/s</td> </tr> </tbody> </table>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	1740	2X	3480	3X	5220	4X	6960	RMS Total= 0,897 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	1740															
2X	3480															
3X	5220															
4X	6960															
RMS Total= 0,897 mm/s																
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,897 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.</p>																
DIAGNÓSTICO <p>No tenemos ningún tipo de problema, ya que los valores globales RMS y las amplitudes son bajos y admisibles.</p>																
RECOMENDACIÓN <p>Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.</p>																


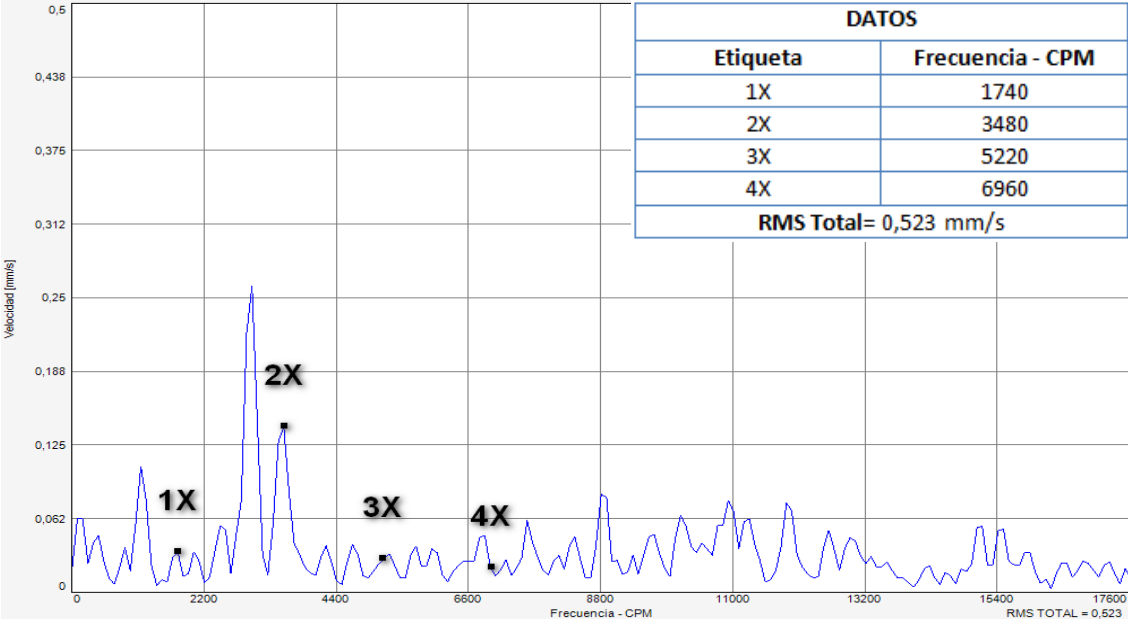
Fuente: Autores

Tabla 68. Reporte N° 013

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 013														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan														
		Componente: Motor														
		Condición: Buena														
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Motor lado libre Axial		Espectro de: Velocidad														
 <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1X</td> <td>1740</td> </tr> <tr> <td>2X</td> <td>3480</td> </tr> <tr> <td>3X</td> <td>5220</td> </tr> <tr> <td>4X</td> <td>6960</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 1,728 mm/s</td> </tr> </tbody> </table>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	1740	2X	3480	3X	5220	4X	6960	RMS Total= 1,728 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	1740															
2X	3480															
3X	5220															
4X	6960															
RMS Total= 1,728 mm/s																
ANÁLISIS La vibración RMS Total registrada es de 1,728 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.																
DIAGNÓSTICO No tenemos ningún tipo de problema, ya que los valores globales RMS y amplitudes son bajos y admisibles.																
RECOMENDACIÓN Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.																


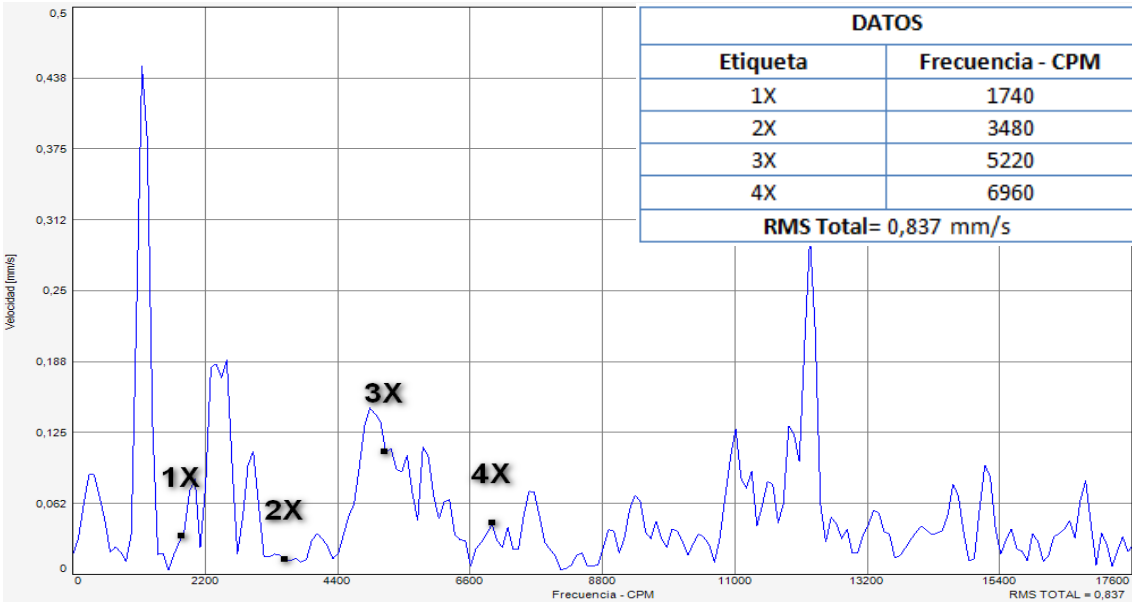
Fuente: Autores

Tabla 69. Reporte N° 014

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 014														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan														
		Componente: Motor														
		Condición: Buena														
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Motor lado acoplado Vertical		Espectro de: Velocidad														
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 0.5; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 10px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">DATOS</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Etiqueta</th> <th style="text-align: center;">Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1X</td> <td style="text-align: center;">1740</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2X</td> <td style="text-align: center;">3480</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3X</td> <td style="text-align: center;">5220</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4X</td> <td style="text-align: center;">6960</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 0,523 mm/s</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	1740	2X	3480	3X	5220	4X	6960	RMS Total= 0,523 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	1740															
2X	3480															
3X	5220															
4X	6960															
RMS Total= 0,523 mm/s																
<p>ANÁLISIS</p> <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,523 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.</p>																
<p>DIAGNOSTICO</p> <p>Podemos observar que la amplitud de 2XR es mayor que la de 1XR por lo que se está iniciando un problema rodamiento desalineado.</p>																
<p>RECOMENDACIÓN</p> <p>Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.</p>																


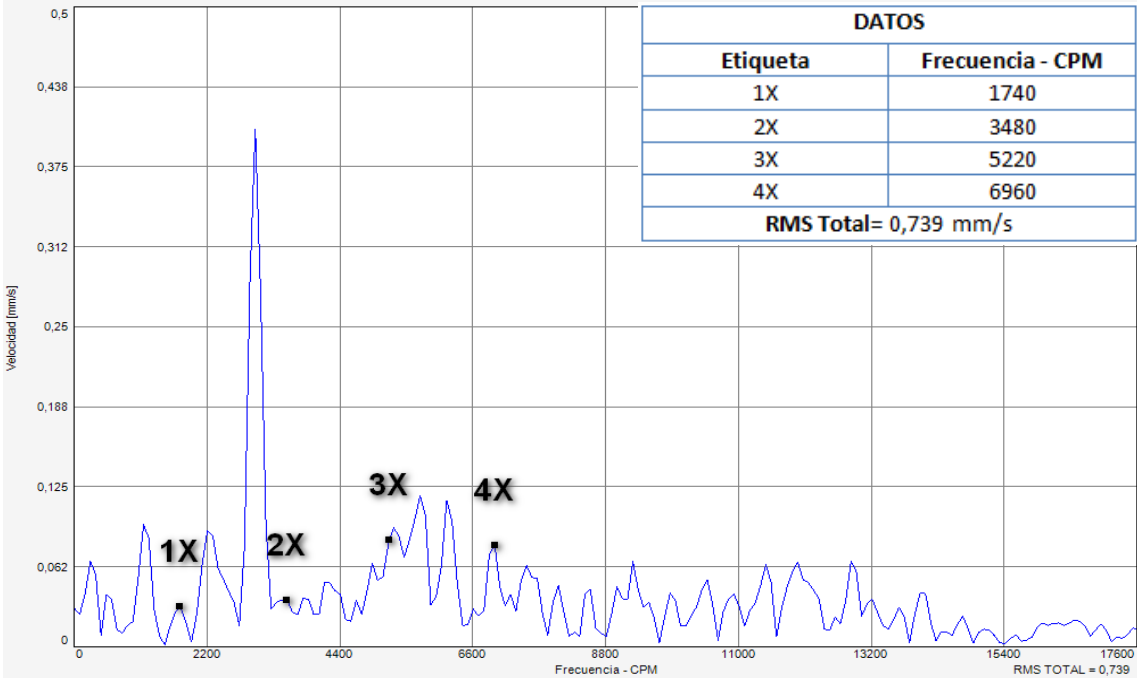
Fuente: Autores

Tabla 70. Reporte N° 015

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 015														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan														
		Componente: Motor														
		Condición: Buena														
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Motor lado acoplado Horizontal		Espectro de: Velocidad														
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 0.5; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 10px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">DATOS</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Etiqueta</th> <th style="text-align: center;">Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1X</td> <td style="text-align: center;">1740</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2X</td> <td style="text-align: center;">3480</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3X</td> <td style="text-align: center;">5220</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4X</td> <td style="text-align: center;">6960</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 0,837 mm/s</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	1740	2X	3480	3X	5220	4X	6960	RMS Total= 0,837 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	1740															
2X	3480															
3X	5220															
4X	6960															
RMS Total= 0,837 mm/s																
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,837 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.</p>																
DIAGNÓSTICO <p>Podemos observar que la bpfi (frecuencia de paso de bola anillo interior) posee bandas laterales de amplitud 1XT, por lo que se está iniciando un mínimo defecto en el anillo interior del rodamiento.</p>																
RECOMENDACIÓN <p>Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.</p>																

Fuente: Autores

Tabla 71. Reporte N° 016

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 016														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan														
		Componente: Bomba														
		Condición: Buena														
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Bomba Vertical		Espectro de: Velocidad														
 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1X</td> <td>1740</td> </tr> <tr> <td>2X</td> <td>3480</td> </tr> <tr> <td>3X</td> <td>5220</td> </tr> <tr> <td>4X</td> <td>6960</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 0,739 mm/s</td> </tr> </tbody> </table>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	1740	2X	3480	3X	5220	4X	6960	RMS Total= 0,739 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	1740															
2X	3480															
3X	5220															
4X	6960															
RMS Total= 0,739 mm/s																
ANÁLISIS La vibración RMS Total registrada es de 0,739 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.																
DIAGNÓSTICO Podemos observar que existe un leve incremento de amplitud en 3XR y 4XR con respecto a la amplitud de 1XR indicándonos que está iniciando un problema de holgura mecánica.																
RECOMENDACIÓN Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.																


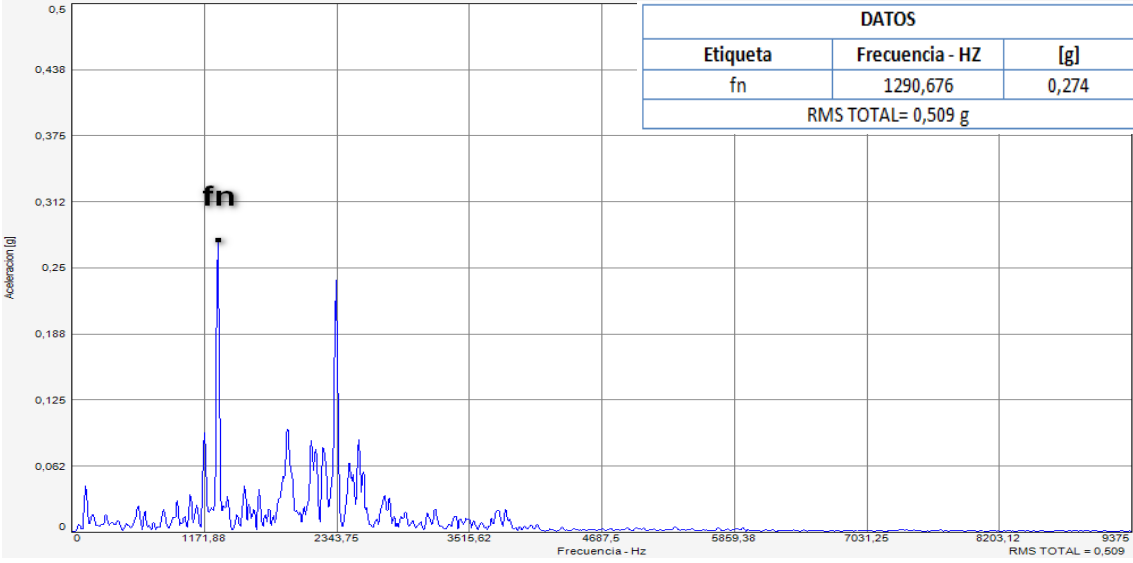
Fuente: Autores

Tabla 72. Reporte N° 017

	<h1>REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL</h1>	Reporte N°: 017														
		Fecha: 12/06/2013														
		Área: Turbomaquinaria														
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan														
		Componente: Bomba Condición: Buena														
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez														
Punto de medición: Bomba Horizontal		Espectro de: Velocidad														
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 0.5; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 10px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">DATOS</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Etiqueta</th> <th style="text-align: center;">Frecuencia - CPM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1X</td> <td style="text-align: center;">1740</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2X</td> <td style="text-align: center;">3480</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3X</td> <td style="text-align: center;">5220</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4X</td> <td style="text-align: center;">6960</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">RMS Total= 0,710 mm/s</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>			DATOS		Etiqueta	Frecuencia - CPM	1X	1740	2X	3480	3X	5220	4X	6960	RMS Total= 0,710 mm/s	
DATOS																
Etiqueta	Frecuencia - CPM															
1X	1740															
2X	3480															
3X	5220															
4X	6960															
RMS Total= 0,710 mm/s																
ANÁLISIS La vibración RMS Total registrada es de 0,710 mm/s siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por la norma ISO10816-3 que es de 2.8 mm/s.																
DIAGNÓSTICO Podemos observar que existe un leve incremento de amplitud en 3XT y 4XT con respecto a la amplitud de 1XT indicándonos que se está iniciando un problema de holgura mecánica.																
RECOMENDACIÓN Continuar con el monitoreo semestral de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo propuesto.																


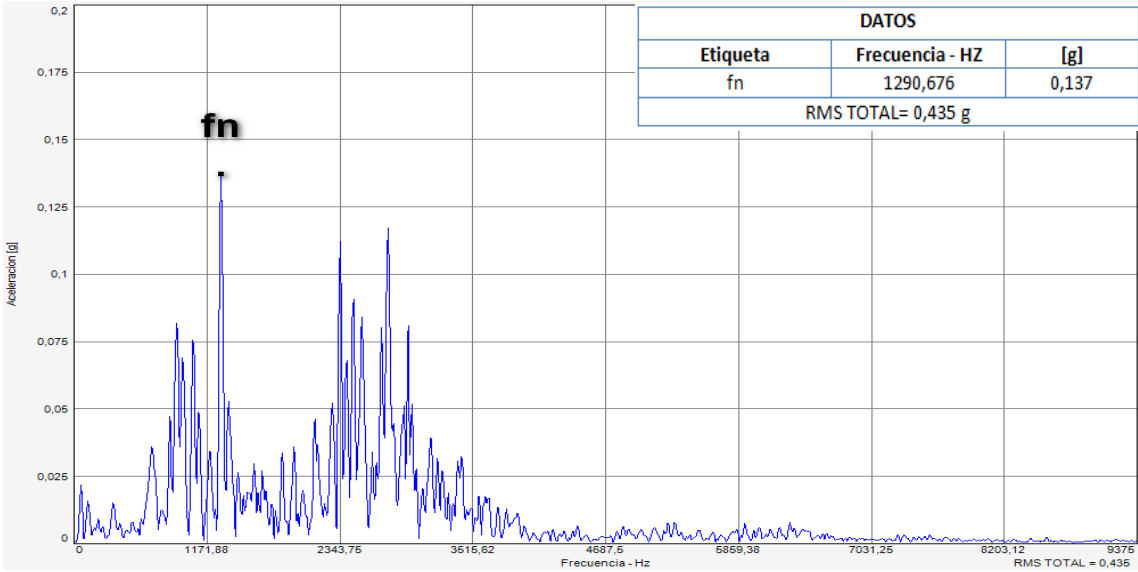
Fuente: Autores

Tabla 73. Reporte N° 018

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 018												
		Fecha: 12/06/2013												
		Área: Turbomaquinaria												
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Pelton												
		Componente: Motor												
		Condición: Buena												
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez												
Punto de medición: Motor lado libre Horizontal		Espectro de: Aceleración												
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - HZ</th> <th>[g]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fn</td> <td>1290,676</td> <td>0,274</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RMS TOTAL= 0,509 g</td> </tr> </tbody> </table> </div>			DATOS			Etiqueta	Frecuencia - HZ	[g]	fn	1290,676	0,274	RMS TOTAL= 0,509 g		
DATOS														
Etiqueta	Frecuencia - HZ	[g]												
fn	1290,676	0,274												
RMS TOTAL= 0,509 g														
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,509g siendo inferior en comparación con el valor máximo recomendado por IDEAR que es de 1,5g. Por la forma del espectro obtenido la carta de Charlotte nos indica que se encuentra en la segunda etapa de vida de uso del rodamiento debido a que el pico más elevado de (fn) se encuentra en el rango de 500 a 2000 Hz.</p>														
DIAGNÓSTICO <p>Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales de sus componentes (fn), dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento.</p>														
RECOMENDACIÓN <p>Planificar el cambio de rodamiento.</p>														


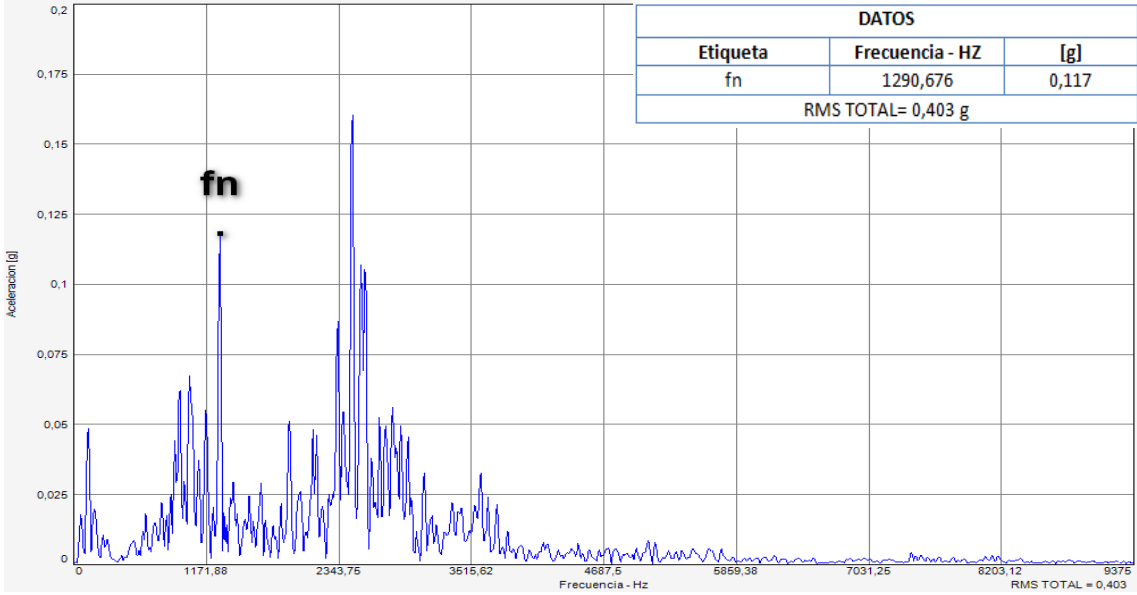
Fuente: Autores

Tabla 74. Reporte N° 019

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 019												
		Fecha: 12/06/2013												
		Área: Turbomaquinaria												
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Pelton												
		Componente: Motor												
		Condición: Buena												
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez												
Punto de medición: Motor lado acoplado Vertical		Espectro de: Aceleración												
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - HZ</th> <th>[g]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fn</td> <td>1290,676</td> <td>0,137</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RMS TOTAL= 0,435 g</td> </tr> </tbody> </table> </div>			DATOS			Etiqueta	Frecuencia - HZ	[g]	fn	1290,676	0,137	RMS TOTAL= 0,435 g		
DATOS														
Etiqueta	Frecuencia - HZ	[g]												
fn	1290,676	0,137												
RMS TOTAL= 0,435 g														
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,435g siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por IDEAR que es de 1,5g. Por la forma del espectro obtenido la carta de Charlotte nos indica que se encuentra en la segunda etapa de vida de uso del rodamiento debido a que el pico más elevado de (fn) se encuentra en el rango de 500 a 2000 Hz.</p>														
DIAGNÓSTICO <p>Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales de sus componentes (fn), dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento.</p>														
RECOMENDACIÓN <p>Planificar el cambio de rodamiento.</p>														


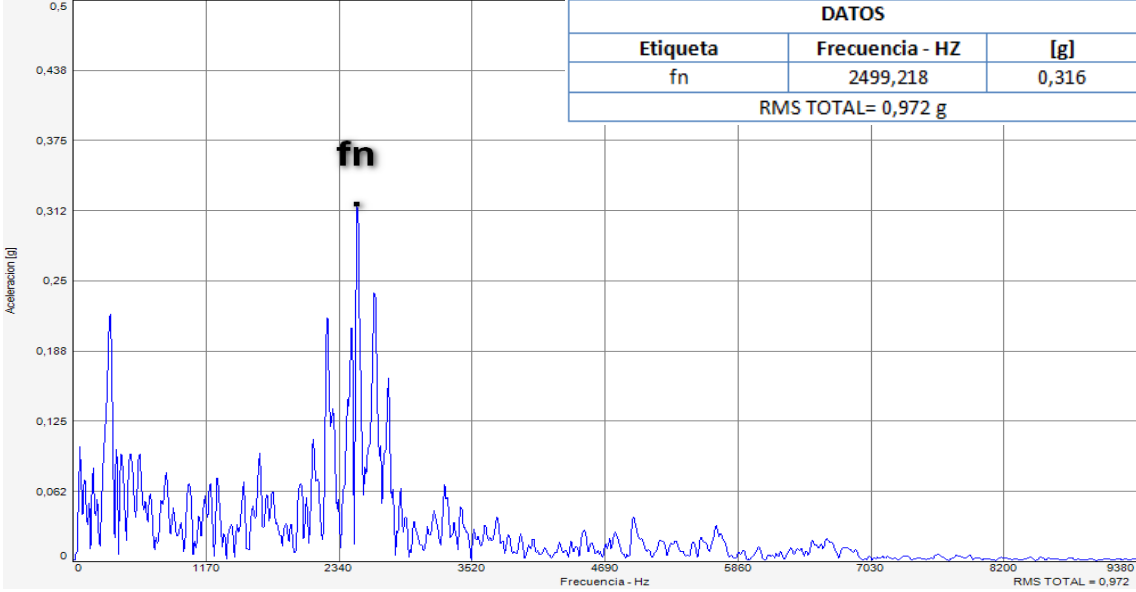
Fuente: Autores

Tabla 75. Reporte N° 020

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 020												
		Fecha: 12/06/2013												
		Área: Turbomaquinaria												
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Pelton												
		Componente: Motor												
		Condición: Buena												
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez												
Punto de medición: Motor lado acoplado Horizontal		Espectro de: Aceleración												
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - HZ</th> <th>[g]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fn</td> <td>1290,676</td> <td>0,117</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RMS TOTAL= 0,403 g</td> </tr> </tbody> </table> </div>			DATOS			Etiqueta	Frecuencia - HZ	[g]	fn	1290,676	0,117	RMS TOTAL= 0,403 g		
DATOS														
Etiqueta	Frecuencia - HZ	[g]												
fn	1290,676	0,117												
RMS TOTAL= 0,403 g														
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,403g siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por IDEAR que es de 1,5g. Por la forma del espectro obtenido la carta de Charlotte nos indica que se encuentra en la segunda etapa de vida de uso del rodamiento debido a que el pico más elevado de (fn) se encuentra en el rango de 500 a 2000 Hz.</p>														
DIAGNÓSTICO <p>Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales de sus componentes (fn), dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento.</p>														
RECOMENDACIÓN <p>Planificar el cambio de rodamiento.</p>														


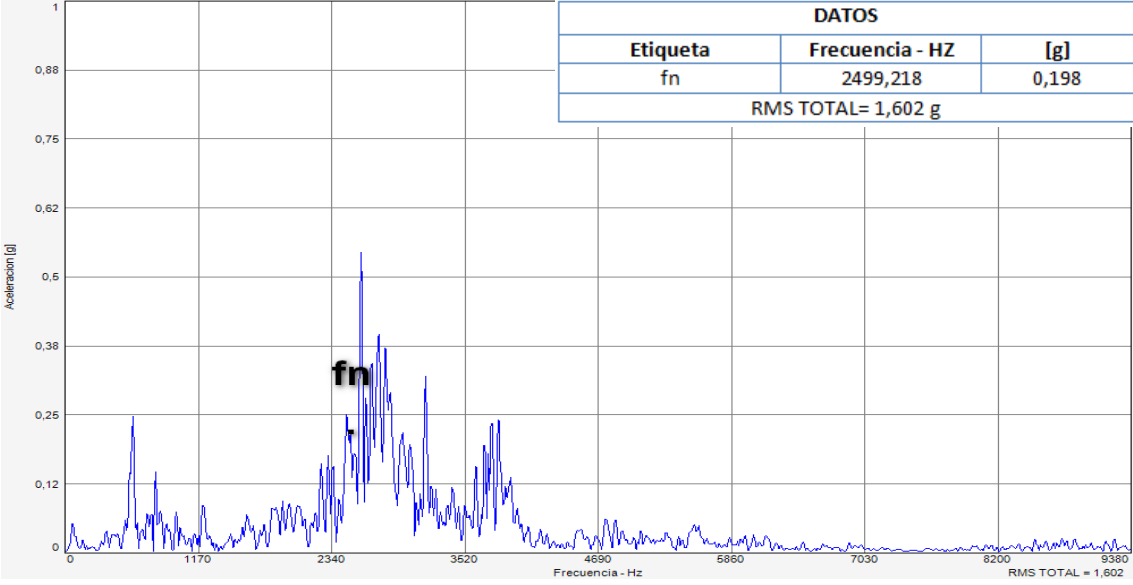
Fuente: Autores

Tabla 76. Reporte N° 021

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 021												
		Fecha: 12/06/2013												
		Área: Turbomaquinaria												
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Francis												
		Componente: Motor												
		Condición: Regular												
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez												
Punto de medición: Motor lado libre Horizontal		Espectro de: Aceleración												
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - HZ</th> <th>[g]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fn</td> <td>2499,218</td> <td>0,316</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RMS TOTAL= 0,972 g</td> </tr> </tbody> </table> </div>			DATOS			Etiqueta	Frecuencia - HZ	[g]	fn	2499,218	0,316	RMS TOTAL= 0,972 g		
DATOS														
Etiqueta	Frecuencia - HZ	[g]												
fn	2499,218	0,316												
RMS TOTAL= 0,972 g														
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,972g siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por IDEAR que es de 1,5g. Por la forma del espectro obtenido la carta de Charlotte nos indica que se encuentra en la segunda etapa de vida de uso del rodamiento debido a que se aparecen bandas laterales a más de 2000 Hz.</p>														
DIAGNÓSTICO <p>Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales de sus componentes (fn), dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento.</p>														
RECOMENDACIÓN <p>Planificar el cambio de rodamiento.</p>														


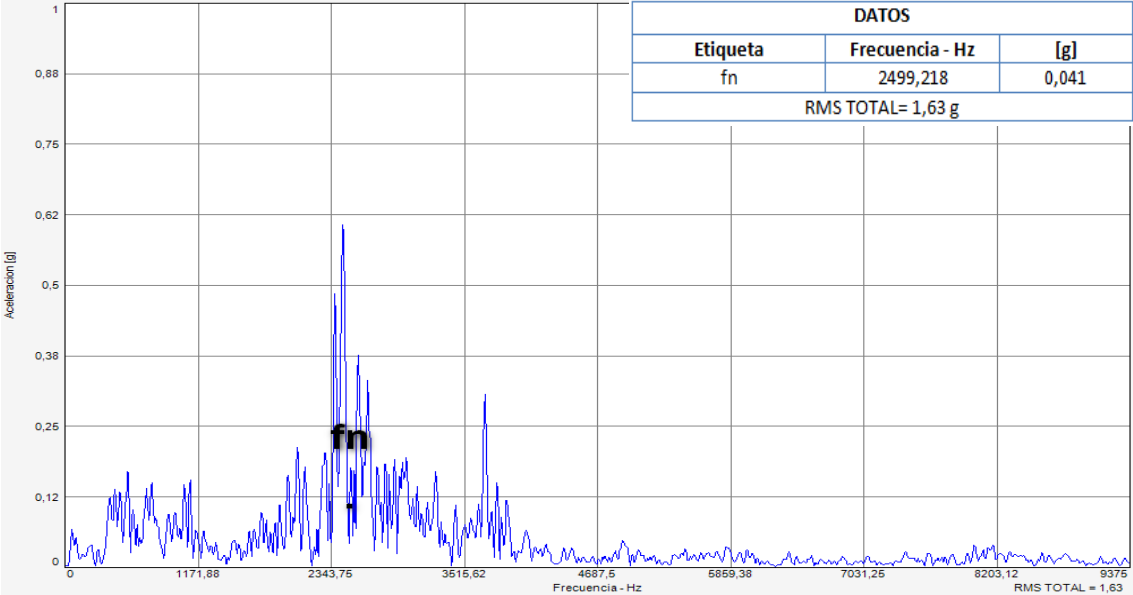
Fuente: Autores

Tabla 77. Reporte N° 022

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 022												
		Fecha: 12/06/2013												
		Área: Turbomaquinaria												
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Francis												
		Componente: Motor												
		Condición: Regular												
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez												
Punto de medición: Motor lado acoplado Vertical		Espectro de: Aceleración												
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - HZ</th> <th>[g]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fn</td> <td>2499,218</td> <td>0,198</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RMS TOTAL= 1,602 g</td> </tr> </tbody> </table> </div>			DATOS			Etiqueta	Frecuencia - HZ	[g]	fn	2499,218	0,198	RMS TOTAL= 1,602 g		
DATOS														
Etiqueta	Frecuencia - HZ	[g]												
fn	2499,218	0,198												
RMS TOTAL= 1,602 g														
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 1,602g siendo este valor similar con el valor máximo recomendado por IDEAR que es de 1,5g. Por la forma del espectro obtenido la carta de Charlotte nos indica que se encuentra en la segunda etapa de vida de uso del rodamiento debido a que se aparecen bandas laterales a más de 2000 Hz.</p>														
DIAGNÓSTICO <p>Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales de sus componentes (fn), dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento.</p>														
RECOMENDACIÓN <p>Reemplazar los rodamientos.</p>														


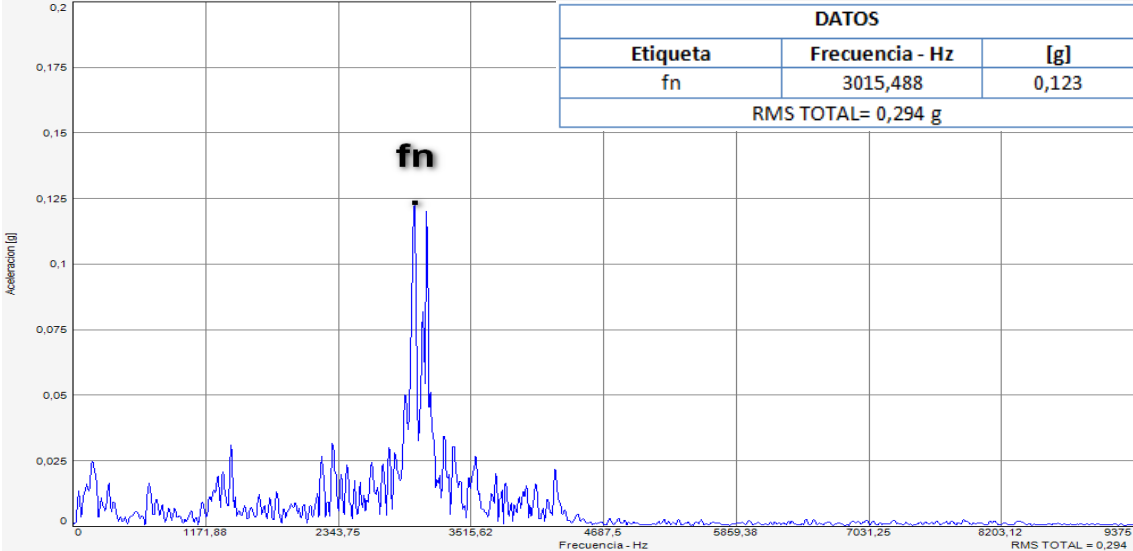
Fuente: Autores

Tabla 78. Reporte N° 023

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 023												
		Fecha: 12/06/2013												
		Área: Turbomaquinaria												
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Francis												
		Componente: Motor												
		Condición: Regular												
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez												
Punto de medición: Motor lado acoplado Horizontal		Espectro de: Aceleración												
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - Hz</th> <th>[g]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fn</td> <td>2499,218</td> <td>0,041</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RMS TOTAL= 1,63 g</td> </tr> </tbody> </table> </div>			DATOS			Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]	fn	2499,218	0,041	RMS TOTAL= 1,63 g		
DATOS														
Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]												
fn	2499,218	0,041												
RMS TOTAL= 1,63 g														
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 1,63g siendo este valor similar con el valor máximo recomendado por IDEAR que es de 1,5g. Por la forma del espectro obtenido la carta de Charlotte nos indica que se encuentra en la segunda etapa de vida de uso del rodamiento debido a que se aparecen bandas laterales a más de 2000 Hz.</p>														
DIAGNÓSTICO <p>Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales de sus componentes (fn), dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento.</p>														
RECOMENDACIÓN <p>Reemplazar los rodamientos.</p>														


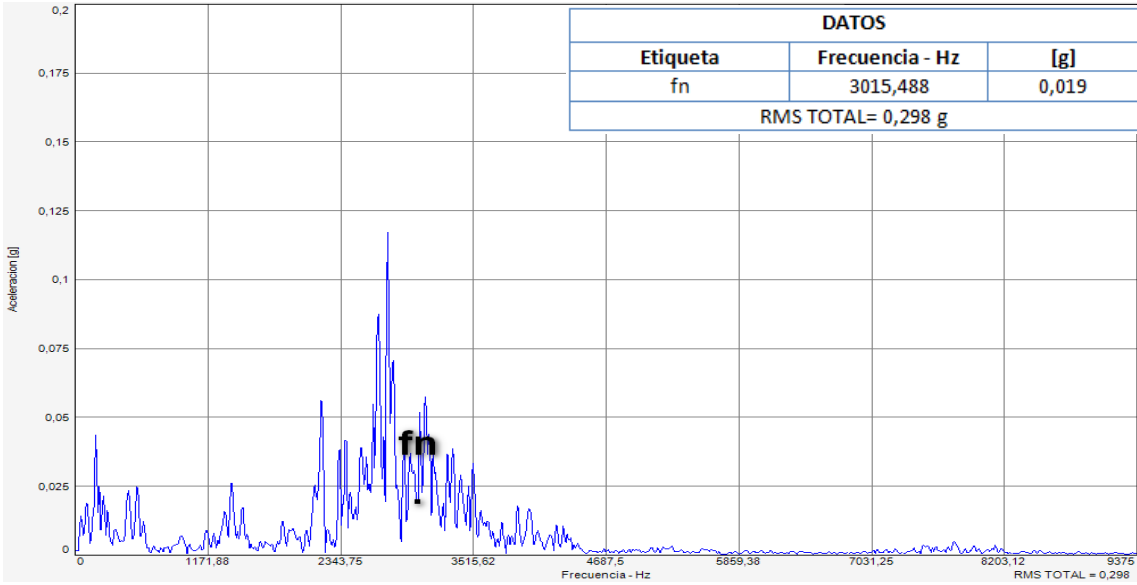
Fuente: Autores

Tabla 79. Reporte N° 024

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 024												
		Fecha: 12/06/2013												
		Área: Turbomaquinaria												
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan												
		Componente: Motor												
		Condición: Buena												
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez												
Punto de medición: Motor lado libre Vertical		Espectro de: Aceleración												
 <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - Hz</th> <th>[g]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fn</td> <td>3015,488</td> <td>0,123</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RMS TOTAL= 0,294 g</td> </tr> </tbody> </table>			DATOS			Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]	fn	3015,488	0,123	RMS TOTAL= 0,294 g		
DATOS														
Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]												
fn	3015,488	0,123												
RMS TOTAL= 0,294 g														
<p>ANÁLISIS</p> <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,294g siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por IDEAR que es de 1,5g. Por la forma del espectro obtenido la carta de Charlotte nos indica que se encuentra en la segunda etapa de vida de uso del rodamiento debido a que se aparecen bandas laterales a más de 2000 Hz.</p>														
<p>DIAGNOSTICO</p> <p>Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales de sus componentes (fn), dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento.</p>														
<p>RECOMENDACIÓN</p> <p>Planificar el cambio de rodamiento.</p>														


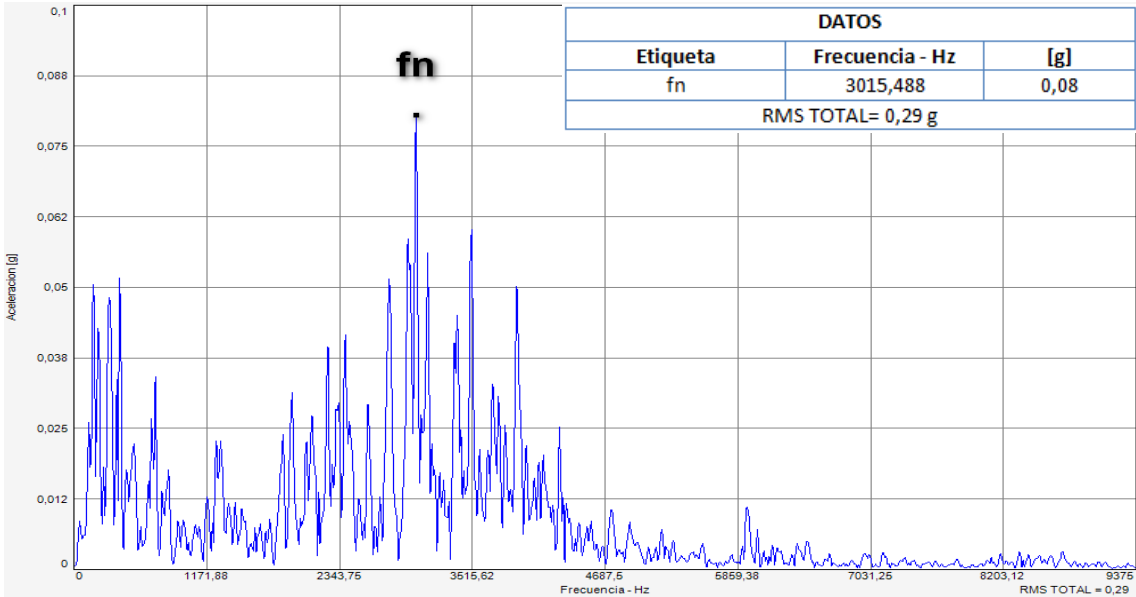
Fuente: Autores

Tabla 80. Reporte N° 025

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 025												
		Fecha: 12/06/2013												
		Área: Turbomaquinaria												
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan												
		Componente: Motor												
		Condición: Buena												
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez												
Punto de medición: Motor lado libre Horizontal		Espectro de: Aceleración												
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - Hz</th> <th>[g]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fn</td> <td>3015,488</td> <td>0,019</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RMS TOTAL= 0,298 g</td> </tr> </tbody> </table> </div>			DATOS			Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]	fn	3015,488	0,019	RMS TOTAL= 0,298 g		
DATOS														
Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]												
fn	3015,488	0,019												
RMS TOTAL= 0,298 g														
ANÁLISIS La vibración RMS Total registrada es de 0,298g siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por IDEAR que es de 1,5g. Por la forma del espectro obtenido la carta de Charlotte nos indica que se encuentra en la segunda etapa de vida de uso del rodamiento debido a que se aparecen bandas laterales a más de 2000 Hz.														
DIAGNÓSTICO Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales de sus componentes (fn), dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento.														
RECOMENDACIÓN Planificar el cambio de rodamiento.														


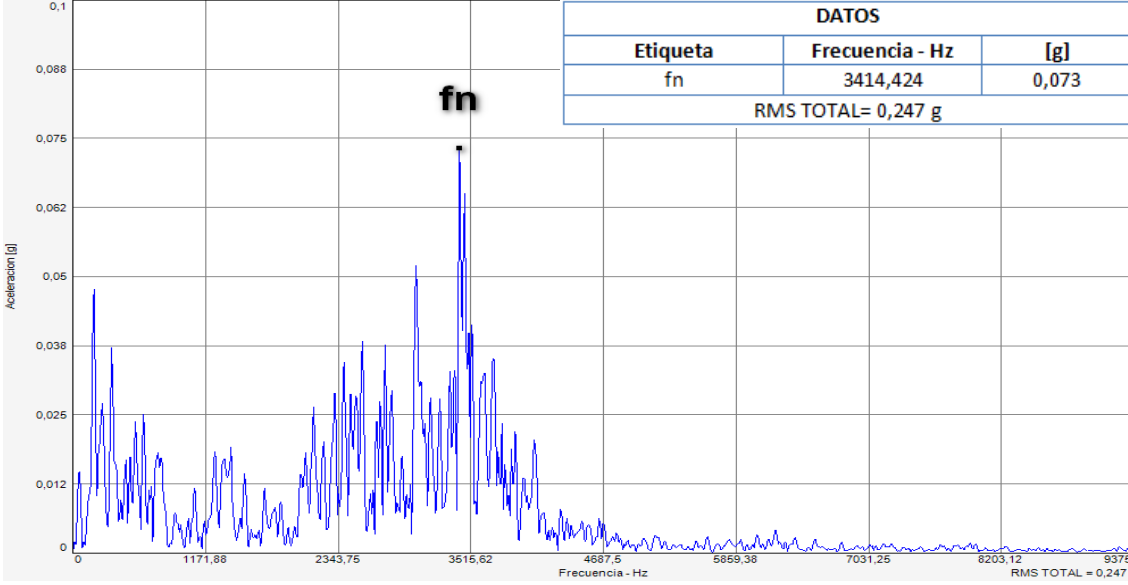
Fuente: Autores

Tabla 81. Reporte N° 026

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 026												
		Fecha: 12/06/2013												
		Área: Turbomaquinaria												
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan												
		Componente: Motor												
		Condición: Buena												
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez												
Punto de medición: Motor lado libre Axial		Espectro de: Aceleración												
 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - Hz</th> <th>[g]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fn</td> <td>3015,488</td> <td>0,08</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RMS TOTAL= 0,29 g</td> </tr> </tbody> </table>			DATOS			Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]	fn	3015,488	0,08	RMS TOTAL= 0,29 g		
DATOS														
Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]												
fn	3015,488	0,08												
RMS TOTAL= 0,29 g														
ANÁLISIS La vibración RMS Total registrada es de 0,29g siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por IDEAR que es de 1,5g. Por la forma del espectro obtenido la carta de Charlotte nos indica que se encuentra en la segunda etapa de vida de uso del rodamiento debido a que se aparecen bandas laterales a más de 2000 Hz.														
DIAGNÓSTICO Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales de sus componentes (fn), dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento.														
RECOMENDACIÓN Planificar el cambio de rodamiento.														


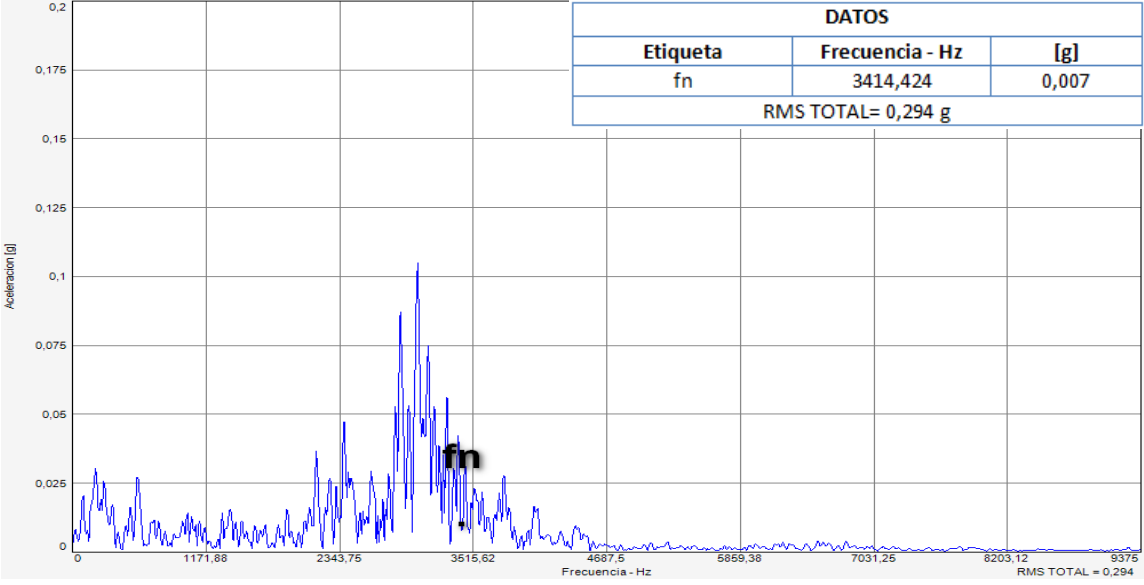
Fuente: Autores

Tabla 82. Reporte N° 027

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 027												
		Fecha: 12/06/2013												
		Área: Turbomaquinaria												
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan												
		Componente: Motor												
		Condición: Buena												
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez												
Punto de medición: Motor lado acoplado Vertical		Espectro de: Aceleración												
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - Hz</th> <th>[g]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fn</td> <td>3414,424</td> <td>0,073</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RMS TOTAL= 0,247 g</td> </tr> </tbody> </table> </div>			DATOS			Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]	fn	3414,424	0,073	RMS TOTAL= 0,247 g		
DATOS														
Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]												
fn	3414,424	0,073												
RMS TOTAL= 0,247 g														
ANÁLISIS La vibración RMS Total registrada es de 0,247g siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por IDEAR que es de 1,5g. Por la forma del espectro obtenido la carta de Charlotte nos indica que se encuentra en la segunda etapa de vida de uso del rodamiento debido a que se aparecen bandas laterales a más de 2000 Hz.														
DIAGNOSTICO Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales de sus componentes (fn), dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento.														
RECOMENDACIÓN Planificar el cambio de rodamiento.														

Fuente: Autores

Tabla 83. Reporte N° 028

	REPORTE DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	Reporte N°: 028												
		Fecha: 12/06/2013												
		Área: Turbomaquinaria												
		Equipo: Banco de prueba de la Turbina Kaplan												
		Componente: Motor												
		Condición: Buena												
Elaborado por: Denys Mendoza; Diego Miranda	Revisado por: Ing. Eduardo Hernández	Aprobado por: Ing. Marco Ordóñez												
Punto de medición: Motor lado acoplado Horizontal		Espectro de: Aceleración												
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS</th> </tr> <tr> <th>Etiqueta</th> <th>Frecuencia - Hz</th> <th>[g]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fn</td> <td>3414,424</td> <td>0,007</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">RMS TOTAL= 0,294 g</td> </tr> </tbody> </table> </div>			DATOS			Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]	fn	3414,424	0,007	RMS TOTAL= 0,294 g		
DATOS														
Etiqueta	Frecuencia - Hz	[g]												
fn	3414,424	0,007												
RMS TOTAL= 0,294 g														
ANÁLISIS <p>La vibración RMS Total registrada es de 0,294g siendo este inferior en comparación con el valor máximo recomendado por IDEAR que es de 1,5g. Por la forma del espectro obtenido la carta de Charlotte nos indica que se encuentra en la segunda etapa de vida de uso del rodamiento debido a que se aparecen bandas laterales a más de 2000 Hz.</p>														
DIAGNÓSTICO <p>Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales de sus componentes (fn), dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento.</p>														
RECOMENDACIÓN <p>Planificar el cambio de rodamiento.</p>														

Fuente: Autores

5.11 Resumen de las mediciones

Tabla 84. Resumen de las mediciones

Espectro de: Velocidad							
Equipo	Punto de medición	Nivel de vibración admisible según Norma ISO 10816-3	Vibración total obtenida RMS	Niveles de alarma mm/s		Temperatura del equipo en funcionamiento	Diagnóstico
				1	2		
Turbina Pelton	Motor lado libre H	2,8mm/s	0,676mm/s	1.80	2.70	54.3 °C	Aceptable
	Motor lado acoplado V	2,8mm/s	0,577mm/s				
	Motor lado acoplado H	2,8mm/s	0,805mm/s				
	Bomba H	2,8mm/s	0,739mm/s	3.60	5.40		Aceptable
	Bomba A	2,8mm/s	0,597mm/s				
Turbina Francis	Motor lado libre H	2,8mm/s	3,019mm/s	1.80	2.70	44.4 °C	No Aceptable
	Motor lado acoplado V	2,8mm/s	2,412mm/s				
	Motor lado acoplado H	2,8mm/s	2,725mm/s				
	Bomba H	2,8mm/s	2,364mm/s	3.60	5.40		Aceptable
	Bomba A	2,8mm/s	2,082mm/s				
Turbina Kaplan	Motor lado libre V	2,8mm/s	0,526mm/s	1.80	2.70	35.2 °C	Aceptable

Tabla 84. (Continuación)

	Motor lado libre H	2,8mm/s	0,897mm/s				
	Motor lado acoplado V	2,8mm/s	1,728mm/s				
	Motor lado acoplado V	2,8mm/s	0,523mm/s				
	Motor lado acoplado H	2,8mm/s	0,837mm/s				
	Bomba V	2,8mm/s	0,739mm/s	3.60	5.40		Aceptable
	Bomba H	2,8mm/s	0,71mm/s				
Espectro de : Aceleración							
Turbina Pelton	Motor lado libre H	1,5g	0,509g	g		54.3 °C	Aceptable
	Motor lado acoplado V	1,5g	0,435g	3	5		
	Motor lado acoplado H	1,5g	0,403g				
Turbina Francis	Motor lado libre H	1,5g	0,972g	3	5	44.4 °C	Aceptable
	Motor lado acoplado V	1,5g	1,602g				
	Motor lado acoplado H	1,5g	1,63g				
Turbina Kaplan	Motor lado libre V	1,5g	0,294g	3	5	35.2 °C	Aceptable
	Motor lado libre H	1,5g	0,298g				
	Motor lado acoplado V	1,5g	0,29g				
	Motor lado acoplado V	1,5g	0,247g				
	Motor lado acoplado H	1,5g					

Fuente: Autores

5.12 Comparación de resultados de frecuencia de falla de rodamientos

Para la comparación de las frecuencias de falla de los rodamientos, se tomaran datos del catálogo los cuales son multiplicados por las RPM del motor (revoluciones por minuto) y valores del software MAINTraq Predictive 2.1, para su comparación.

Las Frecuencias analizadas son las siguientes:

- Frecuencia de paso anillo interior
- Frecuencia de paso anillo exterior
- Frecuencia de paso elementos rodantes
- Velocidad de rotación del conjunto de elementos rodantes

Tabla 85. Comparación de resultados del rodamiento 6205

Equipo: Banco de prueba de la turbina Pelton		Componente: Motor	
Punto de medición: Motor lado libre H		RPM: 3480	
DATOS DE CATÁLOGO			
Denominación: 6205		Tipo: Sellados	
DATOS DE SOFTWARE			
Frecuencias básicas		Abreviación	Valor
Frecuencia de paso anillo interior		BPFI	5,4302 1/s
Frecuencia de paso anillo exterior		BPFO	3,5698 1/s
Frecuencia de paso elementos rodantes		BSF	2,3154 1/s
Velocidad de rotación del conjunto de elementos rodantes, para anillo interior giratoria		FTF _i	0,3956 1/s
DATOS DE SOFTWARE			
Frecuencias básicas		Abreviación	Valor
Frecuencia de paso anillo interior		BPFI	18885,95 cpm
Frecuencia de paso anillo exterior		BPFO	12434,04 cpm
Frecuencia de paso elementos rodantes		BSF	8091 cpm
Frecuencia de paso de la jaula		FTF	1381,56 cpm
CÁLCULO			
Formula	Valor Calculado (cpm)	Valor Software (cpm)	
$BPFI_c \times RPM = BPFI_s$	18897,096	18885,95	
$BPFO_c \times RPM = BPFO_s$	12442,904	12434,04	
$BSF_c \times RPM = BSF_s$	8057,592	8091	
$FTF_{i_c} \times RPM = FTF_s$	1376,688	1381,56	

Fuente: Autores

Tabla 86. Comparación de resultados del rodamiento 6206

Equipo: Banco de prueba de la turbina Pelton		Componente: Motor	
Punto de medición: Motor lado acoplado H		RPM: 3480	
DATOS DE CATÁLOGO			
Denominación: 6206		Tipo: Sellados	
DATOS DE SOFTWARE			
Frecuencias básicas		Abreviación	
Valor			
Frecuencia de paso anillo interior	BPFI	5,4318 1/s	
Frecuencia de paso anillo exterior	BPFO	3,5682 1/s	
Frecuencia de paso elementos rodantes	BSF	2,3112 1/s	
Velocidad de rotación del conjunto de elementos rodantes, para anillo interior giratoria	FTF _i	0,3966 1/s	
DATOS DE SOFTWARE			
Frecuencias básicas		Abreviación	
Valor			
Frecuencia de paso anillo interior	BPFI	18903,36 cpm	
Frecuencia de paso anillo exterior	BPFO	12416,64 cpm	
Frecuencia de paso elementos rodantes	BSF	8042,28 cpm	
Frecuencia de paso de la jaula	FTF	1378,08 cpm	
CÁLCULO			
Formula		Valor Calculado (cpm)	
		Valor Software (cpm)	
$BPFI_c \times RPM = BPFI_s$		18902,664	18903,36
$BPFO_c \times RPM = BPFO_s$		12417,684	12416,64
$BSF_c \times RPM = BSF_s$		8042,976	8042,28
$FTF_{i_c} \times RPM = FTF_s$		1380,168	1378,08

Fuente: Autores






5.13 Estadística de los resultados obtenidos

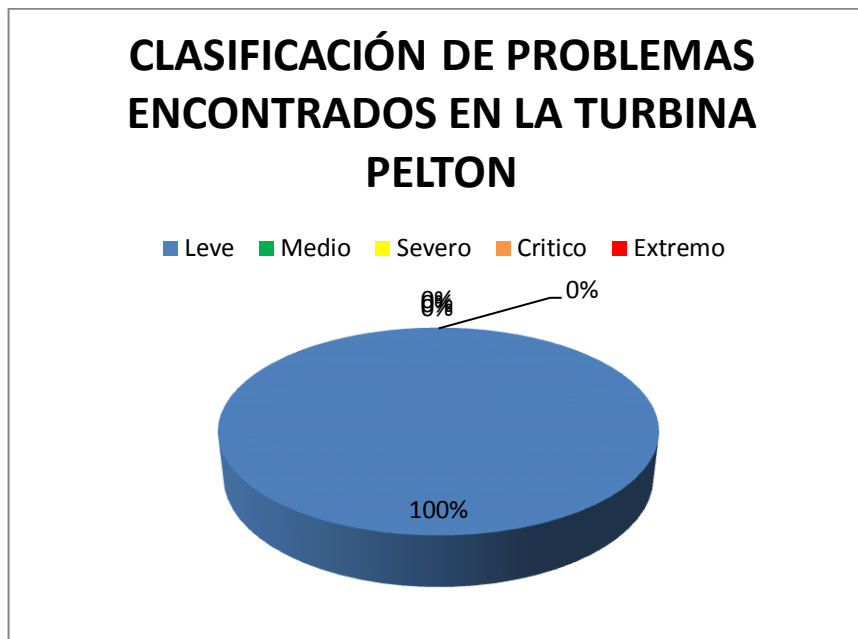
5.13.1 Banco de pruebas de la turbina Pelton

Tabla 87. Número de problemas encontrados en la turbina Pelton

COMPONENTE	NÚMERO DE PROBLEMAS ENCONTRADOS					PROBLEMAS TOTALES
	Extremo	Crítico	Severo	Medio	Leve	
Motor	0	0	0	0	3	3
Bomba	0	0	0	0	2	2
Total	0	0	0	0	5	5

CLASIFICACIÓN

Leve	5	
Medio	0	
Severo	0	
Crítico	0	
Extremo	0	
Total	5	








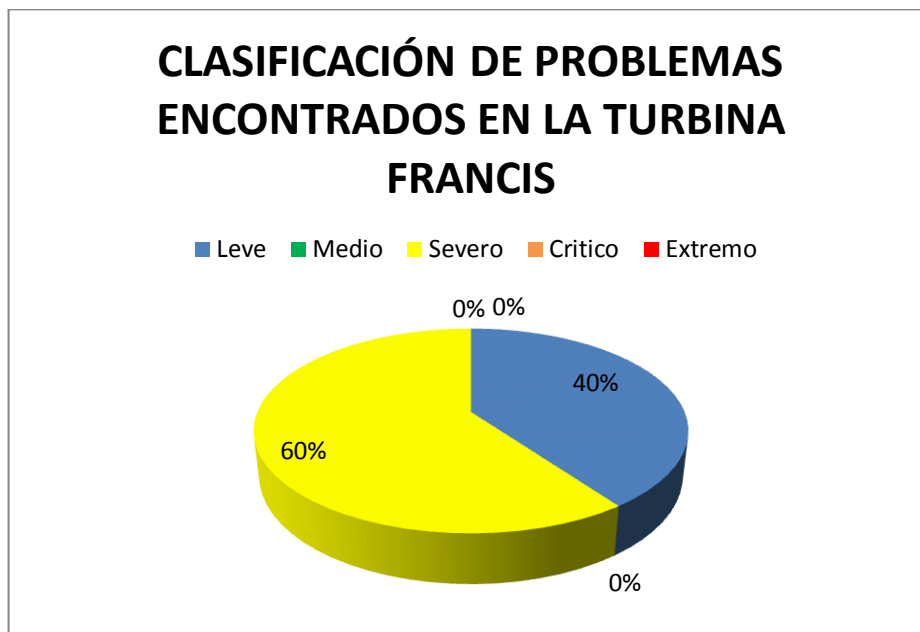
5.13.1 Banco de pruebas de la turbina Francis

Tabla 88. Número de problemas encontrados en la turbina Francis

COMPONENTE	NÚMERO DE PROBLEMAS ENCONTRADOS					PROBLEMAS TOTALES
	Extremo	Crítico	Severo	Medio	Leve	
Motor	0	0	3	0	0	3
Bomba	0	0	0	0	2	2
Total	0	0	3	0	2	5

CLASIFICACIÓN

Leve	2	
Medio	0	
Severo	3	
Crítico	0	
Extremo	0	
Total	5	








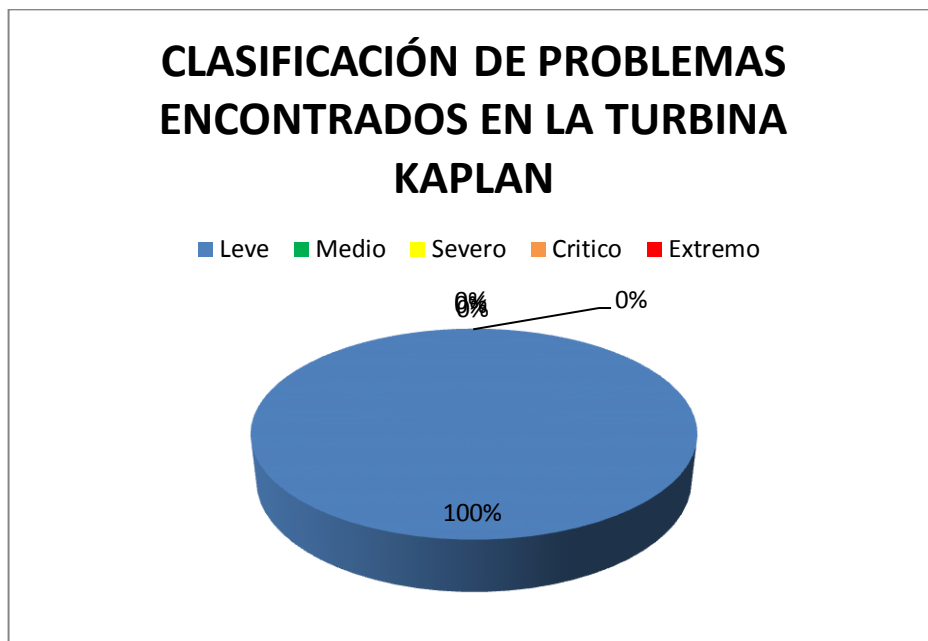
5.13.1 Banco de pruebas de la turbina Kaplan

Tabla 89. Número de problemas encontrados en la turbina Kaplan

COMPONENTE	NÚMERO DE PROBLEMAS ENCONTRADOS					PROBLEMAS TOTALES
	Extremo	Crítico	Severo	Medio	Leve	
Motor	0	0	0	0	3	3
Bomba	0	0	0	0	2	2
Total	0	0	0	0	5	5

CLASIFICACIÓN

Leve	5	
Medio	0	
Severo	0	
Crítico	0	
Extremo	0	
Total	5	



5.14 Comparación del estado técnico con el estado de la condición

Para la comparación utilizamos los resultados que nos arrojaron las tablas del estado técnico de los equipos analizados con el diagnóstico de análisis vibracional que se realizó con el equipo Vibracheck 200.

Tabla 90. Comparación del estado técnico con el estado de la condición

EQUIPO	RESULTADOS		COMENTARIO
	ESTADO TÉCNICO	ESTADO CONDICIÓN	
Turbina Pelton	Bueno	Bueno	En el estado técnico tenemos un porcentaje de 90% se encuentra en el rango de (90-100)% por lo que el equipo está en un estado bueno de funcionamiento, mientras tanto en el diagnóstico de análisis de vibraciones encontramos 5 problemas leves, por lo que el equipo una vez analizado también se encuentra en un estado bueno de funcionamiento.
Turbina Francis	Regular	Malo	En el estado técnico tenemos un porcentaje de 87.50% se encuentra en el rango de (75-89) % por lo que el equipo está en un estado regular de funcionamiento, mientras tanto en el diagnóstico de análisis de vibraciones encontramos 3 problemas severos de rodamiento desalineado y 1 problema leve, por lo que el equipo una vez analizado se determinó se encuentra en un estado malo de funcionamiento.

Tabla 90. (Continuación)

<p>Turbina Kaplan</p>	<p>Bueno</p>	<p>Bueno</p>	<p>En el estado técnico tenemos un porcentaje de 92.50% se encuentra en el rango de (90-100)% por lo que el equipo está en un estado bueno de funcionamiento, mientras tanto en el diagnóstico de análisis de vibraciones encontramos 5 problemas leves, por lo que el equipo una vez analizado también se encuentra en un estado bueno de funcionamiento.</p>
<p>Turbina Francis 2</p>	<p>Malo</p>	<p>Malo</p>	<p>En el estado técnico tenemos un porcentaje de 62.50% se encuentra en el rango de (50-74) % por lo que el equipo está en un estado malo de funcionamiento, mientras tanto en el diagnóstico de análisis de vibraciones el cual no se pudo realizar debido a que el sistema eléctrico del equipo está en muy malas condiciones de funcionamiento, así mismo la cimentación y anclajes del equipo, por lo que claramente podemos apreciar que se encuentra en un estado malo de funcionamiento.</p>

Podemos observar que de los cuatro equipos analizados tres de ellos coincide el estado técnico con el estado de la condición, mientras que en el banco de pruebas de la turbina Francis, se encontró un severo problema de rodamiento desalineado.

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Al analizar el estado técnico de los equipos se pudo determinar que debido al deficiente control de mantenimiento, los motores y la bombas del banco de pruebas de la turbina Pelton, Francis y Kaplan se encuentran operando de manera regular, mientras que los motores y bombas de la turbina Francis 2 son las más afectadas ya que se encuentra en un estado malo.

Se diseñó y elaboro las fichas técnicas de cada uno de los equipos en donde se detallan los datos, fecha de adquisición, costo y características de funcionamiento. Así mismo las rutas de medición con la ubicación correcta de los puntos a ser medidos.

Se determinaron las tareas predictivas necesarias que se deben realizar para cada modo de falla de los equipos analizados, estas tareas son ubicadas en el manual de mantenimiento proactivo donde se detalla los procedimientos que se deben seguir.

Se determinó que la frecuencia óptima de monitoreo para realizar análisis vibracional y las demás técnicas predictivas, deben ser ejecutadas semestralmente debido a que son equipos operados intermitentemente.

Medimos los niveles de vibración existentes en espectro de velocidad, los mismos que analizando se llegó a la conclusión de que el banco de pruebas de la turbina Francis se encuentra con una falla de rodamiento desalineado, mientras que los bancos de pruebas Pelton y Kaplan se encuentran funcionando dentro de los parámetros aceptables de vibración.

Se analizó los niveles de vibración existentes en el espectro de aceleración en donde se puede detectar fallas de rodamientos, llegando a la conclusión de que se requiere realizar un cambio de rodamientos debido a que la grasa ha cumplido su vida útil de todos los equipos analizados.

Se elaboró un plan de mantenimiento predictivo y manual de mantenimiento proactivo, que permitirá aumentar la confiabilidad operacional logrando predecir con tiempo las fallas que pudiesen presentarse.

De todos los equipos analizados tres de ellos coincidieron el estado técnico con el estado de la condición, encontrando que en el banco de pruebas de la turbina Francis tiene un severo problema de rodamiento desalineado, de igual forma se determinó que todos los rodamientos de los equipos deben ser cambiados, debido a que desde su adquisición no han sido remplazados y el lubricante de estos (grasa) está en desuso.

6.1 Recomendaciones

Aplicar el plan de mantenimiento descrito en este estudio para prolongar el tiempo de vida útil de los motores y bombas de los bancos de pruebas.

Conformar un grupo de trabajo encabezado por el responsable del laboratorio y demás responsables del mismo con la finalidad de centrar esfuerzos en la detección e identificación de posibles fallas, utilizando las técnicas de mantenimiento predictivas antes mencionadas.

Contar con historiales de averías, tiempos de buen funcionamiento, así como tiempo entre fallas, de los componentes y equipos de los bancos de pruebas, para determinar de manera acertada las frecuencias de revisión e inspección en lo posterior.

Realizar un adecuado mantenimiento preventivo a los equipos del laboratorio, así como una correcta aplicación del plan de mantenimiento predictivo y el manual de mantenimiento proactivo para mantener los equipos en buen estado

de funcionamiento con el fin de prestar un servicio de calidad que cumplan con las expectativas de la institución.

Recomendar debido a la importancia que tiene la Gestión de Mantenimiento que todos los laboratorios de la ESPOCH exista un jefe de mantenimiento el cual se encargue de la administración, organización, planificación, y control de los servicios de mantenimiento.

Realizar vinculación con la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento para la prestación de asesoramiento de planes de mantenimientos y monitorización de los equipos de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

BIBLIOGRAFÍA

A-MAQ S.A. 2005. *Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico.* México : A-Maq S.A, 2005.

GLENN, White. *Introducción al análisis de vibraciones.* Alemania : DLI Engineering Corp, 2003.

JUAREZ, Henry. *Análisis de criticidad.* México : Limusa, 2007.

MOROCHO, Manuel. *Análisis de vibraciones y alineamiento laser.* Riobamba : Docucentro, 2003.

PALOMINO, Evelio. *Elementos de medición y análisis de vibraciones en máquinas rotatorias.* Cuba : Ceim, 2000.

RIOS, Jesus. *Análisis de modo y efecto de falla.* [En línea] 2005. [Citado el: 28 de Agosto de 2005.] <http://www.slideshare.net/jesusriosdragom/amef-18134214>

SANCHEZ, Francisco. *Programa de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones.* [En línea] 2005. [Citado el: 25 de Enero de 2005.] http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/analisis_de_vibraciones_en Equipos_cri_ticos_de_la_industria_azucarera.pdf

SINGIRESUS, Rao. *Vibraciones mecánicas.* México : Pearson, 2011.

TORRES, Fernando. *Análisis de vibraciones e interpretación de datos.* España : DIDYF, 2008.

WOLFSON, Richard. *Fundamentos de física II.* Alemania : Pasajes, 2010.