

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO DE EQUIPOS ROTATIVOS BASADO EN EL
ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN UNA PLANTA
EMBOTELLADORA”.**

**Realizado por:
Alberto Enrique López Lovera**

**Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como
requisito parcial para optar al título de:**

INGENIERO MECÁNICO

Puerto La Cruz, de 2009

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
DE EQUIPOS ROTATIVOS BASADO EN EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES
EN UNA PLANTA EMBOTELLADORA”.**

ASESORES

Prof.: Carmen García

Ing. Ángel Sotillo

Puerto La Cruz, de 2009

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO DE EQUIPOS ROTATIVOS BASADO EN EL
ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN UNA PLANTA
EMBOTELLADORA”.**

El jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

EXCELENTE

Prof.: Carmen García

Prof.: Carlos Gomes

Prof.: Delia Villarroel

Puerto La Cruz, de 2009

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 44 del Reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien le participará al Consejo Universitario”.

DEDICATORIA

A **Dios y a mi San Nazareno** quien siempre me cuidó y me llenó de Salud para poder lograr y alcanzar mis sueños y mis metas.

A mi **MAMÁ Eve María Lovera** y a mi **PAPÁ Pedro Enrique López** quienes con su esfuerzo y dedicación, en las buenas y en las malas me dieron su apoyo y amor para salir adelante, quiero que sepan que para mi son los mejores de este mundo, gracias por ser como son. En mis recuerdos siempre estarán todos esos momentos hermosos que vivimos juntos. Decirles que los Amo con toda mi alma sería muy poco para expresar lo que yo siento por ustedes...

A mi **ABUELA Eve del Carmen Reyes (Naná)** y a mi **Tía Indira Lovera** quienes son mis dos grandes Amores, las madres que no me llevaron en su vientre. No tengo espacio para decirles el amor que siento por ustedes...

A mis **HERMANOS Pedro Alberto López y María Fernanda López**, ustedes son mi todo hermanos, espero siempre seamos uno solo.

A mi **ABUELO Pedro Rafael López (Papeyo)** en donde quiera que esté, sepa lo mucho que lo quiero.



AGRADECIMIENTOS

Nuevamente a Dios y a mi San Nazareno por darme Salud.

A Mis Padres, **Pedro Enrique López Boschetti** y **Eves Maria Lovera Reyes**, ustedes fueron un pilar fundamental para alcanzar esta meta, los Amo.

A mi Abuela, **Eve Reyes** (Naná) por siempre estar pendiente de mi y darme todo ese Amor y Cariño tu eres algo muy grande para mi Naná.

A mis Tíos, **Indira Lovera** y **Luís Felipe Leal** por darme ese amor paterno. Siempre me hicieron sentir como su hijo mayor.

A mis Hermanos, Pedro Alberto López y Maria Fernanda López por ser tan comprensivos y siempre estar ahí cuando mas lo he necesitado.

A mi Tío, **Jesús Guillermo** (Goyo) quien tiene un corazón que no cabe dentro de él. Y que tanto a mi como a todos los sobrinos nos brindó un cariño incondicional. Tío, ni los mejores regalos del mundo valdría mas que ese cariño y esos consejos que siempre me diste.

A mis Primos, **Pedro E. Leal, Paola A. Leal, Carlos G. Lovera, Gabriel A. Lovera, Cesar Vargas**, gracias por todo el cariño que siempre me dieron primos los quiero.

A **Cesar Gutiérrez**, mi primo y hermano mayor quien desde niño me ha brindado su cariño tanto a mi como a mis hermanos de verdad primo gracias por ser como eres fuiste siempre un ejemplo para mi.

A Mi Tío, **Rodolfo Alberto López** por brindarme sus consejos y ese cariño desde siempre.

A mi Tía, **Eglee Betancourt** en donde quiera que esté sepa lo que agradezco su enseñanza.

A mi Novia, **Maria A. Guzmán** quien siempre con su amor y cariño me apoyó y me ayudó a en los momentos mas difíciles, Te Amo.

A mis Tíos, **José G. López, Pedro C. López, Juan C. Lovera, Tahillín Lovera.**

A mis Amigos y Amigas: **Robinson Arreaza, Gualberto Pérez, Juan Panesso, Anderson López, Carlos Franco, Carlos Salazar, Gianni Bettelli, Mariedby Villarroel, Ira Bello, Maria C. Guzmán, Ramón González, a la Familia Pacheco, Melina Pirrone.**

A mi Asesora, Profesora y Amiga **Carmen García** quién con su paciencia, sabiduría y consejos me guió para poder culminar esta meta, de verdad no se imagina mi agradecimiento profe.

A **Pedro A. Bermúdez**, mi pana y hermano con quien en todo momento conté, en las buenas y en las malas de verdad gracias.

A **Angel Sotillo**, por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en su equipo y brindarme esa gran confianza, de verdad muchas gracias Pana.

A mis compañeros y amigos de Pepsi-Cola, **Zoraya Díaz, Leudys Castellanos, Milagros Scalisi, Leidys Gonzalez, Jesús Zurita, Egar Almera, Pablo Yezzi**, por los conocimientos y el enorme apoyo brindado.

A **José L. Quiñones**, que desde el inicio de mi carrera me aconsejó como un padre y me brindó su apoyo.

Alberto E. López L

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la implementación de un plan de mantenimiento predictivo de equipos rotativos basado en análisis de vibraciones en una planta Embotelladora ubicada en Barcelona. Para el cumplimiento de tal fin, se realizó la observación de los procesos de la planta, se elaboraron fichas técnicas de cada uno de los equipos sometidos al estudio vibracional, se determinaron los puntos de medición, se definieron las rutas en que serán realizadas las mediciones, se establecieron los niveles de alarma y pre-alarma de los equipos basado en normas o en recomendaciones de los fabricantes, se formularon planes de mantenimiento y se propusieron técnicas predictivas o herramientas complementarias que apoyen el mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones. Gracias al cumplimiento de los objetivos se logró: levantar información técnica de cada uno de los equipos rotativos susceptibles al análisis de vibración, determinar cuáles equipos presentaban niveles elevados de vibración, planificar desmontajes y revisiones a los equipos para prevenir la ocurrencia de fallas inesperadas, identificar por medio de desmontaje e inspección visual la causa de los niveles de alarma obtenidos en ciertos equipos, determinar y recomendar las técnicas predictivas aplicables en la planta para complemento del análisis de vibraciones.

ÍNDICE

	<i>Pág.</i>
RESOLUCIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	vii
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	19
1.1 INTRODUCCIÓN	19
1.2 PEPSI-COLA DE VENEZUELA, C.A. (PLANTA BARCELONA) .	20
1.3 Planteamiento Del Problema.....	21
1.3 Objetivos	23
1.3.1 General:.....	23
1.3.1 Específicos	23
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	24
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
2.2 MANTENIMIENTO	25
2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO	25
2.3.1 Mantenimiento Correctivo.....	25
2.3.2 Mantenimiento Preventivo	26
2.3.3 Mantenimiento Predictivo	26
2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE VIBRACIONES APLICADO AL MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS	27
2.5 PASOS PARA LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES MECÁNICAS	28
2.6 VIBRACIONES MECÁNICAS	30
2.7 ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES A TRAVÉS DE NIVELES GLOBALES DE VIBRACIÓN	35

2.7.1 Nivel de Vibración “Overall”	35
2.8 CRITERIOS DE SEVERIDAD	36
2.9 MEDIDOR DE VIBRACIONES OVERALL VIBRATION PEN PLUS	
SKF	37
2.9.1 Funcionamiento del VIBRATION PEN PLUS:	39
2.9.2 Instrucciones de funcionamiento:	39
2.9.3 Recomendaciones para Realizar las Mediciones	39
2.10 DEFECTOS MÁS COMUNES EN MÁQUINAS.....	40
2.10.1 Desbalance.....	40
2.10.2 Desalineación	41
2.10.3 Excentricidad	41
2.10.4 Holgura Mecánica.....	42
2.10.5 Rodamientos Defectuosos.....	42
2.10.6 Rodamientos de Chumacera Defectuosos	45
2.10.7 Problemas Eléctricos	47
2.10.8 Defectos en Transmisiones por Poleas y Correas.....	47
2.10.9 Pedestal “Cojo”	48
2.10.10 Vibraciones en Engranajes.....	48
2.10.11 Vibraciones por Fuerzas Hidráulicas y Aerodinámicas.....	49
2.11 OTRAS TÉCNICAS PREDICTIVAS UTILIZADAS	49
2.11.1 Termografía	49
2.11.2 Análisis de Lubricantes.....	51
2.11.3 Medición de Espesores por Ultrasonido	53
2.12 Contexto Operacional de los Equipos de Planta.....	56
2.12.1 Área de Elaboración o Salas de Jarabe.....	57
2.12.2 Servicios de Planta	58
2.12.2 Línea 4: Línea de Envasado de Botellas Retornables (350ml	
y 266ml)	59
2.12.4 Línea 5: Línea de Envasado de PET	64

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	68
3.1 Recopilación Bibliográfica	68
3.2 Observación del Proceso Productivo	69
3.3 Selección de los Equipos Rotativos que Podrán ser Incluidos al Análisis de Vibración	69
3.4 Creación de Fichas con Información Técnica de los Equipos.....	73
3.5 Determinación de los Puntos de Medición	75
3.6 Definición de las Rutas en que se van a Recolectar los Niveles Vibracionales en los Equipos	80
3.7 Establecimiento de los Niveles de Alarma y Pre-Alarma de cada uno de los Equipos.....	87
3.8 Determinación de la Frecuencia de Monitoreo de los Equipos de Rotativos de la Planta:	88
3.8.1 Nivel de Vibración y su variación.....	89
3.8.2 Recomendaciones realizadas por el Personal de Mantenimiento	89
3.9 Formulación de un Plan de Mantenimiento Predictivo Basado en Análisis de Vibraciones	89
3.9.1 Formatos para el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones.....	90
3.9.2 Formatos para el Registro Histórico de las Vibraciones en los Equipos	92
3.9.3 Generación de Gráficas de Tendencia de los Puntos de Medición en Cada una de las Direcciones en las que Fueron Tomados los Niveles Vibracionales.....	94
3.10 Técnicas Predictivas como Complemento al Análisis de Vibraciones.....	95
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	96

4.1 Resultados más Relevantes de los Equipos Sometidos al Análisis de Vibración	96
4.1.1 Conjunto Motor – Bomba del Calentador de Placas (CICAL-B01):	96
4.1.2 Conjunto Motor – Bomba del Tanque Buffer o de Almacenamiento de Jarabe Simple (TBUF-B01):.....	100
4.1.3 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Agua Helada para Acondicionamiento de Aire de las Salas (REFRI-AH-B02).....	104
4.1.4 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Agua Helada para la Sopladora (REFRISOP-B01):	107
4.1.5 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Agua Helada de la Sopladora (REFRISOP-B02):	110
4.1.6 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Recirculación del Tanque #6 en la Lavadora de Botellas de Línea #4 (LAV-B01):.....	113
4.1.7 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Recirculación del Tanque #5 en la Lavadora de Botellas de la Línea #4 (LAV-B02):.....	115
4.1.8 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Enfriamiento de los Compresores (TECOM – B02):.....	116
4.1.9 Conjunto Motor – Bomba de Rociadores de la Lavadora de Gaveras (LAVG-B01):.....	117
4.2 Procedimiento para Solventar la Superioridad de los Valores Medidos a los Niveles de Alarma Establecidos.....	119
4.3 Equipos Susceptibles a la Aplicación de Otras Técnicas Predictivas.....	119
4.3.1 Compresores Alternativos de Aire (ABC)	119
4.3.2 Recipientes de almacenamiento de Aire Comprimido (Pulmones) en el Área de Servicios.....	121
4.3.3 Llenadora y Tapadora de la Línea 4 (Botella de Vidrio Retornable).....	122

4.3.4 Llenadora, Lavadora y Tapadora Línea 5.....	123
4.3.5 Filtros de Carbón en el Área de Servicios:	124
CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES.....	127
BIBLIOGRAFÍA.....	128
APÉNDICE A: Fichas Técnicas y Planes de Mantenimiento	¡Error!

Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1.1: Ubicación de Pepsi-Cola de Venezuela C.A. (Planta Barcelona).....	16
Figura 2.1: Representación gráfica de una señal vibratoria en función del tiempo.....	33
Figura 2.2: Representación gráfica de una señal vibratoria después de ser transformada a través de la FFT en dominio en la frecuencia.....	33
Figura 2.3: Nivel Total de un Espectro.....	37
Figura 2.4: Medidor de Vibraciones Vibration Pen Plus de SKF.....	39
Figura 2.5: Remolino de Aceite en chumaceras.....	47
Figura 2.6: Pistola de medición de temperatura y ejemplos de imágenes de distribución de Temperatura.....	51
Figura 2.7: Principios de Funcionamiento del Ultrasonido.....	56
Figura 2.8: Proceso de Embotellado de la Línea 4.....	61
Figura 2.9: Desembaladora.....	62
Figura 2.10: Lavadora de Botellas.....	63
Figura 2.11: Embaladora.....	64
Figura 2.12: Proceso de Embotellado de la Línea 5.....	66
Figura 2.13: Lavadora, Llenadora y Tapadora.....	67
Figura 3.1: Formato de las Fichas Técnicas para los equipos rotativos de la planta incluidos en el análisis de vibraciones.....	76
Figura 3.2: Diagrama esquemático del motor y reductor de velocidad principal de la Lavadora de Botellas (LAV-M01).....	78

Figura 3.3: Puntos de Medición en las bombas sin acople (Monobloc) utilizadas en diversos sistemas en la planta.....	79
Figura 3.4: Puntos de Medición del conjunto motor-reductor principal de la Lavadora de Botellas.....	79
Figura 3.5: Puntos de Medición del motor con transmisión por correa ubicado en el compresor de alta en el área de Servicios.....	80
Figura 3.6: Puntos de Medición en las bombas con acople al motor.....	80
Figura 3.7: Puntos de Medición en las bombas centrífugas configuradas verticalmente.....	80
Figura 3.8: Diagrama esquemático del conjunto Motor-Reductor de la Embaladora y Desembaladora.....	81
Figura 3.9: Diagrama esquemático del Conjunto Motor – Reductor de los motores de las Vías Transportadoras de Botellas y Cajas de Línea 5..	81
Figura 3.10: Diagrama representativo de la planta embotelladora, indicando en que orden se va a realizar el recorrido en el recinto.....	83
Figura 3.11: Diagrama representativo de la Sala de Jarabe Simple en donde se indica con números la ruta a seguir para el monitoreo de los equipos en el área.....	84
Figura 3.12: Diagrama representativo de la Sala de Jarabe Terminado en donde se indica con números la ruta a seguir para el monitoreo.....	85
Figura 3.13: Diagrama representativo de la Línea 5 en donde se indica con números la ruta a seguir para el monitoreo de los equipos en el área.....	86
Figura 3.14: Diagrama representativo de la Línea 4 en donde se indica con números la ruta a seguir para el monitoreo de los equipos en el área.....	87

Figura 3.15: Diagrama representativo del Área de Servicios en donde se indica con números la ruta a seguir para el monitoreo de los equipos en el área.....	88
Figura 3.16: Criterios de Severidad de las vibraciones acordes con la Norma ISO-2372.....	91
Figura 3.17: Formato de los planes de Mantenimiento Predictivo por monitoreo de Vibraciones.	95
Figura 3.18: Formato para el control y registro del monitoreo de vibraciones realizado a los equipos.....	97
Figura 3.19: Ejemplo de Gráfico de tendencia de las vibraciones en los equipos en unidades de velocidad.	98
Figura 3.20: Ejemplo de Gráfico de tendencia de las vibraciones en los equipos en unidades de aceleración.....	99
Figura 4.1: Rodamiento del lado motriz del motor.....	103
Figura 4.2: Rodamiento lado no motriz del motor.....	103
Figura 4.3: Muestra de huella por el roce del rotor en el lado motriz del motor.....	104
Figura 4.4: Lado motriz de la bomba con restos de jarabe simple solidificado (azúcar) fuente de desgaste en los componentes mecánicos.....	107
Figura 4.5: a) Estado del Rodamiento del lado motriz del conjunto motor – bomba del tanque buffer al retirarlo del motor, b) Rodamiento del lado motriz del conjunto motor – bomba del tanque buffer sin la tapa selladora.....	107
Figura 4.6: Pista Interior, Jaula y Bolas del rodamiento de la bancada del equipo (REFRI-AH-B01).....	110
Figura 4.7: Método utilizado para alinear los ejes en la planta.....	112

Figura 4.8: Camisa del eje de la bomba.....	114
Figura 4.9: Huella de desgaste no uniforme en la cara rotativa del sello.....	114
Figura 4.10: Pista externa del rodamiento de la bancada de la bomba.....	118
Figura 4.11: Tapa del Depósito de Aceite o Carter donde se debe obtener la muestra.....	126
Figura 4.12: Recipiente de Almacenamiento de Aire o Pulmón.....	127
Figura 4.13: Reductor de la Tapadora de Botellas.....	128
Figura 4.14: Reductor Principal de la Llenadora.....	129
Figura 4.15: Reductor de Velocidad del Manejo del Rinser.....	129
Figura 4.16: Filtros de Carbón en el área de Servicios.....	130

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1: Equipos Incluidos en el Análisis de Vibración.....	71
Tabla 3.2: Velocidades y número de dientes en el motor-reductor principal de la lavadora de botellas (LAV-M01).....	78
Tabla 3.3: Orden cronológico en el que se van a recorrer las áreas y se van a medir los equipos rotativos en cada una de ellas.....	89
Tabla 4.1: Medición de las Vibraciones del Conjunto Motor – Bomba del Calentador de Placas (CICAL-B01).	102
Tabla 4.2: Tercera Medición del Nivel de las Vibraciones del Conjunto Motor-Bomba del Calentador de Placas (CICAL-B01) después de Realizarle las Actividades Correctivas.....	104
Tabla 4.3: Medición de las vibraciones del conjunto Motor – Bomba del Tanque Buffer (TBUF-B01).....	106
Tabla 4.4: Tercera Medición del Nivel de las vibraciones del equipo (TBUF-B01) posterior a las actividades correctivas.....	108
Tabla 4.5: Primera Medición de las Vibraciones del Conjunto Motor – Bomba (REFRI-AH-B02).....	110
Tabla 4.6: Medición de las vibraciones del conjunto Motor – Bomba (REFRI-AH-B02) posterior a las actividades correctivas.....	111
Tabla 4.7: Primera Medición de las vibraciones del conjunto Motor – Bomba (REFRISOP-B01).....	113
Tabla 4.8: Segunda Medición de las Vibraciones del Conjunto Motor – Bomba (REFRISOP-B01) Posterior a las Actividades Correctivas.....	115
Tabla 4.9: Primera y Segunda Medición Realizada al Conjunto Motor – Bomba (REFRISOP-B01).....	117

Tabla 4.10: Tercera Medición realizada al conjunto Motor – Bomba (REFRISOP-B01) posterior a las actividades correctivas.....	119
Tabla 4.11: Primera y Segunda Medición del Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Recirculación del Tanque #6 en la Lavadora de Botellas de Línea #4 (LAV-B01).....	120
Tabla 4.12: Mediciones del Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Recirculación del Tanque #5 en la Lavadora de Botellas de Línea #4 (LAV-B02).....	122
Tabla 4.13: Medición de las Vibraciones del Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Enfriamiento de los compresores (TECOM-B01).....	123
Tabla 4.14: Mediciones del Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Inyección de Agua en la Lavadora de Gaveras (LAVG-B01).....	124

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 Introducción

Pepsi-Cola Planta Barcelona en su lucha por el liderazgo en el mercado siempre ha buscado introducir nuevas técnicas y aplicaciones que mejoren el desempeño y la producción, factores que son fundamentales para alcanzar las metas principales de la organización.

Como una medida para solucionar los inconvenientes que se producen, por la cantidad de paradas no programadas que se suscitan actualmente, causantes de grandes pérdidas a la organización, así como también para aumentar la confiabilidad de los equipos, entre otras, se desea la implementación del mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones en la Planta Barcelona, siendo una técnica que posee gran cantidad de beneficios que permitirán aumentar la producción y reducir los costos de mantenimiento.

Este trabajo tiene como objetivo la aplicación del monitoreo de las vibraciones en los equipos rotativos de la planta, de manera de establecer los pilares fundamentales del mantenimiento predictivo en la planta Barcelona llevándola a los niveles más altos de productividad y al máximo cumplimiento de las técnicas de mejora preestablecidas por la corporación refresquera.

1.2 Pepsi-Cola De Venezuela, C.A. (PLANTA BARCELONA)

Pepsi-Cola Venezuela C.A. Planta Barcelona, inició sus operaciones el día 30 de octubre de 1998. Posee dos líneas de envasado: una de botellas retornables de 266 y 350ml (Línea 4), y otra de botellas Pet (Polietilen Tereftalato) de 1,5 y 2 litros (Línea 5). Cuenta con un Plan de Producción mensual aproximado de 1100.000 cajas en diferentes presentaciones y sabores (Pepsi, 7 Up y sabores Golden). Ésta se encuentra ubicada en las instalaciones de Cervecería Polar Planta Oriente, en la carretera negra, Km. 15 sector Ojo de Agua vía Naricual, Barcelona, Estado Anzoátegui (Figura 1.1).

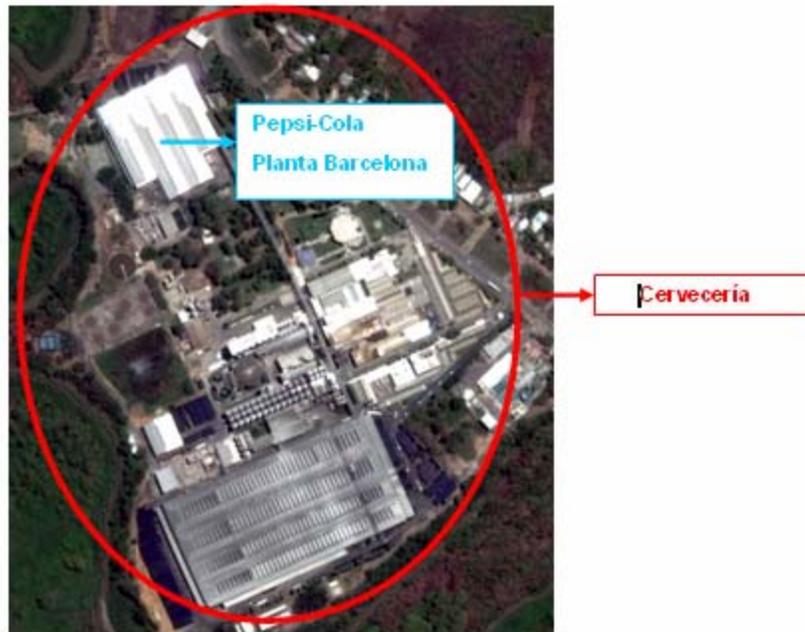


Figura 1.1: Ubicación de Pepsi-Cola de Venezuela C.A. (Planta Barcelona). [Fuente: Google Hearth®]

1.3 Planteamiento Del Problema

Pepsi-Cola de Venezuela C.A. Planta Barcelona, funciona dentro de las instalaciones de la Cervecería Polar Planta Oriente, situada en la carretera Negra, km. 15, sector Ojo de Agua carretera vía Naricual, encargada del embotellamiento de bebidas gaseosas. La Planta está conformada por cinco áreas, donde sólo en tres de ellas; Salas de Jarabe, Área de Servicios y el Área de Producción, existen sistemas dotados de equipos rotativos tales como bombas, motores, reductores de velocidad, entre otros, configurados de las diversas formas requeridas para asegurar a la empresa la obtención de su producto terminado.

Actualmente los equipos rotativos de la planta están presentando fallas que ocasionan paradas inesperadas o no programadas, generándose un impacto negativo en la productividad y en el funcionamiento general de la empresa. El simple hecho de dejar que un componente llegue hasta su punto de ruptura puede traer como consecuencia fallas catastróficas que podrían aumentar la severidad o el daño producido al equipo. Es importante señalar que muchas de las piezas que componen estos sistemas tienen un alto costo en el mercado y una disponibilidad limitada por ser repuestos de importación. El aprovechar al máximo la vida útil de los equipos sería lo deseable por cuanto representaría una importante disminución en los costos de mantenimiento.

El mantenimiento que se realiza actualmente a los equipos existentes en Planta está fundamentado en recomendaciones del fabricante y en algunos casos, tomando en cuenta la experiencia del operador, con una desventaja fundamental; muchos componentes son cambiados cuando están funcionando correctamente y en oportunidades, simplemente son sustituidos

cuando fallan. El resultado de esta conducta ha producido consecuencias nefastas para los equipos e inclusive ocasionalmente se ha llegado a la paralización de la producción.

En la búsqueda del mejoramiento continuo y de la aplicación de nuevas y modernas técnicas de mantenimiento, tomando como base, la problemática señalada anteriormente, surge la necesidad de implementar un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones de los equipos rotativos de la planta.

Entre los propósitos de esta implementación, se tiene, la construcción de las bases fundamentales del mantenimiento predictivo en la empresa, para así lograr una reducción en los costos de mantenimiento y prevenir daños severos a los equipos, lo que sin duda se traducirá en la obtención de altos niveles de producción y desempeño de la Planta.

Para el cumplimiento de este planteamiento se propone un protocolo de actividades. Se comenzará con la elaboración de fichas técnicas sobre los equipos sometidos al estudio vibracional, se determinarán los puntos de medición, se definirán las rutas como serán tomados estos valores, se establecerán los niveles de alarma de vibración de los equipos, se formulará el Plan de Mantenimiento Predictivo basado en las condiciones vibracionales de los mismos y se propondrá o recomendará la aplicación de otras técnicas predictivas como complemento del análisis de vibraciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 General:

Implementar un Plan de Mantenimiento Predictivo de Equipos Rotativos Basado en el Análisis de Vibraciones para una Planta Embotelladora.

1.3.1 Específicos

1. Elaborar fichas con especificaciones técnicas de los equipos rotativos a los cuales se les va a realizar el análisis vibracional.
2. Determinar los puntos de medición en los equipos donde serán tomadas las medidas vibracionales.
3. Definir las rutas en que serán medidos los valores de vibración para cada uno de los puntos de medición.
4. Establecer los niveles de alarma y pre-alarma de valores overall, basados en normas o en las recomendaciones de los fabricantes de los equipos.
5. Formular un plan de mantenimiento predictivo basado en las condiciones vibracionales de cada equipo.
6. Proponer técnicas predictivas o herramientas complementarias que apoyen el mantenimiento predictivo en los equipos sometidos a estudio.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Antecedentes de la investigación

RIVAS, Anahys C. (2003) [1]. Realizó una Implementación del Mantenimiento Predictivo Basado en el Análisis de Vibración en los Equipos Rotativos de las Cintas Transportadoras de la planta de Procesamiento del mineral de Hierro de la Empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A, en Ciudad Piar, Edo. Bolívar, con la finalidad de disminuir las frecuencias de falla en los mismos. Con la implementación de dicha técnica se logró detectar problemas en los equipos así como el establecimiento de los niveles de alarmas y de la frecuencia de las inspecciones vibracionales.

SALAZAR, Oscar F. (2004) [2]. Propuso mejoras en el Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibración en los Equipos Rotativos de la Planta Catalítica y Alquilación en la refinería de Puerto La Cruz, Estado Anzoátegui. Esto con el propósito de detectar fallas, asignar valores vibracionales de alarma y pre-alarma más confiables a los equipos, ya que estos tenían un nivel establecido que no distinguía por tipo de maquinaria, y es recomendable después de cierto tiempo de ser llevado el predictivo establecer niveles propios a cada equipo. Con la propuesta hecha se logró mejoras orientadas al seguimiento vibracional y posterior análisis de la condición de funcionamiento de los equipos además de detectar desperfectos y fallas incipientes en los distintos equipos críticos hallados en la planta.

BETANCOURT, Edgar E. (2006) [3]. Realizó la implementación del Mantenimiento Predictivo Basado en el Análisis de Vibración en la Empresa,

C.V.G. Venalum C.A. Ubicada en el Edo. Bolívar. Con el propósito de minimizar las fallas frecuentes y las paradas inoportunas en los equipos críticos previamente seleccionados por la empresa en la producción de ánodos verdes. Con la implementación de esta técnica predictiva se detectaron una serie de problemas en los elementos mecánicos de lo equipos para así cumplir con el propósito para la cual fue realizado el trabajo.

2.2 Mantenimiento

Son un conjunto de actividades que permiten mantener un equipo o un sistema en condición operativa, de tal forma que se cumplan las funciones para el cual fue diseñado o restablecer dicha condición cuando ésta se pierde. [1]

2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO

2.3.1 Mantenimiento Correctivo

Es una actividad que se realiza después de la ocurrencia de una falla. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a condiciones similares a las originales, por medio de restauración o reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgastes o roturas. Este puede ser planificado más no programado ya que no se sabe cuándo va a ocurrir la falla. [4]

Con el uso del mantenimiento correctivo se espera a que se produzca el fallo para proceder a la reparación. Los costos que implican la parada y el tiempo de reparación de la máquina han hecho de esta práctica poco rentable.

2.3.2 Mantenimiento Preventivo

Es una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener los equipos bajo condiciones específicas de operación. [4]

Entre los tipos de Mantenimiento Preventivo se encuentran:

Mantenimiento Sistemático: son actividades establecidas en función del uso del equipo (horas, kilómetros, entre otras). [4]

Mantenimiento de Ronda: consiste en vigilancia regular a frecuencias cortas. [4]

2.3.3 Mantenimiento Predictivo

La detección y diagnóstico de problemas en una máquina sin detener su funcionamiento es el método de mantenimiento más conveniente. Según esto, se pueden detectar los problemas anticipadamente cuando los defectos que causan la falla son incipientes y no afectan por lo tanto el funcionamiento de la máquina, además, se puede diagnosticar la naturaleza del problema con la máquina en funcionamiento.

Al comparar el mantenimiento predictivo con otros tipos de mantenimiento, se presenta la gran desventaja que para reducir el tiempo fuera de servicio por fallas es necesario que se realicen paradas periódicas o en algunos casos frecuentes para la inspección y reemplazo de componentes críticos así no estén dañados. Aunque este programa de mantenimiento tiene ventajas obvias sobre el mantenimiento correctivo, es difícil establecer los intervalos entre paradas, si el programa tiene éxito y no ocurren fallas, significa que el

intervalo puede ser demasiado breve y por lo tanto se están aumentando los costos por mantenimiento, además, una máquina que esté funcionando correctamente puede ser perjudicada por un desarmado frecuente. [5]

2.4 Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones aplicado al mantenimiento de máquinas

El mantenimiento predictivo o monitoreo de condición mediante el análisis de la vibración se rige entonces como una de las técnicas predictivas más adecuada debido a que:

- Podrá programarse la parada para reparaciones para un momento oportuno.
- Puede organizarse un cronograma de los trabajos de reparación con los requerimientos de personal, herramientas y piezas de repuesto antes de la parada programada.
- Se puede reducir al mínimo los daños de consideración a la máquina como resultado de los esfuerzos de una falla.
- El tiempo de reparaciones se podrá reducir al mínimo paralizando la máquina el menor tiempo posible y por ende aumentando el tiempo de servicio de la maquinaria.
- Mejoras en la calidad del producto, debido a la reducción de los niveles de vibración y mejor funcionamiento de la maquinaria.
- Ahorros considerables en costo de mantenimiento debido a la reducción del tiempo de parada y al conocimiento de los repuestos, accesorios, herramientas y personal a utilizarse en la reparación.
- Reducción en los costos de producción.

Además de las ventajas que conlleva la aplicación de esta técnica, resulta conveniente mencionar también las desventajas que obviamente enfrentará la empresa que decida aplicarla, entre las cuales se encuentra:

- El empleo de esta técnica requiere de un mínimo de personal calificado, tanto el encargado de tomar las mediciones como el personal especializado en procesar las mediciones y tomar las decisiones, por lo que se podría requerir de una inversión inicial considerable para la formación de los mismos.
- La necesidad de adquisición de los equipos que toman y procesan las medidas vibratoriales en la maquinaria los cuales tienen un alto costo en el mercado.

2.5 Pasos para la aplicación del mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas

En la implementación de un programa de Mantenimiento predictivo es de suma importancia la selección de aquellas máquinas que deberán ser incluidas en el análisis. La decisión de la inclusión de la máquina se fundamenta en: el grado de incidencia económico que ésta tiene en el proceso de producción y su consecuencia en los costos por paradas o interrupción, así como por reparación. [6]

Seleccionadas las máquinas se procede a obtener, si es posible, la siguiente información:

- Espectros de referencia: característicos de la máquina en diferentes puntos cuando esta opera correctamente.
- Historial del mantenimiento: datos del fabricante sobre causas de averías, vibraciones características, averías más frecuentes, entre otras.

- Datos técnicos específicos: velocidad de giro, potencia, número de álabes, cojinetes (datos geométricos característicos), reductor (número de diente, relaciones de transmisión), entre otras.
- Conocimiento de la máquina: condiciones de operación, función de la máquina en el proceso, alteración de los niveles de vibración con los cambios en las condiciones de operación (temperatura, carga, velocidad y otros), entre otras.
- Codificación e identificación de las máquinas seleccionadas: la codificación deberá indicar lugar, posición, tipo de máquina, número de ellas, etc. [6]

A continuación para cada máquina seleccionada se definen los aspectos siguientes:

- Puntos y direcciones de medición (axiales y radiales).
- Magnitud a medir (desplazamiento, velocidad, aceleración).
- Tipo de sensor adecuado.
- Definición del intervalo de frecuencia a medir. [6]

Una vez realizados los pasos anteriores es conveniente que se ejecuten varias mediciones de prueba que permitan:

La familiarización con los espectros característicos de cada máquina.

La optimización de puntos de medición y direcciones.

La verificación de los niveles de amplitud de vibración total (Overall).

La apreciación de los cambios de espectros y amplitudes ante vibraciones o desviaciones de las condiciones de operación. [6]

La creación de un fichero o cuaderno de datos, registros históricos e información técnica de los equipos incluidos al plan de mantenimiento predictivo, es indispensable para alcanzar la mejor organización y resultado del método en cuestión. Dicho cuaderno o fichero debe contener como datos principales, los siguientes:

- Código de identificación de la máquina.
- Puntos y direcciones de medición (esquema de la máquina).
- Condiciones de operación relativas al proceso como: velocidad en el momento de la medición, temperatura de gases de escape, presión del fluido, entre otras.
- Espectros de referencia.
- Espectros obtenidos durante la aplicación del programa, es decir, espectros de frecuencia de la vibración característica de la máquina para cada uno de los puntos de medición en sus correspondientes direcciones.
- Amplitud de la vibración total para cada punto de medición en sus correspondientes direcciones.
- Fecha y hora de ejecución de las mediciones.
- Criterios de severidad o normas iniciales aplicadas.
- Curvas de tendencia para la frecuencias típicas, armónicos y la amplitud de la vibración total.
- Intervalo de frecuencia a medir.
- Frecuencia de muestreo o intervalo de las mediciones. [6]
- Para cada máquina es preciso establecer los criterios de severidad o de alarma y pre-alarma. [6]

2.6 Vibraciones mecánicas

Es una rama de la mecánica que se encarga del estudio de los movimientos oscilatorios de los cuerpos, sistemas y de las fuerzas asociadas, es decir, la medición de la Vibración se puede definir como el estudio de las oscilaciones mecánicas de un sistema dinámico.

Se dice, que un cuerpo vibra cuando éste describe un movimiento oscilatorio con respecto a una posición de referencia, de tal modo que sus

puntos oscilen en torno a sus posiciones de equilibrio. En un sistema mecánico ideal no existe disipación de energía durante los procesos de transmisión o conversión de la misma pues en ellos están ausentes las causas que provocan esas pérdidas. Por el contrario, en los sistemas mecánicos reales surgen fuerzas excitadoras causantes de la disminución de la energía útil que es entregada por el sistema.

Los sistemas reales además de tener masa, tienen en mayor o menor grado elasticidad, luego, cuando el sistema es desplazado de su posición inicial producto de la acción de las fuerzas excitadoras, surge otra en sentido contrario que trata de retornarlo a su posición de equilibrio, provocando de esta forma un movimiento oscilatorio alrededor de dicha posición.

La razón por la que se estudian las vibraciones en las máquinas es porque todos los sistemas físicos y mecánicos tienen la propiedad de vibrar y estas vibraciones serán el reflejo de su comportamiento dinámico, por esto, las mismas tendrán una forma de representación que caracterizará al sistema del cual procede.

El motivo por el cual las vibraciones en las máquinas caracterizan el medio del cual procede, es porque la respuesta de un sistema ocurre a la misma frecuencia que excita el movimiento, por lo tanto, sabiendo la frecuencia de la respuesta podemos inferir la causa que ha excitado la vibración y ahí es donde juega un papel de suma importancia el personal encargado del análisis de los datos o registros vibratoriales. [6]

Al medir la respuesta vibratoria de una maquinaria cualquiera se obtiene un espectro, que es una representación gráfica de las vibraciones, siendo en este caso en dominio del tiempo como la que se observa en la figura 2.1 que

tiene en su eje de la ordenada la amplitud (en unidades de desplazamiento, velocidad o aceleración) y el tiempo en el eje de las abscisas. Dicha onda en el tiempo puede ser transformada mediante un recurso matemático llamado “transformada rápida de Fourier” en otra gráfica en dominio en la frecuencia, poseedora de una serie finita de señales armónicas mucho más fáciles de tratar matemáticamente y así mismo de ser analizadas como se observa en la figura 2.2. En la actualidad los analizadores modernos nos ofrecen los espectros en dominio en la frecuencia a través de la FFT y un nivel global de la vibración.

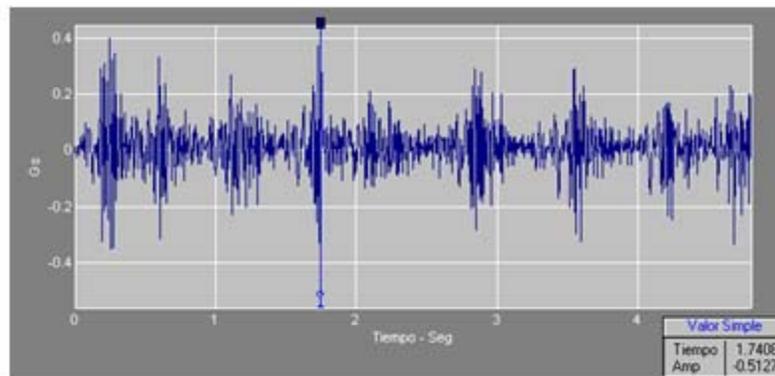


Figura 2.1: Representación gráfica de una señal vibratoria en función del tiempo. [Fuente: Propia]

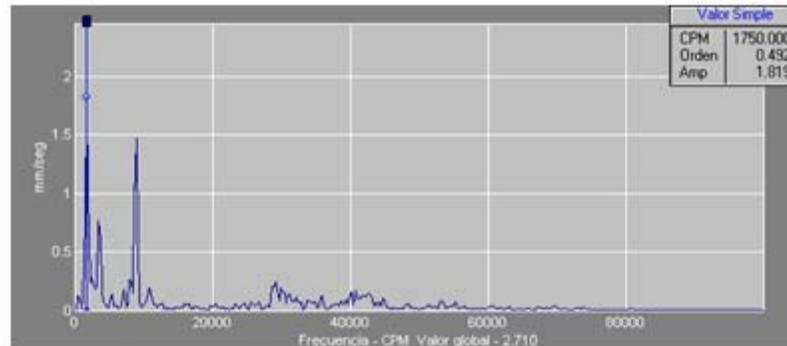


Figura 2.2: Representación gráfica de una señal vibratoria después de ser transformada a través de la FFT en dominio en la frecuencia.

[Fuente: Propia]

Las vibraciones tienen una serie de parámetros a través de los cuales podemos determinar la condición y dar un diagnóstico dependiendo de las características del equipo en estudio y la técnica utilizada. Es indispensable para el personal encargado de procesar las mediciones conocer cada uno de ellos y así poder realizar el análisis de las mediciones obtenidas. Entre los parámetros están:

Desplazamiento: es la longitud a la que la vibración hace que un cuerpo o una extensión del mismo se mueva. Es oscilatorio y se mide en milésimas de pulgada en el sistema inglés, y en milímetros en el sistema SI.

- **Velocidad:** La velocidad se define como la proporción de tiempo por cambio de posición, y tiene unidades de distancia por unidades de tiempo. En vibración de maquinaria, ésta es la proporción de cambio en el desplazamiento y se expresa generalmente en pulgadas por segundo (pulg/s) o milímetros por segundo (mm/s).

- **Aceleración:** es la proporción en tiempo del cambio de velocidad, generalmente medida en G's. Es interesante ver que la G en realidad no es una unidad de aceleración, pero es la fracción de la gravedad en la superficie de la tierra.
- **Frecuencia:** puede calcularse a partir de la amplitud midiendo el periodo de tiempo (T) de un ciclo. Esta se expresa en unidades de ciclo por minuto (cpm) o en ciclos por segundo (cps), conocidas como Hertz (donde 1 Hertz= 60 cpm), cuya abreviatura es "Hz".
- **Amplitud:** es la magnitud del movimiento dinámico o la vibración expresada en términos de pico a pico, pico o rms, siendo la misma uno de los parámetros más usados en el análisis de vibración, y es uno de los parámetros mas importantes en la determinación de las condiciones en que se encuentra el equipo.
- **Fase:** es la característica descriptiva de la vibración. La fase es la desviación relativa de un componente vibrante respecto a un punto de referencia fijo en otro componente vibrante. La fase es la medida del movimiento vibratorio que ocurre en un punto en relación con el movimiento vibratorio que ocurre en otro punto. En otras palabras, es el "ritmo de tiempo" de una vibración en relación con una pieza fija o móvil de la maquinaria.
- **Energía de impulsos (Spike Energy SE):** son impulsos de energía de muy corta duración y alta frecuencia similares a picos que suceden en una máquina debido a defectos en la superficie de los elementos rodantes de rodamientos, engranajes, rozamiento, impacto y contacto entre metal y metal en máquinas rotativas, fugas de vapor o pérdidas de aire bajo alta presión, cavitación causada por flujo turbulento de fluidos.

2.7 Análisis y procesamiento de señales a través de niveles globales de vibración

Es tarea del especialista poder identificar y determinar los fenómenos que tienen lugar en los sistemas mecánicos observando y midiendo los parámetros vibracionales a través del procesamiento y análisis de las señales emitidas por los mismos durante su funcionamiento, para posteriormente poder corregir las posibles fallas que están ocasionando los elevados niveles vibracionales.

2.7.1 Nivel de Vibración “Overall”

También conocido como nivel global de vibración es aquel que permite la más rápida evaluación del estado de la máquina con la desventaja de que a través de él no se puede dar un diagnóstico sobre lo que está ocasionando o puede ocasionar la falla en el equipo.

El nivel de vibración overall es la medida total de la energía asociada con las frecuencias que componen el espectro de vibración, ya que resulta de la suma de las amplitudes desde una frecuencia mínima hasta una frecuencia máxima. Estos Valores obtenidos son comparados con los valores tomados cuando la máquina se encuentra en buenas condiciones de operación así como también con valores de alarma preestablecidos ya sea por normas o especificaciones técnicas del equipo. El mejor punto de partida o inicio al trabajar con estos niveles, es graficar todas las medidas realizadas para que pueda ser observada la condición y la variación del equipo a través del tiempo, pudiendo así poder establecer criterios de severidad propios del equipo. Para calcular este valor tal y como se observa en la Ecuación 2.1 es necesario obtener la raíz de la sumatoria del cuadrado de cada una de las

amplitudes que componen el espectro en dominio en la frecuencia como el que se observa en la Figura 2.3 obtenido a través de la FFT (Fast Fourier Transform o transformada rápida de fourier) dividido entre factor de ancho de banda generalmente utilizado en medidas de rutas de un plan de Mantenimiento Predictivo como lo es la ventana Hanning. [5]

$$VG = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2}}{\sqrt{N_{BF}}} \quad \text{(Ecuación 2.1)}$$

VG= Nivel Global de Vibración Overall

N= Líneas de Resolución

Ai= Amplitud de cada una de las líneas

N_{BF}= Factor de Ancho de Banda (1,5 para la Ventana de Hannign)

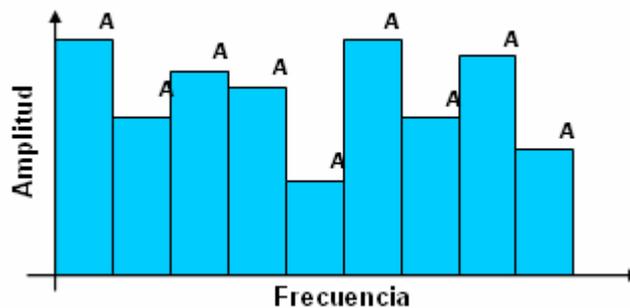


Figura 2.3: Nivel Total de un Espectro

[Fuente:Dliengineering.com]

2.8 Criterios de severidad

La amplitud de la vibración es una medida de la gravedad del problema de una máquina, pero cabe preguntar entonces, que cantidad de vibración se

considera excesiva. Esta pregunta puede responderse tomando en cuenta que la finalidad de la medida de la vibración es determinar los problemas de la maquinaria en su etapa inicial de forma de poder programar el procedimiento correctivo adecuado. De tal manera que el objetivo de medir el nivel de vibración en la maquinaria es tener aviso anticipado de los problemas y no determinar cuanta vibración puede soportar una máquina antes de que falle.

Los eventos que rodean el desarrollo de una falla mecánica son demasiado complejos para poder establecer unos límites confiables. Por lo tanto, no existen cifras significativas que determinen un límite de vibración de manera que si éste se sobrepasa, se tendría como resultado una rotura inmediata de la máquina. Debido a esto hay que tener una indicación general de la condición de la maquinaria, que pueda ser evaluada en base a la amplitud de la vibración, esto se hace posible utilizando pautas generales desarrolladas a través de la experiencia adquirida durante muchos años. Para determinar qué cantidad de vibración se considera excesiva, se pueden utilizar los gráficos generales de severidad de vibración como una guía para determinar la condición de una máquina.

2.9 Medidor de vibraciones overall vibration pen plus SKF

Un enfoque multiparámetro del monitoreo de estado proporciona dos métodos diferentes para monitorear la condición de la maquinaria. Permite la detección temprana de problemas específicos de las máquinas y proporciona más formas para medir sus cambios de estado.

Vibration Pen Plus (Figura 2.4) es una herramienta de monitoreo de vibraciones multiparámetro capaz de medir la vibración global (producida por

problemas de rotación y estructurales, como desequilibrio, desalineación, aflojamiento, etc.) y capaz de realizar mediciones de la envolvente de aceleración que midan la vibración en frecuencias más altas (vibración causada por problemas con los elementos rodantes de los rodamientos o con los engranajes). Al efectuar las mediciones, se procesa la señal de entrada del sensor de la herramienta Vibration Pen Plus para obtener ambas mediciones en cada punto de la maquinaria: la vibración general y la envolvente de aceleración. Con la envolvente de aceleración son filtradas las señales de baja frecuencia, y son ampliadas las de alta, enfocadas a eventos repetitivos que van en el rango de 10KHz a 30KHz.



Figura 2.4: Medidor de Vibraciones Vibration Pen Plus de SKF. [Fuente: <http://www.skf.com/portal/skf/home/products?contentId=266162>]

La pantalla LCD muestra a la vez los dos valores de medición. Dependiendo del tipo y la situación del componente de la máquina que se esté midiendo, una de las lecturas, o ambas, proporcionarán datos útiles para la detección de fallos.

2.9.1 Funcionamiento del VIBRATION PEN PLUS:

Este instrumento tiene un botón de encendido ON (con apagado automático). En la pantalla se muestran dos valores que corresponden a los dos modos de medición del aparato mm/s para Overall Vibración y gE para Acceleration Enveloping. Estas dos mediciones aparecen simultáneamente, dependiendo de cada caso puede aportar más información un método de medición o el otro.

También puede aparecer OVER si hay sobrecarga, HOLD cuando memorizo la medición y BATT si la batería esta baja.

Vibraciones Overall (medición de la vibración conforme el estandar ISO 3954). Este método esta indicado para velocidades de vibración entre 10Hz y 1kHz. Así mismo también utiliza el método "Acceleration Enveloping" el cual es el más indicado para pequeñas amplitudes y altas frecuencias (10kHz - 30kHz).

2.9.2 Instrucciones de funcionamiento:

- Encender presionando ON/HOLD.
 - Presionar sobre el punto de medición, aparece el valor instantaneo.
- Memorizar presionando ON/HOLD.
- Pulsando ON/HOLD se desbloquea la memoria y se puede tomar otra medida.

2.9.3 Recomendaciones para Realizar las Mediciones

- Este tipo de instrumentos se utiliza para seguir la evolución de una máquina, por ello, hay que medir siempre en condiciones semejantes (temperatura, velocidad, etc). De este modo se podrán comparar los datos recopilados.
- A la hora de situar la sonda, es importante evitar grasa, aceite, superficies pintadas, huecos estructurales, zonas descargadas, entre otros.
- El ángulo que forma el instrumento, tiene que ser de aproximadamente 90° con la superficie.
- La presión ejercida, tiene que ser firme, pero no tan fuerte que modifique la vibración de la máquina.

2.10 Defectos más comunes en máquinas

2.10.1 Desbalance

Es la causa más común de vibración en las máquinas rotatorias. Su detección mediante el empleo del análisis de señales es posible, ya que se manifiesta a la frecuencia fundamental de rotación de la máquina de la pieza desbalanceada. Se recomienda medir en la dirección axial y radial. En la dirección radial su amplitud es aproximadamente dos veces mayor que en la dirección axial.

Es importante distinguir entre la falla por desalineamiento u otro defecto que pueda manifestarse a la misma frecuencia, como es el caso de los problemas asociados a fallas eléctricas. **[4]**

2.10.2 Desalineación

La desalineación ocupa el segundo lugar de ocurrencia en maquinaria rotativa, consiste en que los ejes de rotación de la máquina conducida y de la conductora no están perfectamente alineados. Así pueden también presentarse desalineación en los cojinetes, rodamientos y poleas de transmisión. Aunque los acoples y cojinetes absorben cierta cantidad de desalineación, la cantidad máxima que soporta una máquina dependerá de su diseño; esta falla causa fatiga en los rodamientos, destroza los acoples, daña los sellos y produce desgaste prematuro en los engranajes. Un posible indicativo de desalineación se presenta si la amplitud de vibración en el sentido axial es mayor que la mitad de la lectura radial más elevada.

Cuando se presenta una condición de desalineación, se obtienen mediciones que pueden mostrar lo siguiente:

Amplitud proporcional a la cantidad de desalineación.

Amplitud de vibración alta en sentido axial y radial.

Aún con acoplamientos flexibles pueden presentarse problemas graves de vibración por desalineamiento y se producen fuerzas axiales y radiales que a su vez producen vibraciones axiales y radiales. Esto conduce a pensar que la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos es indicio de desalineación ó ejes doblados.

2.10.3 Excentricidad

La excentricidad es el estado que presenta un rotor cuando la línea central rotacional de un eje no es igual a la línea central geométrica. La

excentricidad es una fuente común de desbalance, lo que resulta de la condición de haber más peso por un lado de la línea central rotacional que del otro lado.

A pesar de que la excentricidad es una causa de desequilibrio que puede ser corregida por métodos de balanceo rutinarios puede producir fuerzas de reacción que no pueden corregirse con un balanceo simple. Existen casos donde un problema de excentricidad puede ser corregido mediante balanceo, pero existen casos donde el balanceo lejos de mejorar la condición de vibración, la empeora.

2.10.4 Holgura Mecánica

La vibración característica de la holgura mecánica no es producida a menos que intervenga otra fuerza de excitación, como un desequilibrio o desalineación. Pero si existe una holgura excesiva, el desequilibrio o la desalineación más mínima producirá vibraciones importantes. De allí que la holgura lo que produce es más vibración de la que existiera en su ausencia.

Es recomendable realizar una inspección visual para detectar cualquier holgura mecánica.

2.10.5 Rodamientos Defectuosos

Entre las causas más comunes de las vibraciones mecánicas los defectos en los rodamientos son aquellos que se pueden detectar con mayor precisión. Los rodamientos con defectos de pista, bola o rodillo normalmente ocasionan una vibración de alta frecuencia, que se produce a una velocidad varias veces la velocidad de giro del componente, pero sin que sea un

múltiplo exacto de las RPM del eje. La falla del rodamiento dependerá de la amplitud de la vibración, igualmente los impactos momentáneos pueden excitar frecuencias de vibración naturales asociadas con sus componentes estructurales, siendo lo que sucede cuando los elementos rodantes de los rodamientos golpean los defectos existentes en la pista de deslizamiento. Los rodamientos frecuentemente no fallan rápidamente a menos que otra fuerza actúe sobre ellos.

La vibración generada por los rodamientos normalmente no es transmitida a otros puntos de la máquina. Por lo tanto el rodamiento defectuoso es generalmente el que se encuentra más cerca del punto donde ocurre el mayor nivel de vibración de este tipo.

Existen una serie de causas que son las más comunes de fallas en los rodamientos entre las cuales están:

- Carga excesiva por mal diseño y selección de los rodamientos.
- La presencia de ambientes con un alto nivel de humedad donde predominen las sales o donde estén presentes los ácidos o vapores de los mismos, que favorecen el deterioro de las superficies de contacto.
- Desfiguración o flutting, falla que sufren los rodamientos cuando en ellos se encierran arcos eléctricos debido a la circulación de corrientes a través de la máquina y que finalmente se descargan a tierra.
- Lubricación deficiente o empleo de lubricante inapropiado lo que conduce a cambios en la dinámica del rodamiento. Así como es perjudicial una lubricación deficiente del rodamiento, una lubricación excesiva también lo es, debido a que conduce a un recalentamiento

del elemento rodante ya que el exceso del fluido concentra el calor en la parte interna del mismo.

- Holguras excesivas pudiendo tener origen en el diseño del rodamiento, su selección, montaje incorrecto, o la presencia de agentes abrasivos que produjeron un desgaste de los mismos.

La frecuencia de defecto que pueden ser excitadas en el caso de un rodamiento son:

- Frecuencia de paso de bola por la pista exterior, llamada BPFO.
- Frecuencia de paso de bola por la pista interior, llamada BPFI.
- Frecuencia de bola o elemento rodante, llamada BSF.
- Frecuencia fundamental del tren, llamada FTF.

Se puede decir que un equipo que tiene problemas de rodamientos cuando existe algún desperfecto en algunos de sus componentes. El deterioro de los rodamientos se puede dividir en tres etapas:

- **Etapas 1:**

El primer síntoma que se presenta cuando aparece esta falla, es decir, su primera etapa o etapa incipiente, es una vibración con componentes de alta frecuencia (a partir de 5 KHz), producto de la generación de ondas de esfuerzo y de otros tipos, las que a la vez excitan frecuencias naturales del soporte y pistas del rodamiento, detectadas debido a que su valor es no asincrónico, es decir, no es múltiplo exacto de la velocidad de giro del equipo. En esta etapa la temperatura no se incrementa y las grietas no son visibles y con frecuencia ocurren debajo de la superficie de las pistas. En esta etapa aún no es necesario el cambio del rodamiento.

- **Etapa 2:**

En esta etapa las grietas empieza a ser visibles al ojo humano y el rodamiento produce sonido audible y la temperatura en algunos casos se incrementa. En esta etapa se hace necesario comenzar a programar el cambio del rodamiento. En esta etapa el Nivel Overall de vibraciones aumenta.

- **Etapa 3:**

En esta etapa, cerca de una falla catastrófica, el ruido incrementa significativamente y se puede producir sobrecalentamiento. El rápido desgaste incrementa los huelgos dentro del rodamiento lo que permite movimiento del eje relativo al rodamiento, pudiendo llegar a ser muy peligroso por roces con otros componentes de la máquina. En este momento, será necesario el cambio inmediato del rodamiento.

Justo antes de fallar el rodamiento, el valor de detección de alta frecuencia crece arriba de 3G's.

Aunque ésta es la forma más general que se presenta cuando un rodamiento desarrolla una falla, se debe tener presente que cada rodamiento puede tener modos de falla diferentes y con una rata de progresión distinta que depende en gran medida las condiciones de carga, velocidad, temperatura, humedad y lubricación a que esté sometido. [7]

2.10.6 Rodamientos de Chumacera Defectuosos

A continuación mencionamos algunas causas que se tienen que investigar cuando se hace el diagnóstico de las chumaceras:

2.10.6.1 Remolino de aceite:

Este defecto está causado por un juego excesivo y una carga radial ligera, lo que resulta en una acumulación de la película de aceite que obliga a los elementos rodantes girar a menos de la mitad de la velocidad de giro, en la figura 2.5 se observa un ejemplo de este defecto.

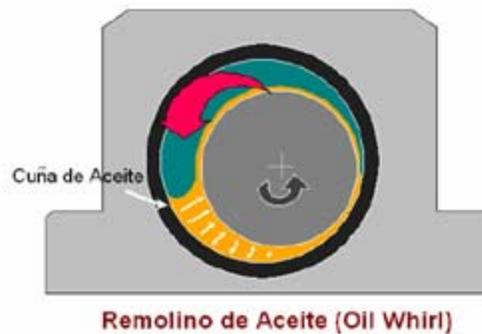


Figura 2.5: Remolino de Aceite en chumaceras. [Fuente: <http://www.dliengineering.com/vibman-spanish/remolinodeaceiteoilwhirl.htm>]

El remolino de aceite es una condición seria, que necesita corrección cuando se diagnostica, ya que puede deteriorar rápidamente el rodamiento hasta el punto donde hay contacto de metal a metal entre sus componentes.

2.10.6.2 Latigazo de Aceite

El latigazo de aceite es una condición muy destructiva que ocurre a veces en grandes equipos poseedores de varios rotores operados arriba de velocidades críticas. Este defecto ocurre cuando el componente de excitación por remolino de aceite llega a una frecuencia igual a la frecuencia natural de la flecha. La resonancia está excitada y el resultado son niveles de vibración muy altos. El latigazo de aceite a veces ocurre al arrancar, en máquinas con ejes largos.

La solución al remolino de aceite, y al latigazo de aceite es un juego adecuado pequeño en el rodamiento y una carga radial adecuada.

2.10.7 Problemas Eléctricos

La vibración en estos casos es creada por fuerzas magnéticas desiguales que actúan sobre el rotor o sobre el estator. Es complicado reconocer gráficamente este problema, ya que no tiene características que indiquen de forma sencilla que ésta es la causa de vibración. El espectro puede llevar a errores por ser similar a la del desbalance, solo que aquí al desconectar la corriente el problema desaparecerá. Esta prueba se le denomina prueba de caída y es una de las técnicas más utilizadas para determinar que las vibraciones estén siendo producidas por problemas eléctricos y no por desbalance. [7]

2.10.8 Defectos en Transmisiones por Poleas y Correas

Las transmisiones por poleas y correas son susceptibles de ser afectadas por una serie de problemas, cuyo origen se encuentra en gran medida en deficiencias asociadas al montaje de la transmisión, aunque el envejecimiento de la correa también atenta contra los niveles de vibraciones.

2.10.9 Pedestal “Cojo”

Durante muchos años, se ha considerado que las mayores fuentes de vibraciones y por ende las causas más frecuentes de fallas han sido el desbalance, el desalineamiento y las resonancias. Sin embargo, muchos autores coinciden en afirmar que existe otra fuente considerable de generación de vibraciones relacionada con los pedestales de las máquinas. Este problema, identificado como pedestal cojo, es el resultado del alabeo o la deformación de la estructura de la máquina.

Para identificar el problema, algunos especialistas intentan “afinar” la condición de alineamiento de la máquina con ésta operando. Este trabajo lo realizan aflojando los pernos de anclaje de la máquina conductora. Mientras se realizan estas operaciones, se observa que al aflojar algunos pernos el nivel de vibraciones continúa siendo el mismo, contrariamente a los que sucede al aflojar otros, para los cuales se incrementan los niveles de vibraciones. Sin embargo, puede suceder que al aflojar algún perno, los niveles de vibraciones, lejos de mantenerse o incrementarse, disminuyan drásticamente.

La mejor forma de identificar la presencia del llamado pedestal cojo la constituye la observación de la evolución de los niveles de vibración mientras se aflojan y se aprietan los pernos del anclaje de la máquina. **[8]**

2.10.10 Vibraciones en Engranajes

Cuando dos o más ruedas dentadas se encuentran engranadas, se generan frecuencias que dependen de la velocidad, del número de dientes y la excentricidad.

La mayoría de los fallos en transmisiones dentadas que son susceptibles de ser identificados a través de las vibraciones tienen su origen en problemas de excentricidad, montaje deficiente en el árbol, desalineamiento de la propia transmisión, oscilaciones torsionales y el desgaste, las grietas y la fractura del dentado. **[8]**

La amplitud y frecuencia de vibración debida a los engranajes pueden también parecer erráticas a veces, generalmente en los casos en que los engranajes están funcionando en condiciones de carga muy liviana ya que en esas condiciones la carga puede desplazarse repetidamente de un engranaje a otro de modo irregular.

2.10.11 Vibraciones por Fuerzas Hidráulicas y Aerodinámicas

Este tipo de vibración se identifica como aquella que se genera por el paso de los álabes, aspas o paletas de los rotores de bombas, ventiladores y turbinas como resultado de la acción de las fuerzas hidráulicas o aerodinámicas sobre éstos. En tales casos, las vibraciones que se generan se presentan a la llamada frecuencia de paso, que es igual al número de álabes, aspas o paletas, multiplicado por la frecuencia de rotación del motor portador.

Amplitudes a la frecuencia de paso siempre estarán presentes en los espectros de las vibraciones de estos tipos de máquinas. **[8]**

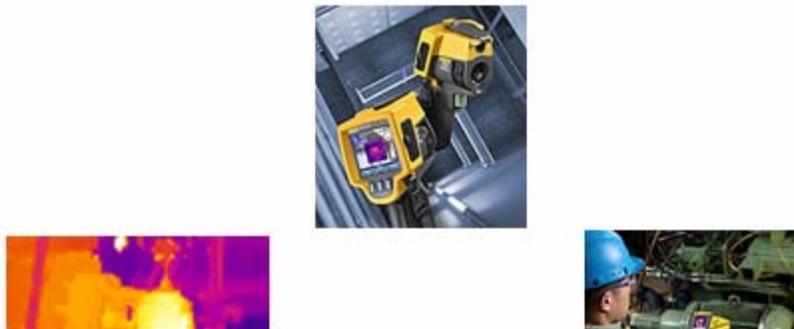
2.11 Otras técnicas predictivas utilizadas

2.11.1 Termografía

La utilización de imágenes térmicas se ha convertido en una de las herramientas más valiosas de diagnóstico en el Mantenimiento Predictivo. Ésta, también llamada Termografía, es una técnica de no contacto para generar imágenes infrarrojas, o fotografías de la energía calórica que emiten los objetos, en las cuales se puede medir su temperatura. Al detectar anomalías que muy a menudo resultan ser invisibles a simple vista, la Termografía permite tomar acciones correctivas antes de que ocurran fallas en los sistemas y equipos.

Los sistemas infrarrojos portátiles pueden inspeccionar equipos y estructuras convirtiendo instantáneamente la radiación térmica en mapas térmicos visibles que pueden ser desplegadas en equipos de video convencional para poder realizar un análisis cuantitativo de temperatura. Existen sistemas que detectan diferencias de temperatura tan pequeñas como de 0.07°C . La medición se logra, al percibir la energía infrarroja emitida por estos cuerpos (sólidos ó líquidos) en superficie.

La Termografía puede ser aplicada en cualquier situación donde un problema o condición pueda ser visualizado por medio de una diferencia de temperatura. En la figura 2.6 se pueden observar ejemplo de las imágenes de temperatura y los equipos captadores de imágenes térmicas. [9]



2.11.1.1 Ventajas de la Termografía

- Respuesta rápida de temperatura: tienen una velocidad de respuesta a partir de los 250 milisegundos (temperatura instantánea, máxima, mínima y diferencial).
- Medición a distancia: a lugares inaccesibles como líneas eléctricas de alta y baja tensión, transformadores, cañerías, trampas de vapor en altura, etc.
- Medición de elementos en movimiento: Ejemplo: Rodamientos, rodillos, cobre fundido, estanque agitado de chocolate, etc.
- Búsqueda de puntos calientes o fríos: a componentes de mayor temperatura en tableros eléctricos y malos contactos eléctricos, medición de fugas de calor en hornos para detectar el daño en los refractarios o el aislamiento, cámaras frigoríficas, detección de fallas en convertidores catalíticos, radiadores, sistemas de calefacción y aire acondicionado, etc.
- No contaminantes: aplicaciones en la industria alimenticia y farmoquímica donde el producto no puede ser contaminado con sensores de contacto. [9]

2.11.2 Análisis de Lubricantes

El lubricante básicamente cumple las funciones de reducir la fricción de los componentes mecánicos, enfriar el equipo en funcionamiento y evitar que elementos extraños entren en contacto con los sistemas mecánicos. Éstos en su operación normal estarán expuestos a condiciones que lo degradarán o deteriorarán.

A través del análisis del lubricante en forma periódica se monitorean los niveles de desgaste, contaminación, degradación del lubricante y los componentes donde funciona a través del análisis de una serie de índices. Entre los más usados para determinar la condición del fluido lubricante son:

2.11.2.1 Aspecto

El análisis del aspecto del lubricante puede ayudar a solucionar problemas serios en los equipos, en distintos tipos de maquinaria el olor y aspecto del lubricante puede arrojar la clave para la detección y solución de los problemas.

2.11.2.2 Contenido de agua (ASTM D95)

Para la mayoría de las máquinas no debería exceder 100 partes por millón en el aceite lubricante.

2.11.2.3 Número base total, TBN

Es una media ponderada de la alcalinidad, detergencia y dispersibilidad. Disminución del TBN en un motor a combustión puede indicar por ejemplo mala combustión, falla de las válvulas de salida o alta contaminación en agua.

2.11.2.4 Número de acidez (mg KOH/gr aceite, ASTM D664)

Para la mayoría de las aplicaciones no debería exceder 0.25. Si es mayor podría ser indicativo de fuga en los sellos.

2.11.2.5 Viscosidad

Tal vez es la característica más importante del aceite lubricante. Siempre debe estar en los rangos especificados por el constructor de la máquina. Un aumento de la viscosidad puede indicar, por ejemplo, puntos calientes dentro de la máquina.

2.11.2.6 Punto de inflamación

El monitoreo de las partículas o residuos en el lubricante permite obtener una indicación de la condición de los diferentes componentes de la máquina que están en contacto con el lubricante. Para muchas fallas de las superficies lubricadas que son de naturaleza progresiva más que repentina, con el uso de estas técnicas también se puede obtener un aviso de falla con bastante anticipación. Entrega una indicación general de la naturaleza de los residuos de desgaste generados por diferentes elementos de máquinas. [9]

2.11.3 Medición de Espesores por Ultrasonido

Es una técnica basada en la emisión y recepción de una onda de sonido a través de un material, con el fin de determinar: características físicas de materiales, detección de discontinuidades del mismo, medición de espesores y extensión de corrosión, entre otras.

La inspección por ultrasonido se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo mecánico, y su funcionamiento se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad del material. Cuando se inventó este procedimiento, se medía la disminución de

intensidad de energía acústica cuando se hacían viajar ondas supersónicas en un material, requiriéndose el empleo de un emisor y un receptor. Actualmente se utiliza un único aparato que funciona como emisor y receptor, basándose en la propiedad característica del sonido de reflejarse al alcanzar una interfase acústica.

Los equipos de ultrasonido que se utilizan actualmente permiten detectar discontinuidades superficiales e internas, dependiendo del tipo de palpador utilizado y de las frecuencias que se seleccionen dentro de un rango que va desde 0,25 hasta 25 MHz. Las ondas ultrasónicas son generadas por un cristal o un cerámico piezoeléctrico denominado transductor y que tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa. Al ser excitado eléctricamente el transductor vibra a altas frecuencias generando ultrasonido. Las vibraciones generadas son recibidas por el material que se va a inspeccionar, y durante el trayecto la intensidad de la energía sónica se atenúa proporcionalmente a la distancia del recorrido. Al alcanzar la frontera del material, el haz sónico es reflejado, y se recibe el eco por otro (o el mismo) transductor.

Una de las ventajas de esta técnica predictiva es la emisión de la onda que atraviesa el material que al encontrarse con algún vacío o material distinto se devuelve permitiendo determinar porosidades o defectos en el material inspeccionado, principio que se muestra en la Figura 2.7.

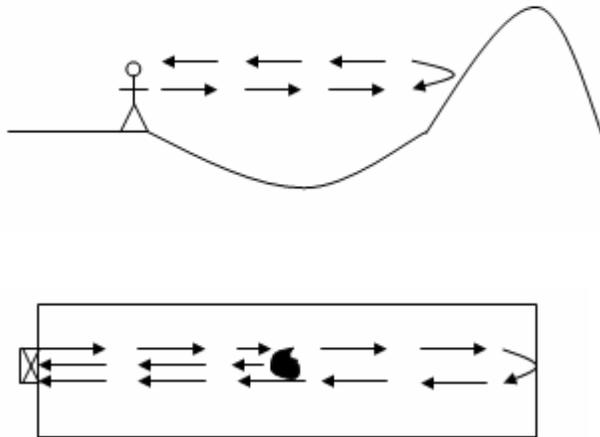


Figura 2.7: Principios de Funcionamiento del Ultrasonido. [Fuente: Propia]

2.11.3.1 Ventajas del Ultrasonido

- La prueba se efectúa más rápidamente obteniendo resultados inmediatos.
- Se tiene mayor exactitud al determinar la posición de las discontinuidades internas; estimando sus dimensiones, orientación y naturaleza.
- Alta sensibilidad para detectar discontinuidades pequeñas.
- Alta capacidad de penetración, lo que permite localizar discontinuidades a gran profundidad del material.
- Buena resolución que permite diferenciar dos discontinuidades próximas entre sí.
- Sólo requiere acceso por un lado del objeto a inspeccionar.
- No requiere de condiciones especiales de seguridad.

2.11.3.2 Limitaciones del Ultrasonido

- Baja velocidad de inspección cuando se emplean métodos manuales.
- Requiere de personal con una buena preparación técnica y gran experiencia.
- Dificultad para inspeccionar piezas con geometría compleja, espesores muy delgados o de configuración irregular.
- Dificultad para detectar o evaluar discontinuidades cercanas a la superficie sobre la que se introduce el ultrasonido.
- Requiere de patrones de calibración y referencia.
- Es afectado por la estructura del material. (tamaño de grano, tipo de material).
- Alto costo del equipo.
- Se requiere de agente acoplante.

2.11.3.3 Elección del transductor

- Clase de cristal: Con la elección de cada clase de cristal se puede variar el poder resolutivo y la sensibilidad de los transductores.
- Diámetro del cristal: Entre mayor sea el diámetro del cristal se obtiene una mayor profundidad de penetración, asimismo una mayor longitud en un campo cercano y una menor divergencia.
- Frecuencia: Con la elección de una mayor frecuencia se obtiene mayor posibilidad para la identificación de discontinuidades pequeñas, mayor longitud de campo cercano, mayor poder resolutivo, menor profundidad de penetración y mínima divergencia. [9]

2.12 Contexto Operacional de los Equipos de Planta

Tal vez para muchos la elaboración de una bebida carbonatada suene un proceso fácil y sencillo. Cuando realmente son necesarios una cantidad de procesos, procedimientos y variables que son necesarias coordinar y controlar para lograr el producto terminado con una calidad excepcional.

Actualmente en la planta embotelladora se dispone de tres áreas fundamentales para envasar el producto, compuestas por equipos o sistemas como los que se van a mostrar a continuación:

2.12.1 Área de Elaboración o Salas de Jarabe

El área de Elaboración de la bebida se puede dividir en dos llamadas: Sala de Jarabe Simple y Sala de Jarabe Terminado. En cada una de ellas se desarrollan procesos fundamentales para la obtención del producto listo para su envasado. Estas salas están compuestas por los siguientes sistemas:

- **Sala de Jarabe Simple:**

Esta sala está compuesta por dispositivos de disolución de azúcar y almacenamiento de la misma, a ciertas condiciones fundamentales para brindar características propias a la bebida cuando esté terminada, así mismo un sistema de bombeo para enviarla a la sala de jarabe terminado donde se continúa con el proceso de elaboración. Aquí existen dos sistemas los cuales son llamados: Disolutor y buffer donde el primero está comprendido por una tolva y una bomba que recircula el fluido; el segundo compuesto por un tanque y una bomba que recircula y transporta a la sala de jarabe terminado

el fluido almacenado en el mismo. En general esta alberga 2 bombas y un ventilador centrífugo.

- **Sala de Jarabe Terminado:**

Esta área básicamente está compuesta por una serie de tanques, un sistema de bombeo (11 bombas) necesario para recircular el producto en los tanques y enviar el producto terminado a las mezcladoras ubicadas en el área de envasado y de retornar el agente de limpieza interno de los tanques y tuberías a los tanques de almacenamiento del mismo.

2.12.2 Servicios de Planta

- **Sistema de Aire Comprimido:**

Este sistema está compuesto por compresores recíprocos marca ABC, accionados cada uno por un (01) motor eléctrico con capacidad de generar presiones nominales de aire de 42 bar, los cuales surten de aire comprimido a las distintas áreas de la planta.

- **Sistema de Enfriamiento de los Compresores:**

Sistema que está compuesto por una torre de enfriamiento, donde recircula agua utilizada en el sistema de refrigeración del compresor. Consta de tres (03) Bombas y dispositivos para cumplir su función.

- **Sistema de Agua Helada para la Sopladora:**

Este sistema está compuesto por columnas de enfriamiento y dos (02) bombas que hacen circular el agua para disminuir su temperatura y ser posteriormente bombeada a la sopladora.

- **Sistema de Agua Helada para Acondicionamiento de Aire de las Áreas:**

Consta de dispositivos por donde recircula el agua para su enfriamiento y un sistema compuesto por dos (02) bombas para que sea enviada a los difusores que se encuentran en las diversas salas.

- **Sistema de Enfriamiento de Bebidas con Amoníaco:**

Compuesto por tanques y un sistema de formado por cuatro (04) bombas encargadas de distribuir el amoníaco a los intercambiadores o torres de enfriamiento para el enfriamiento de la bebida y de agua helada necesaria para la ejecución de diversos procesos.

- **Sistema CIP (Clean in Place):**

Este sistema está comprendido por tanques y (03) bombas utilizados para enviar a los recipientes de almacenamiento del producto y a los equipos, Trimeta Sauer y Soda Cáustica, que son elementos utilizados para la limpieza de los mismos.

- **Almacenamiento de CO₂:**

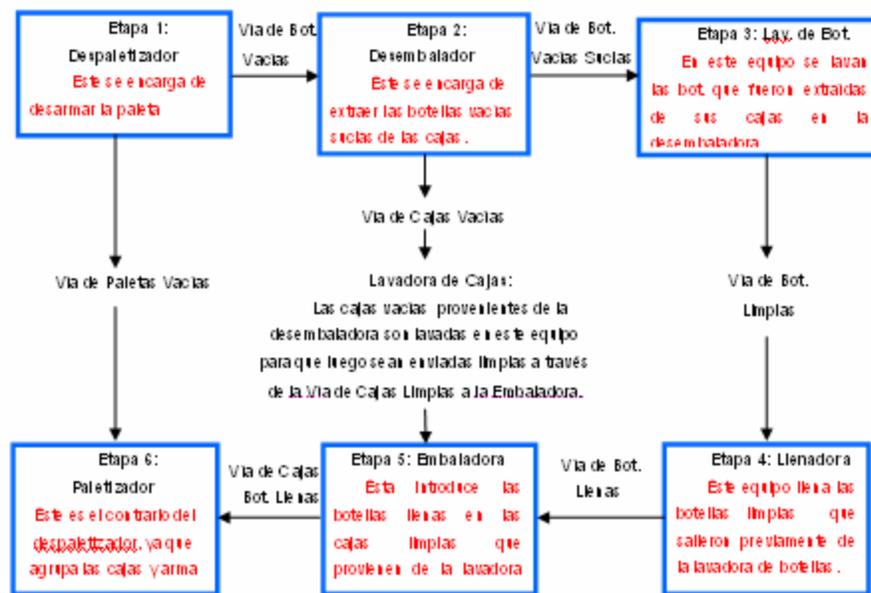
Sistema compuesto por tanques para el almacenamiento del gas, para su posterior utilización.

2.12.2 Línea 4: Línea de Envasado de Botellas Retornables (350ml y 266ml)

En esta línea se realiza el envasado de la bebida en presentaciones de 350ml y 266ml.

Para que se lleve a cabo el proceso de envasado es necesario que la distribución de los equipos sea apropiada para que la línea de producción se desempeñe de la manera más cómoda y coordinada posible tal y como se muestra en la Figura 2.8.

Figura 2.8: Proceso de Embotellado de la Línea 4. [Fuente: Propia]



A continuación describiremos cada uno de los equipos que conforman el proceso para dar a conocer un poco las funciones de cada uno de ellos y generar una visión más clara de la población de equipos existentes.

- **Despaletizador**

Se encarga de extraer de las paletas, las cajas con botellas vacías sucias, e introducir las en las vías de cajas de botellas vacías. Consta de un conjunto

motor reductor indispensable para cumplir con la función para la cual fue diseñado.

- **Desembaladora**

Ésta (Figura 2.9) incluye un sistema de múltiples secciones completamente automático que recibe un suministro de entrada de cajas con botellas vacías que son retiradas de las cajas utilizando cabezales de sujeción instalados en un ensamble de carrusel rotativo de movimiento continuo. Luego deposita las botellas en un transportador de descarga. Esta máquina está conformada por dos conjuntos motores-reductores necesarios para su correcto funcionamiento.



Figura 2.9: Desembaladora. [Fuente: Propia]

- **Despaletizador Bulk**

Se encarga de despaletizar e introducir las botellas nuevas vacías que vienen almacenadas en un bulk de botellas en las vías de botellas sucias. Este dispositivo consta de un conjunto motor-reductor necesario para su correcto funcionamiento.

- **Lavadora de Botellas**

Es una máquina (Figura 2.10) diseñada para limpiar botellas retornables de vidrio, usando una serie de operaciones de inmersión, inyección y enjuague para producir un recipiente libre de suciedad, microorganismos y bacterias. Recibe las botellas de la vía de botellas sucias y al final del proceso las introduce en la vía de botellas vacías. La lavadora de botellas consta de cuatro bombas (04) y un motor reductor principal.



Figura 2.10: Lavadora de Botellas. [Fuente: Propia]

- **Mezcladora (Paramix)**

Es un equipo diseñado para realizar la mezcla entre el jarabe proceso base para la elaboración de la bebida carbonatada y los demás ingredientes necesarios en la fórmula del producto. Éste posee tres (03) bombas centrífugas para mezclar el producto y enviarlo a la llenadora.

- **Llenadora, Tapadora**

Es un equipo que se encarga de hacer los procesos de llenado y taponado de las botellas limpias. Recibe las botellas de la vía de botellas limpias y al final del proceso introduce las botellas llenas y tapadas, en la vía de botellas llenas. Este dispositivo está compuesto por un motor-reductor principal para el movimiento de sus componentes principales.

- **Embaladora**

Es un equipo (Figura 2.11) formado por un sistema de multi-etapas completamente automático, que alimenta un continuo suministro de botellas hacia una empacadora de cajas, la cual divide y agrupa las botellas entrantes y las coloca en cajas vacías, mediante cabezales de sujeción instalados en un ensamble de carrusel rotativo con movimiento continuo. Esta máquina está conformada por dos conjuntos motores-reductores necesarios para su correcto funcionamiento.



Figura 2.11: Embaladora. [Fuente: Propia]

- **Paletizador**

Se encarga de la ordenación y apilado automático sobre las paletas de las cajas de botellas llenas con producto. Consta de un conjunto motor reductor indispensable para cumplir con la función para la cual fue diseñado.

- **Lavadora de Cajas**

Es un equipo que se encarga de hacer el lavado a las cajas vacías. Está compuesto por dos bombas para cumplir con su propósito.

- **Vías**

Son las que se encargan del transporte de botellas y cajas por todas las fases del proceso productivo de la línea. Las vías involucran: Vía de botellas llenas, botellas vacías limpias, botellas vacías sucias, cajas botellas llenas, cajas botellas vacías y de cajas sin botellas.

- **Envolvedora:**

Es un equipo que gira para brindarle un recubrimiento plástico a las paletas llenas de cajas con botellas llenas, brindándole una mayor estabilidad para su transporte. Esta compuesto por un motor que acciona el cabezal donde va apoyada la paleta.

2.12.4 Línea 5: Línea de Envasado de PET

La ubicación de cada uno de los equipos fue realizada para que se lleve a cabo el proceso de envasado en dos tipos de presentaciones de 1,5 y 2 Litros de una manera correcta y efectiva. A continuación vamos a diagramar (Figura 2.12) y describir el proceso de envasado en esta línea de producción.

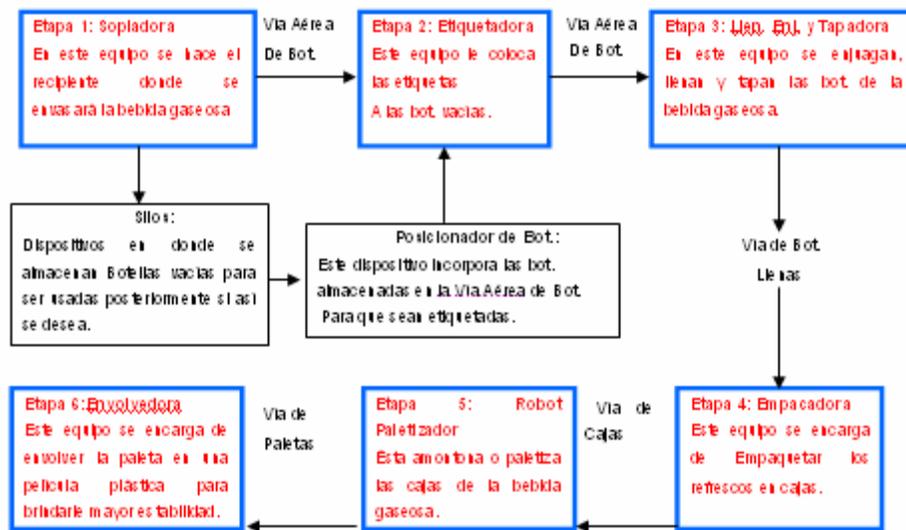


Figura 2.12: Proceso de Embotellado de la Línea 5. [Fuente: Propia]

- **Sopladora:**

Es una máquina diseñada para moldear el recipiente plástico donde se desea envasar el producto, obtenido a partir de una preforma del mismo material, consta de un motor principal cuya función es brindarle movimiento a la rueda de soplado para obtener la botella plástica.

- **Etiquetadora**

Es un equipo diseñado para etiquetar recipientes plásticos a través de la combinación de platos giratorios que hacen que la botella gire para adherirle con pegamento la etiqueta uniformemente. Esta máquina está compuesta por (02) motores.

- **Lavadora, Llenadora y Tapadora**

Este equipo (Figura 2.13) se divide en tres partes: lavado de botellas, llenado y tapado de las mismas. Éste recibe las botellas vacías etiquetadas y luego las coloca en la vía de botellas llenas dirigiéndose hacia la empacadora. Para el movimiento de los componentes del equipo este posee dos conjuntos motor-reductor en su interior.



Figura 2.13: Lavadora, Llenadora y Tapadora. [Fuente: Propia]

- **Empacadora**

Es un equipo que se encarga de ordenar y empacar los recipientes con una membrana de plástico, que es adherida a través de la aplicación de calor sobre el mismo. Este equipo posee (04) motores eléctricos en su interior.

- **Posicionador de Botellas**

Este equipo fabricado por POSIMAT, se encarga de incorporar las botellas que estaban almacenadas en los Silos en la vía aérea. Para su funcionamiento este posee (02) motores reductores para cumplir con las funciones para la cual fue diseñado.

- **Robot Paletizador**

Este dispositivo se encarga de apilar las cajas de producto sobre la paleta. Posee cada unidad cuatro (04) motores eléctricos para darle movimiento a las distintas articulaciones de las que dispone.

- **Envolvedora**

Es un equipo que se encarga de girar alrededor de la paleta de producto para brindarle una envoltura plástica para proporcionarle mayor estabilidad a la hora de su traslado. Dispone de un (01) motor para darle movimiento al cabezal giratorio.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Para la implementación del mantenimiento predictivo de equipos rotativos basado en análisis de vibraciones en la planta embotelladora, fue necesario emplear una metodología y seguir una serie de procedimientos que nos permitiera el cumplimiento de tal fin.

Con el desarrollo de este trabajo se establecen las bases del mantenimiento predictivo fundamentado en análisis de vibraciones, debido a que no se había realizado con anterioridad este tipo de estudio a los equipos de la misma.

Los equipos a someterse a estudio son aquellos susceptibles al análisis de vibración (rotativos) ubicados en el área de producción, área de servicios y salas de jarabe, de la planta.

Para cumplir con nuestros objetivos fue necesario ejecutar la siguiente metodología fundamentada en los siguientes aspectos:

3.1 Recopilación Bibliográfica

En esta etapa se recolectaron bibliografías referentes al tema de estudio y a todo lo que involucraba la implementación de esta técnica predictiva. Fue necesario recurrir a textos, publicaciones, monografías, tesis de grado, catálogos de equipos, manuales técnicos, entre otros, con el objetivo de conocer los aspectos técnicos fundamentales sobre el tema y sobre los equipos rotativos de la planta. Además se realizaron entrevistas no estructuradas o informales a: mantenedores mecánicos, jefe de

Mantenimiento y especialista mecánico, con el propósito de obtener información referente a los sistemas y equipos rotativos.

3.2 Observación del Proceso Productivo

La observación del proceso productivo juega un papel de suma importancia en el desarrollo de esta implementación, debido a que, es en donde detalladamente se identifica el papel que juega cada equipo en las distintas áreas en donde se encuentran los sistemas necesarios para hacer realidad el proceso.

Para el cumplimiento de esta etapa primeramente fue necesario asistir a una inducción de seguridad en la planta, con el objetivo de permitir el ingreso a las distintas áreas por las que está estructurada.

Posteriormente, acompañado del personal encargado de llevar a cabo las inducciones, se realizó un recorrido por las instalaciones donde se mostraron y explicaron los procesos y los equipos necesarios para la elaboración y envasado de la bebida.

3.3 Selección de los Equipos Rotativos que Podrán ser Incluidos al Análisis de Vibración

En esta etapa se observaron las diferentes variables que limitan el monitoreo de vibración a los equipos que operan en la planta, debido a que existen condiciones que no hacen posible su aplicación en ellos, tales como: condiciones de operación, condiciones de diseño del equipo, normas de seguridad, riesgo elevado para realizar el monitoreo, entre otras, que son vitales conocer para seleccionar cuales serán incluidos en el análisis de vibración mostrados en la Tabla 3.1.

Actualmente existe la instalación de una nueva línea de producción en la planta, lo que implica la inclusión de nuevos equipos a los que se les irá levantando la información necesaria para que al momento de su arranque sean incluidos en el monitoreo de vibración (siempre y cuando las variables que podrían impedir el monitoreo en los mismos lo permitan). Los equipos nuevos son los ubicados en la posición N°: 4-6 y 26-29 de la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Equipos Incluidos en el Análisis de Vibración.

N°	SISTEMA	UBICACIÓN	EQUIPO	CÓDIGO DEL EQUIPO
1	Torre de Enfriamiento compresores 01	Servicios de Planta	Bomba	TECOM-B01
2	Torre de Enfriamiento compresores 01	Servicios de Planta	Bomba	TECOM-B02
3	Torre de Enfriamiento compresores 01	Servicios de Planta	Bomba	TECOM-B03
4	Torre Enfriamiento Compresores 02	Servicios de Planta	Bomba	TECOM-B04
5	Torre Enfriamiento Compresores 02	Servicios de Planta	Bomba	TECOM-B05
6	Torre Enfriamiento Compresores 02	Servicios de Planta	Bomba	TECOM-B06
7	Compresor de Aire ABC 01	Servicios de Planta	Motor de Accionamiento Principal	MCOM01
8	Compresor de Aire ABC 02	Servicios de Planta	Motor de Accionamiento Principal	MCOM02
9	Enfriadores de Cortina	Servicios de Planta	Bomba	RFRI-AH-B01
10	Enfriadores de Cortina	Servicios de Planta	Bomba	RFRI-AH-B02
11	Enfriadores de Cortina	Servicios de Planta	Bomba	RFRISOP-B01
12	Enfriadores de Cortina	Servicios de Planta	Bomba	RFRISOP-B02
13	Sist. De Enfriamiento de Bebidas	Servicios de Planta	Bomba	SISNH3-B01
14	Sist. De Enfriamiento de Bebidas	Servicios de Planta	Bomba	SISNH3-B02
15	Sist. De Enfriamiento de Bebidas	Servicios de Planta	Bomba	SISNH3-B03

N°	SISTEMA	UBICACIÓN	EQUIPO	CÓDIGO DEL EQUIPO
16	Sist. De Enfriamiento de Bebidas	Servicios de Planta	Bomba	SISNH3-B04
17	Sist. Bombeo CIP	Servicios de Planta	Bomba	CIP-B01
18	Sist. Bombeo CIP	Servicios de Planta	Bomba	CIP-B02
19	Calentador de Placas	Servicios de Planta	Bomba	CICAL-B01
20	Disolutor de Azúcar	Jarabe Simple	Bomba	DIS-B01
21	Tanque Buffer	Jarabe Simple	Bomba	TBUF-B01
22	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JMAD-B01
23	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JMAD-B02
24	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JMAD-B03
25	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JMAD-B04
26	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JMAD-B05
27	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JMAD-B06
28	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JMAD-B07
29	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JMAD-B08
30	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JATEL4-B01
31	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JATEL5-B01
32	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JATECIP-B01
32	Sist. Bombeo Jarabe Terminado	Jarabe Terminado	Bomba	JATECIP-B01
33	Lavadora de Botellas	Envasado Línea #4	Motor- Reductor	LAV-M01
34	Lavadora de Botellas	Envasado Línea #4	Bomba	LAV-B01
35	Lavadora de Botellas	Envasado Línea #4	Bomba	LAV-B02
36	Lavadora de Botellas	Envasado Línea #4	Bomba	LAV-B03
37	Lavadora de Botellas	Envasado Línea #4	Bomba	LAV-BSODA03
38	Lavadora de Cajas	Envasado Línea #4	Bomba	LAVG-B01

N°	SISTEMA	UBICACIÓN	EQUIPO	CÓDIGO DEL EQUIPO
39	Lavadora de Cajas	Envasado Línea #4	Bomba	LAVG-B02
40	Mezcladora (Paramix)	Envasado Línea #4	Bomba	MEZ-B01
41	Mezcladora (Paramix)	Envasado Línea #4	Bomba	MEZ-B02
42	Mezcladora (Paramix)	Envasado Línea #4	Bomba	MEZ-B03
43	Mezcladora (Paramix)	Envasado Línea #4	Bomba	MEZ-B04
44	Mezcladora (Paramix)	Envasado Línea #4	Bomba	MEZ-B05
45	Mezcladora (Paramix)	Envasado Línea #4	Bomba	MEZ-B06
46	Embaladora	Envasado Línea #4	Motor –Reductor	EMB-M01
47	Desembaladora	Envasado Línea #4	Motor – Reductor	DESB-M01
48	Mezcladora (Mixer)	Envasado Línea #5	Bomba	MOJO-B01
49	Mezcladora (Mixer)	Envasado Línea #5	Bomba	MOJO-B02
50	Mezcladora (Mixer)	Envasado Línea #5	Bomba	MOJO-B03
51	Vía de Botellas	Envasado Línea #5	Motor-Reductor Vía de Bot. Llen.	VB5-M01
52	Vía de Botellas	Envasado Línea #5	Motor-Reductor Vía de Bot. Llen.	VB5-M02
53	Vía de Botellas	Envasado Línea #5	Motor-Reductor Vía de Bot. Llen.	VB5-M03
54	Vía de Botellas	Envasado Línea #5	Motor-Reductor Vía de Bot. Llen.	VB5-M04
55	Vía de Botellas	Envasado Línea #5	Motor-Reductor Vía de Bot. Llen.	VB5-M05
56	Vía de Botellas	Envasado Línea #5	Motor-Reductor Vía de Bot. Llen.	VB5-M06
57	Vía de Botellas	Envasado Línea #5	Motor-Reductor Vía de Bot. Llen.	VB5-M07
58	Vía de Cajas	Envasado Línea #5	Motor-Reductor Vía de Bot. Llen.	VB5-M08
59	Vía de Cajas	Envasado Línea #5	Motor-Reductor Vía de Bot. Llen.	VB5-M09
60	Vía de Cajas	Envasado Línea #5	Motor-Reductor	VB5-M10

3.4 Creación de Fichas con Información Técnica de los Equipos

Se elaboraron fichas con especificaciones técnicas de los equipos con el propósito de poseer información actualizada sobre aquellos que serán sometidos al análisis de vibraciones.

Para la obtención de la información técnica de los equipos fue necesario consultar los manuales del fabricante y las placas de datos técnicos que poseen cada uno de ellos en su exterior. Sin embargo, hubo una gran variedad de equipos para los que surgió la necesidad de contactar al fabricante con el fin de solicitarles datos técnicos que no se disponían, y de recurrir al personal de mantenimiento debido a que algunos de ellos no poseían ningún tipo de información y gracias a la experiencia de dicho personal en el área se pudo conseguir.

Las fichas contienen los siguientes datos:

- **Sistema:** en éste se indica el sistema principal en donde se encuentra el dispositivo o componente al que se le va a realizar el monitoreo de vibraciones.
- **Código SAP:** es aquella codificación con la cual el sistema estudiado se encuentra almacenado en el software SAP/R3, en donde se manejan la totalidad de las actividades internas como es el caso de: control administrativo, control de repuestos, control de mantenimiento, producción, materias primas, etc. Se colocó esa identificación en la ficha para adaptarlo a los procedimientos y al control de procesos en la planta.
- **Área:** en ella se indica el lugar en donde se encuentra el equipo o sistema, de acuerdo a las áreas en donde se desarrolla el proceso

productivo, de elaboración y envasado tales como: Salas de Jarabe, Envasado y Servicios de Planta.

- **Ubicación Técnica:** en ésta se coloca la ubicación técnica en donde se encuentra el equipo o sistema de acuerdo como está registrado en el sistema SAP/R3, utilizando la misma codificación para seguir con la que se rige actualmente e ir de la mano con la estandarización de la estructura de los sistemas y equipos que componen la planta.
- **Código del Equipo:** este código ha sido creado para cada equipo o subsistema al cual se le está haciendo el análisis vibracional con el fin de facilitar la identificación de los mismos. Es importante crearle nombres cortos y sencillos para la elaboración y fácil seguimiento de las rutas de monitoreo.
- **Descripción:** en ella se indica con un texto breve el subsistema o componente al que se le va a realizar el monitoreo y su función.
- **Características:** en ésta se indican las características técnicas del equipo tales como: marca, voltaje de trabajo, amperaje, caudal, altura máxima, especificación de los rodamientos, velocidad de giro, entre otras.
- **Foto del Equipo:** aquí se muestra una foto del equipo, funcionando como una ayuda visual para facilitar la identificación de los mismos.
- **Diagrama del Equipo:** es una representación esquemática del dispositivo o componente a monitorear, en donde se indica con flechas los puntos de medición del mismo para proporcionar una ayuda visual al personal encargado del monitoreo en la ubicación de los puntos de medición. En la Figura 3.1 se muestra el formato de las fichas utilizadas para recopilar la información técnica de los equipos. Así mismo en el Apéndice B se encuentran las fichas técnicas de los equipos sometidos el análisis de vibraciones.

 <p>DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO</p>	<p>Sistema: Cód. SAP: Area: Ubicación Técnica: Cód. Equipo: Descripción:</p>
<p>FOTO DEL EQUIPO</p>	<p>DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL EQUIPO</p>
<p>CARACTERÍSTICAS</p>	
<p>Marca:</p>	<p>PUNTOS DE MEDICIÓN</p>
<p>Mod.:</p>	
<p>Serial #:</p>	
<p>Volt.:</p>	
<p>Amp.:</p>	<p>PUNTOS DE MEDICIÓN</p>
<p>Pot.:</p>	
<p>Frecuencia:</p>	
<p>Rod. Punto A:</p>	
<p>Rod. Punto B:</p>	<p>PUNTOS DE MEDICIÓN</p>
<p>Rod. Punto C:</p>	
<p>Velocidad de Salida:</p>	
<p>IIº Polos:</p>	

Figura 3.1: Formato de las Fichas Técnicas para los equipos rotativos de la planta incluidos en el análisis de vibraciones. [Fuente: Propia]

3.5 Determinación de los Puntos de Medición

Estos puntos están ubicados lo más cerca posible de los apoyos de los componentes rotativos del equipo, lugares en donde se puede percibir con mayor precisión y claridad el nivel de las vibraciones.

De acuerdo a la configuración que tengan los equipos (sometidos a estudio) ya sea horizontal o vertical se especificaron los sentidos en que se van a realizar las mediciones en la totalidad de sus puntos. Los que poseen una configuración horizontal se le realizaron mediciones en los sentidos radial (vertical y horizontal) y axial, mientras que en el caso de los que poseen una configuración vertical las direcciones en que se midieron cambiaron por la misma naturaleza del montaje siendo radial (frontal y lateral) y axial. Esta identificación se realizó para evitar confusiones a la hora de la realización de las mediciones en un equipo con una configuración horizontal o vertical.

Es importante acotar que ciertos puntos de medición no pudieron ser incluidos en el análisis de vibraciones, debido a que el dispositivo de medición utilizado (Vibra-Pen Plus de SKF) solo mide en un rango de frecuencias de giro que va a partir de 10Hz y hubo algunos casos entre los equipos sometidos a estudio en los que sus componentes no alcanzan dicho valor mínimo en su frecuencia de giro. Un ejemplo de ello se muestra en la Figura 3.2, en donde se indica el esquema representativo del motor y reductor de velocidad principal de la Lavadora de Botellas, para el cual a continuación se va a mostrar el ejemplo del cálculo de las velocidades del eje de media (eje 2) para determinar si su velocidad de giro resulta ser menor que la velocidad mínima de giro permisible para poder ser incluido como punto de medición:

Tabla 3.2: Velocidades y número de dientes en el motor-reductor principal de la lavadora de botellas (LAV-M01).

VELOCIDADES EN LOS EJES	Nº DE DIENTES DE LOS ENGRANES
Eje de Alta (1): 1760 RPM	$Z_1=25$
Eje de Media (2): -	$Z_2=50$
Eje de Baja (3): 366 RPM	$Z_3= -$

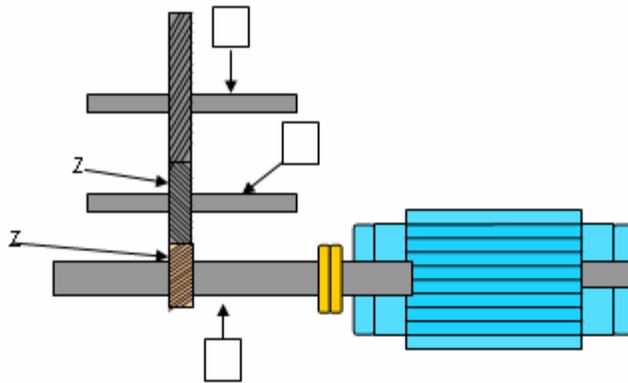


Figura 3.2: Diagrama esquemático del motor y reductor de velocidad principal de la Lavadora de Botellas (LAV-M01). [Fuente: Propia]

$$Z_1 \times N_1 = Z_2 \times N_2 = Z_3 \times N_3 \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde N_i es la velocidad de giro del eje y Z_i es el número de dientes del engranaje.

De acuerdo a la Ec.1 y los datos disponibles en cuanto a la velocidad y el número de dientes de los ejes y engranajes respectivamente se dedujo lo siguiente:

$N_2 = 880 \text{ RPM}$ = velocidad de giro a la mitad de las revoluciones del eje de alta, por las relaciones entre los dientes de los engranes $Z_1(25)$ y $Z_2(50)$.

Tal y como se dijo anteriormente, Sí $N_i > (10 \text{ Hz} = 600 \text{ RPM})$ puede ser considerado ese punto para el análisis.

En cada una de las fichas técnicas y planes de mantenimiento está plasmado mediante un diagrama esquemático, la ubicación de los puntos de medición, especificando los sentidos en que se van a realizar las mediciones con el fin de facilitar su ubicación. En las Figuras 3.3 a la 3.9 se muestran los diagramas de la distinta variedad de dispositivos estudiados.

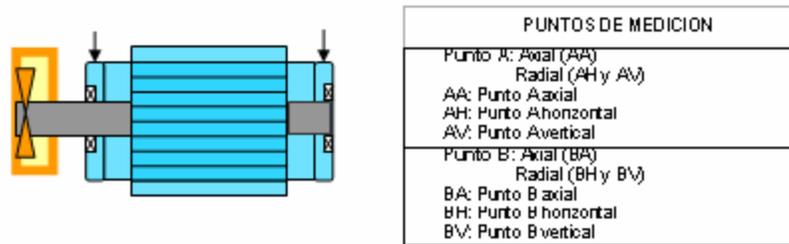


Figura 3.3: Puntos de Medición en las bombas sin acople (Monobloc) utilizadas en diversos sistemas en la planta. [Fuente: Propia]

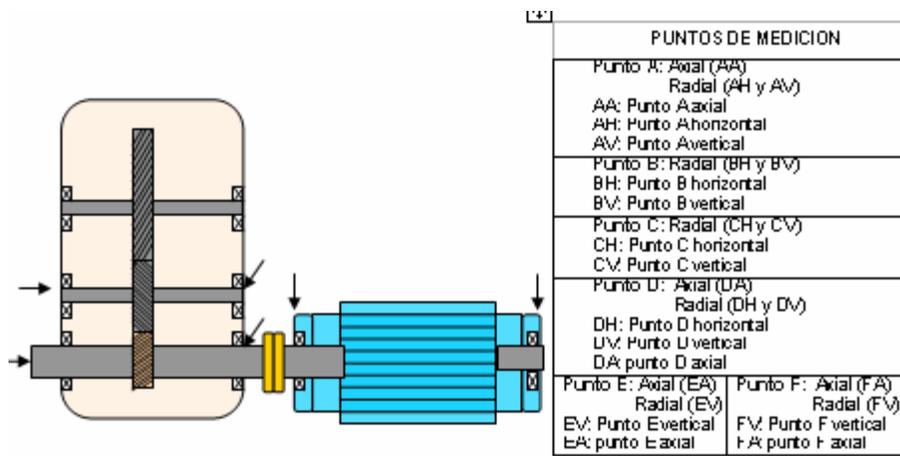


Figura 3.4: Puntos de Medición del conjunto motor-reductor principal de la Lavadora de Botellas. [Fuente: Propia]

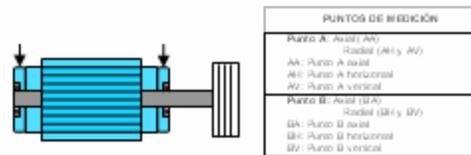


Figura 3.5: Puntos de Medición del motor con transmisión por correa ubicado en el compresor de alta en el área de Servicios.

[Fuente: Propla]

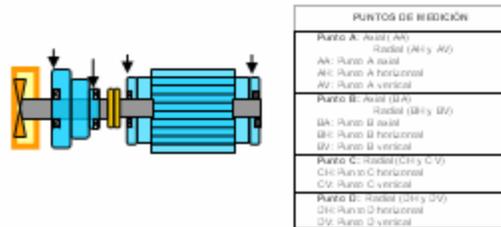


Figura 3.6: Puntos de Medición en las bombas con acople al motor. [Fuente: Propla]



Figura 3.7: Puntos de Medición en las bombas con configuración verticalmente. [Fuente: Propla]

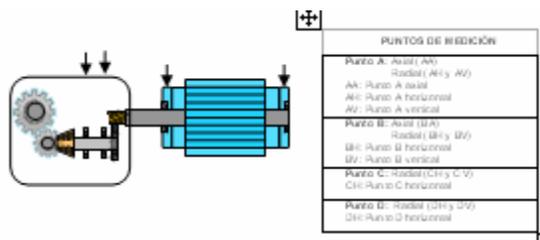


Figura 3.8: Diagrama e esquema del conjunto Motor-Reductor de la Embalsadora y Desembalsadora. [Fuente: Propla]

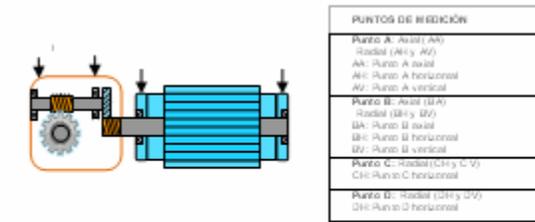


Figura 3.9: Diagrama esquemático del Conjunto Motor-Reductor de los motores de las Vías Transportadoras de Botellas y Cajas de Línea 5. [Fuente: Propia]

3.6 Definición de las Rutas en que se van a Recolectar los Niveles Vibracionales en los Equipos

Para cumplir con esta etapa se establecieron rutas de medición basadas en las áreas en donde se encuentran los equipos (Salas de Jarabe, Área de Producción y Área de Servicios), con el propósito de reducir el tiempo necesario para realizar las mediciones y evitar esfuerzos físicos innecesarios.

Es recomendable que para el momento en que se complete la implementación, se elaboren rutas basadas en una planificación realizada de acuerdo a las frecuencias de monitoreo en los equipos para así facilitar el recorrido.

En las figura 3.10 se muestra un diagrama esquemático completo de la planta embotelladora, donde se indica con números el orden en el que se recorrerá la planta para realizar las mediciones en las distintas áreas en donde se encuentran los equipos rotativos. Mientras que en las Figuras 3.11 a la 3.15 se muestran diagramas esquemáticos de cada una de las áreas por separado, en donde se indican con números, el orden en que se va a realizar el monitoreo de los equipos.

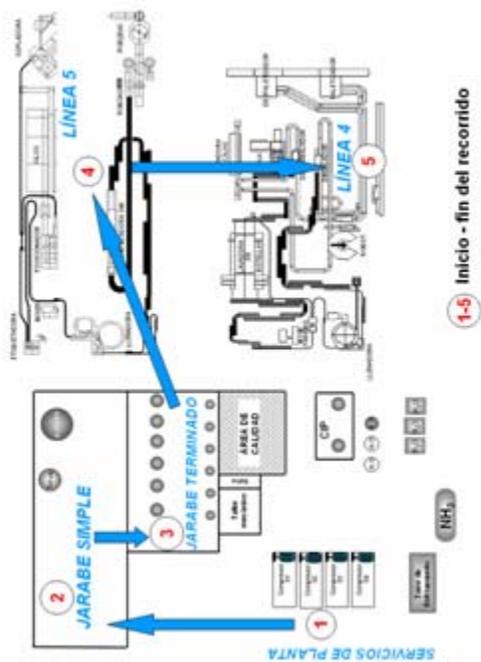


Figura 3.10 : Diagrama que representa el flujo de la planta embotelladora, indicando en que orden se va a realizar el recorrido en el recibo. [Fuente: Propia]

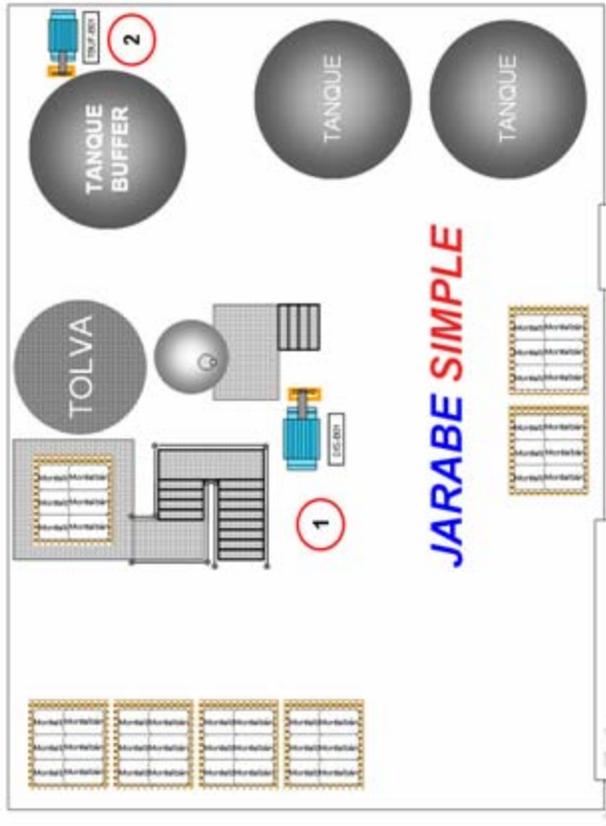


Figura 8.11: El agramma representativo de la Sala de Jarabe Simple en donde se indica con número el ruta a seguir para el monitoreo de lo equipos en el área. [Fuente : Propia]

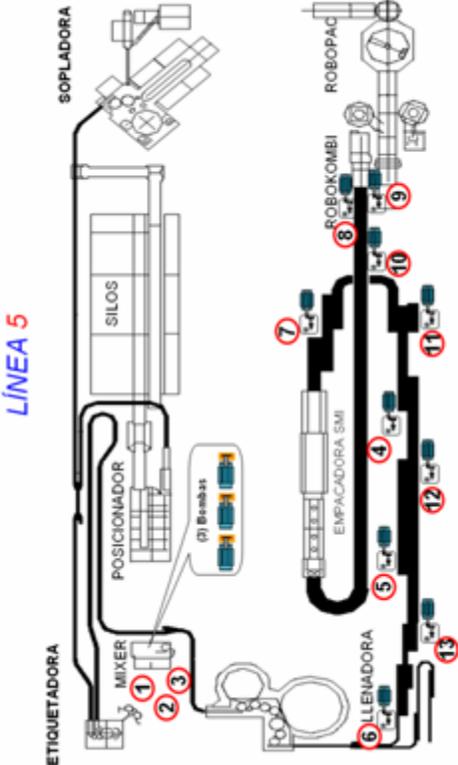


Figura 3.18: Diagrama repre ce ntativo de la Linea 5 en donde se indica con número s la ruta a seguir para el monitoreo de lo s equipos en el área. [Fuente: Pro pia]

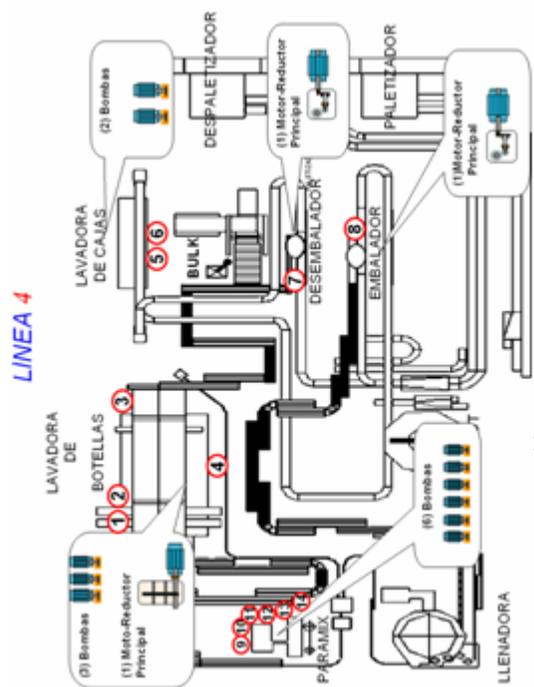


Figura 3. 14: Diagrama representativo de la Línea 4 en donde se indica con número y la tubería a seguir para el monitoreo de los equipos en el área. [Fuente: Propia]

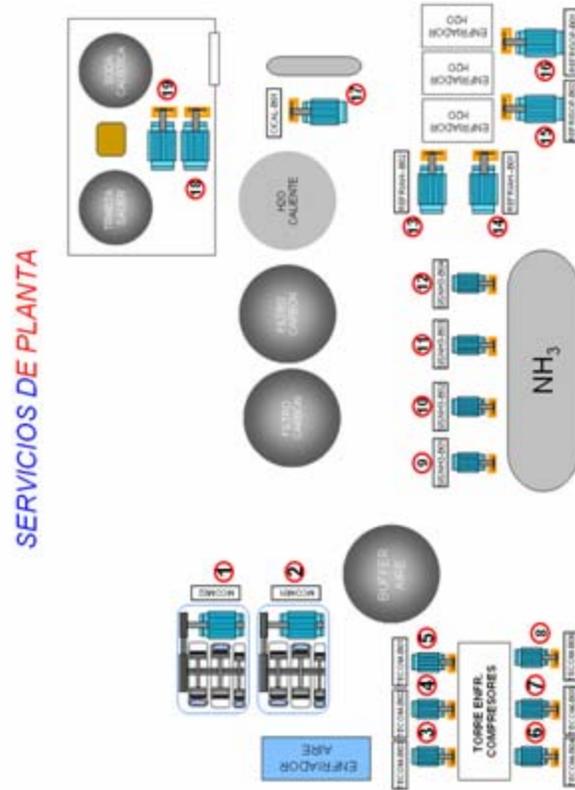


Figura 3.15: Diagrama representativo del Área de Servicios en donde se indica con un número la ruta a seguir para el monitoreo de los equipos en el área. [Fuente : Propia]

En la Tabla 3.3 se muestra la lista de los equipos a monitorear siguiendo el orden de la ruta indicada en las figuras 3.10 a la 3.15 de cada una de las áreas respectivamente.

Tabla 3.3: Orden cronológico en el que se van a recorrer las áreas y se van a medir los equipos rotativos en cada una de ellas.

SERVICIOS DE PLANTA	1.- MCOM02
	2.- MCOM01
	3.- TECOM-B03
	4.- TECOM-B02
	5.- TECOM-B01
	6.- TECOM-B04
	7.- TECOM-B05

	8.- TECOM-B06
	9.- SISNH3-B01
	10.- SISNH3-B02
	11.- SISNH3-B03
	12.- SISNH3-B04
	13.- RFRI-AH-B02
	14.- RFRI-AH-B01
	15.- RFRISOP-B02
	16.- RFRISOP-B01
	17.- CICAL-B01
	18.- CIP-B02
	19.- CIP-B01
SALA DE JARABE SIMPLE	1.- TBUF-B01
	2.- DIS-B01
SALA DE JARABE TERMINADO	1.- JATEMADU-B05
	2.- JATEMADU-B06
	3.- JATEMADU-B07
	4.- JATEMADU-B08
	5.- JATEL4-B01
	6.- JATEL5-B01
	7.- JATECIP-B01
	8.- JATEMADU-B01
	9.- JATEMADU-B02
	10.- JATEMADU-B03
	11.- JATEMADU-B04

Tabla 3.3: Orden cronológico en el que se van a recorrer las áreas y se van a medir los equipos rotativos en cada una de ellas.

(Continuación)

	1.- MOJO-B01
	2.- MOJO-B02
	3.- MOJO-B03
	4.- VB5-M05
	5.- VB5-M03
	6.- VB5-M01
	7.- VB5-M07
	8.- VB5-M09
	9.- VB5-M10
	10.- VB5-M08
	11.- VB5-M06
	12.- VB5-M04
	13.- VB5-M02
LÍNEA 5	
LÍNEA 4	1.- LAV-M01
	2.- LAV-B01
	3.- LAV-B02
	4.- LAV-B03
	5.- LAVG-B01
	6.- LAVG-B02
	7.- DESB-M01
	8.- EMB-M01
	9.- MEZ-B01

	10.- MEZ-B02
	11.- MEZ-B03
	12.- MEZ-B04
	13.- MEZ-B05
	14.- MEZ-B06

3.7 Establecimiento de los Niveles de Alarma y Pre-Alarma de cada uno de los Equipos

Por no disponer de un historial de vibraciones mediante el cual se hubiese podido observar el comportamiento vibracional de los equipos para ser utilizado como base en el establecimiento de los niveles propios de alarma y pre-alarma, fue necesario recurrir a normas como es el caso de la ISO-2372 mostrada en la Figura 3.16, en donde se establecen criterios de severidad en unidades de velocidad basados en la potencia de la maquinaria. Para cada equipo en el plan de mantenimiento está indicado el nivel de alarma y pre-alarma así como se observan en el Apéndice A.

45,00	NO PERMISIBLE	NO PERMISIBLE	NO PERMISIBLE	NO PERMISIBLE	
28,00				LÍMITE	
18,00			LÍMITE	LÍMITE	LÍMITE
11,20					ADMISIBLE
7,10			LÍMITE	ADMISIBLE	ADMISIBLE
4,50	ADMISIBLE				
2,20	NORMAL				
1,80	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	
1,12				NORMAL	
0,71				NORMAL	
0,45				NORMAL	
0,28	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	
0,18				NORMAL	
Vel. (mm/s)	Máquinas Pequeñas (<15kW)	Máquinas Med. (15-75 kW) (300	Máquinas Grandes (base rígida)	Máquinas Grandes (alta	

		kW, Soporte Especial)	(>75kW)	velocidad (>75kW)
--	--	------------------------------	-------------------	-----------------------------

Figura 3.16: Criterios de Severidad de las vibraciones acordes con la Norma ISO-2372. [Fuente: Propia]

3.8 Determinación de la Frecuencia de Monitoreo de los Equipos de Rotativos de la Planta:

Para la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones es fundamental establecer las frecuencias en que se van tomar los parámetros vibracionales de cada uno de los equipos rotativos.

Cuando no se dispone de un histórico vibracional y ningún tipo de plan de mantenimiento basado en análisis de vibraciones como lo es este caso, es necesario ser cauteloso a la hora de la determinación de las frecuencias de monitoreo, ya que son fundamentales para determinar la tendencia o comportamiento en el tiempo de los parámetros vibracionales de cada uno de los equipos, para posteriormente asignarle valores propios de alarma y pre-alarma. La asignación de valores propios, brinda un fortalecimiento al análisis de vibraciones, y aún más cuando se utilizan niveles de vibración overall o niveles globales de vibración ya que cada equipo se comporta de manera distinta a otro así posea la misma configuración y trabaje bajo las mismas condiciones.

Para la determinación de las frecuencias de monitoreo se basó en lo siguiente:

3.8.1 Nivel de Vibración y su variación

Lo que se realizó para utilizar los niveles de las vibraciones como criterio para el establecimiento de las frecuencias, fue medir las vibraciones de manera de observar si los equipos presentaban niveles elevados con respecto a valores de alarma y pre-alarma o si presentaban variaciones evidentes, con el propósito de usar dichos parámetros como criterios para establecer las frecuencias con las que se van a realizar las mediciones en los equipos. En general las frecuencias deben ser dinámicas, es decir, no deberán ser fijas todo el tiempo, se procurará considerar frecuencias cortas los días posteriores a las actividades correctivas de los equipos.

3.8.2 Recomendaciones realizadas por el Personal de Mantenimiento

Otro Parámetro considerado para establecer frecuencias de monitoreo, fue la opinión del personal de mantenimiento sobre cuales de los equipos incluidos en el estudio de vibraciones consideraban que se le debía hacer un seguimiento a frecuencias cortas por la cantidad de paradas que han producido a la producción.

Es importante tomar en cuenta que, una buena manera de saber si las frecuencias establecidas son las correctas es observando la disminución de las paradas inesperadas en los equipos.

3.9 Formulación de un Plan de Mantenimiento Predictivo Basado en Análisis de Vibraciones

El Cumplimiento de las fases anteriores fueron elementos fundamentales para lo que fue la formulación de los planes de mantenimiento predictivo de los equipos rotativos de la planta.

En el desarrollo de esta etapa se elaboraron 3 herramientas para hacer que esta implementación contenga la mayor cantidad de elementos que faciliten su aplicación, entendimiento y análisis de los resultados obtenidos, las cuales son mostradas a continuación:

3.9.1 Formatos para el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones

Los formatos fueron realizados para cada uno de los equipos nombrados en el Apéndice A, y estos contienen información básica y general sobre el monitoreo. El formato es el mostrado en la Figura 3.17 y a continuación se nombrarán y explicarán sus partes:

- Frecuencia: en esta casilla va colocada la frecuencia a la cual se le determinó que se debe realizar el monitoreo de vibraciones al equipo.
- Emplazamiento: es el área de la planta en donde está ubicado el equipo.
- Código Rutina: este código fue creado para cada una de las rutinas del monitoreo de vibraciones, utilizando nomenclaturas basadas en el sistema al que pertenece el equipo y el área de la planta en donde se encuentra.
- Tiempo total: es el tiempo estimado para la recolección de las vibraciones en el equipo, es decir, el tiempo de duración de la actividad.

- Número de Personas: la cantidad de personas necesarias para realizar la actividad.
- Datos del Medidor: contiene información sobre el dispositivo de medición de las vibraciones, tales como marca y modelo del mismo.
- Niveles de Alarma y Pre-Alarma: en dicho espacio van colocados los valores de alarma y pre-alarma del equipo.
- Rutina de Monitoreo de Vibración: en estos espacios del formato se encuentran diferentes recuadros en donde se anotará la fecha de la medición, las direcciones en las que se medirán las vibraciones, los parámetros de las mediciones, los diferentes puntos de medición del equipo, entre otras.

 PEPSI-COLA VENEZUELA C.A. PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PLANTA BARCELONA			DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL EQUIPO				
EQUIPO:		EMPLAZAMIENTO:					
CÓDIGO:		CÓD. RUTINA:					
ACTIVIDAD:		TIEMPO TOTAL:					
FRECUENCIA:		Nº. DE PERSONAS:					
DATOS MEDIDOR		NIVELES DE ALARMA Y PRE-ALARMA					
MARCA:		PRE-ALARMA:					
MOD.:		ALARMA:					
OBSERVACIÓN:							
RUTINA DE MONITOREO DE VIBRACIÓN							
FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN				OBSERVACIONES
			A	B	C	D	
	Axial	Val. (mm/s)					
		Accel. (G ^z)					
	Vertical	Val. (mm/s)					
		Accel. (G ^z)					
	Horizontal	Val. (mm/s)					
		Accel. (G ^z)					
	Axial	Val. (mm/s)					
		Accel. (G ^z)					
	Vertical	Val. (mm/s)					
		Accel. (G ^z)					
	Horizontal	Val. (mm/s)					
		Accel. (G ^z)					
	Axial	Val. (mm/s)					
		Accel. (G ^z)					
	Vertical	Val. (mm/s)					
		Accel. (G ^z)					
	Horizontal	Val. (mm/s)					
		Accel. (G ^z)					
Procedimiento de Seguridad para realizar el Monitoreo							
1- Evitar cualquier tipo de prendas, o vestimentas muy holgadas.							
2- Colocarse los Equipos de Protección Personal de Acuerdo al Área donde se encuentra.							
3- Evitar colocarse en posiciones y posturas en las que se interfiera con el funcionamiento del equipo o que pueda ocasionar accidentes.							
4- De notar desperfectos o desajustes por favor limitarse a notificar no realizar ajustes por su cuenta.							
Observaciones: _____							

Figura 3.17: Formato de los planes de Mantenimiento Predictivo por monitoreo de Vibraciones. [Fuente: Propia]

3.9.2 Formatos para el Registro Histórico de las Vibraciones en los Equipos

Se creó para cada equipo un formato digital que funcionará como histórico del comportamiento vibracional del equipo a través del tiempo, para que

como hemos dicho en reiteradas ocasiones se puedan establecer en el, de acuerdo a su comportamiento, los valores propios de alarma y pre-alarma factor clave cuando se utilizan valores globales de vibración. La razón por la que se creó este tipo de formato es debido a que la implementación de esta técnica predictiva es un proyecto en ejecución, y actualmente no ha sido integrado al SAP/R3 que es el sistema de manejo de las actividades internas de la misma, por lo que no se puede llevar un control sistematizado por la organización de las actividades de monitoreo.

Tal y como se observa en la Figura 3.18 en ellos se colocará la fecha en la que fueron realizadas las mediciones y el valor obtenido en cada punto de medición en las direcciones en las que se midió.

PEPSI-COLA VENEZUELA - PLANTA BARCELONA

HISTÓRICO VIBRACIONAL

PUNTOS DE MEDICIÓN

FECHA	AA		AV		AH		BA		BV		BH		CA		CV		CH		DA		
	Vel. (mm/s)	Acel. (g)																			

PUNTO DE MEDICIÓN:
A, R, C, D, E, F

DIRECCIÓN:
A: AXIAL
V: VERTICAL
H: HORIZONTAL

Figura 3.18: Formato para el control y registro del monitoreo de vibraciones realizado a los equipos. [Fuente: Propia]

3.9.3 Generación de Gráficas de Tendencia de los Puntos de Medición en Cada una de las Direcciones en las que Fueron Tomados los Niveles Vibracionales

Estas gráficas están compuestas por un eje vertical en donde se ubican los parámetros de las vibraciones, y uno horizontal en donde se indica el tiempo o la fecha en la que fueron realizadas las mediciones. Ellas están vinculadas con el historial de vibraciones, de manera que al registrar los valores obtenidos, se va generando la tendencia o el comportamiento de las vibraciones de cada punto y dirección a través del tiempo.

En la figura 3.19 y 3.20 se puede apreciar el formato de las gráficas; cada una contiene una línea de referencia amarilla para el valor de pre-alarma y roja para el valor de alarma, para que a simple vista en cada punto y dirección se aprecie la evolución del equipo con respecto a los niveles límites y los no permisibles. Habrá para cada punto en las diferentes direcciones de medición dos gráficas, ya que fueron únicamente dos parámetros (velocidad y aceleración) los que se pudieron medir con el equipo disponible actualmente.



Figura 3.19: Ejemplo de Gráfico de tendencia de las vibraciones en los equipos en unidades de velocidad. [Fuente: Propia]



Figura 3.20: Ejemplo de Gráfico de tendencia de las vibraciones en los equipos en unidades de aceleración. [Fuente: Propia]

3.10 Técnicas Predictivas como Complemento al Análisis de Vibraciones

La empresa siempre en la búsqueda de técnicas nuevas y de última tecnología que funcionen en pro del aumento de la confiabilidad y operatividad de sus equipos requirió que se realizaran propuestas y recomendaciones de otras técnicas predictivas como complemento al análisis de vibraciones para al mismo tiempo también incluir algunos de los sistemas y equipos que no pudieron ser analizados por vibraciones por razones de ubicación, diseño, entre otras.

Para el cumplimiento de esta etapa fue necesario recurrir nuevamente al personal de mantenimiento, para obtener opiniones y consideraciones con

respecto a aquellos equipos y componentes que sean susceptibles a la aplicación de otra técnica predictiva ya sea para complementar el análisis de vibraciones o para predecir algún tipo de falla que anteriormente haya perjudicado al equipo, a la producción o al personal.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se analizan y muestran los resultados obtenidos después de la ejecución de los objetivos planteados y de las metodologías empleadas, con el propósito de exponer de manera explícita los aspectos relevantes resultantes del trabajo realizado.

A continuación se van a presentar los resultados del análisis de vibraciones realizado:

4.1 Resultados más Relevantes de los Equipos Sometidos al Análisis de Vibración

4.1.1 Conjunto Motor – Bomba del Calentador de Placas (CICAL-B01):

Segunda Medición (Tabla 4.1): en esta medición se observó un crecimiento notable del nivel de las vibraciones en comparación con la primera tanto en unidades de velocidad como de aceleración. En el plan de mantenimiento del equipo se colocó como observación un aumento progresivo de los valores de aceleración en el momento en que era colocado el acelerómetro en los puntos de medición AV, AH, BV y BH, característica

típica en la presencia de defectos a alta frecuencia como son los de los rodamientos.

Tabla 4.1: Medición de las Vibraciones del Conjunto Motor – Bomba del Calentador de Placas (CICAL-B01).

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN	
				A	B
PRIMERA MEDICIÓN	17/06/08	Axial	Vel. (mm/s)	1	-
			Acel. (G's)	0,46	-
	17/06/08	Vertical	Vel. (mm/s)	1,9	1,2
			Acel. (G's)	0,26	0,22
	17/06/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	3,1	2,3
			Acel. (G's)	0,3	0,34
SEGUNDA MEDICIÓN	15/07/08	Axial	Vel. (mm/s)	3,6	-
			Acel. (G's)	1	-
	15/07/08	Vertical	Vel. (mm/s)	4,8	6
			Acel. (G's)	6,76	6,54
	15/07/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	4,4	4,5
			Acel. (G's)	5,62	6,72

Además de lo anteriormente dicho, el equipo estaba produciendo un elevado nivel de ruido, por lo tanto se planificó un desmontaje en donde se encontró lo siguiente:

El rodamiento del lado motriz del motor (7206 BEP) presentó deformación en la jaula tal y como se observa en la Figura 4.1.

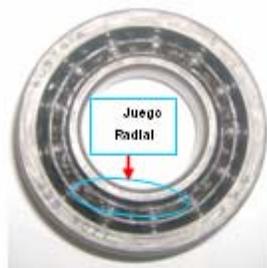


Figura 4. 1: Rodamiento del lado motriz del motor. [Fuente: Propia]

El rodamiento del lado no motriz (6005-2ZC3) presentó ligero juego axial (Figura 4.2).



Figura 4. 2: Rodamiento lado no motriz del motor. [Fuente: Propia]

El rotor o inducido del motor presentaba huellas de roce. Esto pudo ser producto del juego radial del rodamiento del lado no motriz ya que ahí fue que se produjo la marca (figura 4.3).



Figura 4.1: Muestra de huella por el roce del rotor en el lado motriz del motor. [Fuente: Propia]

Se corrigieron las fallas detectadas, y se realizó la medición de los valores para verificar que se corrigieron los problemas en el equipo (tabla 4.2):

Tabla 4.2: Tercera Medición del Nivel de las Vibraciones del Conjunto Motor-Bomba del Calentador de Placas (CICAL-B01) después de Realizarle las Actividades Correctivas.

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN	
				A	B
TERCERA MEDICIÓN	16/07/08	Axial	Vel. (mm/s)	1	-
			Acel. (G's)	0,52	-
	16/07/08	Vertical	Vel. (mm/s)	1,5	0,9
			Acel. (G's)	0,46	0,52
	16/07/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	2,1	2,4
			Acel. (G's)	0,6	0,3

A partir de los resultados en las mediciones se estableció una frecuencia mensual para el monitoreo de las vibraciones del equipo, la misma podrá variar de acuerdo al comportamiento en el tiempo de los valores medidos, es decir, si se presentan numerosas paradas inesperadas en el equipo, será

necesario ajustar el tiempo entre las mediciones para lograr la reducción al máximo de ese tipo de eventos.

4.1.2 Conjunto Motor – Bomba del Tanque Buffer o de Almacenamiento de Jarabe Simple (TBUF-B01):

Primera Medición (Tabla 4.3): en ésta se obtuvieron niveles que alcanzan y sobrepasan el nivel de alarma preestablecido el cual es 4,5mm/s para este equipo. En una sección posterior se definirá el procedimiento para solventar la superioridad de los valores medidos a los niveles de alarma establecidos.

En los puntos AV, BV y BH en unidades de aceleración se obtuvieron respectivamente los siguientes valores: (1,78G's), (1,82G's) y (1,78 G's) que podrían indicar la presencia de defectos en los rodamientos, ya que el equipo de medición, en unidades de aceleración, filtra las frecuencias bajas (por debajo de 10 kHz) y aclara las altas o repetitivas, característica principal en las fallas de rodamientos.

Segunda Medición (Tabla 4.3): al realizar la segunda medición se obtuvieron valores de velocidad similares a la primera medición con la diferencia de que en el punto BV y BH se observó un crecimiento notable en unidades de aceleración, comportamiento que podría indicar la presencia de defectos en ese apoyo, ya que generalmente el rodamiento defectuoso es el que se encuentra más cerca del punto donde ocurre el mayor nivel de vibración.

Tabla 4.3: Medición de las vibraciones del conjunto Motor – Bomba del Tanque Buffer (TBUF-B01).

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN	
				A	B
PRIMERA MEDICIÓN	18/06/08	Axial	Vel. (mm/s)	4,6	-
			Acel. (G's)	0,56	-
	18/06/08	Vertical	Vel. (mm/s)	5,6	5,7
			Acel. (G's)	1,78	1,82
	18/06/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	4,6	4,2
			Acel. (G's)	1	1,78
SEGUNDA MEDICIÓN	07/07/08	Axial	Vel. (mm/s)	5	-
			Acel. (G's)	0,72	-
	07/07/08	Vertical	Vel. (mm/s)	5,7	5
			Acel. (G's)	1,32	13,5
	07/07/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	4,9	4
			Acel. (G's)	1,32	6

Por las razones anteriormente descritas se solicitó hacerle mantenimiento a este equipo encontrándose lo siguiente:

- Se observó jarabe solidificado o azúcar en lado motriz de la bomba tal y como se observa en la Figura 4.4, factor que ha sido causante de paradas no programadas del equipo ya que el fluido de trabajo con el tiempo penetra en los componentes mecánicos afectándolo por su acción abrasiva.



**Figura 4. 2: Lado motriz de la bomba con restos de jarabe simple solidificado (azúcar) fuente de desgaste en los componentes mecánicos.
[Fuente: Propia]**

En el desmontaje del motor se notó, que el rodamiento del lado motriz (6308-2RS, Figura 4.5(a)) estaba rodeado de grasa con aspecto y olor a quemado, al retirarse la tapa del mismo se observó que estaba seca y adherida a las jaulas (Figura 4.5(b)) factor que pudo ser ocasionado por las elevadas temperaturas palpadas en el equipo, produciendo la disminución de la viscosidad y la pérdida de sus propiedades.



Figura 4. 3: a) Estado del Rodamiento del lado motriz del conjunto motor – bomba del tanque buffer al retirarlo del motor, b) Rodamiento del lado motriz del conjunto motor – bomba del tanque buffer sin la tapa selladora.

[Fuente: Propia]

óxido en el anillo interno del rodamiento, defecto conocido como oxidación de contacto que con el tiempo puede ocasionar fallas en los rodamientos. La principal causa de este defecto es el montaje inadecuado o desperfectos en el eje.

Posterior al cambio de los rodamientos y a la limpieza del dispositivo se procedió realizar la tercera medición de las vibraciones donde se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 4.4.

Tercera medición (Tabla 4.4): se puede observar como con la sustitución de los rodamientos disminuyeron los valores de aceleración en el punto BV y BH, pero se siguen manteniendo valores de velocidad elevados con respecto al nivel de alarma establecido para el equipo. En una sección posterior se definirá el procedimiento para solventar la superioridad de los valores medidos a los niveles de alarma establecidos.

Tabla 4.4: Tercera Medición del Nivel de las vibraciones del equipo (TBUF-B01) posterior a las actividades correctivas.

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN	
				A	B
TERCERA MEDICIÓN	10/07/08	Axial	Vel. (mm/s)	4,0	-
			Acel. (G's)	0,8	-
	10/07/08	Vertical	Vel. (mm/s)	5,5	4,7
			Acel. (G's)	1,86	3,24
	10/07/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	4,2	3,4
			Acel. (G's)	1,0	1,78

De acuerdo a las recomendaciones del personal de mantenimiento y a los resultados en las mediciones se estableció una frecuencia semanal para el monitoreo de las vibraciones del equipo en cuestión, la cual podrá variar de acuerdo al comportamiento del equipo en el tiempo, ajustándose hasta conseguir la reducción al máximo de las paradas no programadas en el equipo.

4.1.3 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Agua Helada para Acondicionamiento de Aire de las Salas (REFRI-AH-B02)

Es importante destacar que este dispositivo se encontraba en redundancia pasiva junto a otro similar al mismo (REFRI-AH-B01), por lo que se consultó con el personal responsable del área para confirmar que el equipo estaba en perfectas condiciones para su operación. Posteriormente se arrancó y se realizaron las mediciones donde se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.5.

Primera Medición (Tabla 4.5): el equipo al ser puesto en marcha presentó un elevado nivel de ruido. Al medir en los puntos C y D, que corresponden a la bancada de la bomba, el aparato de medición arrojaba la palabra “over” lo que indicó que se estaban percibiendo defectos a frecuencias que exceden el límite máximo permisible para el equipo de medición utilizado (Max. 30 KHz), lo que llevó a la conclusión de que los rodamientos se encontraban severamente dañados.

Tabla 4.5: Primera Medición de las Vibraciones del Conjunto Motor – Bomba (REFRI-AH-B02).

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN			
				A	B	C	D
PRIMERA MEDICIÓN	18/06/08	Axial	Vel. (mm/s)	4	4,9	-	-
			Acel. (G's)	0,78	0,68	-	-
	18/06/08	Vertical	Vel. (mm/s)	3	3,4	over	over
			Acel. (G's)	0,56	0,72	over	over
	18/06/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	2	2,7	over	over
			Acel. (G's)	0,56	0,6	over	over

Se procedió al desmontaje del equipo donde se observó lo siguiente:

En la bancada de la bomba se encontraron los rodamientos severamente dañados, éstos se trancaban y presentaban juego radial. En la Figura 4.6 se muestra la parte interna del rodamiento en donde se aprecian: picaduras en la pista y en las bolas, juego anormal de las bolas en la jaula, entre otras.



Figura 4. 4: Pista Interior, Jaula y Bolas del rodamiento de la bancada del equipo (REFRI-AH-B01). [Fuente: Propia]

Posterior a la sustitución de los rodamientos de la bancada de la bomba se realizaron mediciones para observar el comportamiento de los niveles de vibración (Tabla 4.6).

Segunda Medición (Tabla 4.6): en la segunda medición realizada posterior a las actividades correctivas se pudo apreciar que los valores de velocidad en los puntos de medición A y B correspondientes al motor se obtuvieron similares a la primera medición ubicados en el rango de pre-alarma, sin embargo en los puntos de medición C y D con la sustitución de los

rodamientos se pudieron tomar lecturas claras del nivel de las vibraciones caso contrario a la primera medición.

Tabla 4.6: Medición de las vibraciones del conjunto Motor – Bomba (REFRI-AH-B02) posterior a las actividades correctivas

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN			
				A	B	C	D
SEGUNDA MEDICIÓN	18/06/08	Axial	Vel. (mm/s)	4,3	4,4	-	-
			Acel. (G's)	0,5	0,64	-	-
	18/06/08	Vertical	Vel. (mm/s)	3,3	3,3	4,1	3
			Acel. (G's)	0,42	0,56	0,64	0,56
	18/06/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	2,6	1,8	1,2	1,1
			Acel. (G's)	0,26	0,68	0,68	0,6

En la planta, el balanceo de los ejes rotativos no se realiza y para la alineación se utilizan métodos poco confiables, tal y como lo es el método de la regla observado en la figura 4.7. Este tipo de eventos deben eliminarse ya que estas son parámetros fundamentales para alargar la vida de los componentes de los dispositivos.



Figura 4. 5: Método utilizado para alinear los ejes en la planta.

[Fuente:

<http://www.pruftechnik.de/alignment/lenado/whyalignment/why.htm#>]

De acuerdo a los resultados obtenidos en la última medición realizada se estableció una frecuencia mensual para este equipo, que podrán ajustarse de acuerdo al comportamiento del nivel de las vibraciones en el tiempo, buscando la reducción de las paradas inesperadas.

4.1.4 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Agua Helada para la Sopladora (REFRISOP-B01):

Primera Medición (Tabla 4.7): se encontraron valores excesivamente altos de velocidad en la dirección axial en los puntos A y B (32,7 mm/seg) y (27,9 mm/seg) respectivamente. Además en el punto B en el momento en que se colocó el acelerómetro en las distintas direcciones en que se midió se obtuvo un crecimiento progresivo del nivel de las vibraciones en unidades de aceleración hasta alcanzar su valor estable en (16,2 G's) en la dirección axial, (10,6 G's) en la dirección vertical y (7,56 G's) en la dirección horizontal lo que nos indica la presencia de posibles problema en el rodamiento del lado motriz del motor. Se atribuye directamente el problema a ese rodamiento debido a que el defectuoso es generalmente el que se encuentra más cerca del punto donde ocurre el mayor nivel de vibración de este tipo y además, en este caso, solo se observó ese comportamiento en las distintas direcciones en las que se midió en ese mismo punto.

Tabla 4.7: Primera Medición de las vibraciones del conjunto Motor – Bomba (REFRISOP-B01).

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN			
				A	B	C	D
PRIMERA MEDICIÓN	15/07/08	Axial	Vel. (mm/s)	32,7	27,9	-	-
			Acel. (G's)	0,76	16,2	-	-

15/07/08	Vertical	Vel. (mm/s)	16,1	23	2,1	2,0
		Acel. (G's)	0,94	10,6	2,08	0,76
15/07/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	2,6	6,4	2,9	2,3
		Acel. (G's)	0,98	7,56	1,44	0,42

Por los resultados obtenidos en la medición se consultó con los mantenedores mecánicos y se realizó el desmontaje del equipo encontrándose lo siguiente:

A simple vista se apreció desalineación.

Se observó desgaste en la camisa del eje y deformación en el mismo, lo que podría ser fuente de desbalance en el eje (Figura 4.8).



Figura 4. 6: Camisa del eje de la bomba. [Fuente: Propia]

En la cara rotativa del sello se observó huellas de roce no uniformes lo que hace hincapié en un posible desbalance en el eje (Figura 4.9).



Figura 4. 7: Huella de desgaste no uniforme en la cara rotativa del sello. [Fuente: Propia]

Se realizó la sustitución de la camisa del eje de la bomba por el desgaste presentado, pero no se realizó mantenimiento al motor, punto que se había sugerido a la hora de realizar mantenimiento.

Ya instalado nuevamente el equipo se procedió a la medición de las vibraciones para observar su comportamiento resultando los siguientes valores mostrados en la tabla 4.8.

Segunda Medición (tabla 4.8): en la segunda medición realizada posterior a la sustitución de la camisa del eje y de los rodamientos en la bancada de la bomba se obtuvo una disminución únicamente en unidades de aceleración en los puntos C y D en la dirección vertical y horizontal. Es apreciable el aumento de los valores en unidades de velocidad y aceleración de los puntos A y B en las distintas direcciones si son comparados con la primera medición realizada, lo que pudo ser producto de la falta de herramientas necesarias para realizar balanceos y alineaciones del equipo posterior a la sustitución de sus componentes.

Tabla 4.8: Segunda Medición de las Vibraciones del Conjunto Motor – Bomba (REFRISOP-B01) Posterior a las Actividades Correctivas

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN			
				A	B	C	D
SEGUNDA MEDICIÓN	22/08/08	Axial	Vel. (mm/s)	39,2	34,5	-	-
			Acel. (G's)	2,64	16,8	-	-
	22/08/08	Vertical	Vel. (mm/s)	21,5	24,3	4,6	3,9
			Acel. (G's)	2,22	15,64	0,56	0,86
	22/08/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	5,6	6,8	5,9	4,3
			Acel. (G's)	1,20	14,42	0,68	0,72

4.1.5 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Agua Helada de la Sopladora (REFRISOP-B02):

Primera Medición (Tabla 4.9): en la primera medición se pudo observar que en casos como el punto A axial los valores medidos en unidades de velocidad duplican el nivel de alarma establecido (7,1mm/s).

En el punto C y D correspondiente a la bancada de la bomba se percibieron aumentos del nivel de aceleración lo que indicó posibles defectos en los rodamientos.

Además de problemas de alineación o desbalance que podrían estar ocasionando esta superioridad de los valores medidos con el nivel de alarma establecido para este equipo, es posible que la base o fundación en la cual está sostenida no sea la adecuada.

Segunda Medición (Tabla 4.9): En la segunda medición se apreciaron en unidades de velocidad en los puntos A y B en dirección axial. El aumento

más notable se dio en unidades de aceleración en los puntos C y D en las direcciones vertical y horizontal alcanzando valores excesivamente altos comparados con la primera medición. Esos valores de aceleración indican el incremento de la severidad del problema en los rodamientos de la bancada detectados en la primera medición.

Tabla 4.9: Primera y Segunda Medición Realizada al Conjunto Motor – Bomba (REFRISOP-B01).

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN			
				A	B	C	D
PRIMERA MEDICIÓN	17/06/08	Axial	Vel. (mm/s)	16,9	14,5	-	-
			Acel. (G's)	0,26	1,28	-	-
	17/06/08	Vertical	Vel. (mm/s)	8,5	9,6	11,2	9,6
			Acel. (G's)	0,76	0,52	2,38	2,84
	17/06/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	11,3	8,1	14,0	8,0
			Acel. (G's)	0,72	0,52	4,68	1,24
SEGUNDA MEDICIÓN	23/07/08	Axial	Vel. (mm/s)	18,4	16,8	-	-
			Acel. (G's)	0,46	1,54	-	-
	23/07/08	Vertical	Vel. (mm/s)	6,0	10,5	8,9	7,1
			Acel. (G's)	0,72	1,44	11,4	14,4
	23/07/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	9,7	8,9	11,6	6,7
			Acel. (G's)	0,76	1,82	14,8	8,42

Por las razones expuestas anteriormente se generó una orden de mantenimiento para el desmontaje en donde se encontró lo siguiente:

Los rodamientos correspondientes a la bancada de la bomba ubicados en los puntos C y D fueron revisados pero no se apreciaba ningún juego anormal en sus componentes, al ser seccionados para observar su interior se apreciaron huellas localizadas en la pista exterior tal y como se observa en la Figura 4.10.



Figura 4. 8: Pista externa del rodamiento de la bancada de la bomba.

[Fuente: Propia]

Los rodamientos pertenecientes al motor parecían estar en buen estado.

Posterior a la sustitución de los rodamientos de la bancada de la bomba se realizaron mediciones y se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 4.10.

Tercera Medición (Tabla 4.10): podemos observar como con la sustitución de los rodamientos en la bancada se redujeron los niveles de aceleración en dichos puntos (C y D), sin embargo es importante acotar que se siguen

percibiendo niveles en unidades de velocidad que exceden el nivel de alarma pre-establecido.

Tabla 4.10: Tercera Medición realizada al conjunto Motor – Bomba (REFRISOP-B01) posterior a las actividades correctivas.

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN			
				A	B	C	D
TERCERA MEDICIÓN	01/09/08	Axial	Vel. (mm/s)	18,6	13,4	-	-
			Acel. (G's)	0,64	2,16	-	-
	01/09/08	Vertical	Vel. (mm/s)	7,3	23,2	7,4	5,7
			Acel. (G's)	2,22	1,14	2,56	3,18
	01/09/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	11	10,6	5,2	3,4
			Acel. (G's)	2,22	0,98	7,18	2,6

Es indispensable seguir de cerca de este dispositivo, pues, al arrojar niveles tan elevados que sobrepasan en tal magnitud el nivel de alarma establecido para el mismo, la vida útil de los componentes podría reducirse enormemente y producir fallas catastróficas en el equipo. En una sección posterior se definirá el procedimiento para solventar la superioridad de los valores medidos a los niveles de alarma establecidos para cada equipo.

4.1.6 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Recirculación del Tanque #6 en la Lavadora de Botellas de Línea #4 (LAV-B01):

Primera Medición (Tabla 4.11): El nivel de las vibraciones en unidades de aceleración en el punto AV difiere de los demás pudiendo existir la manifestación de defectos en el rodamiento.

Segunda Medición (Tabla 4.11): en la segunda medición es apreciable como el punto que en la primera medición difería a los demás (punto AV), presentó un aumento considerable comparado con el primer valor obtenido, es decir, que en el tiempo entre ambas mediciones el defecto se ha acentuado un poco más. Por estar percibiéndose solo en ese punto un nivel anormal de aceleración se sospecha aún mas de que el causante de ello sea una falla en ese rodamiento que se ha acentuado en ese periodo de tiempo.

Tabla 4.11: Primera y Segunda Medición del Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Recirculación del Tanque #6 en la Lavadora de Botellas de Línea #4 (LAV-B01).

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN	
				A	B
PRIMERA MEDICIÓN	18/06/08	Axial	Vel. (mm/s)	1,8	-
			Acel. (G's)	0,3	-
	18/06/08	Vertical	Vel. (mm/s)	2,6	2,3
			Acel. (G's)	1,36	0,3
	18/06/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	2,4	1
			Acel. (G's)	0,38	0,22
SEGUNDA MEDICIÓN	08/07/08	Axial	Vel. (mm/s)	1,9	-
			Acel. (G's)	0,34	-
	08/07/08	Vertical	Vel. (mm/s)	2,4	1,3
			Acel. (G's)	4,2	0,9
	08/07/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	2,5	1,1
			Acel. (G's)	0,68	0,72

Por los resultados obtenidos y particularmente ese aumento de los niveles de vibración en unidades de aceleración en el punto A vertical se recomendó un monitoreo mensual para este equipo.

4.1.7 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Recirculación del Tanque #5 en la Lavadora de Botellas de la Línea #4 (LAV-B02):

Primera Medición (tabla 4.12): en la primera medición realizada al equipo se apreciaron niveles de velocidad irregulares y en los puntos AH y BV que sobrepasan el nivel de alarma establecido para este dispositivo (de 4.5mm/s). Además en los puntos AV, BV y BH se obtuvieron niveles de aceleración irregulares comparados con los que se leyeron en los puntos restantes.

Segunda Medición (tabla 4.12): en la segunda medición en comparación con la primera realizada se observó que se produjo un aumento notable en el punto BV tanto en velocidad como en aceleración. En el punto AH se produjo un hecho particular, en esta medición se obtuvieron en ambas unidades valores menores que en la primera, hecho que pudo haber ocurrido gracias a que los valores obtenidos al medir vibraciones pueden depender del comportamiento en ese instante o característica de la señal de la vibración; es por ello que se recomienda lo siguiente: colocar el acelerómetro en el punto de medición y esperar a que se estabilice el valor y realizar varias mediciones para sacar promedios o tomar la que más se repita.

Tabla 4.12: Mediciones del Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Recirculación del Tanque #5 en la Lavadora de Botellas de Línea #4 (LAV-B02).

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN	
				A	B
PRIMERA MEDICIÓN	18/06/08	Axial	Vel. (mm/s)	2,2	-
			Acel. (G's)	0,38	-
	18/06/08	Vertical	Vel. (mm/s)	3,8	5,8
			Acel. (G's)	2,4	2,16
	18/06/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	6,0	4,0
			Acel. (G's)	0,68	1,36
SEGUNDA MEDICIÓN	08/07/08	Axial	Vel. (mm/s)	2,2	-
			Acel. (G's)	0,36	-
	08/07/08	Vertical	Vel. (mm/s)	5,0	7,2
			Acel. (G's)	1,48	4,42
	08/07/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	3,4	3,9
			Acel. (G's)	0	1,74

4.1.8 Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Enfriamiento de los Compresores (TECOM – B02):

En la medición que se le realizó a este dispositivo (Tabla 4.13) se obtuvieron valores de velocidad bastante elevados con respecto a su nivel de

alarma de 4,5mm/s en los puntos A horizontal, B vertical y horizontal. Estos valores podrían ser consecuencia de la transmisión de las vibraciones de los equipos a su alrededor, desbalance, defectos en los alabes o de que la base en la que se sostiene no es la apropiada.

Tabla 4.13: Medición de las Vibraciones del Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Enfriamiento de los compresores (TECOM-B01).

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN	
				A	B
PRIMERA MEDICIÓN	17/06/08	Axial	Vel. (mm/s)	3,0	-
			Acel. (G's)	0,0	-
	17/06/08	Vertical	Vel. (mm/s)	4,7	7,0
			Acel. (G's)	0,22	0,68
	17/06/08	Horizontal	Vel. (mm/s)	15,5	7,9
			Acel. (G's)	0,30	0,68

4.1.9 Conjunto Motor – Bomba de Rociadores de la Lavadora de Gaveras (LAVG-B01):

Segunda Medición (tabla 4.14): al realizar la segunda medición en este equipo, pudimos observar que en los puntos AV y AH se registraron valores mayores que el de alarma establecido para este equipo (de 7,1mm/s). Así mismo, en la primera medición en el punto AV se obtuvieron niveles muy cercanos al nivel de alarma y en el punto AH se sobrepasó. En unidades de aceleración no hubo gran variación, pero la misma nos indica que están

presentes frecuencias elevadas que posiblemente podrían venir del rodamiento del punto A.

Tabla 4.14: Mediciones del Conjunto Motor – Bomba del Sistema de Inyección de Agua en la Lavadora de Gaveras (LAVG-B01).

	FECHA	DIRECCIÓN	PARÁMETRO	PUNTOS DE MEDICIÓN	
				A	B
PRIMERA MEDICIÓN	17/06/08	Axial	Vel. (mm/s)	-	1,5
			Acel. (G's)	-	0,56
	17/06/08	Frontal	Vel. (mm/s)	6,3	3
			Acel. (G's)	0,72	1,54
	17/06/08	Lateral	Vel. (mm/s)	8,1	3,3
			Acel. (G's)	0,52	1,1
SEGUNDA MEDICIÓN	10/07/08	Axial	Vel. (mm/s)	-	1,7
			Acel. (G's)	-	0,64
	10/07/08	Frontal	Vel. (mm/s)	9,3	1,8
			Acel. (G's)	1,02	0,26
	10/07/08	Lateral	Vel. (mm/s)	15,2	6,4
			Acel. (G's)	1,28	0,38

Se consultó al personal de mantenimiento sobre dicho equipo donde se informó que nunca se le había hecho mantenimiento, por lo que se recomendó realizar un monitoreo mensual al equipo. En el caso de que los valores aumenten significativamente en las siguientes mediciones

recomendamos realizar el desmontaje del dispositivo para determinar lo que está ocasionando el problema.

4.2 Procedimiento para Solventar la Superioridad de los Valores Medidos a los Niveles de Alarma Establecidos

Debido a los distintos casos en los que se apreciaron valores medidos que sobrepasaban los niveles de alarma establecidos para cada equipo, en esta sección se plantea el procedimiento a seguir para que sean solventados:

- Llevar de manera correcta y ordenada en los formatos correspondientes el historial completo las mediciones, fallas y tendencias de cada uno de los equipos.
- Ajustar los niveles de alarma específicos o propios para cada uno de los equipos en base al historial de aproximadamente un año a través de métodos estadísticos.

Se piensa que con esto el problema va a ser corregido, sin embargo de no ser así se deberá hacer un rediseño completo de la planta debido a que algunos equipos industriales podrían necesitar de: fundaciones mas apropiadas que otros, aislamiento de las vibraciones o una adecuada amortiguación.

4.3 Equipos Susceptibles a la Aplicación de Otras Técnicas Predictivas

4.3.1 Compresores Alternativos de Aire (ABC)

Para evitar o predecir fallas que están ocurriendo frecuentemente en estos equipos se propuso o recomendó la aplicación de las siguientes técnicas predictivas:

4.3.1.1 Análisis de Aceite

En conjunto con el equipo de mantenimiento se decidió recomendar la aplicación de esta técnica predictiva a estos dispositivos, ya que por su naturaleza y principio de funcionamiento el lubricante juega un papel vital en su condición. Los mantenedores manifestaron sobre los indicios de desgaste que se han ido observando por las horas de trabajo y los elementos sometidos a fricción por lo que resulta eficiente la aplicación del análisis de aceite en ellos para la predicción de las fallas.

El sitio donde podemos tomar la muestra de aceite es en el Carter, ya que ahí posee una tapa para su llenado (Figura 4.11) en la parte superior donde también se puede extraer una muestra, además, en ese punto el aceite aun no ha pasado por el filtro pudiendo obtener una muestra que nos brinde la más confiable información posible sobre la condición de la maquinaria.

El tipo de aceite utilizado actualmente para los compresores es el tipo SAE-30-HD.



Figura 4. 9: Tapa del Depósito de Aceite o Carter donde se debe obtener la muestra. [Fuente: Propia]

4.3.2 Recipientes de almacenamiento de Aire Comprimido (Pulmones) en el Área de Servicios

Para estos dispositivos se recomienda la aplicación de medición de espesores por ultrasonido, debido a que en él (Figura 4.12) se almacena aire a una presión de 42 bar aproximadamente, si llegara a existir un concentrador de esfuerzo podría ocurrir una falla que ocasione daños al personal y a los equipos.

En estos recipientes existe la presencia de agua en estado líquido y gaseoso por el contenido de vapor en el aire y el condensado del mismo en el proceso, factor que con el tiempo podría producir desgaste por corrosión.

Un área crítica en el tanque podría ser en su parte inferior debido a que es ahí en donde se concentra el agua condensada y en las uniones soldadas zonas mayormente susceptibles a iniciarse el proceso de corrosión.



Figura 4. 10: Recipiente de Almacenamiento de Aire o Pulmón.

[Fuente: Propia]

4.3.3 Llenadora y Tapadora de la Línea 4 (Botella de Vidrio Retornable)

4.3.3.1 Análisis de Aceite

Se recomendó la aplicación de esta técnica predictiva al reductor principal de la llenadora y al reductor de ajuste de altura de la tapadora representados en las Figuras 4.13 y 4.14, debido a que a principio de año se produjo una falla catastrófica en la que se partieron los dientes de los engranajes y hubo la necesidad de sustituir ambos dispositivos. Para la recolección de la muestra es necesario extraer el aceite del tapón de salida de aceite en cada uno de los reductores.

El aceite que utiliza estos es el ISO VG 220 (MOBILGEAR 630).



Figura 4.13: Reductor de la Tapadora de Botellas. [Fuente: Propia]



Figura 4.14: Reductor Principal de la Llenadora. [Fuente: Propia]

4.3.4 Llenadora, Lavadora y Tapadora Línea 5

Este equipo anteriormente ha presentado severos desgastes en los dientes de los engranajes de los reductores de velocidad de manejo de las Ruedas Estrellas y del Rinser, por lo que fue necesario en ese momento su reemplazo. Debido a estas razones se recomendó realizar un análisis de Aceite a los dos reductores: Reductor de Manejo de Ruedas Estrellas y el Reductor del Rinser (Figura 4.15). El aceite utilizado por ambos componentes es el Engralub EP220.



Figura 4. 11: Reductor de Velocidad del Manejo del Rinser. [Fuente: Propia]

4.3.5 Filtros de Carbón en el Área de Servicios:

Para estos dispositivos (Figura 4.16) se recomienda la aplicación de medición de espesores por ultrasonidos ya que se han presentado fugas más que todo en las uniones soldadas viéndose la necesidad de paralizar el proceso y realizar a reparación de las mismas. Por dicha razón se recomienda tomar muestras en las uniones soldadas y de las zonas cercanas a ellas.



Figura 4. 12: Filtros de Carbón en el área de Servicios. [Fuente: Propia]

CONCLUSIONES

- La implementación del mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones fue realizada de manera satisfactoria en la planta embotelladora.
- La elaboración de las fichas con especificaciones técnicas correspondientes a cada equipo sometido al estudio vibracional, permitirá facilitar la búsqueda de información fundamental para el monitoreo y seguimiento de los equipos tales como condiciones de operación, velocidades de giro, entre otros.
- Los puntos de medición determinados para cada equipo cumplen con el rango de frecuencias de giro mínimas y máximas indicados por el medidor de vibraciones.
- Se establecieron los niveles de alarma y pre-alarma basados en las normas ISO 2372 para cada uno de los equipos, que servirán como punto de referencia en la determinación de su condición.
- Se formularon los planes de mantenimiento predictivo con frecuencias de monitoreo de vibraciones basadas en los valores medidos y en las recomendaciones del personal de mantenimiento para hacer un seguimiento lo mas adecuado posible con respecto a la condición de cada equipo.

- La aplicación en conjunto de distintos tipos de mantenimientos predictivos permitirá alcanzar niveles elevados de confiabilidad en la planta.
- Llevar el registro histórico de las vibraciones de los equipos en los formatos correspondientes permitirá, que con el tiempo a través de métodos estadísticos, se puedan establecer niveles propios de alarma y pre-alarma de acuerdo a las tendencias registradas.

RECOMENDACIONES

- Para contribuir al alargamiento de la vida útil de los rodamientos es conveniente seguir las especificaciones de los fabricantes para su montaje.
- Realizar mediciones posteriores a las actividades correctivas, con el propósito de verificar que fueron solventados los problemas o defectos en los equipos.
- Adquirir dispositivos confiables para la alineación de ejes para evitar la reducción de la vida útil de los componentes de los equipos rotativos.
- Adquirir un dispositivo de medición de las vibraciones que ofrezca espectros FFT, y perciba defectos a frecuencias menores a 10 Hz, con los que se podría realizar un diagnóstico de los posibles defectos en los equipos, verificar el balanceo de los ejes e incluir aquellos equipos que operan a baja velocidad.
- Con el propósito de lograr la reducción al máximo de las paradas inesperadas en los equipos las frecuencias de monitoreo establecidas deberán variar de acuerdo a su comportamiento en el tiempo.
- Utilizar como base para el establecimiento de los niveles de alarma y pre-alarma en los equipos nuevos los valores medidos posterior a su arranque.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] RIVAS, Anahys. **“Implementación del Mantenimiento Predictivo Basado en el Análisis de Vibración en al Empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A”**. Trabajo de Grado UDO, Ingeniería Mecánica, Puerto La Cruz (2003).

- [2] SALAZAR, Oscar. **“Mejoras en el Mantenimiento Predictivo por Análisis de Vibración en Equipos Rotativos de la Planta Catalítica de Alquiler”**. Trabajo de Grado UDO, Ingeniería Mecánica, Puerto La Cruz (2004).

- [3] BETANCOURT, Edgar. **“Implementación del Mantenimiento Predictivo Basado en el Análisis de Vibración en la Empresa, C.V.G. Venalum”**. Trabajo de Grado UDO, Ingeniería Mecánica, Puerto La Cruz (2006).

- [4] SUAREZ, Diógenes. **“Guía Teórico – Práctico MANTENIMIENTO MECÁNICO”**. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz, Octubre del 2001.

- [5] GARCÍA, Carmen. **“Principios, Causas y Diagnóstico de la Vibración en Máquinas Rotativas”**, Puerto la Cruz (1997).

- [6] MOSQUERA, G., ARMAS, G. y PIEDRA, M. **“Las Vibraciones Mecánicas y su Aplicaciones al Mantenimiento Predictivo”**. Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y

Humanístico; La Habana: Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares. 1999-Colección Monografías;70.

- [7] ESTUPIÑAN, E. SAAVEDRA P. **“Técnicas de Diagnóstico para el Análisis de Vibraciones en Rodamientos”**. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Concepción – Chile.

- [8] PALOMINO, Evelio. **“La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas Rotatorias”**. Centro de Estudios de Innovación y Mantenimiento. Cuba (1997)

- [9] ESPINOZA, Henry. **“Estrategias de Mantenimiento y Monitoreo por Condición”**. Universidad de Oriente, Dpto. de Ing. Mecánica, Venezuela, Edo. Anzoátegui.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE EQUIPOS ROTATIVOS BASADO EN EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN UNA PLANTA EMBOTELLADORA”.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Alberto Enrique López Lovera	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA

Ingeniería y ciencias aplicadas

SUBÀREA

Ingeniería mecánica

RESUMEN (ABSTRACT):

El presente trabajo tiene como objetivo la implementación de un plan de mantenimiento predictivo de equipos rotativos basado en análisis de vibraciones en una planta Embotelladora ubicada en Barcelona. Para el cumplimiento de tal fin, se realizó la observación de los procesos de la planta, se elaboraron fichas técnicas de cada uno de los equipos sometidos al estudio vibracional, se determinaron los puntos de medición, se definieron las rutas en que serán realizadas las mediciones, se establecieron los niveles de alarma y pre-alarma de los equipos basado en normas o en recomendaciones de los fabricantes, se formularon planes de mantenimiento y se propusieron técnicas predictivas o herramientas complementarias que apoyen el mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones. Gracias al cumplimiento de los objetivos se logró: levantar información técnica de cada uno de los equipos rotativos susceptibles al análisis de vibración, determinar cuáles equipos presentaban niveles elevados de vibración, planificar desmontajes y revisiones a los equipos para prevenir la ocurrencia de fallas inesperadas, identificar por medio de desmontaje e inspección visual la causa de los niveles de alarma obtenidos en

ciertos equipos, determinar y recomendar las técnicas predictivas aplicables en la planta para complemento del análisis de vibraciones.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES

Prof.: Carmen García

ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL

ROL CA AS TU JU

CVLAC:

E_MAIL

E_MAIL

Ing. Ángel Sotillo

ROL CA AS TU JU

CVLAC:

E_MAIL

E_MAIL

ROL CA AS TU JU

CVLAC:

E_MAIL

E_MAIL

ROL CA AS TU JU

CVLAC:

E_MAIL

E_MAIL

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009		
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Implementación de un plan de mantenimiento. doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N O
P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6
7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Mecanico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Mecanica

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 44 del Reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien le participará al Consejo Universitario”.

AUTOR

AUTOR

AUTOR

Alberto Enrique López Lovera

TUTOR

JURADO

JURADO

Prof.: Carmen García

Ing. Ángel Sotillo

POR LA SUBCOMISION DE TESIS

