

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



# **Análisis y Configuración de Sistema de Monitoreo Continuo en Equipos Rotatorios Críticos de Celulosa Planta Arauco**

Informe de Habilitación Profesional presentado en conformidad a los requisitos para  
optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía: **Sr. Juan Carlos Figueroa Barra**

**Gonzalo Alfredo Arias Ortiz**  
**CONCEPCION – CHILE**  
**2013**

## SUMARIO

Esta habilitación profesional se desarrolló en las instalaciones de Celulosa Arauco planta Horcones, realizando el mejoramiento de un sistema de monitoreo continuo de vibraciones instalado en equipos rotatorios críticos, el cual se encontraba con varios problemas tanto en hardware como en software. Para posteriormente crear una nueva y mejorada base de datos para el sistema, teniendo que recopilar información como la velocidad de giro de los equipos y revisar las tendencias de los niveles vibratorios históricos de cada punto de medición. Posteriormente se realizó la configuración de alarmas en base a las normas existentes.

Se efectuó la reparación de los equipos defectuosos para así poder trabajar adecuadamente en la configuración del programa de monitoreo AMS Machinery Health Manager.

Se buscaron y encontraron las mayores falencias del sistema actual realizando recomendaciones: como instalar una red propia para eliminar los problemas de comunicación con el servidor, cambiar el tipo de montaje de los sensores para lograr tomar lecturas más claras y fidedignas, contar con una persona que se preocupó de la mantención del sistema, realizar una actualización del sistema de monitoreo para incluir equipos críticos que están fuera de vigilancia, instalación de tacómetros en equipos con velocidad variable y la instalación de tarjetas informativas en cada sensor.

Finalmente se hizo el análisis de una falla catastrófica de un ventilador en tiro inducido de la caldera de poder número 4 el cual fallo el año 2012, realizando todos los estudios necesarios para cuantificar la pérdida asociada a este evento y lograr visualizar el beneficio de un sistema de este tipo.

## Índice

Introducción .....	10
Objetivos generales .....	11
Objetivos Específicos .....	11
Nomenclatura y abreviaciones: .....	12
Capítulo 1- Antecedentes generales de la empresa .....	13
1.1 Misión de la empresa.....	13
1.2 Plan estratégico de la empresa.....	13
1.3 Política de calidad de Celulosa Arauco y constitución S.A. ....	14
1.4 Política ambiental de Celulosa Arauco y Constitución S.A. ....	14
1.5 Descripción breve del Proceso de Fabricación de celulosa.....	15
Capítulo 2-Análisis de sistema de monitoreo continuo de vibraciones.....	17
2.1.- Descripción del equipo de monitoreo continuo de vibraciones .....	17
2.2 Partes de un sistema de monitoreo continuo de vibraciones .....	18
2.2.1 Sensores de vibración .....	18
2.2.2 Cajas recolectoras y analizadoras .....	20
2.2.2.1 Equipos CSI 4500.....	20
2.2.2.2 Equipos CSI 6500.....	22
2.2.3 red de monitoreo continuo .....	23
2.2.4 Software de monitoreo continuo .....	24
2.2.5 Canalización .....	24
Capítulo 3- Formas de análisis de vibración y fallas más comunes en equipos rotatorios. ....	25
3.1 Formas de análisis de vibración.....	25
3.1.1 Análisis Espectral .....	25
3.1.2 Análisis de forma de onda. ....	27
3.1.3 Análisis de la Fase de las Vibraciones .....	27
3.1.4 Análisis de órbitas. ....	28
3.2 Fallas más comunes en equipos rotatorios.....	29
3.2.1 Desbalanceo .....	29
3.2.1.1 Desbalanceo estático.....	30
3.2.1.2 Desbalanceo tipo par de fuerzas.....	30
3.2.1.3 Desbalanceo dinámico .....	31
3.2.1.4 Desbalanceo de rotores en voladizo .....	31

3.2.2 Ejes doblados.....	32
3.2.3- Desalineamiento.....	33
3.2.3.1 Paralelo.....	33
3.2.3.2 Angular.....	33
3.2.4 Resonancia.....	34
3.2.5 Soltura mecánica.....	35
3.2.5.1 Tipo A.....	35
3.2.5.2 Tipo B.....	35
3.2.5.3 Tipo C.....	36
3.2.6 Rozamiento de rotor.....	36
3.2.7 Rodamientos.....	37
3.2.8 Engranajes.....	39
3.2.9 Cavitación en bombas.....	39
3.2.10 Turbulencias de flujo.....	39
3.2.11 Inestabilidad rotacional a causa del aceite.....	40
Capítulo 4- Medición de vibraciones.....	42
4.1.- Tipos de transductores.....	42
4.2 Rango de frecuencias típico.....	43
4.3 Filtros.....	43
4.4 Analizadores de vibraciones.....	44
4.5 Número de líneas.....	45
4.6 Resolución en frecuencias.....	45
Capítulo 5-Evaluación De La Severidad Vibratoria.....	46
5.1 Severidad vibratoria.....	46
5.2 Estándares ISO.....	47
5.2.1 ISO 10816-3.....	47
5.2.1.1 Procedimientos de medición y condiciones de operación.....	49
5.2.1.1.1 Instrumentos de Medición.....	49
5.2.1.1.2 Ubicaciones de los Puntos de Medición.....	50
5.2.1.1.3 Condiciones de Operación.....	50
5.2.1.2 Clasificación de las maquinas.....	51
5.2.1.2.1 Clasificación de acuerdo al Tipo de Máquina, Potencia nominal o Altura del Eje a la.....	51
5.2.1.2.2 Clasificación de acuerdo a la Flexibilidad del Soporte.....	52

5.2.1.3 Evaluación .....	52
5.2.1.3.1 Criterio I: Magnitud de la Vibración.....	52
5.2.1.3.1.2 Valores Límites entre las Zonas de Evaluación.....	54
5.2.1.3.2 Criterio II: Cambio en la Magnitud de la Vibración.....	54
5.2.1.3.2.1.1 Límites de las zonas de Evaluación.....	56
5.2.1 Norma ISO 8579-2 (Límites admisibles de vibración en cajas reductoras) .....	58
5.3 Niveles de alarma .....	62
5.3.1 Niveles de alarma según norma ISO 10816-3.....	62
5.3.2 Niveles de alarma según norma ISO 8579-2.....	63
Diagrama de clasificación y aplicación de las normas para definir alarmas. ....	66
Capítulo 6- Procedimiento de configuración de sistema de monitoreo continuo de vibraciones .....	67
6.1 Levantamiento del estado actual del sistema de monitoreo continuo de vibraciones .....	67
6.1.1 Estado de Cajas CSI 4500 y CSI 6500.....	67
6.2 Recopilación de información necesaria para la configuración del sistema de monitoreo.....	70
6.2.1 Medición velocidad de rotación de equipos. ....	70
6.2.2 Ubicación y reparación de sensores .....	71
6.2.3 Canalización .....	72
6.2.4 Ajustes de parámetros específicos de medición.....	73
Capítulo 7- Beneficio de un sistema de monitoreo continuo .....	74
7.1 Costos mantenimiento S.M.C. ....	75
7.2 Precio de la celulosa .....	75
Ventiladores de tiro inducido .....	76
Capítulo 8- Conclusiones, Estado Final y Recomendaciones para mejorar el sistema de monitoreo continuo. ....	82
8.1 Mejoras realizadas en el sistema de monitoreo continuo: .....	82
8.1.1 Mejoramiento de la base de datos tales como: .....	82
8.1.2 Mejoramiento de Hardware: .....	83
8.2.-Recomendaciones: .....	83
8.2.1 Adquisición de una red propia.....	83
8.2.2 Actualización de sistema de monitoreo .....	83
8.2.3 Cambiar instalación de sensores .....	85
8.2.4 Mantenimiento del sistema de monitoreo .....	85
8.2.5 Adquisición de tacómetros para equipos de velocidad variable. ....	86

8.2.6 Tarjeta informativa de los sensores .....	86
8.2.7 Tener una persona dedicada exclusivamente al monitoreo continuo. ....	87
Conclusiones .....	88
9.- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS .....	89
Anexos .....	90
Anexo 1: Parámetros y configuración de sistema de monitoreo continuo de vibraciones en software AMS. ..	91
Anexo 2: Monitoreo en línea “Online Watch” .....	117
Anexo 3: Listado de equipos en monitoreo continuo de vibraciones Planta Celulosa Arauco Horcones.....	124

## Índice de figuras

Figura 1.1, proceso de obtención de la celulosa .....	16
Figura 2.1, Acelerómetro de 100mv/g utilizado en Planta Celulosa Arauco. ....	18
Figura 2.2, punta de un sensor de desplazamiento Bently Nevada 3500 usado en turbogeneradores. ....	19
Figura 2.3, caja CSI 4500 ubicada en sala de instrumentación. ....	21
Figura 2.4, caja CSI 6500.....	22
Figura 2.5, red instalada para sistema de monitoreo continuo en planta Arauco. ....	23
Figura 3.1, espectro en velocidad de un compresor lado copla motor obtenido por el monitoreo continuo. ....	26
Figura 3.3. La primera orbita es de un equipo en buen estado, la segunda orbita es producida por un desbalance. ....	28
Figura 3.4., esquema de obtención de orbitas en un descanso hidrodinámico. ....	29
Figura 3.5, espectro típico y relación de fases de un desbalanceo estático. ....	30
Figura 3.6, espectro típico y relación de fases de un desbalanceo tipo par de fuerzas. ....	31
Figura 3.7, espectro típico y relación de fases de un desbalanceo dinámico. ....	31
Figura 3.8, espectro típico y relación de fases de un desbalanceo de rotores en voladizo. ....	32
Figura 3.9, espectro típico y relación de fases de un eje doblado. ....	32
Figura 3.10, espectro típico y relación de fases de un desbalanceo. ....	34
Figura 3.11, espectro típico y relación de fases de un equipo en resonancia. ....	34
Figura 3.12, espectro típico y relación de fases de una soldadura mecánica tipo A. ....	35
Figura 3.14, espectro típico y relación de fases de una soldadura mecánica tipo C.....	36
Figura 3.17, espectro típico y relación de fases de fallas provocadas por fuerzas hidráulicas y aerodinámicas. ....	40
Figura 3.18, espectro típico y relación de fases de un rozamiento de un rotor. Inestabilidad rotacional a causa del aceite .....	41
Figura 4.1, Analizador CSI 2130 utilizado en departamento mantención predictiva. ....	44

Figura 5.1, Números de clasificación del desplazamiento y velocidad. ....	60
Figura 5.2, Desplazamiento vibratorio admisible en el eje .....	61
Figura 5.3, Rangos de curvas para vibraciones medidas en la caja del descanso .....	61
Figura 5.4, grafico de amplitud versus tiempo, Tendencia histórica del valor de la componente 2XRPM de un equipo con amplitud variable. ....	64
Figura 5.5, Tendencia de un equipo con amplitud constante. ....	65
Figura 6.1, Medición de consumo de energía de una unidad CSI 6500. ....	67
Figura 6.2, tarjeta defectuosa de una unidad CSI 4500, se aprecia una parte quemada del dispositivo. ....	69
Figura 6.2, Lámpara estroboscópica con variador de frecuencia que permite medir velocidad de giro de un rotor.....	70
Figura 6.3, Acelerómetro de 100 mv/g adquirido para repuesto. ....	72
Figura 6.4, daño en la canalización. ....	73
Figura 7.1 muestra tendencia del precio de la celulosa en últimos meses. ....	76
Figura 7.2, Ventilador tiro inducido caldera de poder número 4 .....	77
Figura 7.3 se aprecia incremento notable del nivel de vibración del V.T.I. ....	78
Figura 7.4 se aprecia síndrome clásico de desbalanceamiento.....	78
Figura 7.5, anillo agrietado del ventilador. ....	79
Figura 7.6, Izamiento de VTI .....	79
Figura 8.1, tipo de soportación anclada rígidamente al aletado de un motor, accesorio recomendado para montar estos sensores. ....	85
Figura 8.1, tarjeta modelo para instalar en lo sensores. ....	86



## Índice de tablas

Tabla 4-1. Frecuencia máxima que puede medir un sensor de acuerdo a la forma de fijarlo a la superficie a medir.(fuente :IRD).....	42
Tabla 5-1, tabla con tipo de equipos disponibles en el sistema de monitoreo continuo de Planta Celulosa Arauco Horcones.....	47
TABLA 5-2: Clasificación de zonas de severidad vibratoria para máquinas del grupo 1 .....	56
TABLA 5-3: Clasificación de zonas de severidad de vibración para máquinas del grupo 2.....	57
TABLA 5-4: Clasificación de zonas de severidad de vibración para máquinas del grupo 3:.....	57
TABLA 5-5: Clasificación de zonas de severidad de vibración para máquinas del grupo 4.....	58
Tabla 5-6, clasificación del tipo de servicio. ....	59
Tabla 5-6, resumen de normas que serán utilizadas en la configuración de alarmas. ....	66
Tabla 6-1, resumen estado inicial de equipos CSI 4500 y CSI 6500 .....	68
Tabla 6-2, Designaciones según orientación y tipo de maquina .....	71
Tabla 6-3, costos puesta en marcha sistema monitoreo continuo .....	74
Tabla 7-1, con gastos de mantención anual sistema de monitoreo continuo .....	75
Tabla 7-2, costos mantención y ventilador nuevo.....	80
Tabla 7-3, consumo y venta de energía. ....	80
Tabla 7-4, Costo asociado si se habría hecho un mantenimiento programado.....	81
Tabla 8-1, costos de actualización e implementación de sistema de monitoreo continuo a turbogeneradores. ....	84

## **Introducción**

Este trabajo se desarrolló en el departamento de mantención predictiva de la planta de Celulosa Arauco y Constitución S.A. El área de mantención predictiva se encarga principalmente del monitoreo de condición de equipos, es decir, la medición de variables físicas tales como: medición de vibración, aplicación de termografía, análisis de ruido y análisis de aceite. Estos parámetros se consideran representativos del estado del equipo y su comparación con valores establecidos por normas que indican el estado del dispositivo para posteriormente tomar acciones al respecto.

En esta Habilitación Profesional se estudiará la factibilidad para poder configurar y mejorar el sistema de monitoreo continuo de vibraciones de equipos críticos, el cual está compuesto por 301 puntos de medición distribuidos entre las dos líneas productivas (pino y eucalipto).

El objetivo del monitoreo continuo de equipos críticos es indicar cuándo existe un cambio en la condición de una máquina activándose una alarma previamente configurada con un valor establecido en base a las normas existentes, este valor no debería ser sobrepasado en su funcionamiento normal, todo esto con el fin de evitar fallos catastróficos en equipos que puedan detener o disminuir de forma importante la producción de celulosa. Todo esto puede ser visualizado desde un computador ubicado en las oficinas de los analistas predictivos, disminuyendo las salidas a terreno y los riesgos asociados propios de la industria.

Una característica importante de este sistema es que no altera el funcionamiento normal de los equipos sobre todo en el análisis de equipos críticos dentro de la planta como: calderas, turbogeneradores y equipos que influyan en el tema ambiental debido a la nueva política implantada por celulosa Arauco ISO 14001. La vigilancia de los parámetros se puede realizar de forma continua, es decir, disponiendo de la información esencial durante todo el tiempo.

## **Objetivos generales**

El objetivo general de este trabajo de habilitación profesional es el mejoramiento y puesta en marcha del sistema de monitoreo continuo de equipos rotatorios críticos de la planta de celulosa Arauco Horcones. Lo anterior se realiza para la detección temprana y oportuna de niveles altos de vibraciones con lo que permitirá diagnosticar el origen de vibraciones y el problema asociado a éstas.

Para esto se creará una nueva base de datos de los equipos en monitoreo, se recopilará toda la información necesaria y se gestionará la reparación de todo el hardware que necesita mantención o remplazo.

## **Objetivos Específicos**

1. Estudiar las técnicas del análisis de vibración en equipos rotatorios.
2. Recopilar información de los equipos en monitoreo, tales como: la velocidad de rotación y tendencias de niveles de vibración.
3. Configurar alarmas en base a normas existentes.
4. Gestionar reparaciones de Cajas CSI, reparación de sensores y sus canalizaciones
5. Lograr el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo continuo.

**Nomenclatura y abreviaciones:**

mils: Milésima parte de una pulgada

Online config: Plataforma donde se configura parámetros de medición del sistema de monitoreo.

Watch client: Plataforma donde se visualiza el estado de los equipos en monitoreo.

Plant Lan: Red que permite la comunicación entre los equipos en terreno y el servidor.

OPC: estándar industrial de recolección de datos.

UPS: uninterruptible power supply, *sigla para* sistema de alimentación ininterrumpida.

Fe: Frecuencia de engrane.

FFT: Transformada rápida de Fourier.

RMS: Valor medio cuadrático.

BPFO: (Ball Pass Frequency of the Outer race), vale decir, frecuencia de paso de los elementos rodantes en la pista externa.

BPFI: (Ball Pass Frequency of the Inner race), vale decir, es la frecuencia de paso de los elementos rodantes en la pista interna.

FTF: Fundamental Train Frequency, o sea, corresponde a la frecuencia de rotación del porta elementos, jaula o canastillo que contiene a los elementos rodantes.

BSF: Ball Spin Frequency, que corresponde a la frecuencia de paso de los elementos rodantes, que pueden ser bolas, rodillos o conos.

Pk-Pk= Valor pico a pico.

Predicados: Valor que activa la recolección de datos.

DCS: Data collection sets, parámetros de recolección de datos

Template: Plantilla, fase previa a crear base de datos del sistema de monitoreo continuo.

Hysteresis: parámetro que define la banda alrededor del límite de la alarma.

Comisionamiento: Proceso en cual el Hardware reconoce la comunicación con el software.

Tag: Etiqueta o número único que identifica a cada equipo.

## **Capítulo 1- Antecedentes generales de la empresa**

Arauco es una de las mayores empresas forestales del mundo en términos de superficie y rendimiento de sus plantaciones, fabricación de celulosa kraft de mercado y producción de madera aserrada.

La empresa concentra sus complejos industriales en Chile y Argentina.

En Chile, Arauco es propietario de la mayor superficie de plantaciones forestales del país, fundamentalmente de pino Radiata. A esto se suman cerca de 70 mil hectáreas de plantaciones en Argentina, provincia de Misiones.

La empresa posee seis plantas de celulosa: cinco en Chile – Planta Arauco Horcones, Planta Constitución, Planta Valdivia, Planta Licancel, Planta Nueva Aldea y una en Argentina, Alto Paraná.

Arauco también es propietaria de aserraderos, plantas elaboradoras de madera y planta de terciados.

### **1.1 Misión de la empresa**

A través de la aplicación de los conceptos de “Calidad Total” en su gestión, la empresa orienta sus esfuerzos a satisfacer plenamente los requerimientos de sus clientes, construyendo relaciones estables y duraderas. Arauco ha establecido como uno de los objetivos básicos la preservación del equilibrio ecológico. Sus políticas con relación al medio ambiente se basan en los principios de desarrollo sustentable.

### **1.2 Plan estratégico de la empresa**

- Cumplir en cada contrato de venta lo pactado con el cliente.
- Asegurar que la cadena que se inicia con el ingreso de materias primas y termina con el producto en la bodega del cliente, satisfaga los estándares de calidad establecidos.
- Mantener y desarrollar programas de entrenamiento y capacitación del personal, de modo que participe del compromiso de calidad asumido por la empresa y haga un aporte efectivo a éste, en su ámbito de trabajo.
- Controlar los procesos de las Plantas Industriales, con el objeto de minimizar el impacto sobre el medio ambiente.

### **1.3 Política de calidad de Celulosa Arauco y constitución S.A.**

Arauco empresa del sector forestal de Chile, ha asumido un compromiso irrenunciable con la calidad. La gestión de Arauco está orientada fundamentalmente a satisfacer plenamente los requerimientos de sus clientes desarrollando relaciones estables y duraderas.

El equipo humano que conforma Arauco, compenetrado con este desafío procura que los productos de la empresa tengan permanentemente los más altos niveles de calidad a través del mejoramiento continuo de sus procesos, de modo de participar con éxito en los mercados.

### **1.4 Política ambiental de Celulosa Arauco y Constitución S.A.**

Celulosa Arauco y Constitución S.A. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de celulosa. Considerando que la protección del medio ambiente es una preocupación fundamental para el desarrollo de las actividades de largo plazo, así como una contribución hacia la comunidad y las generaciones futuras, Celulosa Arauco y Constitución S.A. se compromete a:

1. Cumplir con las normas legales y otros compromisos ambientales aplicables adquiridos por la empresa.
2. Reducir en forma continua y progresiva los impactos ambientales significativos de sus operaciones y servicios, mediante el uso de las tecnologías disponibles más adecuadas.
3. Prevenir la contaminación en sus actividades y servicios.
4. Capacitar a su personal y entregarle los medios adecuados para que trabaje con una actitud responsable hacia el medio ambiente.
5. Implementar esta Política a través de un Sistema de Gestión Ambiental.
6. Difundir estos conceptos y este compromiso entre su personal, empresas de servicio, proveedores y otras partes interesadas: para el cumplimiento de lo anterior todo el personal que trabaja en Celulosa Arauco y Constitución S.A. es responsable de cumplir y hacer cumplir esta Política Ambiental.

## 1.5 Descripción breve del Proceso de Fabricación de celulosa

Este es un proceso principalmente químico donde se separa la celulosa del resto de componentes de la madera. En la planta de celulosa Arauco Horcones tiene 2 líneas productivas destinadas a distintos tipos de madera, línea 1 para madera de pino y línea 2 para madera de eucalipto.

El proceso comienza con la llegada de la madera, proveniente de faenas forestales del sector, esta llega en distintos tamaños.

La madera recibida se clasifica según su calidad para ver si se destina a aserraderos, fabricación de paneles o celulosa siendo esta última la madera de menor calidad.

Luego estos trozos de maderas son descortezados para posteriormente pasar por un proceso llamado chipado, que es donde procesan la madera obteniendo chips, que son pequeñas partículas de madera las cuales son transportadas hacia un recipiente llamado digestor, que es un contenedor donde se somete a los chips a una condición de alta presión y temperatura, al mismo tiempo se mezclan con un agente químico llamado licor blanco (compuesto principalmente por Soda Cáustica y Sulfuro de Sodio), este proceso es también llamado cocción de la madera.

Todo esto para lograr separar la lignina de la madera, la lignina es básicamente una especie de pegamento que mantiene unida las fibras de la madera.

Esta lignina solubilizada es separada de las fibras por lavado con agua. El líquido compuesto por las sales que se usaron en la cocción más la lignina obtenida de la madera se llama licor negro, esta sustancia es enviada a un Sistema de Recuperación donde se aumenta su concentración mediante unos equipos llamados evaporadores el cuál luego es usado como combustible para producir vapor en una Caldera Recuperadora. Como producto de la combustión del licor negro, se obtienen sales las cuales al ser solubilizadas se obtiene el licor verde, dicha sustancia mediante un proceso de Caustificación con cal viva son transformadas nuevamente en licor blanco apto para la cocción de nuevas cantidades de madera.

Una vez lavadas, las fibras de celulosa son enviadas a un sistema de depuración donde se separan los nudos (Chips o Astillas que no han sido cocidas totalmente) y las fibras aglomeradas. Luego esta celulosa es pasada por varias etapas de blanqueo y secado.

En la planta de blanqueo se realiza una transformación química de la celulosa con el objeto de eliminar totalmente la lignina residual, que en porcentajes muy bajos queda en la celulosa cruda.

Para blanquear la celulosa, se utiliza Dióxido de Cloro. Dependiendo de lo solicitado por el cliente la celulosa puede ser semiblanca, blanca o café.

Una vez completado el proceso de blanqueo, la pasta es enviada a un proceso de conformación de la tela, para luego poder secar, cortar y embalar en fardos la celulosa siendo almacenarla en bodegas para su posterior envío a puertos mediante trenes.

El vapor que se utiliza en la fábrica es producido por 6 calderas: 4 usan petróleo, corteza y aserrín como combustibles y dos usan licor negro. El vapor proveniente de las calderas alimentan turbo generadores que proporcionan la energía eléctrica consumida en las instalaciones y los excedentes de energía son vendidos al sistema interconectado central S.I.C.

El agua es vital para la fabricación de celulosa, ya que todo el proceso de lavado y generación de vapor es realizado usando este elemento. Además del gran volumen se requiere que la calidad de esta sea excelente. Por esto es que el agua que es extraída del río Carampangue es sometida a un riguroso tratamiento de filtrado, con el objeto de hacerla apta para el proceso y no afecte la vida útil de las calderas.

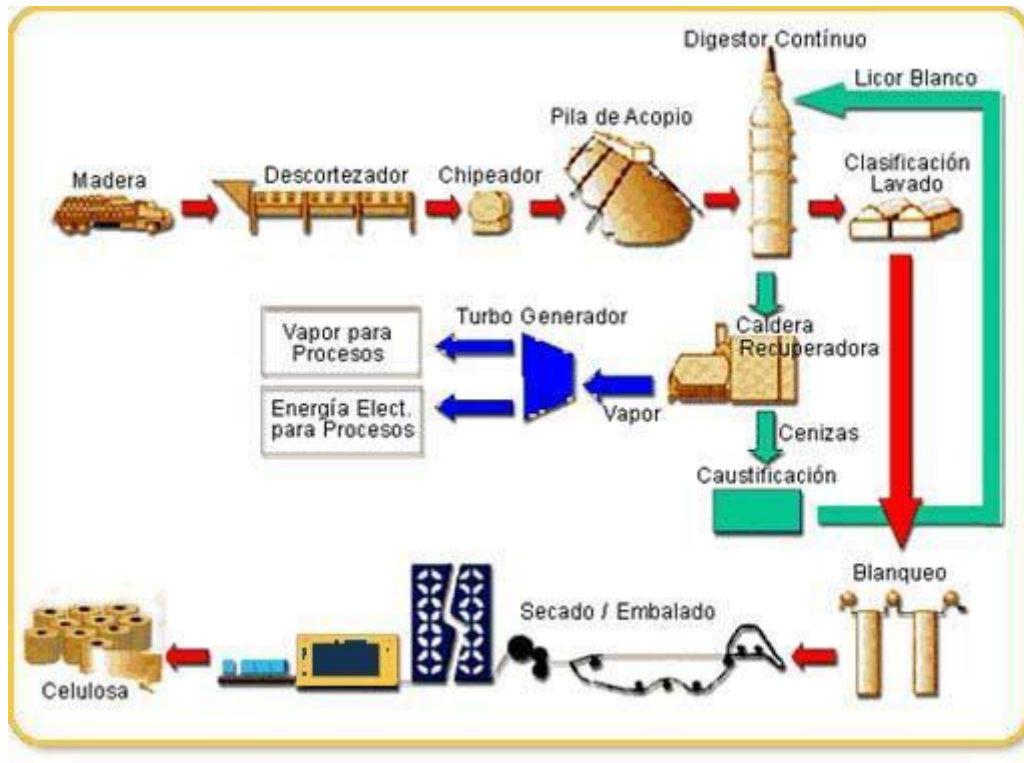


Figura 1.1, proceso de obtención de la celulosa



## **Capítulo 2-Análisis de sistema de monitoreo continuo de vibraciones**

### **2.1.- Descripción del equipo de monitoreo continuo de vibraciones**

Los sistemas de monitoreo continuo de vibración tradicionales son utilizados para vigilar equipos de forma remota y continua, es decir, en todo momento las 24 horas del día. Este tipo de sistemas entrega una gran ventaja respecto a otros, debido a la comodidad y seguridad que otorga, ya que después de ser instalados pueden ser operados desde un computador ubicado en una zona protegida y libre de riesgos naturales del entorno, propio en cualquier tipo de proceso productivo, como pueden ser partes móviles de gran tamaño, produciendo riesgos de atrapamiento, caídas de materiales o de químicos peligrosos usados en la industria actual.

Esta manera de monitoreo es relativamente nueva en comparación a otros métodos usados en la actualidad para hacer medición de vibraciones, como lo es el actual sistema de rutas de medición.

Por lo general en la industria actual se usa el sistema de rutas de medición, el cual consiste básicamente en ir con una máquina llamada recolector-analizador por los distintos equipos y medir sus niveles de vibración lo que conlleva un riesgo para el personal.

Otra falencia del sistema de rutas, es el tiempo que se necesita para medir todos los equipos, cabe recordar que en la industria existen una gran cantidad de equipos, alrededor de 4000.

Un sistema de monitoreo continuo se puede utilizar en una gran variedad de equipos, ya sean motores, ventiladores, turbinas, bombas, etc. Pero como todo tipo de tecnología está sujeto a un factor de inversión bastante alto que debe ser debidamente justificado, esto quiere decir, que un sistema de este tipo va a estar asociado a equipos críticos y de elevado costo.

En este trabajo se enfocará al monitoreo de equipos rotatorios críticos en la producción de celulosa, y no a otro tipo de equipos.

## 2.2 Partes de un sistema de monitoreo continuo de vibraciones

### 2.2.1 Sensores de vibración

- **Acelerómetros:** Estos son los dispositivos encargados de captar la señal vibratoria que generan los equipos, generalmente en este tipo de sistemas se usan acelerómetros debido a su rango de sensibilidad, su tamaño compacto y su precio.

Existen sensores que son fabricados de forma única junto al cable, es decir el sensor y el cable forman una sola pieza, este caso corresponde a los sensores instalados en el sistema de monitoreo continuo en el cual se trabajará y otros donde el sensor es independiente del cable y se pueden separar, esto provoca una desventaja debido a que la vida del cable es generalmente menor que la del sensor debido a distintos factores tales como: el tránsito de personal que desconoce el tema y provoca daños sobre este, lo que finalmente resulta en un cable dañado e implica un sensor dañado, aunque esto tiene una justificación basada en el elevado costo de los sensores independientes.

Los acelerómetros se utilizan en la mayoría de los equipos instalados en la planta de celulosa, con la excepción de los turbogeneradores que tienen instalados otro tipo de sensores.



Figura 2.1, Acelerómetro de 100mv/g utilizado en Planta Celulosa Arauco.

- **Sensores de desplazamiento:**

Los sensores de proximidad son una modalidad de sensores de posición y determinan en que momento un objeto se mueve dentro de una distancia crítica del sensor.

Este tipo de sensor es utilizado principalmente en equipos que poseen descansos hidrodinámicos, debido a que las vibraciones que se producen en este tipo de apoyo no se transmite a la parte exterior del descanso como ocurre con ejes montados en rodamientos, existiendo una falsa lectura de lo que está ocurriendo en el interior de éste.

Este tipo de transductor genera un campo magnético el cual se ve afectado al acercarse a un material conductor, siendo este cambio el que es cuantificado y es medido como voltaje. Este parámetro tiene una correlación con la distancia, entre la punta del sensor y el material próximo a este. Los sensores ocupados específicamente en los turbogeneradores tienen una sensibilidad de 200 mv/mil y tienen un rango dinámico de medición lineal de distancia entre los 10 mils y 90 mils, dejando de ser lineal fuera de este rango. Estos sensores son acoplados al sistema de monitoreo continuo por medio de una regleta ubicada en la parte posterior del panel del sistema \*Bently Nevada.



Figura 2.2, punta de un sensor de desplazamiento Bently Nevada 3500 usado en turbogeneradores.

\*Bently Nevada 3500: Sistema comercial de protección de turbogeneradores, este sistema lo provee General Electric y se encarga de monitorear el estado de estos equipos, al momento de sobrepasar niveles críticos de vibración o velocidad desactiva el equipo para evitar posibles daños.

### **2.2.2 Cajas recolectoras y analizadoras**

Estos dispositivos son los encargados de recolectar y analizar el estado vibratorio de los equipos en vigilancia para luego enviar toda esta información ya procesada al servidor.

Son equipos modulares, es decir, están compuestos por varios módulos o tarjetas dependiendo de qué tipo de sensores se les quieran acoplar.

A continuación se describirán los equipos usados en Planta Celulosa Arauco Horcones

En la actualidad se ocupan 2 equipos diferentes en las instalaciones de la planta debido a un proyecto de actualización realizado después del terremoto del año 2010 donde de un universo de 10 cajas marca CSI (Computational system incorporated) modelo 4500 se cambiaron 6 de estas por unas CSI 6500, debido a que el modelo anterior estaba discontinuado.

#### **2.2.2.1 Equipos CSI 4500**

Como se mencionó anteriormente son equipos modulares los cuales pueden funcionar con hasta 4 tarjetas a la vez, las que pueden ser usadas para los sensores o para tacómetros (equipos para medir la velocidad de rotación de un equipo), son capaces de alimentar sensores con corriente continua y un voltaje como es el caso de los sensores de desplazamiento.

Características principales:

- 32 canales de entrada, 16 canales por cada tarjeta. Pueden ser las entradas de sensores de aceleración, velocidad o proximidad.
- 16 canales para tacómetros físicos.
- Rango de voltaje entregado entre +/-24 Volts.

A continuación se muestra en la figura 2.3 una caja CSI 4500 con cada una de sus partes:

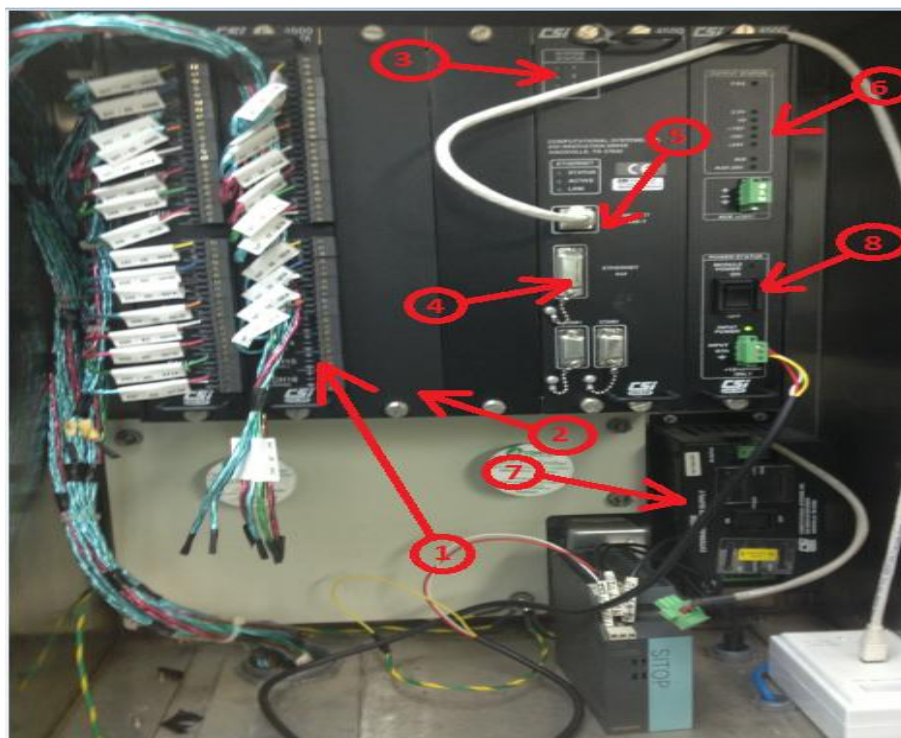


Figura 2.3, caja CSI 4500 ubicada en sala de instrumentación.

#### Partes del modelo CSI 4500

1. Tarjeta de señales de entrada (multiplexores) de 16 canales.
2. Slot Tarjeta de tacómetros de 16 canales.
3. Testigo de comunicación de red.
4. Puerto de comunicación serial RS232
5. Puertos de comunicación Ethernet: NIC (directo) y HUB (cruzado).
6. Leds indicadores de estado alimentación.
7. Fuente de +/- 24 VCD/0.6 A.
8. Switch de encendido y apagado

### 2.2.2.2 Equipos CSI 6500

Este dispositivo recolector y analizador es más rápido y potente que su antecesor, trae incorporadas herramientas de análisis que permiten que el equipo entre en funcionamiento solo cuando exista un cambio significativo de sus niveles de vibraciones, a la vez incorpora técnicas como el **\*\*peak-vue**, también es capaz de realizar un seguimiento más exhaustivo en bandas laterales, incluso se le pueden asociar equipos que midan temperaturas por lo que lo hace un equipo muy flexible. Una cosa a destacar es que este equipo es totalmente compatible con los equipos CSI 4500.



Figura 2.4, caja CSI 6500

Una desventaja de este equipo es que trae 24 canales en vez de los 32 de la CSI 4500 es por tal motivo que por cada gabinete (caja metálica) es necesario tener 2 unidades 6500 para poder cubrir la cantidad de puntos de medición que se tenían anteriormente. Este equipo trae los mismos componentes que el equipo anterior por lo que no se entrará en ese detalle.

**\*\*Peak-vue:** técnica avanzada de análisis de vibración tiene aplicación en la detección de fallas de rodamientos y engranajes principalmente en equipos de baja velocidad de rotación.

### 2.2.3 Red de monitoreo continuo

Para poder acceder a toda la información que es recolectada por las cajas CSI 4500/6500 instaladas en terreno es necesario disponer de una red. Esta red está compuesta por un conjunto de equipos como: un servidor físico ubicado en la sala de informática, el cual se encarga de almacenar la información de las tendencias y espectros de cada punto de mediciones, una red administrativa que corresponde a la del departamento de mantención predictiva de la planta y permite el acceso a los clientes MHM (machinery health manager) que en este caso corresponde a los analistas predictivos. En la figura 2.5 se muestra el esquema de la actual red disponible para el Sistema de Monitoreo.

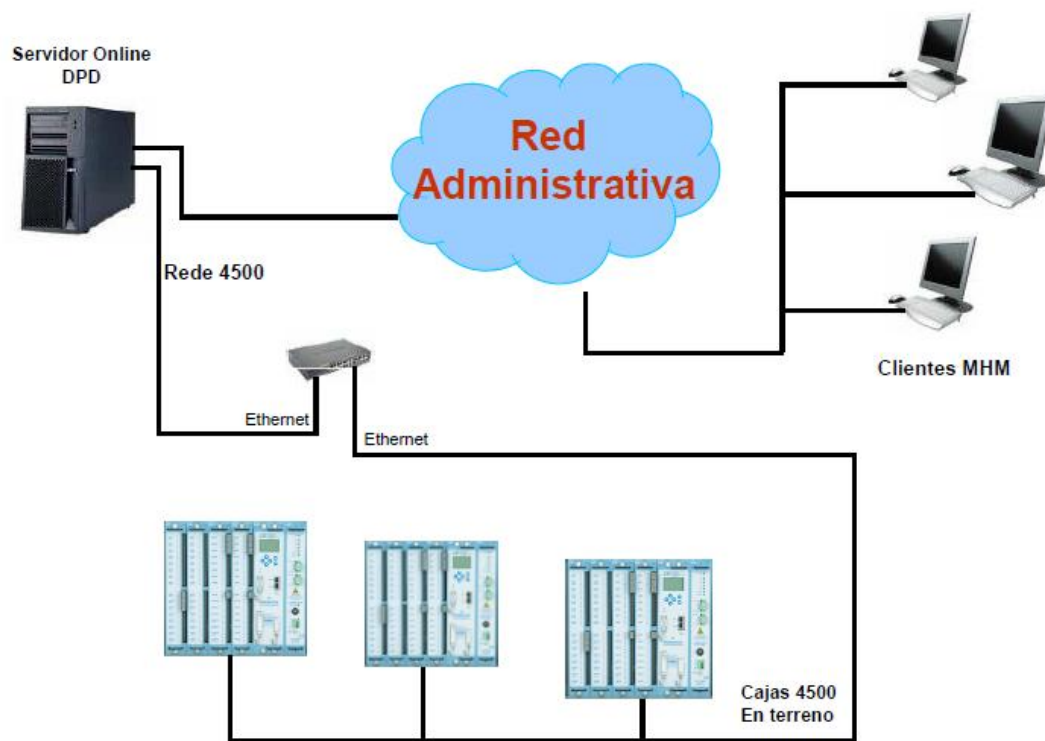


Figura 2.5, red instalada para sistema de monitoreo continuo en planta Arauco.

Nota: uno de los problemas de la actual red es que debido a su antigüedad y lentitud de transferencia de datos hace más lento el sistema y provoca errores recurrentes, que afectan el normal funcionamiento. En el capítulo de recomendaciones se hace hincapié en este punto y como proceder para mejorarlo.

### 2.2.4 Software de monitoreo continuo

El software utilizado se llama AMS Machinery Health Manager, en este se gestiona y visualiza todo lo que es recolectado por las cajas CSI, aquí se procesa los múltiples datos recibidos y además se pueden ver los espectros y tendencias históricas guardadas. También es donde se accede a la creación y configuración de una nueva base de datos.

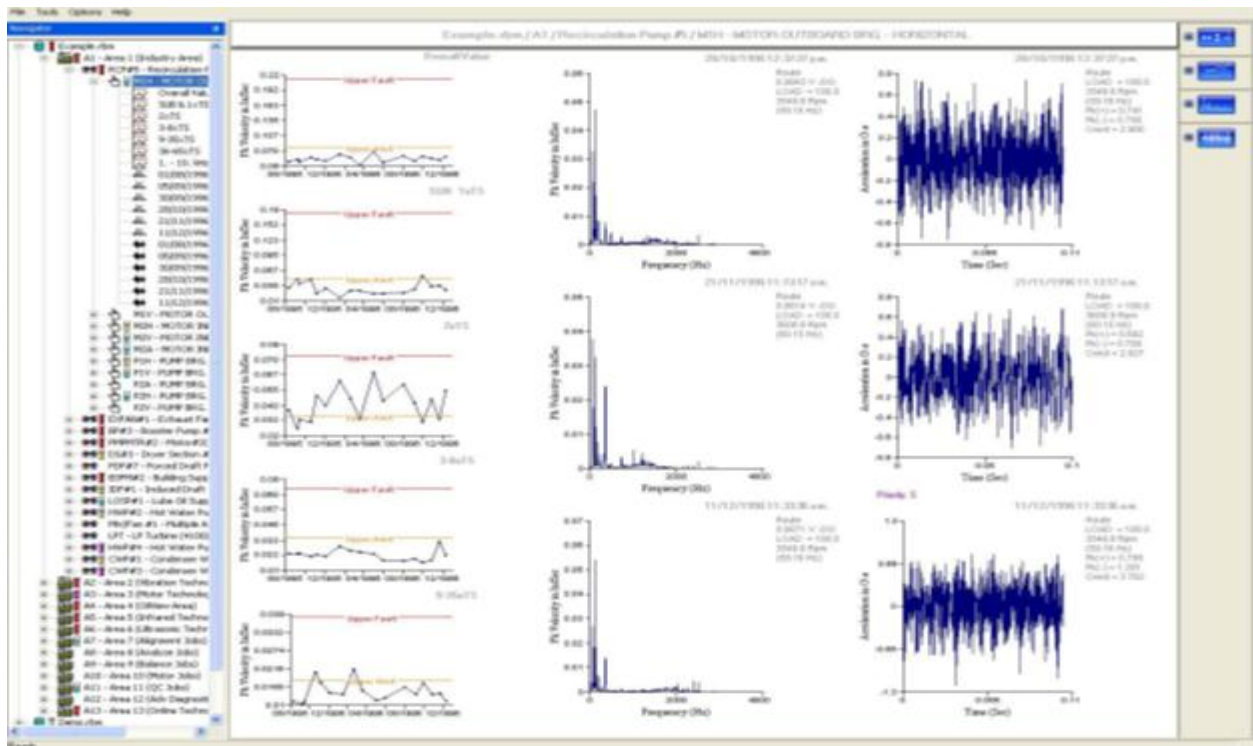


Figura 2.6, ventana principal de la base de datos, muestra tendencias y espectros de cada punto configurado.

### 2.2.5 Canalización

La canalización en sistemas de esta envergadura toma un rol fundamental para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo, debido a que se encarga de proteger el cableado de los sensores evitando el deterioro prematuro de estos, cabe destacar su importancia a la hora de estimar los costos del proyecto pudiendo influir de manera importante en la adquisición de un sistema como este dependiendo de las distancias, ambientes corrosivos, etc.



## **Capítulo 3- Formas de análisis de vibración y fallas más comunes en equipos rotatorios.**

### **3.1 Formas de análisis de vibración**

Las formas de análisis de vibración son usadas para poder identificar las causas que originan las vibraciones de un equipo, es aquí la importancia de conocer las formas que existen en la actualidad para hacer este tipo de estudio, esto repercute directamente en el análisis que realiza el sistema de monitoreo continuo.

#### **3.1.1 Análisis Espectral**

Este es uno de los tipos de análisis más ocupados por los analistas de vibraciones debido a que esta teoría tiene bastantes años y se ha comprobado su efectividad en múltiples casos, sobretodo en detección de fallas en rodamientos y engranajes con bastante exactitud.

Este método se inicia con la medición de la vibración en los descansos de los equipos rotatorios debido a que en estos puntos es donde se obtiene una mejor lectura, debido a la cercanía de los elementos rodantes con el sensor.

Para obtener un espectro es necesario descomponer una señal dominio tiempo en sus componentes espectrales para luego asociar esas componentes con las fuerzas actuando sobre el equipo.

Lo más importante de este análisis es poder evaluar el estado del equipo en base a valores históricos de cada componente del espectro, generalmente se usan puntos o espectros de referencia para evaluar el cambio en el nivel de las componentes espectrales.

Lo ideal es que estas comparaciones se hagan en el mismo régimen de funcionamiento, es decir a la misma velocidad y condiciones de carga, o sino la comparación no será totalmente valida llevando a tomar decisiones erróneas.

Cabe destacar que antes de hacer este tipo de estudio se evalúa la severidad de la vibración basándose en las normas existentes, que clasifican los equipos según sus características y establecen valores admisibles para su correcto funcionamiento. Si el equipo en cuestión sobrepasa estos límites establecidos será necesario hacer un análisis espectral.

Los espectros obtenidos por el sistema de monitoreo continuo son guardados en una base de datos, pero para poder evaluar el estado del equipo en cual el software compara en cada momento el valor de algunas componentes con un valor pre configurado (alarmas), por lo que el operador del programa puede ser capaz de detectar ciertas fallas sin la necesidad de tener un conocimiento avanzado de vibraciones.

A continuación se muestra un espectro de un compresor.

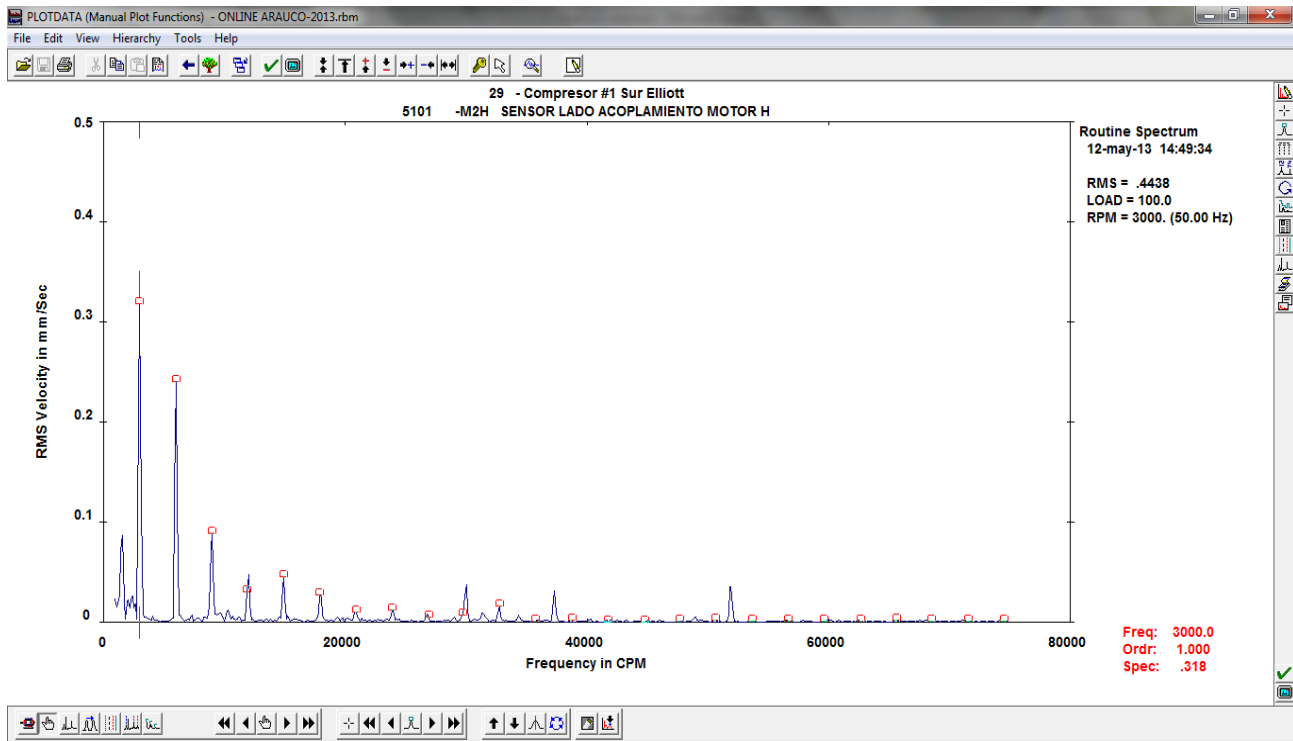


Figura 3.1, espectro en velocidad de un compresor lado copla motor obtenido por el monitoreo continuo.

Como se muestra en la figura superior se observa un equipo con una velocidad de rotación de 3000 RPM, y el software permite hacer el análisis espectral necesario para poder diagnosticar algún problema en específico. No se profundizará más en este tipo de análisis debido a que este trabajo ahondará más en lo que concierne al sistema de monitoreo continuo.

Además de este tipo de análisis existe otro tipo de análisis como el análisis de la forma de onda, análisis de fase, de órbitas, a continuación se profundizará más sobre éstos.

### 3.1.2 Análisis de forma de onda.

Otro tipo de análisis válido para poder diagnosticar y complementar el análisis espectral, es el de forma de onda. En general es difícil de analizar, de aquí que es necesario complementar los 2 tipos de estudios para lograr mayor exactitud en el diagnóstico.

De la forma de onda se pueden observar fallas periódicas o algún tipo de golpes en una forma de onda impulsiva, además se puede comparar factores cresta, que es una buena herramienta para evaluar impactos en el funcionamiento de un equipo.

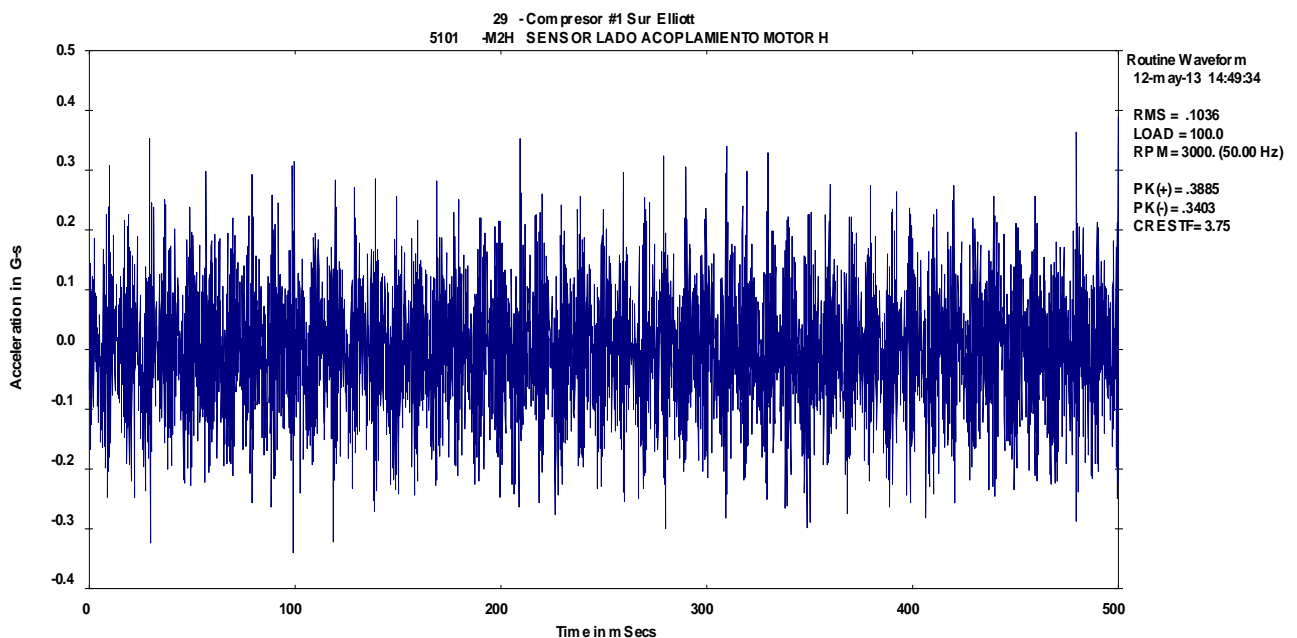


Figura 3.2, muestra una forma de onda en aceleración de un compresor lado acoplamiento motor horizontal.

### 3.1.3 Análisis de la Fase de las Vibraciones

Este tipo de análisis permite comparar un movimiento con otro, o un movimiento relativo de dos o más componentes de una máquina o estructura detectándose defectos específicos del equipo, por ejemplo, si el análisis revela que la vibración de una máquina está en desfase con la base o cimiento se podría atribuir a que la base está suelta a que existe algún tipo de soltura.

Problemas detectables más comunes con el estudio de la fase:

- Desbalance: Diferencia de  $90^\circ$  ó  $270^\circ$  entre vibraciones horizontales y verticales en un mismo descanso. Igual diferencia de fase entre vibración horizontal y vertical, en ambos descansos.
- Eje Doblado: Fases diferentes en diferentes puntos de la cara del descanso.
- Desalineamiento: Diferencia de  $180^\circ$  entre vibraciones radiales y axiales a ambos lados del acoplamiento.
- Resonancia: cambio brusco de la amplitud del movimiento al variar ligeramente la velocidad.

### 3.1.4 Análisis de órbitas.

El método de análisis de órbitas es el movimiento en el plano (bidimensional) obtenido de la composición de dos vibraciones medidas en dos direcciones perpendiculares sobre el mismo eje o equipo en estudio.

Este tipo de análisis se hace principalmente en descansos hidrodinámicos, usados en equipos como los turbogeneradores. Generalmente se obtiene una figura bastante difusa por el ruido presente en el equipo por lo que conviene usar filtros para poder tener una mejor lectura y poder diagnosticar con mayor exactitud.

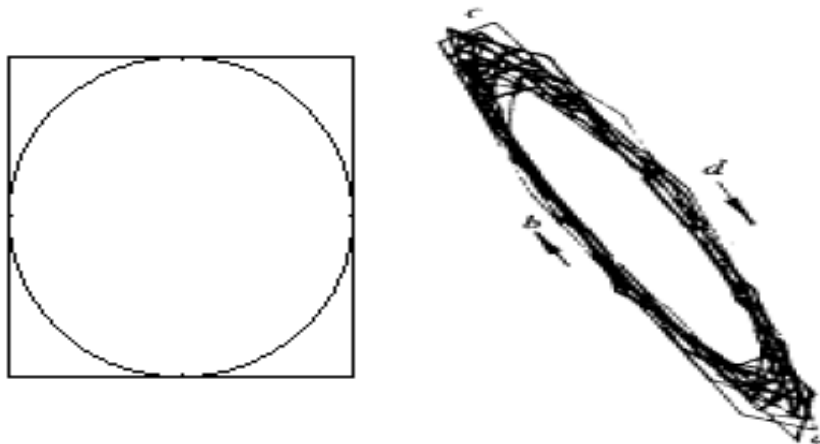


Figura 3.3. La primera orbita es de un equipo en buen estado, la segunda orbita es producida por un desbalance.

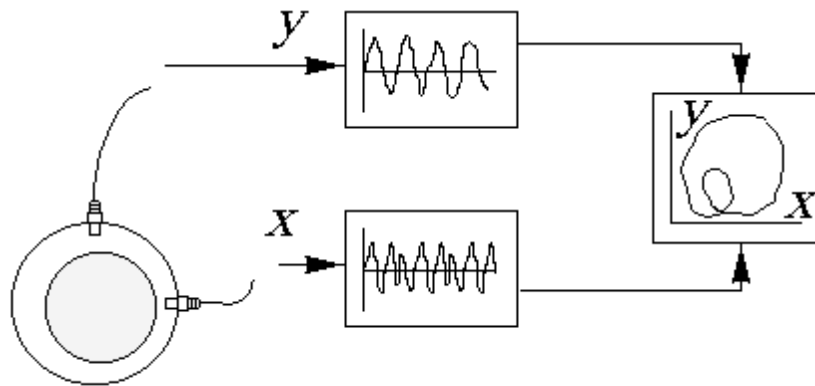


Figura 3.4., esquema de obtención de orbitas en un descanso hidrodinámico.

Este tipo de análisis aplicado al sistema de monitoreo continuo permite obtener orbitas al establecer una conexión mediante el software AMS entre 2 puntos, y que los sensores estén ubicados correctamente, lo que podría ser aplicado en algunos equipos como los turbogeneradores, pero actualmente no se cuenta con los sensores correspondientes para hacer este análisis que sería muy interesante de usar.

## 3.2 Fallas más comunes en equipos rotatorios

El objetivo principal de este parte del capítulo es conocer las fallas típicas y más comunes que se pueden diagnosticar con el análisis vibratorio y cuáles son sus síntomas, estos problemas serán los que puede detectar el sistema de monitoreo continuo dependiendo de su configuración y del tipo de sensores utilizados. A continuación se explicarán las fallas más comunes.

### 3.2.1 Desbalanceo

Este es un problema muy frecuente que se produce debido a una fuerza radial hacia afuera que se produce al girar un rotor, lo que produce una flexión en el eje la que se transmite a los puntos donde se mide las vibraciones que generalmente son los descansos, esta fuerza radial es producida por una distribución de masa no uniforme.

Este tipo de problema se puede solucionar realizando un balanceo, que básicamente es un método en el cual se va agregando o quitando masa de un rotor en diferentes puntos, hoy en día los equipos analizadores traen aplicaciones específicas para estas tareas, cabe destacar que siempre existirá un

desbalanceo residual el cual no será posible eliminar, no hay que olvidar que lo importante es que el equipo no sobrepase ciertos límites establecidos y que siempre se producirán vibraciones.

El desbalanceo por sí solo es fácil de detectar pero generalmente se presenta en conjunto con otros problemas.

## Tipos de desbalanceo

### 3.2.1.1 Desbalanceo estático

El desbalanceo estático muestra fases iguales y estables. La amplitud de la vibración tiene una relación al cuadrado de la velocidad de giro es decir que por cada vez que se duplique la velocidad de rotación la amplitud de vibración aumentará en cuatro veces. Basta balancear en un plano para disminuir la amplitud del movimiento.

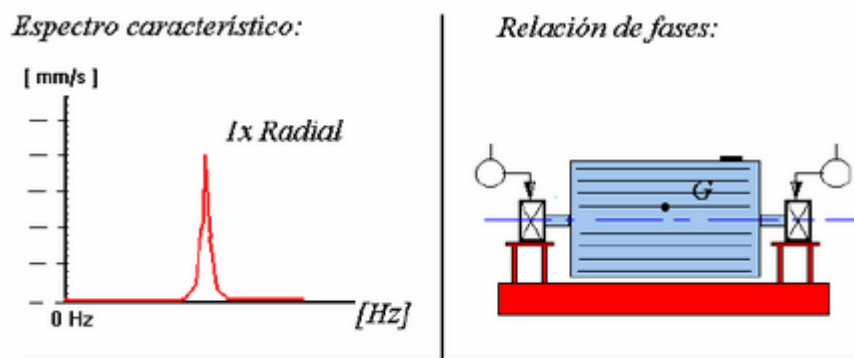


Figura 3.5, espectro típico y relación de fases de un desbalanceo estático.

### 3.2.1.2 Desbalanceo tipo par de fuerzas

Este tipo de desbalanceo genera un movimiento con un ángulo de fase de  $180^\circ$  de un mismo eje. Puede causar vibraciones de tipo radial tanto como axial, existe una diferencia de fase entre un punto horizontal y vertical de  $90^\circ$  aproximadamente, para corregir este tipo de desbalance es necesario balancear en 2 planos.

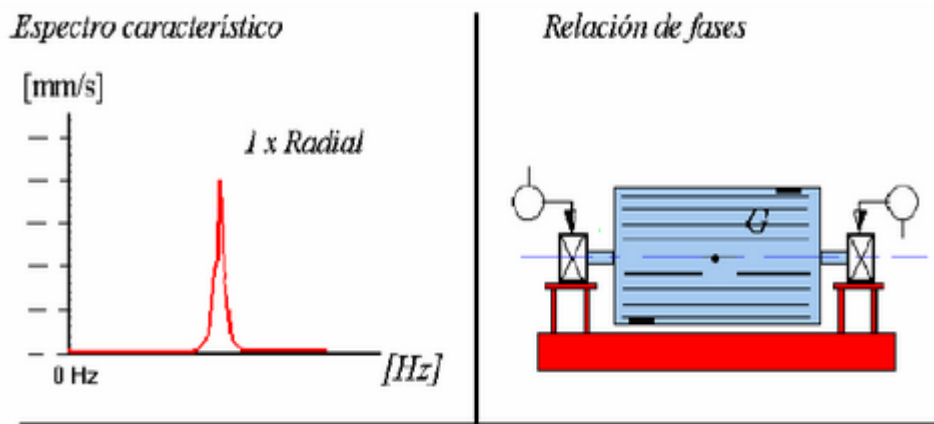


Figura 3.6, espectro típico y relación de fases de un desbalanceo tipo par de fuerzas.

### 3.2.1.3 Desbalanceo dinámico

Este tipo de desbalanceo es el más común y corresponde a una mezcla de los 2 tipos de desbalanceo mencionados anteriormente, también es necesario realizar un balanceo en 2 planos, existe una diferencia de fase en la medición radial entre el lado libre y el lado copla.

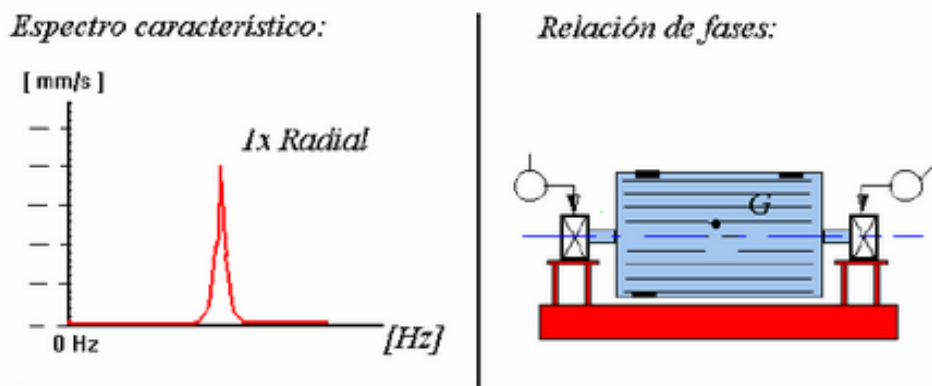


Figura 3.7, espectro típico y relación de fases de un desbalanceo dinámico.

### 3.2.1.4 Desbalanceo de rotores en voladizo

La amplitud de la vibración en este tipo de desbalanceo es alta a la velocidad de rotación en las direcciones radiales y axiales provocado por el momento que genera este tipo de instalación, tienden a estar en fase en las medidas axiales y en las medidas radiales su fase es inestable. Para contrarrestar este desbalanceo es necesario realizar un balanceo en 2 planos.

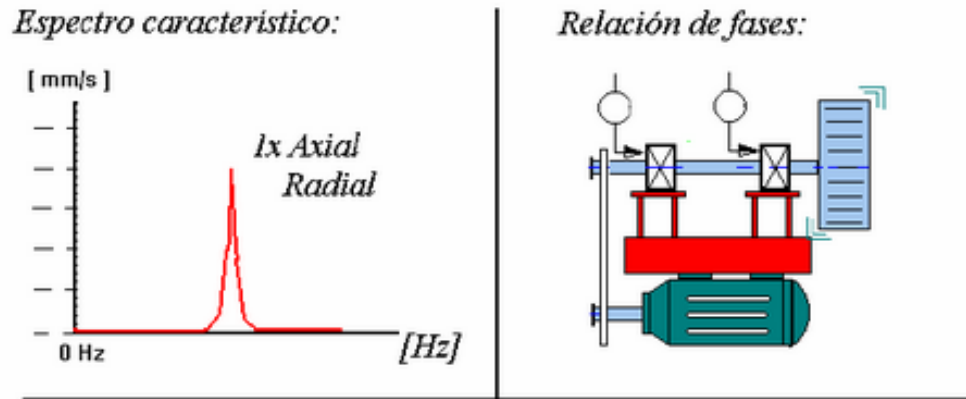


Figura 3.8, espectro típico y relación de fases de un desbalanceo de rotores en voladizo.

### 3.2.2 Ejes doblados

Este tipo de problema causa altas vibraciones axiales con diferencia de fase de  $180^\circ$  en este mismo tipo de punto de medición, en el análisis espectral se aprecia componentes predominantes en la velocidad de rotación y en el doble de la velocidad de rotación, en algunos casos la flexión del eje ocurre cuando este está girando producto de su baja rigidez en comparación a las fuerzas que se ve sometido.

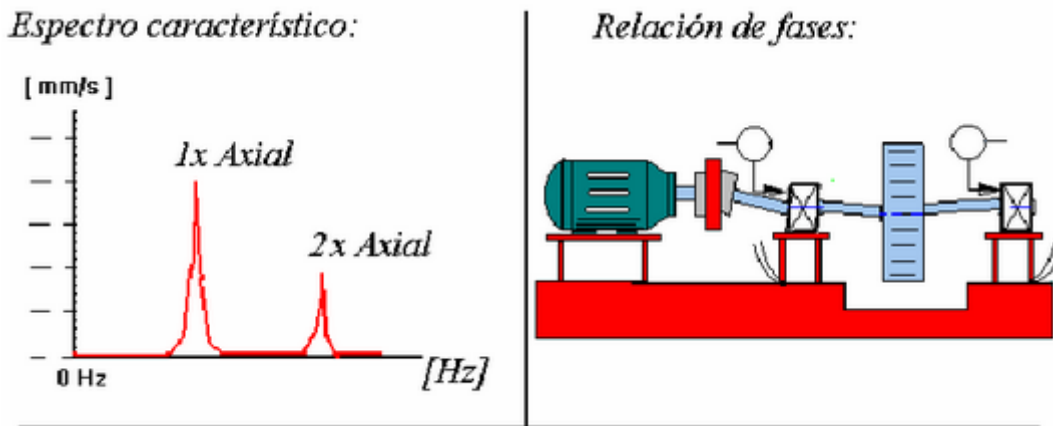


Figura 3.9, espectro típico y relación de fases de un eje doblado.



### **3.2.3- Desalineamiento**

Es un tipo de funcionamiento incorrecto en la cual los ejes de la máquina conductora y conducida no están en la misma línea de centros.

Existen dos tipos de desalineamiento:

#### **3.2.3.1 Paralelo**

Se caracteriza por tener altos niveles de vibración radial, con un desfase de  $180^\circ$ , generalmente la componente 2XRPM supera en amplitud a la componente de velocidad de rotación, esta relación de amplitudes depende del tipo de acoplamiento, cuando es severo el desalineamiento puede producirse picos en componentes más altas como la 4X hasta la 8X.

#### **3.2.3.2 Angular**

Se caracteriza por una vibración axial elevada,  $180^\circ$  de desfase al comparar las fases axiales, las componentes de la velocidad de rotación y las de 2 veces la velocidad de rotación son altas, aunque en algunos casos las componentes 3XRPM son tan altas como las anteriormente mencionadas.

Generalmente se encuentran los 2 tipos desalineamiento. Este se produce principalmente por mal montaje o problemas provenientes de la operación del equipo, pudiéndose provocar por deformaciones debido a los esfuerzos producidos durante su funcionamiento.

El efecto sobre el equipo que provoca el desalineamiento, radica en la flexión del eje, lo que se traduce en un aumento de las vibraciones en los descansos del equipo (máquina conductora y conducida). Un aumento en la carga tiene un gran impacto sobre la vida útil de un rodamiento, lo que puede disminuir dramáticamente la vida útil de éstos.

Como es de esperarse, al igual que en el caso del desbalance del rotor, el desalineamiento no puede reducirse a cero, sino que se establecen límites permisibles dados por estándares o recomendaciones del fabricante. Por esto muchas veces se utilizan acoplamientos flexibles para poder absorber en alguna medida este desalineamiento.

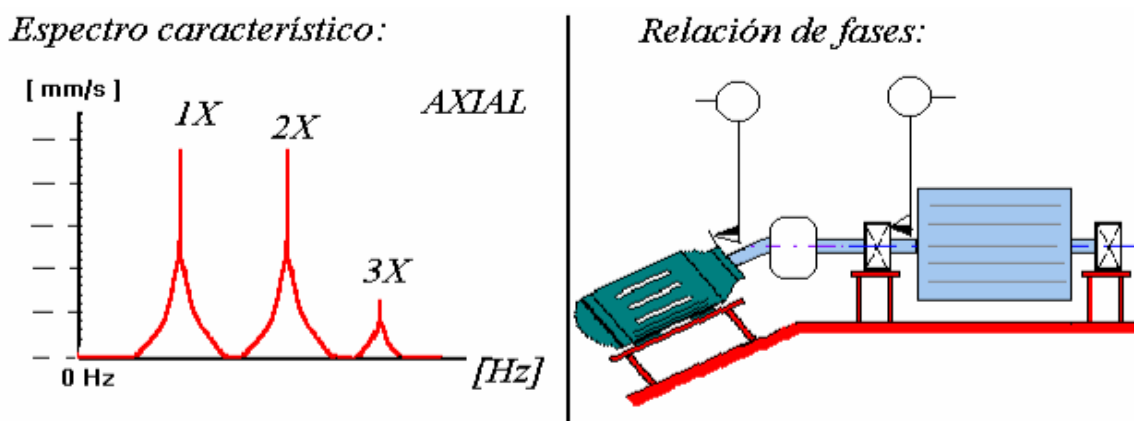


Figura 3.10, espectro típico y relación de fases de un desbalanceo.

### 3.2.4 Resonancia

Este fenómeno ocurre principalmente debido a problemas de diseño, debido a que ocurre cuando la frecuencia de excitación coincide con la frecuencia natural del sistema produciendo elevados niveles de vibración lo que lleva a un fallo prematuro en el equipo, puede originarse en cualquier parte del equipo como en el cimiento de la máquina, frecuentemente es necesario cambiar la frecuencia natural del sistema debido a que la frecuencia de excitación está determinada por las condiciones de operación y necesidad de la cadena productiva, esto será detectado por el sistema de monitoreo debido al cambio en amplitud de la vibración, para solucionar este tipo de problemas se debe realizar un estudio más a fondo de cada caso en particular.

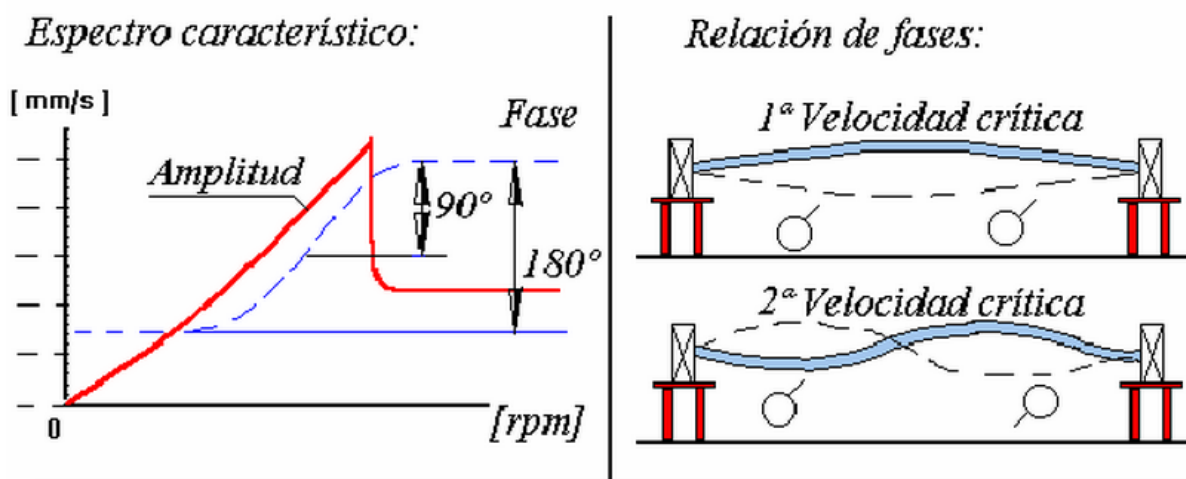


Figura 3.11, espectro típico y relación de fases de un equipo en resonancia.

### 3.2.5 Soltura mecánica

Existen 3 tipos de holgura mecánica como se explicara a continuación:

#### 3.2.5.1 Tipo A

Se produce por la poca rigidez de la soportación de una máquina, generalmente se produce por el deterioro de la base debido a múltiples factores como puede ser la corrosión, otro motivo para que se produzca este tipo de problemas es debido a pernos sueltos. Se aprecia una diferencia de fase entre 90° y 180°.

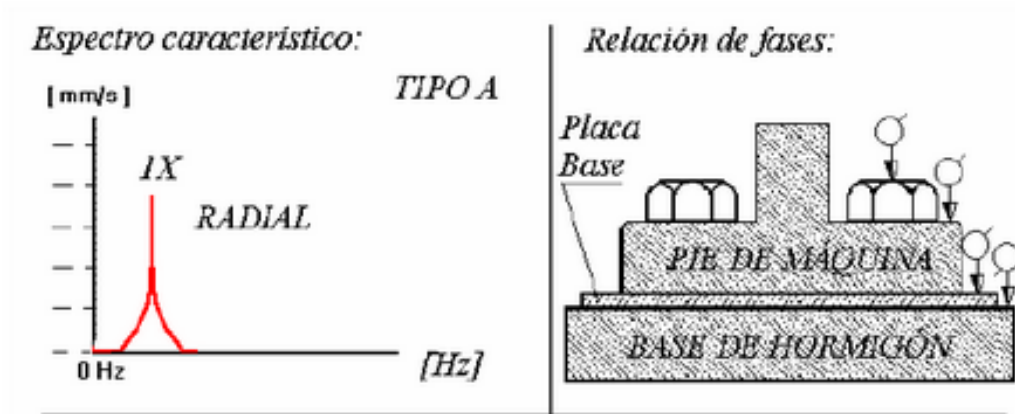


Figura 3.12, espectro típico y relación de fases de una soltura mecánica tipo A.

#### 3.2.5.2 Tipo B

Por lo general se debe a pernos sueltos o base con fracturas.

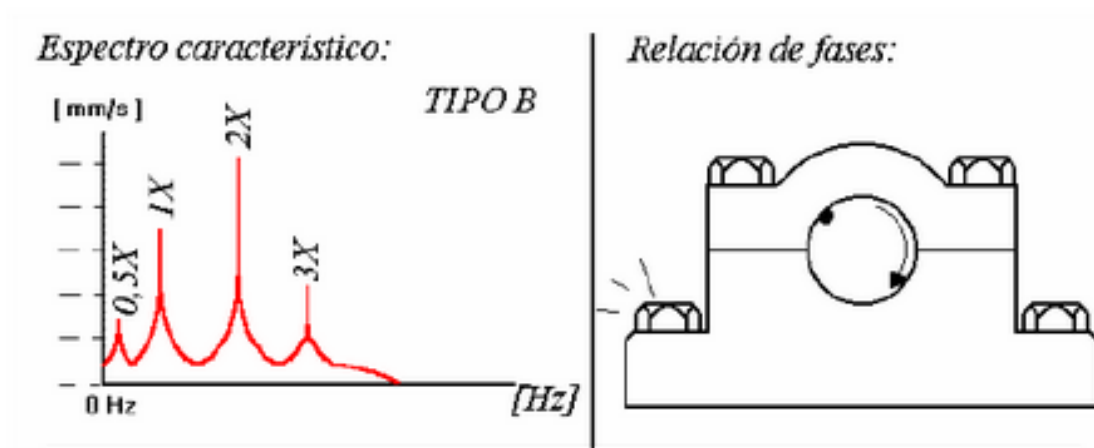


Figura 3.13, espectro típico y relación de fases de una soltura mecánica tipo B.

### 3.2.5.3 Tipo C

Este tipo de soltura se produce por un ajuste inadecuado entre los componentes, lo cual ocasiona armónicos a la velocidad de rotación del equipo debido a una respuesta no lineal de las piezas sueltas del rotor. Puede ocurrir por una soportación floja, un rodamiento suelto o una holgura excesiva en un manguito de fijación. La fase de este tipo de soltura es inestable y puede variar bastante entre mediciones. También se pueden apreciar múltiplos subarmónicos a 0.5X, 1.5X, 2.5X, etc.

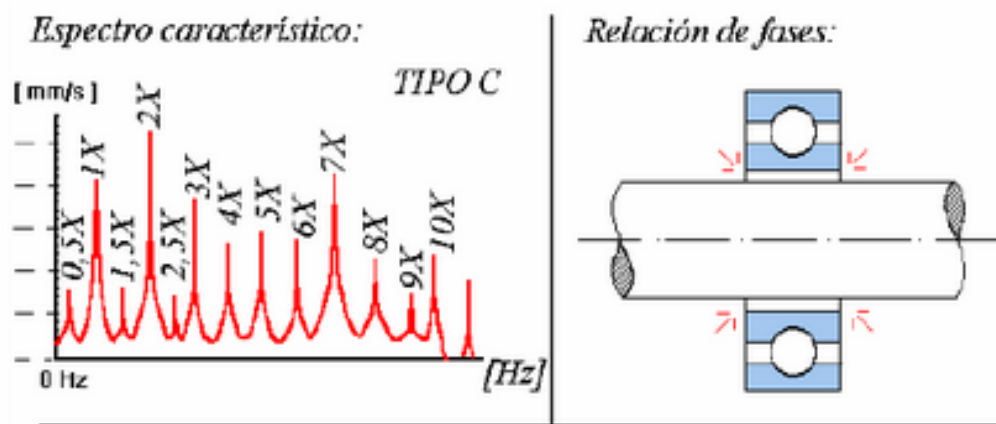


Figura 3.14, espectro típico y relación de fases de una soltura mecánica tipo C.

En el sistema de monitoreo se podrá detectar este tipo de fallas debido a que existen tendencias de niveles de vibración normales al funcionamiento de cada equipo en particular por lo que se establecerá un límite en base a esta información histórica disponible.

### 3.2.6 Rozamiento de rotor

El rozamiento del rotor produce unos espectros similares a la soltura mecánica. Este puede ser parcial o en la totalidad del eje, generalmente genera una serie de frecuencias, excitando en algunos casos una o más resonancias, de fracciones enteras de la velocidad de rotación, dependiendo de la localización de las frecuencias naturales del rotor. Este tipo de problema puede ocasionar fallas catastróficas, es por esto que se debe tener muy en cuenta a la hora de diagnosticar el equipo.

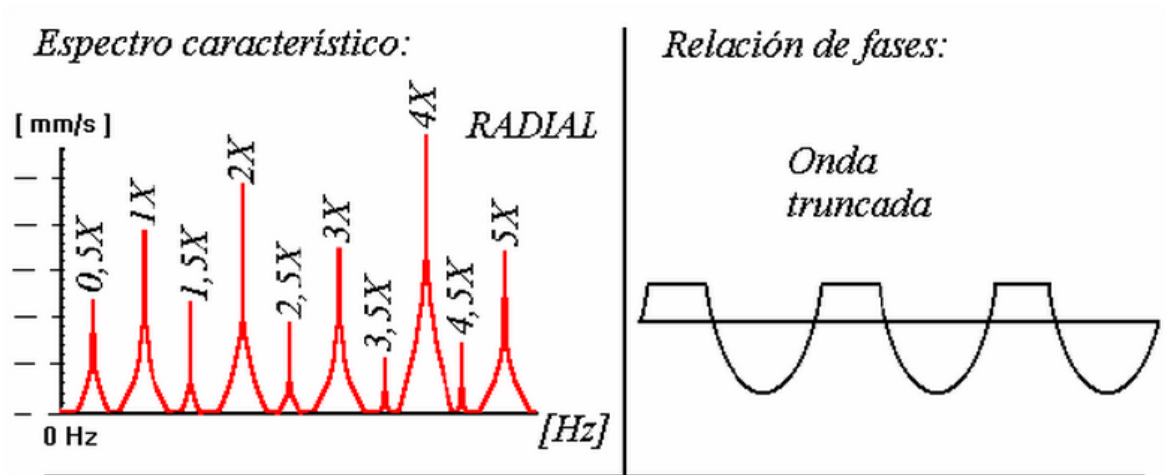


Figura 3.15, espectro típico y relación de fases de un rozamiento de un rotor.

### 3.2.7 Rodamientos

La mayor cantidad de problemas en equipos rotatorios se produce debido a la falla de los rodamientos produciendo fallas catastróficas e importantes pérdidas de producción, pudiendo afectar a otros elementos del equipo como el eje y los descansos, inclusive llegándose a producir un incendio por las altas temperaturas que provoca el roce excesivo en los descansos producto de este tipo de fallas. Por este motivo es que hoy en día el software disponible incorpora varias herramientas para facilitar el diagnóstico oportuno de estos defectos, por lo que se pueden clasificar en 4 etapas de detección según su evolución las cuales se describen a continuación:

Etapa 1: Los primeros indicios de este tipo de problemas aparecen en un rango de frecuencias ultrasónicas (250000 Hz- 350000 Hz), luego a medida que se incrementa el defecto en el rodamiento este rango baja aproximadamente entre 20000-60000 Hz.

Etapa 2: El paso de elementos encima de ligeros defectos del rodamiento empiezan a excitar algunas frecuencias naturales de los elementos rodantes como los aros y la jaula. Ocurren en un rango de 500Hz-2000Hz, dependiendo del tipo de rodamiento.

Etapa 3: Aparecen frecuencias del rodamiento y sus armónicos, a medida que el defecto aumenta, empiezan a aparecer más cantidad de armónicos de las frecuencias del defecto (BPFO, BPFI, BSF, FTF) y un incremento de las bandas laterales, en esta etapa el daño se hace visible y puede extenderse a todo el perímetro del rodamiento, aparecen bandas laterales a las frecuencias de defecto del rodamiento.

Etapa 4: En esta etapa la amplitud de las componentes a 1X RPM crecen notablemente junto con la aparición de armónicos a esta velocidad, las frecuencias naturales de los componentes de los rodamientos comienzan a desaparecer y comienzan a aparecer un alto piso de ruido. Existe una herramienta llamada HFD (high frequency detection) que posee el sistema de monitoreo continuo instalado en planta Arauco que permite detectar este tipo de fallas, hay que tener bastante precaución debido a que en esta etapa se disparan bruscamente los niveles de vibración y pueden producir una falla catastrófica de forma repentina.

### **3.2.8 Engranajes**

Este tipo de elementos se encuentra en muchos equipos como lo son las cajas reductoras o incrementadoras, dispuestos en la planta, su detección resulta fácil debido a que normalmente se generan amplitudes correspondientes a la frecuencia de engrane, que corresponde a la cantidad de dientes del engranaje multiplicada por la velocidad de giro del eje donde está montado, por lo que se hace estrictamente necesario conocer el número de dientes de los engranajes analizados. Los problemas más frecuentes son debido al desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallas de lubricación y materiales atrapados entre los dientes. La amplitud y frecuencia de vibración debida a los engranajes a veces pueden parecer erráticas. Dicho tipo de vibración errática ocurre normalmente cuando un conjunto de engranajes está funcionando en condiciones de carga muy liviana. En tales condiciones la carga puede desplazarse repetidamente de un engranaje a otro de modo irregular.

### **3.2.9 Cavitación en bombas**

La cavitación en bombas se produce cuando la bomba opera bajo su capacidad de diseño o con una inadecuada presión de succión (problema de NPSH). La cavitación normalmente genera una energía de banda ancha aleatorio de alta frecuencia. En algunas ocasiones se sobreponen con armónicos de la BPF (frecuencia de paso de álabes), si no se corrige a tiempo puede causar daños principalmente en los alabes.

### **3.2.10 Turbulencias de flujo**

Este tipo de fenómeno ocurre en los ventiladores debido a variaciones en presión o en velocidad del aire que pasa a través de los ductos conectados, causando una turbulencia que genera vibraciones de baja frecuencia aleatoria, generalmente en un rango de 50 a 2000 RPM, también puede provocar una banda ancha de alta frecuencia.

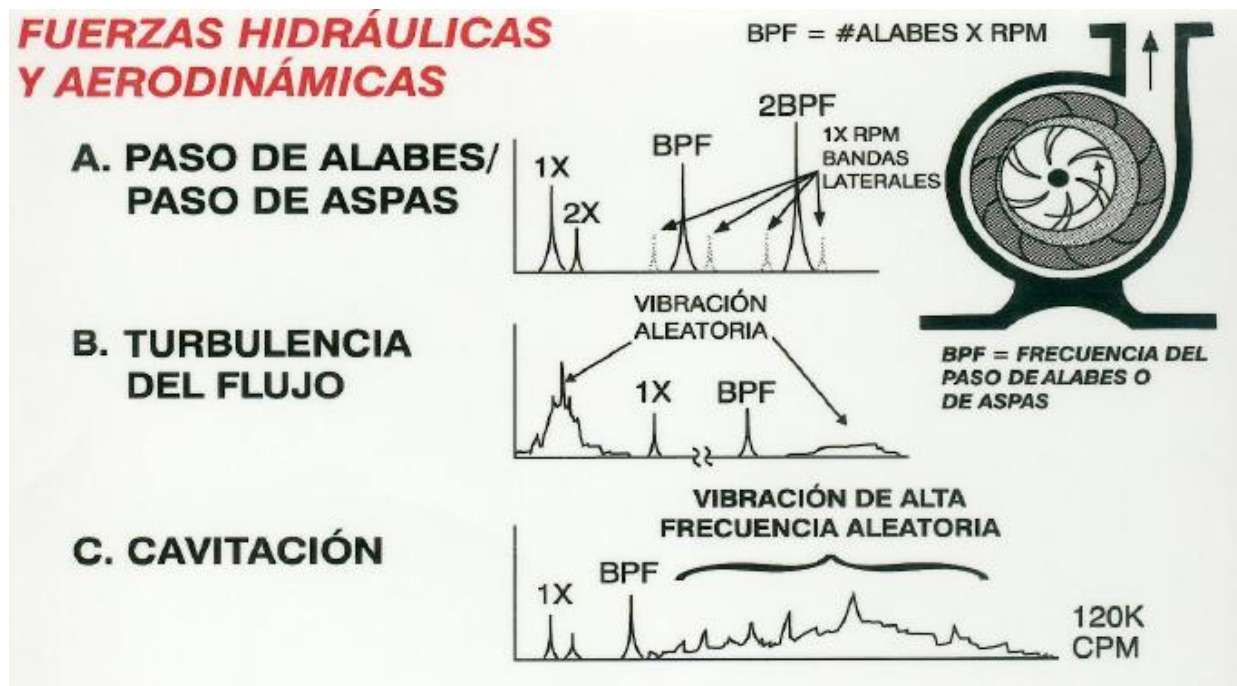


Figura 3.17, espectro típico y relación de fases de fallas provocadas por fuerzas hidráulicas y aerodinámicas.

### 3.2.11 Inestabilidad rotacional a causa del aceite

Esta inestabilidad se produce en un rango de 0.4X-0.48X RPM y puede ser muy severa. La inestabilidad rotacional es una vibración excitada por una película de aceite, cuando ciertas desviaciones en las condiciones de funcionamiento normales dan lugar a que una cuña de aceite empuje el eje dentro del rodamiento. La fuerza desestabilizadora en el sentido de rotación produce una vibración lateral (precesión hacia delante). Esta vibración lateral es inestable, ya que incrementa las fuerzas tangenciales al rotor, lo cual hace que aumenten las fuerzas vibratorias laterales. Pueden dar lugar a que el aceite deje de soportar al eje y pueden volverse inestables cuando la frecuencia vibratoria lateral coincide con una frecuencia natural del rotor. Los cambios en la viscosidad del aceite, la presión del lubricante y las precargas externas pueden afectar la estabilidad rotacional. Este fenómeno puede ser detectado con el sistema de monitoreo continuo debido a que se puede configurar un rango de frecuencias que se quieren monitorear (0.40X-0.48X), aunque luego se evaluará su real importancia debido a la poca recurrencia de estos problemas en los equipos monitoreados.



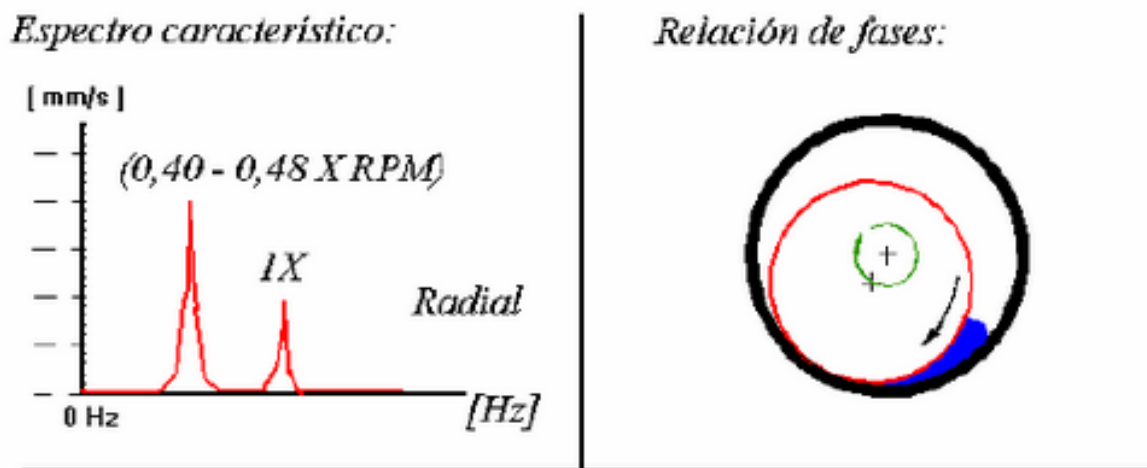


Figura 3.18, espectro típico y relación de fases de un rozamiento de un rotor. Inestabilidad rotacional a causa del aceite

Los problemas descritos anteriormente representan a los más comúnmente detectados en una ruta de vibraciones, existiendo varias fallas que no se mencionaron debido a su baja implicancia y difícil detección teniendo que recurrir a herramientas mucho más eficientes que no se encuentran actualmente en el sistema de monitoreo continuo.

## Capítulo 4- Medición de vibraciones

La medición de vibraciones se compone de las siguientes etapas:

- Etapa Transductora.
- Etapa de acondicionamiento.
- Etapa de Análisis de la Señal.
- Etapa de Toma de decisiones.

### 4.1.- Tipos de transductores

Sea cual sea el tipo de instrumento de que se valga para medir la vibración, el centro del sistema de medición es el captador transductor. Un transductor es un dispositivo sensor que convierte una forma de energía en otra. El transductor de vibraciones convierte la vibración mecánica en señal eléctrica.

En la industria se tiene una gran variedad de transductores. Los transductores más comunes leen cualquier parámetro, ya sea desplazamiento, aceleración y velocidad. Los tres tipos de transductores difieren en sus características, cada transductor convierte la energía mecánica en una señal eléctrica de formas diferentes.

Como existen distintos tipos de sensores igualmente existen distintos tipo de métodos de montaje de los sensores dependiendo principalmente de la velocidad de rotación del equipo, mientras a mayor velocidad funcione el equipo se necesitará mayor rigidez en el montaje, a continuación se muestra una tabla con las recomendaciones de las instalaciones de los sensores y sus respectivas frecuencias de rotación. Los sensores actualmente instalados en los equipos se encuentran adheridos por un adhesivo especial para este tipo de usos llamado Loctite 330.

Tabla 4-1. Frecuencia máxima que puede medir un sensor de acuerdo a la forma de fijarlo a la superficie a medir.(fuente :IRD)

Método de montaje del sensor	Frecuencias máxima
Método apoyado con vástago de 3"	18000 cpm
Con base magnética	37000 cpm
Método apoyado sin vástago	60000 cpm
Montaje por espárrago	90000 cpm

## 4.2 Rango de frecuencias típico

El rango de frecuencias del sensor es el rango entre la menor y la mayor frecuencia de la vibración que puede medir sin atenuarla considerablemente. Cada transductor tiene su propio rango de frecuencias y es fundamental que sea conocido por el analista de vibraciones. El límite de las bajas frecuencias es una característica del sensor, mientras que el límite de las altas frecuencias depende además del tipo de sensor, para el caso de los velocímetros y acelerómetros, de su forma de montaje. Los sensores montados en el sistema de monitoreo tienen un rango de 2Hz-6500Hz.

## 4.3 Filtros

Los filtros son comúnmente usados en monitoreo continuo como no-continuo. Los filtros son circuitos electrónicos que eliminan o filtran algunas componentes vibratorias de la vibración medida, ayudando a mejorar la gráfica según los requerimientos que se tengan. Existen varios tipos de filtros que son usados en distintas ocasiones dependiendo de que parte del espectro se quiera ver con mayor claridad, los filtros más usados son:

- filtros pasa bajo
- filtros pasa alto
- filtros pasa banda.

Así como su nombre lo indican, un filtro pasa bajo, es un filtro que elimina o filtra todas las componentes que tienen frecuencias sobre una frecuencia especificada, llamada la frecuencia de corte del filtro y deja pasar todas las componentes de frecuencias que estén bajo dicha frecuencia.

Inversamente, un filtro pasa alto es un filtro que elimina o filtra todas las componentes que tienen frecuencias bajo la frecuencia de corte del filtro especificada y deja pasar todas las componentes de frecuencias que estén sobre dicha frecuencia. Un filtro pasa banda es un filtro que sólo deja pasar las frecuencias que están dentro de un rango de frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  especificadas, llamado el ancho de banda del filtro

Un filtro pasa alto, el cual es importante configurar adecuadamente, es el que se configura cada vez que se quiere obtener un espectro de velocidad vibratoria a partir de la medición realizada con un acelerómetro.

Esto es necesario para evitar lo que se llama la “pendiente de ski”, que son componentes de baja frecuencia en el espectro generadas por la integración digital del ruido electrónico de la cadena de medición (para obtener la velocidad a partir de la aceleración medida, es necesario integrar la

aceleración). Esta pendiente de ski se elimina con el filtro pasa alto configurandolo adecuadamente para que corte la pendiente de ski y deje pasar sólo las otras componentes.

#### 4.4 Analizadores de vibraciones

Estos dispositivos permiten estudiar y analizar las vibraciones que son medidas en los distintos equipos, su función principal es capturar y ayudar a analizar el espectro de una señal en dominio tiempo, hoy en día existen varias marcas que ofrecen productos que son capaces de analizar vibraciones, la marca escogida en planta Arauco Horcones es CSI, teniendo a su disposición 4 equipos 2130, como se muestra en la figura 4.1, estos equipos tienen 2 canales lo que les permite realizar múltiples tareas como balanceo en distintos planos, es una de las opciones más completas del mercado actual.



Figura 4.1, Analizador CSI 2130 utilizado en departamento mantención predictiva.

Cada vez que se va a realizar una ruta de medición de vibraciones, el equipo es conectado a un computador para luego cargar las rutas de medición, la que tienen información como el tag del equipo, el nombre del equipo los niveles de alerta de cada punto de medición, permitiendo diagnosticar en terreno el origen del exceso del nivel vibratorio.

#### 4.5 Número de líneas:

Se refiere como líneas al número de divisiones que presentará el espectro una vez calculado. Los analizadores no tienen un valor único para este punto, sino que le ofrecen al usuario una gama de números de línea en función de las necesidades del equipo y tipo de análisis que se realizará.

Estos van desde 100 a 6.400 líneas en el sistema de monitoreo continuo, algunos equipos se pueden lograr hasta 12.800 como es el caso del CSI 2130. La resolución en frecuencias estará íntimamente ligada al número de líneas que se escoja y será la mínima división que se puede ver del espectro, si existe una componente entre dos puntos, el analizador la asignará a uno de los dos puntos.

$$f = \frac{f_{\max}}{N_{\text{líneas}}}$$

#### 4.6 Resolución en frecuencias:

Esto se utiliza mucho para el análisis espectral de vibraciones, para evaluar la severidad en función de las amplitudes encontradas para determinadas frecuencias, por eso es fundamental tener algunos métodos para que permitan acondicionar la señal y mejorar la precisión de estos valores logrando dar un diagnóstico con mayor facilidad.

• **Aumentar el número de líneas:** Elevando el número de líneas se consigue mejorar la resolución, ayudando a observar gráficas con componentes a bajas frecuencias, que a simple vista son difíciles de identificar al encontrarse muy cercanas una de otra. Pero hay que tener en consideración los siguientes aspectos:

- Cuando se está haciendo el estudio inicial de una máquina o cuando se quiere buscar la causa que generó un aumento en sus vibraciones, se requiere determinar con exactitud la frecuencia de las componentes, valor clave para el diagnóstico. En ese caso será necesario trabajar con buena resolución en frecuencias en los espectros
- Para el proceso de monitoreo periódico hay que buscar un equilibrio entre el tiempo de adquisición y la resolución deseada, debido a que están íntimamente relacionados, por lo que generalmente se toma un espectro con baja resolución y si se detecta alguna anomalía se toman espectros adicionales con mejor resolución para el posterior diagnóstico.

## **Capítulo 5-Evaluación De La Severidad Vibratoria**

### **5.1 Severidad vibratoria**

Este es un parámetro fundamental en el análisis de vibraciones, que mide cuando los niveles de vibración son altos o no, con este tipo de evaluación permitirá determinar la severidad del problema. Lo primero que se realiza al medir vibraciones en un equipo es medir su amplitud la cual refleja que tan grave es el problema, en este capítulo se profundizará en el estudio de las normas existentes que determinan cuan crítico es el estado de un equipo en base a estos valores (Velocidad rms o Distancia rms), las normas establecen tablas de severidad donde clasifican los equipos según sus características, las normas solo sugieren valores globales y propone ciertos criterios para otros parámetros que son medidos. Es por esto que se recurren a criterios técnicos basados en realizar comparaciones con los niveles históricos de estos parámetros.

Esta evaluación es fundamental para evitar daños severos en los equipos debido a que los niveles vibratorios son un fiel reflejo del estado actual del equipo. También es necesario tomar en cuenta que en la industria como la de celulosa donde la producción es continua, no se puede permitir la detención repentina de un equipo que pueda detener o disminuir la producción implicando grandes pérdidas económicas, por lo que es absolutamente necesario saber que tan grave es el problema con lo cual se puede estimar el tiempo de duración del equipo, para poder programar una mantención y adquirir los repuestos necesarios para dicho evento.

Existen varias organizaciones encargadas de desarrollar y aprobar estas normas, entre las cuales destacan las normas ISO, las cuales se profundizarán a continuación.

## 5.2 Estándares ISO

ISO (International Organization for Standardization) es una organización a lo largo del mundo en el que participan Institutos de estandarización de más de 145 países. Los estándares ISO son desarrollados por comités técnicos compuestos por expertos que vienen del campo industrial, técnico y de servicios. Las proposiciones de estándares internacionales adoptados por los comités técnicos son entregadas a los miembros de ISO para su votación.

En este capítulo solo se referirá a los relacionados con la evaluación de la severidad vibratoria como la ISO 10816-3, ISO 8579-2.

Tabla 5-1, tabla con tipo de equipos disponibles en el sistema de monitoreo continuo de Planta Celulosa Arauco Horcones.

Equipos disponibles en monitoreo continuo	Norma que los cubre
Motores	ISO 10816-3
Reductores	ISO 8579-2
Incrementadores	ISO 8579-2
Bombas	ISO 10816-3
Ventiladores	ISO 10816-3
Turbinas	ISO 10816-3

**5.2.1 ISO 10816-3** (Vibración Mecánica. Evaluación de la vibración de máquinas en base a su medición en partes no-rotatorias de ella)

Este estándar limita la severidad vibratoria para evitar grandes esfuerzos de los elementos de la máquina. La severidad vibratoria para este efecto queda cuantificada por el mayor valor RMS del desplazamiento vibratorio, la velocidad vibratoria y la aceleración vibratoria respectivamente, medida en las cajas de sus descansos.

Esta norma limita la severidad vibratoria para evitar sobrecargas dinámicas en los descansos hidrodinámicos que pueden fatigar el metal blanco de ellos. La severidad vibratoria para este efecto queda cuantificada por el desplazamiento vibratorio máximo medido directamente al eje.

Aquí se describen los requerimientos generales para evaluar la vibración de varios tipos de máquinas cuando las mediciones de la vibración son hechas en partes no rotatorias de ella, principalmente en los descansos de los equipos estudiados. Se propone dos criterios para evaluar la severidad de la vibración de la máquina. Un criterio considera la magnitud de la vibración medida, el segundo considera los cambios en dicha magnitud. Debe reconocerse, sin embargo, que estos criterios no constituyen la única forma para juzgar la severidad de la vibración.

Los criterios de vibración entregados en esta parte de ISO 10816 se aplican a conjuntos de máquinas como por ejemplo, turbinas a vapor o motores eléctricos, que tengan potencia sobre 15 kW y velocidades de operación entre 120 r/min y 15000 r/min.

Las máquinas cubiertas por esta parte de ISO 10816 incluyen:

- Turbinas a vapor con potencia de hasta 50 MW.
- Turbinas a vapor con potencia mayor a 50 MW y velocidades bajo 1500 r/min o sobre 3600 r/min (no incluidas en ISO 10816 – 2).
- Compresores rotatorios.
- Turbinas a gas industrial con potencia hasta 3 MW.
- Bombas de tipo centrífugo, de flujo mixto o flujo axial.
- Generadores, excepto son usados en plantas de bombeo o generación de potencia hidráulica.
- Motores eléctricos de cualquier tipo.
- Sopladores o ventiladores

Lo siguiente está excluido de esta parte de ISO 10816:

- Generadores de turbina a vapor con base en tierra con potencias mayor a 50 MW y velocidades de 1500 r/min; 1800 r/min; 3000 r/min; ó 3600 r/min (ver ISO 10816 – 2).
- Turbinas a gas con potencias mayores a 3 MW (ver ISO 10816 – 4).
- Conjunto de máquinas de generación y bombeo de potencia hidráulica
- Máquinas acopladas a máquinas recíprocas (ver ISO 10816 – 6)
- Compresores rotatorios de desplazamiento positivo (por ejemplo, compresores de tornillos).



- Compresores recíprocos.
- Bombas recíprocas.
- Moto bombas sumergidas.
- Turbinas de viento.

Estos criterios se aplican tanto en las pruebas de aceptación de las máquinas como en su monitoreo operacional. Los criterios de evaluación de esta parte de ISO 10816 se presentan para ser aplicados en situaciones de monitoreo continuo y no – continuo, por lo cual se adaptan a las necesidades de este trabajo perfectamente.

Esta parte de ISO 10816 incluye máquinas que puedan tener engranajes o rodamientos, pero no está orientada a diagnosticar la condición de esos engranajes o rodamientos por lo que se recurrirá a la norma ISO 8579-2 que hace referencia a este tipo de equipos. Los criterios son aplicables solo para la vibración producida por la máquina en sí misma y no para la vibración que es transmitida a la máquina desde fuentes externas.

#### **5.2.1.1 Procedimientos de medición y condiciones de operación.**

##### **5.2.1.1.1 Instrumentos de Medición**

El instrumento de medición deberá ser capaz de medir la vibración r.m.s de banda ancha con una respuesta plana sobre un rango de frecuencia de al menos 10 Hz a 1000 Hz, de acuerdo con los requerimientos de ISO 2954. Dependiendo de los criterios de vibración, se puede requerir mediciones del desplazamiento o velocidad o combinaciones de estas; Sin embargo, para las máquinas con velocidades que está cerca o bajo 600 rpm, el límite más bajo del rango de frecuencia de la respuesta no deberá ser mayor a 2 Hz. Deben tomarse ciertas precauciones para asegurar que el sistema de medición no está influenciado por factores ambientales tales como:

- Variaciones de la temperatura
- Campos magnéticos
- Campos de sonido
- Variaciones en la fuente de poder
- Longitud del cable de transmisión
- Orientación del transductor.

#### **5.2.1.1.2 Ubicaciones de los Puntos de Medición**

Las mediciones generalmente serán tomadas en partes externas de la máquina que son normalmente accesibles. Debe tenerse cuidado para asegurar que las mediciones representan razonablemente la vibración de la caja del descanso y no incluya ninguna resonancia local o amplificación. Típicamente se miden en 3 sentidos, horizontal, vertical y axial, y luego se considera el valor mayor para la evaluación de la severidad vibratoria.

#### **5.2.1.1.3 Condiciones de Operación**

Las mediciones se deben llevar a cabo cuando el rotor y los descansos principales hayan alcanzado temperaturas estacionarias normales y con la máquina funcionando bajo condiciones de operación específicas, por ejemplo, a su velocidad, voltaje, caudal, presión y carga nominales.

En las máquinas que trabajan con carga y velocidad variables, las mediciones serán hechas bajo todas las condiciones a las que se espera que la máquina podría operar por períodos prolongados de tiempo. El máximo valor medido, bajo estas condiciones será considerado representativo de la severidad de la vibración.

Si la vibración medida es mayor que los criterios de aceptación permitidos y se sospecha de excesiva vibración ambiental o de fondo, las mediciones deberían ser hechas con la máquina detenida para determinar el grado de influencia externa. Si la vibración con la máquina detenida excede el 25% del valor medido cuando la máquina está funcionando, será necesaria una acción correctiva para reducir el efecto de la vibración de fondo.

### **5.2.1.2 Clasificación de las máquinas**

De acuerdo a la ISO 10816-3 las máquinas deben clasificarse por los siguientes parámetros para evaluar la severidad de la vibración

- Tipo de máquina.
- Potencia nominal o altura del eje a la base.
- Flexibilidad del sistema de soporte.

#### **5.2.1.2.1 Clasificación de acuerdo al Tipo de Máquina, Potencia nominal o Altura del Eje a la Base**

Las significativas diferencias en el diseño, en el tipo de máquina, en los descansos o en las estructuras y soportes son razones por lo que se requiere separar las máquinas en diferentes grupos. Las máquinas de estos 4 grupos pueden tener ejes horizontales, verticales o inclinados y pueden ser montadas en soportes rígidos o flexibles.

Grupo 1: Máquinas grandes con potencia nominal sobre 300 KW; máquinas eléctricas con altura de eje  $H \geq 315$  mm. Estas máquinas normalmente tienen descansos deslizantes. El rango de velocidades de operación nominales es relativamente ancho y va desde 120 r/min a 15000 r/min.

Grupo 2: Máquinas de tamaño mediano con potencia sobre 15 KW hasta e incluyendo 300 KW; máquinas eléctricas con altura de eje  $160 \text{ mm} \leq H < 315$  mm. Estas máquinas normalmente tienen descansos de rodamientos y velocidades de operación sobre 600 r/min.

Grupo 3: Bombas con impulsores de varias paletas o álabes y con máquina conductora separada (flujo centrífugo, mixto o axial) con potencia sobre 15 KW. Las máquinas de este grupo pueden tener descansos deslizantes o rodamientos.

Grupo 4: Bombas con impulsores multiaspas y motor integrado (flujo centrífugo, mixto y axial) con potencia sobre 15 KW. Las máquinas de este grupo mayoritariamente tienen descansos deslizantes o rodamientos.

Notas:

- La altura del eje H de una máquina es definida en ISO 496 como la distancia, medida en la máquina sin instalar, entre la línea del centro del eje y el plano base de la máquina misma.
- La altura del eje de una máquina sin patas de apoyo o una máquina con patas levantadas (o en reborde) o cualquier máquina vertical, debe ser tomada como la altura del eje de una máquina en la misma carcasa, pero del tipo con patas montado con el eje horizontal. Cuando la carcasa no es conocida, debería usarse la mitad del diámetro de la máquina.

#### **5.2.1.2.2 Clasificación de acuerdo a la Flexibilidad del Soporte**

Los soportes se clasifican en 2 grupos:

- Soportes rígidos
- Soportes flexibles

Si la frecuencia natural más baja del sistema máquina y soporte en la dirección de la medición es más alto que su principal frecuencia de excitación (La componente de mayor valor en el espectro) que en la mayoría de los casos es la frecuencia de rotación, por al menos 25%, entonces el sistema de soporte es considerado como soporte rígido. Todos los otros sistemas de soporte son considerados soportes flexibles.

#### **5.2.1.3 Evaluación**

La ISO 10816 – 1 proporciona una descripción general de los dos criterios de evaluación usados para evaluar la severidad de la vibración en varias clases de máquinas. Un criterio considera la magnitud de la vibración global medida; y el segundo criterio considera los cambios en la magnitud, independiente de si aumentan o disminuyen.

##### **5.2.1.3.1 Criterio I: Magnitud de la Vibración**

Este criterio está basado en definir los límites para la magnitud de la vibración en relación a las cargas dinámicas aceptables en los descansos y a la transmisión de vibraciones aceptables al ambiente a través de la estructura soporte y el cimiento. La máxima magnitud de vibración medida en cada descanso o pedestal es evaluada comparándola con los valores dados en las diferentes zonas de evaluación para la clase de soporte.

Las zonas de evaluación han sido establecidas de la experiencia.

#### **5.2.1.3.1.1 Zonas de Evaluación**

Las siguientes zonas de evaluación están definidas para permitir una evaluación cualitativa de la vibración de una máquina dada y provee guías sobre las posibles acciones a tomar.

Zona A La vibración de las máquinas nuevas puestas en servicio están dentro de esta zona.

Zona B Máquinas con vibración dentro de esta zona son normalmente consideradas aceptables para operación a largo plazo sin restricción.

Zona C Máquinas con vibración dentro de esta zona son normalmente consideradas insatisfactorias para operación continua a largo plazo. Generalmente la máquina puede ser operada por un período limitado de tiempo en esta condición hasta que llegue una oportunidad apropiada para su reparación.

Zona D Los valores de vibración dentro de esta zona son considerados de una severidad suficiente como para causar daño a la máquina.

Los valores numéricos asignados a los límites entre las diferentes zonas no están entendidos para servir como especificaciones de aceptación de máquinas, esto debe estar sujeto a un acuerdo entre el fabricante de la máquina y el comprador. Sin embargo, estos valores entregan guías para asegurar que se eviten fallas catastróficas. En ciertos casos, puede haber características específicas asociadas con una máquina particular que requiera usar diferentes valores de la zona límite (más alto o más bajo).

En tales casos, es normalmente necesario que el fabricante de la máquina explique las razones de esto y, en particular, para confirmar que la máquina no sufrirá daño al operarla con valores de vibración más altos.

#### **5.2.1.3.1.2 Valores Límites entre las Zonas de Evaluación**

Los valores para los límites de las zonas de evaluación que están dadas en las tablas 5-2, 5-3, 5-4, 5-5 corresponden a los máximos valores globales de la velocidad y desplazamiento para mediciones tomadas por los sensores en ubicación horizontal y vertical. Por tanto, cuando se usan estas tablas, debe usarse el mayor valor medido.

#### **5.2.1.3.2 Criterio II: Cambio en la Magnitud de la Vibración**

Este criterio proporciona una evaluación del cambio en la magnitud de la vibración a partir de un valor de referencia previamente establecido. Puede ocurrir un cambio significativo en la magnitud de la vibración global, que requiere alguna acción a tomar aun cuando la zona C del Criterio I no ha sido alcanzada. Tales cambios pueden ser instantáneos o progresivos en el tiempo y pueden indicar daño incipiente o alguna otra irregularidad. El criterio II está especificado en base al cambio en la magnitud de la vibración r.m.s que ocurre bajo condiciones de operación en estado estacionario.

Cuando el Criterio II es aplicado, las mediciones de vibración que son comparadas deberán ser tomadas en la misma ubicación y orientación del transductor y bajo las mismas condiciones de operación de la máquina, aunque no siempre se puede hacer esto debido a las condiciones de operación, pero lo recomendable es que sea lo más parecido a las condiciones anteriores. Debería investigarse cambios significativos en las magnitudes normales de la vibración, sin importar su valor, de manera que se pueda evitar una situación peligrosa.

Cuando se produce un aumento o disminución en la magnitud de la vibración mayor al 25% del valor más alto de la zona B, como se define en la tabla 5-2, 5-3, 5-4, 5-5, dichos cambios deben considerarse significativos, particularmente si son repentinos. Debería entonces realizarse un diagnóstico para averiguar la razón del cambio y determinar qué acciones futuras son apropiadas.

Nota: El 25% del valor es proporcionado como una guía para un cambio significativo en la magnitud de vibración, pero otros valores pueden ser usados basados en la experiencia con una máquina específica, por ejemplo, una desviación más grande puede permitirse para algunos equipos, en el listado de equipos que se encuentran en monitoreo continuo, existen varios equipos que históricamente han vibrado más de lo permitido por norma es por eso que se ocuparan algunos criterios para poder definir niveles de alarmas.

### 5.2.1.3.2.1 Límites Operacionales

Para operaciones a largo plazo, es práctica común establecer límites operacionales para la vibración. Estos límites toman las formas de alarmas y paradas.

**Alarma:** Proporciona una advertencia que un valor definido de vibración ha sido alcanzado o un cambio significativo ha ocurrido, por lo que puede ser necesaria una reparación de la máquina. En general, si ocurre una situación de alarma, la operación puede continuar por un período mientras se realizan las investigaciones para identificar la razón para el cambio en la vibración y definir cualquier acción de mantención correctiva.

**Paradas:** Especifica la magnitud de la vibración para la cual continuar operando puede causar daño. Si se excede el valor parada, se deben tomar acciones inmediatas para reducir la vibración o debería detenerse la máquina.

**Nota:** El sistema de monitoreo implementado en Planta Celulosa Arauco Horcones solo tiene un rol de informar el estado del equipo, es decir, solo tiene configurado límites de alarmas, las paradas no están habilitadas, pero hay equipos que poseen sistemas de protección aparte los que sí tienen límites de paradas programadas (Bently Nevada). Los valores de alarma pueden variar considerablemente, hacia arriba o hacia abajo, para diferentes máquinas. Los valores elegidos son normalmente configurados relativos a un valor base (línea base o tendencia histórica) determinado por la experiencia para la posición o dirección de la medición para esa máquina en particular.

Se recomienda que el valor de la alarma sea configurado sobre la línea base en una cantidad igual al 25% del límite superior para la zona B.

Donde no esté establecida una línea base (por ejemplo con una máquina nueva) la configuración inicial del valor de alarma debería basarse sea en la experiencia con otras máquinas similares o en relación con valores de aceptación acordados. Después de un período de tiempo, se podrá establecer un valor para la línea base en estado estacionario y la configuración del valor alarma debería ajustarse en concordancia.

**5.2.1.3.2.1.1 Límites de las zonas de Evaluación**

Según las normas se ha encontrado que la velocidad de la vibración es suficiente para caracterizar los valores de vibración en los límites de las zonas de evaluación para un amplio rango de tipos de máquinas y velocidades de operación de la máquina. La principal magnitud de evaluación es, por lo tanto, el valor r.m.s. de la velocidad de la vibración global.

Los límites se aplican a los valores r.m.s de la velocidad y desplazamiento de la vibración en el rango de frecuencia de 10 Hz a 1000 Hz o para las máquinas con velocidades de rotación bajo 600 r/min desde 2 Hz a 1000 Hz.

Máquinas pertenecientes a los cuatro grupos pueden ser instaladas en soportes rígidos o flexibles. Para ambos, existen diferentes valores de la zona de evaluación que son entregados en las siguientes tablas 5-2, 5-3, 5-4, 5-5.

TABLA 5-2: Clasificación de zonas de severidad vibratoria para máquinas del grupo 1: Máquinas grandes con potencia nominal sobre 300 Kw y no más de 50 MW; máquinas eléctricas con altura de eje H ≥ 315 mm.

Clase de Soporte	Valor Límite entre zonas	Desplazamiento R.m.s [µm]	Velocidad R.m.s. [mm/s]
Rígido	A/B	29	2.3
	B/C	57	4.5
	C/D	90	7.1
Flexible	A/B	45	3.5
	B/C	90	7.1
	C/D	140	11



TABLA 5-3: Clasificación de zonas de severidad de vibración para máquinas del grupo 2: Máquinas de tamaño mediano con potencia nominal sobre 15 KW hasta e incluyendo 300 KW; máquinas eléctricas con altura de eje  $160 \text{ mm} \leq H < 315 \text{ mm}$ .

Clase de Soporte	Valor Límite entre zonas	Desplazamiento R.m.s [μm]	Velocidad R.m.s. [mm/s]
Rígido	A/B	22	1.4
	B/C	45	2.8
	C/D	71	4.5
Flexible	A/B	37	2.3
	B/C	71	4.5
	C/D	113	7.1

TABLA 5-4: Clasificación de zonas de severidad de vibración para máquinas del grupo 3: Bombas con impulsor multiaspa y con conductor separado (flujo centrífugo, mixto o axial) con potencia nominal sobre 15 KW.

Clase de Soporte	Valor Límite entre zonas	Desplazamiento R.m.s [μm]	Velocidad R.m.s. [mm/s]
Rígido	A/B	18	2.3
	B/C	36	4.5
	C/D	56	7.1
Flexible	A/B	28	3.5
	B/C	56	7.1
	C/D	90	11

TABLA 5-5: Clasificación de zonas de severidad de vibración para máquinas del grupo 4: Bombas con impulsor multiaspa y con conductor integrado (flujo centrífugo, mixto o axial) con potencia nominal sobre 15 KW.

Clase de Soporte	Valor Límite entre zonas	Desplazamiento R.m.s [μm]	Velocidad R.m.s. [mm/s]
Rígido	A/B	11	1.4
	B/C	22	2.8
	C/D	36	4.5
Flexible	A/B	18	2.3
	B/C	36	4.5
	C/D	56	7.1

Valores diferentes y/o más altos pueden ser permitidos para máquinas o soportes especiales o condiciones de operación especificadas. Todos estos casos deben estar sujetos a acuerdo con el fabricante.

**5.2.1 Norma ISO 8579-2 (Límites admisibles de vibración en cajas reductoras)**

A continuación se presentan los puntos más importantes de la norma ISO 8579-2 con el objetivo de explicar el procedimiento a seguir para la evaluación de la severidad vibratoria de cajas reductoras e Incrementadores, monitoreados por el sistema de monitoreo continuo.

La norma ISO 8579-2 provee un criterio de aceptación para una unidad de engranaje dependiendo de su aplicación.

La vibración de una unidad de engranaje adecuadamente construida puede variar de acuerdo a su diseño particular, tamaño y aplicación. Lo que puede ser aceptable para un engrane que mueve un gran polín a baja velocidad puede no ser adecuado para un engrane de precisión de alta velocidad.

La figura 5.1 muestra los niveles máximos de vibración en desplazamiento o en velocidad, en función de la potencia de entrada a la unidad de engranaje y de la aplicación de la unidad de acuerdo a la Tabla 5-6.

Nota: El nivel vibratorio de un engrane depende de la calidad de los engranajes, aunque la norma no lo dice explícitamente. Pero en la Tabla N°7, se aprecia que las cajas de engranajes se separan según su aplicación. Por lo tanto, la calidad de los engranajes depende de la aplicación de la caja de engranajes.

Tabla 5-6, clasificación del tipo de servicio.

SERVICIO	UTILIDAD TÍPICA
N	Armada
H	Altas velocidades (sobre 3600 rpm)
I	Industrias, flota mercante, etc.
M	Fabricas.

El primer paso a seguir es determinar de la Figura 5.1, un número DR de clasificación del desplazamiento, si se mide desplazamiento o un número VR de clasificación de la velocidad, si se mide en los descansos.

Para potencias entre 1 kW y 10 kW y potencias sobre 10 MW, el número Dr o VR es independiente de su valor, sólo depende del tipo de servicio en que se va a usar, y coincide con alguno de los números indicados.

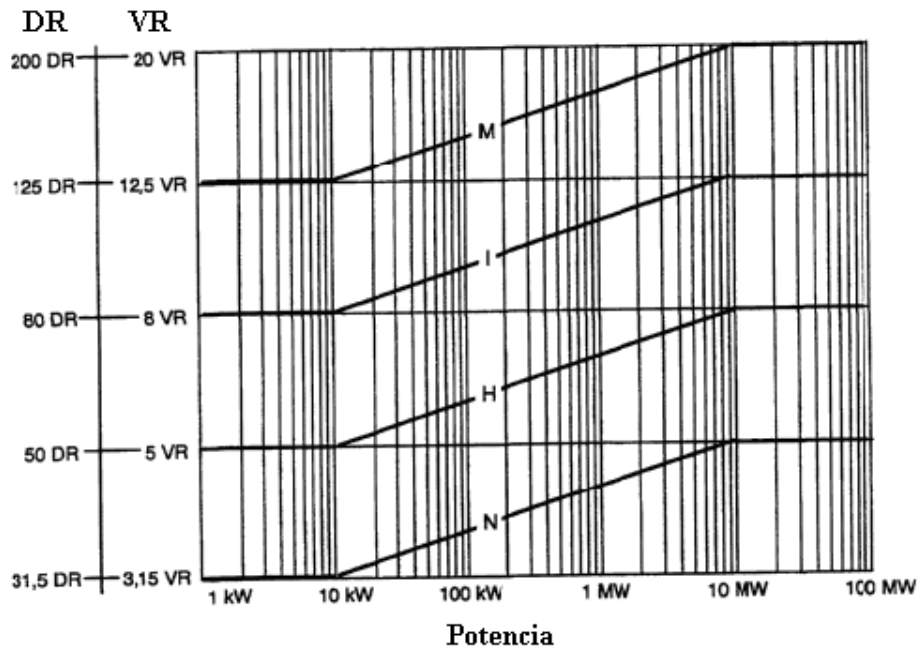


Figura 5.1, Números de clasificación del desplazamiento y velocidad.

DR: Número de clasificación del desplazamiento

VR: Número de clasificación de la velocidad

Para potencias que están entre 10 kW y 10 MW al intersectar la curva de servicio de la unidad de engranaje, dicho punto va a quedar entre dos números de clasificación. La norma establece que se debe tomar el número más bajo para ser conservativos.

Una vez determinado el número de clasificación del desplazamiento o el número de clasificación de la velocidad, se ingresa a la Figura 5.2 o a la Figura 5.3 respectivamente. Se entra con la frecuencia de la vibración y se obtiene el valor permisible del desplazamiento vibratorio pico a pico ( $\mu\text{m}$ ) o de la velocidad vibratoria RMS (mm/s).

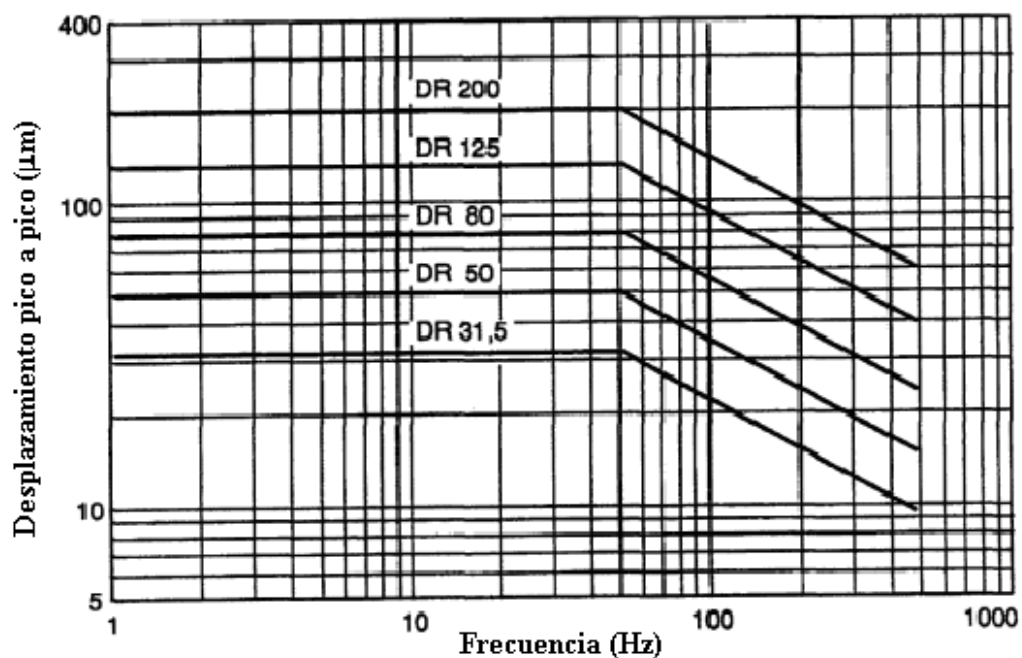


Figura 5.2, Desplazamiento vibratorio admisible en el eje

Nota: El desplazamiento vibratorio admisible es igual al número de clasificación del desplazamiento en el rango de 0 Hz y 50 Hz. Sobre 50 Hz, las curvas decrecen 10 µm por cada 10 Hz.

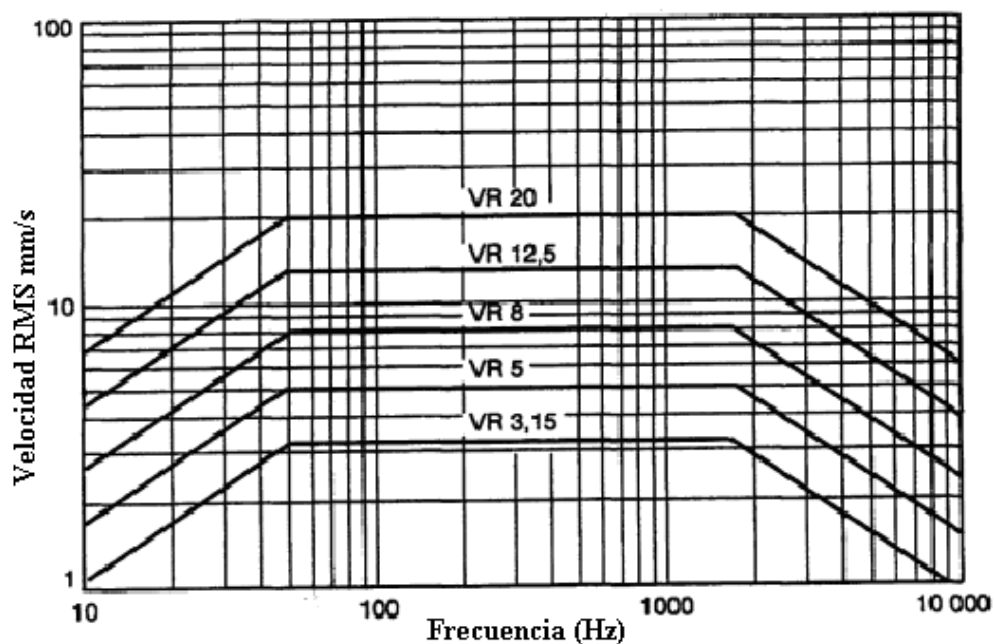


Figura 5.3, Rangos de curvas para vibraciones medidas en la caja del descanso

Nota: La velocidad vibratoria admisible es igual al número de clasificación de la velocidad en el rango de 50 Hz -1590 Hz. Las curvas decrecen desde 50 Hz y 1590 Hz a 14 mm/s por cada 10 Hz respectivamente.

Ya descritas las normas pertinentes para la configuración de alarmas se explicara cómo serán usadas en este trabajo pero previamente es necesario saber que parámetros medirá el sistema de monitoreo continuo los cuales son los siguientes:

- Niveles Globales Vrms
- Nivel componentes 1x RPM
- Nivel componentes 2x RPM
- Nivel componentes 5-20x RPM
- Nivel componentes 21-50x RPM
- Factor Cresta
- HDF(High Frequency Detection)

En los próximos capítulos se profundizara más sobre la elección e importancia de cada uno de estos parámetros.

Los criterios usados serán dos dependiendo si el equipo está dentro de la clasificación de la norma 8579-2(Reductores, Incrementadores) o la 10816 (bombas, ventiladores, compresores, accionamientos, Turbogeneradores, etc.)

## **5.3 Niveles de alarma**

### **5.3.1 Niveles de alarma según norma ISO 10816-3**

Con respecto al tipo de suportación rígido o flexible se clasificaran como rígido debido a que es la clasificación más estricta en valores y debido a que no es factible disponer de esta información porque se tendrían que detener equipos para realizar ensayos de frecuencia natural y velocidades críticas, los cuales son fundamentales para la producción y correcto funcionamiento de la cadena productiva de la Celulosa recordando que es una industria que trabaja las 24 horas del día y los 365 días del año.

Luego los valores permisibles para los equipos que cubra esta norma serán obtenidos de la recomendación que hace, pero como en el software se necesitan configurar 2 alarmas, una amarilla

para un estado de urgencia y otra roja que indica un nivel crítico del equipo, a continuación se definen ambos niveles de alarma.

$$\text{Alarma nivel urgente} = \text{valor tendencia} + 0.25 * B/C$$

$$\text{Alarma Crítica} = C/D$$

B/C y C/D valores obtenidos de las tablas 5-2, 5-3, 5-4, 5-5.

### 5.3.2 Niveles de alarma según norma ISO 8579-2

Esta norma se usa para los reductores e Incrementadores como se mencionó anteriormente, lo primero es determinar qué tipo de servicios corresponde una planta de celulosa, esto corresponde a Fábricas designado en la **tabla 5-6 con la letra M**, luego se debe ingresar a las gráficas 5.2 y 5.3 para poder determinar el valor de las alarmas, estableciendo este valor como alarma crítica (roja) y el nivel inferior como alarma con un nivel de urgencia (amarilla).

Para niveles de alarma de las componentes 1X, 2X, 5-20X, 21-50X, Factor cresta, HDF, se ocupará la nota al estándar ISO 10816-3 que se refiere a que se estima que se puede establecer un nivel aceptable en base a información del fabricante o en base a la experiencia, en este caso debido a que existen equipos que vibran fuera de los límites recomendados por la norma 10816-3 se ve en la necesidad de establecer estos valores, por lo que se creará un criterio basado en la tendencia histórica del equipo disponible en la actual base de datos del sistema de rutas de medición.

Nota: Cabe destacar que para evaluar severidad vibratoria de un equipo se debe comparar los valores globales de velocidad y desplazamiento, por lo que los otros parámetros como lo son las componentes espectrales, serán evaluadas en base a su tendencia histórica, es decir, se ajustará una alarma para estos parámetros de forma que cuando superen el valor normal dentro de su tendencia histórica, aplicando un factor de seguridad a dicho valor se activarán las alarmas, este factor de aumento de nivel vibratorio será configurado con el valor de 1.6, en otras palabras cuando el nivel de vibración sobrepase en 1.6 veces su valor histórico se activaran la alarma amarilla y si vuelve a aumentar en dicho valor se activará la alarma crítica de color rojo. Este criterio fue extraído de un comentario de la norma ISO 2372 que establece que existe un cambio en el nivel vibratorio cada vez que el nivel de dicho parámetro aumenta en este factor, con esto se logra sacar más provecho al software permitiendo tener una visión más amplia de la condición actual de la maquina al relacionar

estas componentes espectrales con problemas típicos asociados a estos parámetros, como lo son el desbalanceamiento, desalineamiento, solturas mecánicas, etc.

Hay que mencionar que existen equipos que son más variables que otros en su amplitud vibratoria es por esto que surge la necesidad de clasificar estas en tendencias en dos grupos, equipos con amplitud variable y equipos sin amplitud variable.

### Obtención tendencia de un equipo con amplitud variable

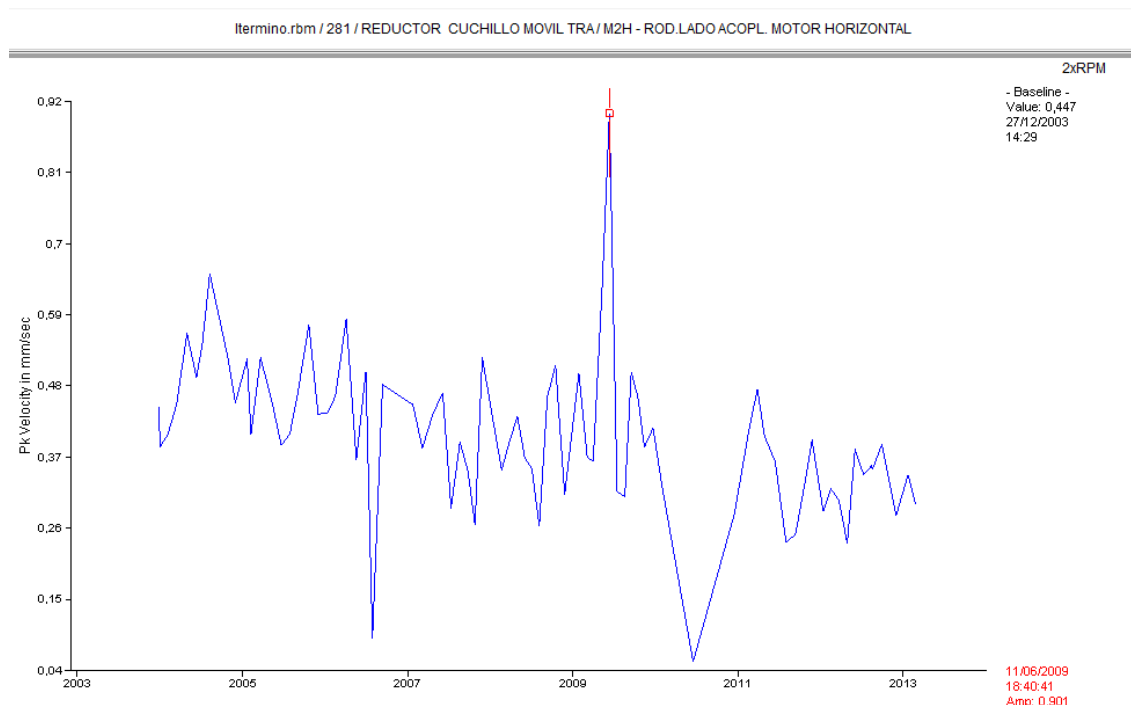


Figura 5.4, gráfico de amplitud versus tiempo, Tendencia histórica del valor de la componente 2XRPM de un equipo con amplitud variable.

Como se muestra en el gráfico se aprecia que la amplitud de las componentes a 2xrpm de rotación son muy variables a través del tiempo (aproximadamente de 10 veces entre el valor mayor y menor) no permitiendo el cálculo de manera simple por lo que se optó por crear un criterio para este tipo de casos.



### Criterios de Amplitud variable de un equipo:

Un equipo será definido como equipo variable para este trabajo, cuando la diferencia de amplitud sea reiterativa a través de las mediciones y con un factor de amplitud igual o superior a 5 veces entre el valor menor y el mayor definiéndose una alarma en base al mayor valor que este en esta tendencia dejando de lado a valores que sean producidos por detenciones o partidas de equipos, o valores que se dispersen ya sea bajo o sobre lo normal siendo considerado como valores normales a aquellos que se repitan a través del tiempo. Este criterio se genera para poder configurar adecuadamente las alarmas del software, debido a que si no se estableciera de esta forma se provocaría falsas lecturas al activarse las alertas de forma intermitente.

### Criterio de equipos sin amplitud variable

Para los equipos que no entren en esta definición anterior es decir que sus valores no varíen más allá de 5 veces, serán considerados como no variables a los cuales para obtener una tendencia se recurrirá a sacar un promedio simple de a lo menos 10 valores, en la figura siguiente se muestra un espectro con tendencia no variable.

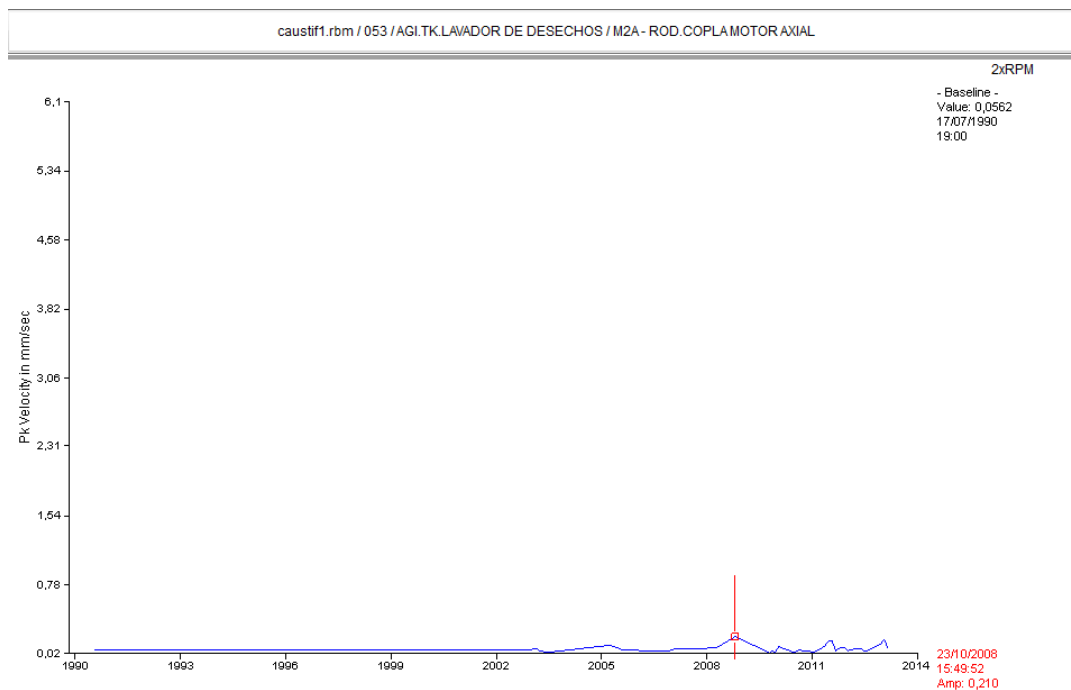
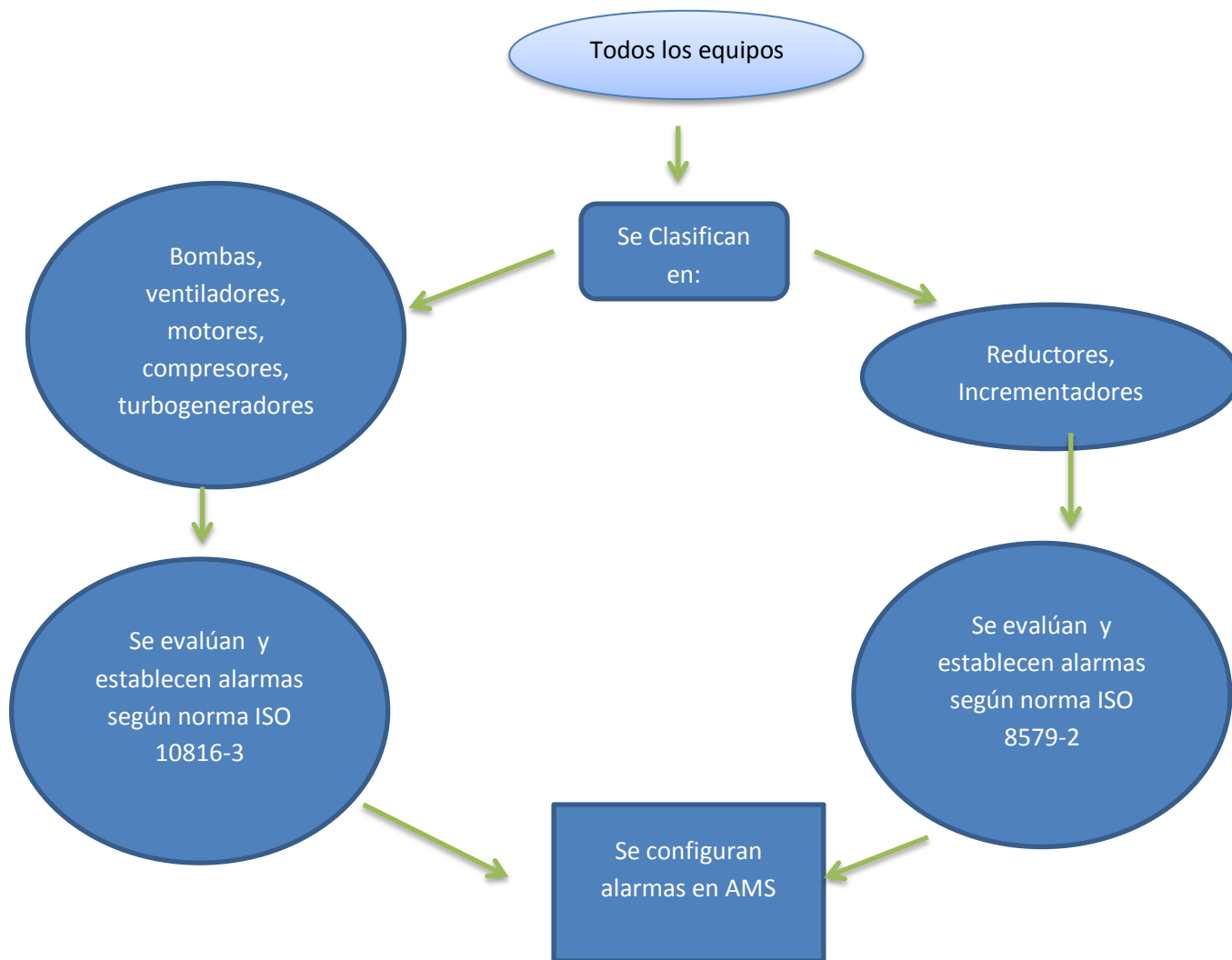


Figura 5.5, Tendencia de un equipo con amplitud constante.

Tabla 5-6, resumen de normas que serán utilizadas en la configuración de alarmas.

Parámetro	Vrms	1x	2x	5-20x	21-50x	Factor cresta	HDF
Problema relacionado	severidad vibratoria	Desbalanceo	Desalineamiento	Paso de alabe, paso de engrane	Rodamiento	Golpes	Falta de lubricación, roce.
Forma de evaluar	Norma 8579-2 o 10816	Norma 2372, aumento de 1.6 veces valor línea base (tendencia histórica) existe cambio en nivel vibratorio.					

Diagrama de clasificación y aplicación de las normas para definir alarmas.



## Capítulo 6- Procedimiento de configuración de sistema de monitoreo continuo de vibraciones

### 6.1 Levantamiento del estado actual del sistema de monitoreo continuo de vibraciones

#### 6.1.1 Estado de Cajas CSI 4500 y CSI 6500

Antes de proceder con la configuración del sistema de monitoreo continuo, se realizó un levantamiento de todos los equipos CSI 4500 y CSI 6500, siendo el funcionamiento de estos uno de los problemas a solucionar, se revisaron las unidades en terreno para poder evaluar los distintos problemas que tenían.

Se apreciaron principalmente 2 problemas en estos dispositivos, primero un problema de alimentación de corriente y un problema con la comunicación de los dispositivos con el servidor instalado en el departamento de informática de la Planta.

El problema de energía fue verificado con un multímetro, con el cual se corroboró que había energía a la entrada de los transformadores 220V AC-24V DC pero no en la salida de estos, se llegó rápidamente a la conclusión de que el problema era este, por lo que se gestionó el servicio correspondiente a el cambio de estas unidades, para lo cual se necesitó testear el consumo de cada unidad para poder recomendar una fuente de poder adecuada a estos requerimientos.



Figura 6.1, Medición de consumo de energía de una unidad CSI 6500.

Para el problema de comunicación de los equipos, se verificó que las unidades estaban energizadas y correctamente conectadas por lo que se descartó un problema como el anterior. Es debido a esto que se comprobó la comunicación de los dispositivos, detectándose un problema en la dirección ip, específicamente 2 problemas, el primero que las direcciones de algunos equipos habían sido borradas del software AMS y se tuvieron que encontrar mediante un dispositivo que detecta la dirección ip de cada equipo, para luego ser agregada al software, luego de esto quedaron 3 cajas con problemas de comunicación debido a un problema de configuración interno del equipo por lo que se solicitó el apoyo del especialista de estos equipos para su revisión.

Tabla 6-1, resumen estado inicial de equipos CSI 4500 y CSI 6500

N° DE LA UNIDAD	MODELO	UBICACIÓN	EQUIPOS DE AREAS	STATUS	OBSERVACION
R1-047-69010	CSI-4500	Fibra L1	31-41-46-47	Fuera de servicio	Transformador unidad 4500 quemado
R1-054-69010	CSI-4500	Caustificación L1	53-54	Operativa	
R1-252-69010	CSI-4500	Licor L2	252-263-264-265	Fuera de servicio	Transformador unidad 4500 quemado
R1-071-69010	CSI-4500	Maquina L1	71-72-81-271	Fuera de servicio	Se debe reconfigurar IP
R1-25669010	CSI-6500	Planta química	251-252-254-256	Operativa	
R2-25669010	CSI-6500	Planta química	251-252-254-256	Fuera de servicio	Se debe reconfigurar IP
R1-24669011	CSI-6500	Fibra L2	246-247-266	Operativa	
R2-24669011	CSI-6500	Fibra L2		Fuera de servicio	Se debe reconfigurar IP
R1-246-69010	CSI-6500	Digestores L2	231-241-246	Operativa	
R2-246-69010	CSI-6500	Digestores L2	231-241-246	Fuera de servicio	Se debe reconfigurar IP
R1-272-69010	CSI-6500	Maquina L2	272-281	Operativa	
R2-272-69010	CSI-6500	Maquina L2	272-281	Fuera de servicio	Se debe reconfigurar IP
R1-065-69010	CSI-6500	Licor L1	52-63-64-65	Operativa	
R2-065-69010	CSI-6500	Licor L1	52-63-64-65	Fuera de servicio	Se debe reconfigurar IP
R1-065-69010	CSI-6500	Maquina L1	29-62-72	Operativa	
R2-065-69010	CSI-6500	Maquina L1	29-62-72	Fuera de servicio	Se debe reconfigurar IP

Nota: Cabe mencionar que son un total de 16 equipos, 4 CSI 4500 y 12 CSI 6500, estos últimos están ubicados de a pares en una misma ubicación técnica, compartiendo el gabinete (caja metálica) y fuente de poder pero no así sus direcciones ip.

También se observó en una unidad CSI 4500 ubicada en la sala de rack Fibra L1 tenía un problema en la tarjeta de poder, provocando que el equipo no fuera energizado correctamente, por lo que se reemplazó esta tarjeta por una que funcionaba correctamente y que se encontraba en el stock de repuesto del departamento de mantención predictiva. Posteriormente se verificó su correcto funcionamiento. El defecto se observó en un condensador quemado el cual debe haber causado el problema de alimentación, luego de este reemplazo la unidad CSI no ha vuelto a fallar.

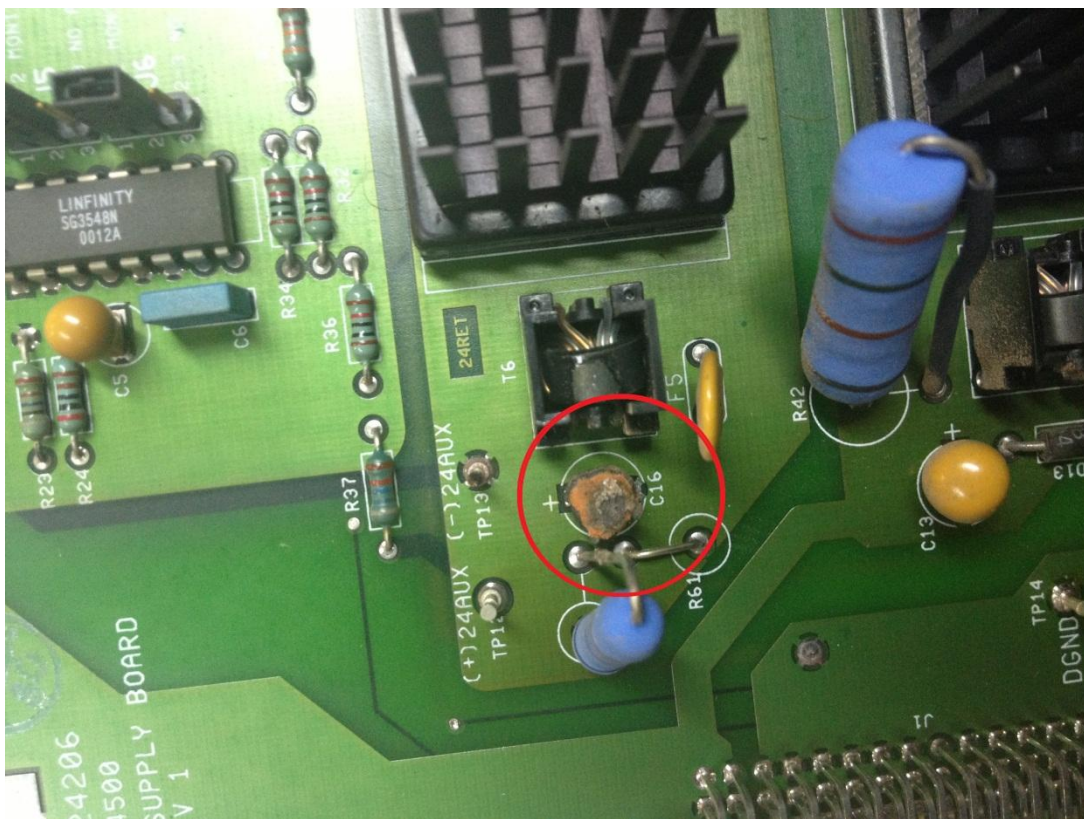


Figura 6.2, tarjeta defectuosa de una unidad CSI 4500, se aprecia una parte quemada del dispositivo.

## 6.2 Recopilación de información necesaria para la configuración del sistema de monitoreo

### 6.2.1 Medición velocidad de rotación de equipos.

Uno de los parámetros más importantes para poder diagnosticar mediante análisis de espectros y formas de onda, es saber la velocidad de rotación del equipo en estudio, y de igual forma es importante para el correcto funcionamiento del software de monitoreo, es por esto que se debió medir la velocidad de rotación de cada equipo por medio de una lámpara estroboscópica con variador de frecuencia.

Se observó que existen 27 equipos que cuentan con variador de frecuencia por lo que su velocidad de funcionamiento no es constante y varía según la necesidad de producción, por lo que se procede a configurar dichos puntos de medición con un valor promedio de rotación, debido a esto se hace una recomendación en el último capítulo.



Figura 6.2, Lámpara estroboscópica con variador de frecuencia que permite medir velocidad de giro de un rotor.

### 6.2.2 Ubicación y reparación de sensores

Posterior al trabajo de medición de velocidades de rotación se tuvo que realizar una corrección a los puntos de medición inexistentes o incorrectamente individualizados en la actual base de datos del AMS. Este trabajo se realizó en terreno verificando que la información disponible correspondía a la que estaba en la base de datos anterior, donde se tuvo que modificar debido a cambios de ubicación de algunos sensores.

En las instalaciones de planta existe una nomenclatura referida a la ubicación de cada punto de medición que es usado por el departamento de mantención predictiva en su sistema de medición por rutas, el cual establece una combinación de letras para saber cuál es precisamente el punto a medir o a monitorear como es el caso actual, teniendo el siguiente orden: primero el tipo de máquina, luego si es el lado libre o lado acoplamiento del equipo simbolizado por un número desde el 1 hasta el 4 partiendo desde el motor hacia los demás componentes y finalmente la orientación de la medición.

Tabla 6-2, Designaciones según orientación y tipo de maquina

Designación	Maquina
A	Alimentador
B	Bomba
C	Compresores
T	Turbinas
R	Reductores
I	Impregnadores
G	Generadores
V	Ventilador
M	Motor

Designación	Orientación
H	Horizontal
V	Vertical
A	Axial

Para poder garantizar la correcta lectura de los sensores de vibración se realizó un completo mantenimiento, el cual consistió en verificar la correcta lectura de cada sensor y el reemplazo de los sensores dañados, se adquirieron 38 sensores nuevos los cuales fueron utilizados para reemplazar los defectuosos. Los nuevos transductores fueron instalados con uniones apornadas a los descansos logrando eliminar los problemas que se producían con el adhesivo utilizado anteriormente.

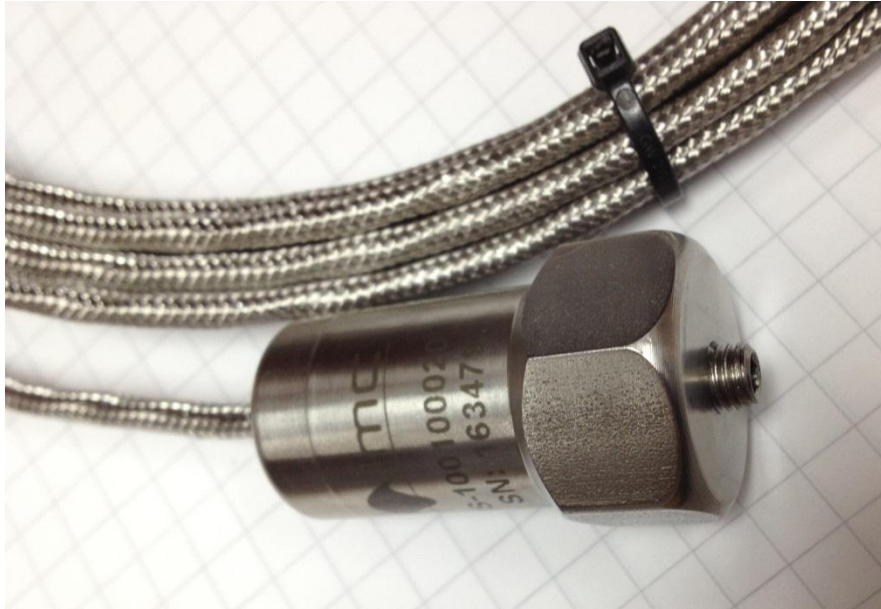


Figura 6.3, Acelerómetro de 100 mv/g adquirido para repuesto.

### 6.2.3 Canalización

La canalización es una parte muy importante de un sistema de monitoreo como el instalado en planta Celulosa Arauco Horcones, debido al agresivo ambiente de esta industria donde hay ambientes muy contaminados con sustancias corrosivas y por el constante tránsito de distintas maquinarias, por lo que se debe tener bien protegido el cableado de los sensores para poder asegurar la correcta lectura de los sensores de vibraciones. En el momento de revisar las instalaciones se observan algunos daños puntuales a este tipo de artefactos, que principalmente son tubos metálicos que protegen los cables. Los principales defectos fueron ausencia de canalización en tramos cortos y canalizaciones rotas o desmontadas, permitiendo la entrada de humedad y otras sustancias al cableado disminuyendo la vida útil de este, por lo que se gestionó el servicio de reparación correspondiente.





Figura 6.4, daño en la canalización.

#### **6.2.4 Ajustes de parámetros específicos de medición**

Luego de obtenerse la información necesaria de cada punto de medición, es necesario configurar distintos parámetros específicos para cada sensor, todo esto es explicado con detalle en el anexo de programación del sistema de monitoreo continuo donde se detalla los parámetros y pasos a seguir para construir y configurar un punto de medición en el software AMS.

## Capítulo 7- Beneficio de un sistema de monitoreo continuo

Como todo tipo de proyecto de este tipo necesita se hace necesaria una evaluación económica para justificar la inversión que se requiere para implementar un sistema como este, es por esto que en este capítulo se realizará el respectivo estudio y se concluirá que tan atractivo son este tipo de sistemas de monitoreo, y si se justifica su instalación. Se debe considerar que en un proyecto de este tipo se eliminaran las paradas no programadas debido a fallas de equipos monitoreados (rotatorios) aumentando los niveles de producción.

Este capítulo se concentrará en una falla de un equipo rotatorio ocurrida en este último año analizando sus implicancias económicas ya sean por perdida de producción y su costo de mantención correspondiente.

Cabe destacar que como inversión del proyecto se tomara el costo de puesta en marcha del sistema y no la instalación completa de este debido a el sistema se encontraba instalado desde el año 2001 y se encontraba fuera de servicios por las razones explicadas anteriormente en el capítulo 6 . Uno de los gastos más fuertes en la puesta en marcha es el del recambio de sensores dañados y ausentes que su cifra asciende a 40 acelerómetros.

Los otros costos son menores dentro del que destaca la asesoría de Emerson para poder revisar 3 cajas CSI (1 caja 4500 y 2 cajas 6500) que tienen problemas de conexión al servidor, y por ultimo habría que incluir gastos como el pegamento, reparaciones en la canalización y el servicio de la empresa de redes que se encargó del cambio de fuentes de poder quemadas y revisión de parte de la red del sistema.

Tabla 6-3, costos puesta en marcha sistema monitoreo continuo

Costos Puesta en marcha S.M.C.	US\$	Pesos
Sensores	10.350	5.175.000,00
Adhesivo	400	200.000
Canalización	1.000	500.000
Itelcom	1.700	850.000
Emerson	3.000	1.500.000
Total	16.450	8.225.000

### 7.1 Costos mantenimiento Sistema de Monitoreo Continuo

Otro costo a considerar en esta evaluación es el del mantenimiento anual del S.M.C. esto corresponde a la contratación de un servicio que se encargue de verificar el estado de las cajas y reparaciones como cambios de sensores o de fuentes de poder, a la vez se considera una reinversión en sensores (30 sensores anuales) y fuentes de poder provistos para reemplazar los que fallen durante el año.

Tabla 7-1, con gastos de mantención anual sistema de monitoreo continuo

Costos mantención S.M.C.	US\$	Pesos
Mantención Red y servidor	4.000	2.000.000
Visita Emerson 1 día x año	2.000	1.000.000
Tarjetas de repuesto	8.432	4.216.000
Sensores de repuesto	7.200	3.600.000
Transformadores	400	200.000
Total	22.032	11.016.000

### 7.2 Precio de la celulosa

Otro dato fundamental para la evaluación es el del precio de la materia prima que se produce, con lo cual se podrá determinar las pérdidas asociadas a las paradas no programadas, las cuales implican una pérdida económica importante debido a los altos niveles de producción de Celulosa Arauco planta Horcones. Para esta evaluación se ocupara un precio promedio de la celulosa en el último año al cual se concentrara este análisis.

$$\text{Precio Celulosa} = 766 \frac{\text{US\$}}{\text{Ton}}$$

Como este producto es un commodity se valora en una moneda internacional que corresponde a la divisa norteamericana, para efectos de evaluación se tomara un precio del dólar de 500 \$/US\$.

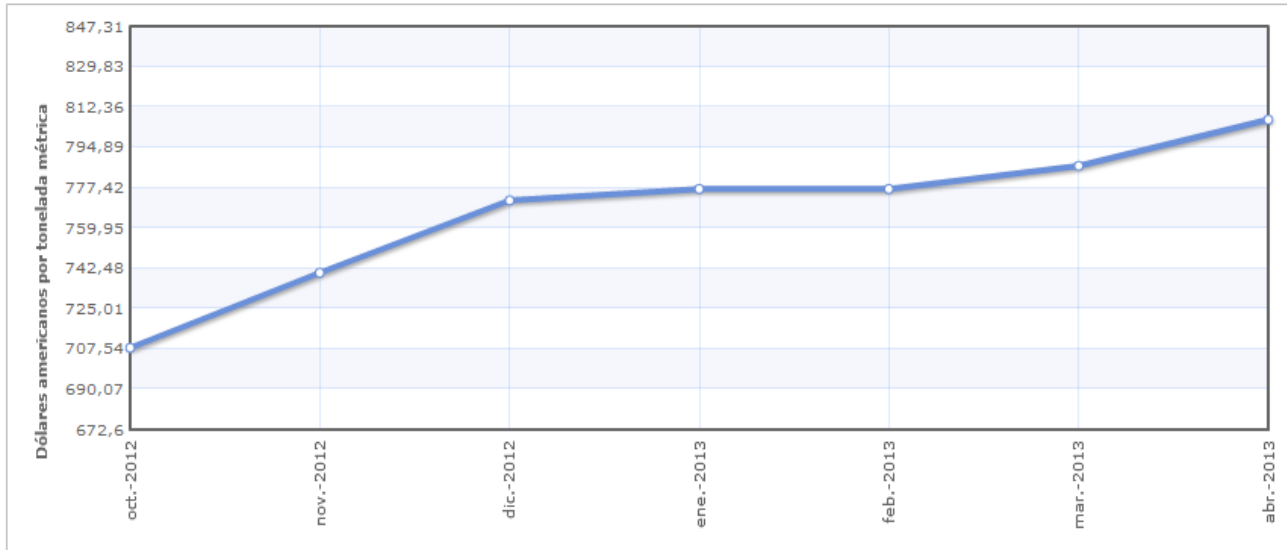


Figura 7.1 muestra tendencia del precio de la celulosa en últimos meses.

### Casos de paradas no programadas periodo 2012-2013

Como se mencionó al principio de este capítulo la evaluación se centrará en un caso que implicó paradas no programadas producto de la falta de monitoreo el cual habría sido una herramienta eficaz para la detección temprana y oportuna de estas fallas y así haber evitado dicho evento disminuyendo la pérdida de producción asociada a este.

**Caso:** Agrietamiento de ventilador de tiro inducido (VTI) de la caldera de poder número 4.

#### Ventiladores de tiro inducido

Antes de comenzar es necesario una breve reseña sobre este tipo de ventiladores:

Se denomina tiro a la presión existente dentro del hogar de una caldera con respecto a la atmosférica, este puede ser:

1. Positivo (tiro forzado)
2. Negativo (tiro inducido)
3. Equilibrado (tiro equilibrado).

El tiro refleja pues la capacidad que tiene un hogar para aportar aire de combustión y extraer los gases resultantes para enviarlos a la atmósfera.

En una central Térmica, o en cualquier central Industrial donde se desee conseguir un cierto grado de depresión en el hogar, resultan imprescindibles dichos ventiladores.



Figura 7.2, Ventilador tiro inducido caldera de poder número 4

Van ubicados posteriores a los filtros, ya sean electrostáticos, de telas etc. Desde donde aspiran el aire provocando, en función de la potencia, el grado de vacío del hogar en la caldera.

La falla fue detectada por el sistema de rutas de vibraciones, pero ya en un nivel muy avanzado donde quedaba como solución detener el ventilador inmediatamente perdiendo la oportunidad de programar una parada de área. La última medición por el sistema de rutas a este ventilador había sido realizada el día 4 de septiembre y la falla fue catastrófica el día 29 de septiembre.

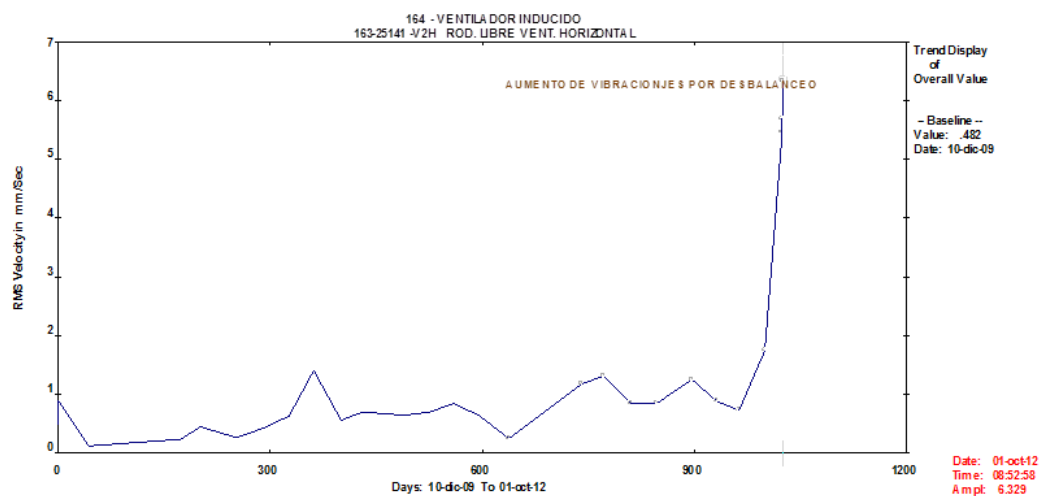


Figura 7.3 se aprecia incremento notable del nivel de vibración del V.T.I.

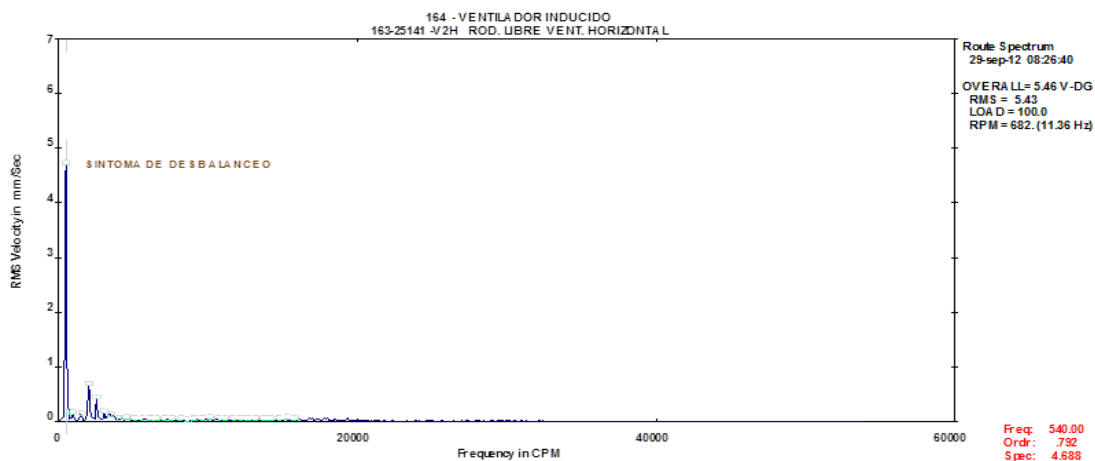


Figura 7.4 se aprecia síndrome clásico de desbalanceamiento.

Luego de detener el ventilador se inspeccionó y se llegó a la determinación de cambiar el V.T.I. producto del agrietamiento de todo el anillo del rodete como se muestra en la siguiente figura:



Figura 7.5, anillo agrietado del ventilador.

Esta falla provocó pérdidas asociadas a la detención de la caldera de poder número 4 y el costo asociado al cambio de este ventilador como el arriendo de grúa entre otros.



Figura 7.6, Izamiento de VTI

Tabla 7-2, costos mantención y ventilador nuevo.

Costo Mantención	3.652.916 [pesos]
Ventilador nuevo	57.528.145 [pesos]
Gasto Mantención reactiva	61.181.061 [pesos]

Además esta caldera produce 24 MW-h de energía eléctrica por medio de un turbogenerador a vapor, la energía se distribuye entre consumo propio y venta al sistema interconectado central como se muestra a continuación:

Tabla 7-3, consumo y venta de energía.

Consumo propio	6 [MW]
Venta S.I.C.	18 [MW]
TOTAL	24 [MW]
Precio venta promedio	250 [US\$/MW-h]

Esta falla provocó la detención de la caldera en 40 horas, lo que implicó una pérdida de producción:

$$\textit{perdida prod.} = \textit{precio venta energia} * \textit{Total energia producida en 40 horas}$$

$$\textit{perdida prod.} = 250 \left[ \frac{\text{US\$}}{\text{MW} - \text{h}} \right] * 24[\text{MW}] * 40[\text{h}] = 240.000[\text{US\$}]$$

$$\textit{perdida prod.} = 240.000[\text{US\$}] * 500 \left[ \frac{\$}{\text{US\$}} \right] = 120.000.000[\$]$$

$$\textit{perdida total producto de la falla} = \textit{Gastos mantencion reactiva} + \textit{perdida prod.}$$

$$\textit{perdida total producto de la falla} = 61.181.061[\$] + 120000000[\$]$$

$$\textit{perdida total producto de la falla} = 181.181.061[\$]$$



Este falla con el sistema de monitoreo continuo podría haber sido detectada en una etapa inicial donde se habría hecho un seguimiento a este aumento del nivel de vibración logrando prevenir el grave daño provocado como fue el agrietamiento completo del ventilador, se estima que una mantención programada de este ventilador no habría implicado más de 10 horas de detención y solo habría significado la reparación de este equipo y no el recambio de él. (Fuente: Mantención Predictiva).

Tabla 7-4, Costo asociado si se hubiera hecho un mantenimiento programado.

Costo Mantención	3.652.916[\$]
Ventilador nuevo	0[\$]
Total	3.652.916[\$]

$$p\acute{e}rdida\ prod. = 250 \left[ \frac{US\$}{MW - h} \right] * 24[MW] * 10[h] = 60.000[US\$]$$

$$p\acute{e}rdida\ prod. = 60.000[US\$] * 500 \left[ \frac{\$}{US\$} \right] = 30.000.000[\$]$$

$$P\acute{e}rdida\ total\ Con\ Sistema\ de\ monitoreo = 30.000.000 [\$] + 3.652.916[\$]$$

$$P\acute{e}rdida\ total\ Con\ Sistema\ de\ monitoreo = 33.652.916[\$]$$

Beneficio: El beneficio de utilizar el sistema sería la diferencia entre lo que costo la mantención reactiva y lo que costaría una mantención preventiva en base a la predicción en este equipo.

$$Beneficio = p\acute{e}rdida\ total\ producto\ de\ la\ falla - P\acute{e}rdida\ total\ Con\ Sistema\ de\ monitoreo$$

$$Beneficio = 181.181.061[\$] - 33.652.916[\$]$$

$$Beneficio = 147.528.145[\$]$$

## **Capítulo 8- Conclusiones, Estado Final y Recomendaciones para mejorar el sistema de monitoreo continuo.**

En este breve capítulo se expondrán las mejoras realizadas en el sistema de monitoreo continuo y se realizarán las recomendaciones necesarias para aumentar la confiabilidad del sistema, debido a que existen diferentes factores que afectan el correcto funcionamiento de este.

### **8.1 Mejoras realizadas en el sistema de monitoreo continuo:**

#### **8.1.1 Mejoramiento de la base de datos tales como:**

**Predicados:** Un predicado es un parámetro que determina cuando el sistema va a empezar a recolectar información, generalmente se configura en base a la velocidad de rotación de un equipo o a un nivel de vibración determinado, es decir, si el sistema captura una señal mayor a este valor ahí empezará la recolección de datos.

En la base de datos anterior existía un grupo de puntos de medición asociados a un predicado, provocando que al dejar de funcionar un sensor involucrara a otros puntos. En la nueva base de datos se asignó un predicado a cada punto de medición.

**Alarmas:** Se ajustaron alarmas de 2 niveles: urgencia y crítico para cada punto en base a las normas existentes (ISO 10186, ISO 8569-2, ISO 2372) y para los demás parámetros se usaron recomendaciones basándose en valores extraídos de las tendencias históricas de cada equipo disponible en la base de datos de las rutas de control de medición de vibraciones de la planta.

**Corrección de puntos:** Se corrigieron puntos de medición erróneos o inexistentes.

**Mejoramiento de la información:** Se hizo el levantamiento de la velocidad de rotación de los equipos con la finalidad de corregir y complementar la información existente.

### **8.1.2 Mejoramiento de Hardware:**

Se hizo un levantamiento del estado de todos los sensores y cajas CSI 4500/6500, luego se gestionó la reparación o reemplazo de los equipos defectuosos tales como: transformadores, sensores y parte de la canalización que se encontraban en mal estado.

## **8.2.-Recomendaciones:**

### **8.2.1 Adquisición de una red propia**

Como se explicó en los capítulos anteriores, una parte fundamental del sistema de monitoreo continuo es una red y un servidor, donde se almacenan los datos históricos de las mediciones realizadas. Actualmente se utiliza una red que depende del departamento de informática de la planta la cual es muy antigua lo que a provocado varios problemas de conexión con el sistema, por lo cual, se sugiere la instalación de una red propia que dependa solamente del departamento de mantención predictiva y cumpla con las necesidades actuales del sistema.

### **8.2.2 Actualización de sistema de monitoreo**

Cuando se realizó el listado con los equipos de monitoreo no se tomaron en cuenta algunos equipos que deberían ser incluidos como lo son los turbogeneradores, para lo cual se hizo una cotización con lo necesario para incluirlas. Una característica importante de esta ampliación es que los turbogeneradores que se encuentran en planta poseen un sistema de protección llamado Bently Nevada, el cual se encarga de medir parámetros como velocidad de rotación y niveles de vibración, teniendo configurado niveles de parada en caso de que alguno de estos se incremente sobre el nivel programado. Este sistema es muy práctico, debido a que es adquirido en conjunto con el equipo.

En la siguiente tabla se adjunta la cotización para adquirir la actualización.

Tabla 8-1, costos de actualización e implementación de sistema de monitoreo continuo a turbogeneradores.

Actualización de sistemas de monitoreo y protección									
		TG#2		TG#3			TG #4 - #5		TG #6
		General Electric	Emerson	General Electric	Emerson	SKF *	General Electric	Emerson	General Electric *
ITEM	Descripción	Bently Nevada 3500	CSI 6500	Bently Nevada 3500	CSI 6500	M-800	Bently Nevada 3500	CSI 6500	Bently Nevada 3500
1	Sistema de protección y monitoreo (Hardware)	\$ 5.756	\$ 38.741	\$ 29.409	\$ 36.617	\$ 38.702	\$ 42.018	\$ 80.915	\$ 0
2	Software	\$ 50.428	\$ 3.936	\$ 9.929	\$ 3.936	\$ 29.383	\$ 23.707	\$ 3.936	\$ 20.021
3	Cables sensores y drivers Nuevos		\$ 21.272		\$ 12.061			\$ 51.846	\$ 32.550
4	Cables sensores y drivers Sin Stock en bodega								
5	Ingeniería, instalación y comisionamiento (Servicio)	\$ 20.414	\$ 27.600	\$ 20.414	\$ 27.600	\$ 38.067	\$ 20.414	\$ 42.000	\$ 20.414
	<b>TOTAL</b>	\$ 76.598	\$ 91.549	\$ 59.752	\$ 80.214	\$ 106.152	\$ 86.139	\$ 178.697	\$ 72.984

TOTAL GENERAL ELECTRIC \$ 295.474

Este proyecto se encuentra en tramitación se espera que sea acogido y de tal manera aumentar el alcance del sistema de monitoreo continuo. Cabe destacar que las mejoras propuestas serán llevadas a cabo de forma parcial, esperando que sean acogidas e implementadas en el corto plazo.

### 8.2.3 Cambiar instalación de sensores

Existe un gran número de sensores que se encuentran pegados con un tipo de adhesivo, método que no es lo más adecuado sino que deberían ser apernados a los descansos y así evitar el continuo problema de sensores sueltos y despegados, para esto se debe perforar los descansos o instalar discos de montaje donde se atornillaran los sensores como lo realizado con los sensores reemplazados durante el desarrollo de este trabajo.



Figura 8.1, Tipo de soportación anclada rígidamente al aletado de un motor, accesorio recomendado para montar estos sensores en motores.

### 8.2.4 Mantención del sistema de monitoreo

Uno de los temas más importantes para poder asegurar la confiabilidad del sistema es la mantención de éste. En este tipo de industria donde se realizan numerosas mantenciones de equipos, se genera un problema que afecta directamente al monitoreo continuo, el cual corresponde a la pérdida de sensores de vibración al ser retirados de las máquinas producto de los trabajos realizados, lo que finalmente provoca el deterioro del sensor. Para remediar este problema es necesario generar un plan de mantenimiento el cual permita detectar y reparar los transductores que sean despegados o dañados por los mecánicos de la planta y a la vez informar de la importancia de estos dispositivos a todo el personal de la planta.

### 8.2.5 Adquisición de tacómetros para equipos de velocidad variable.

En el proyecto original no se contempló la adquisición de tacómetros, dispositivos necesarios para poder medir la velocidad de rotación de los equipos que poseen velocidad variable. Por lo que es necesario adquirir estos dispositivos con el fin de conocer con precisión la real velocidad de funcionamiento de los equipos en monitoreo, en la tabla 8-2 que se adjunta en los anexos se pueden ver cuales son estos equipos.

### 8.2.6 Tarjeta informativa de los sensores

Debido al desconocimiento de parte de los mecánicos encargados de la mantención de los equipos, se produce el continuo desprendimiento de los sensores dejándolos inhabilitados para medir vibraciones, por lo que se recomienda instalar en cada sensor una tarjeta que contenga un informativo y número de teléfono de la oficina de mantención predictiva para que a la hora de despegar un sensor esto sea rápidamente informado a la persona encargada del sistema y así pueda contribuir a la reparación o reemplazo del sensor.



Figura 8.1, tarjeta modelo para instalar en lo sensores.

### **8.2.7 Tener una persona dedicada exclusivamente al monitoreo continuo.**

Esta recomendación nace debido a que este es un sistema complejo desde el punto de vista de la cantidad de puntos de medición existentes (301), los que simultáneamente entregan información sobre alarmas de distintos equipos, por lo que el personal existente (4 analistas predictivos) no son suficientes para poner atención en el estado del sistema, debido a que ellos tienen diversas tareas asignadas las que no les permiten estar vigilando de forma continua el programa de monitoreo. Otra tarea importante que debería ejecutar el encargado del sistema sería velar por la correcta y oportuna mantención de todo el sistema, evitando las interrupciones de las mediciones provocadas por problemas en el hardware del sistema.

## Conclusiones

- En esta habilitación profesional se presentaron las diferentes técnicas de análisis de vibración, tales como: el análisis espectral, análisis de la forma de onda, análisis de orbitas y análisis de fase.
- Se recopiló la información necesaria para la configuración y correcto funcionamiento de la base de datos del sistema de monitoreo continuo instado en la planta de celulosa Horcones.
- Se configuraron alarmas de dos niveles de criticidad en base a las normas ISO 10816-3 y ISO 8579-2.
- Se realizaron las reparaciones necesarias, como lo fue: el remplazo de 41 sensores defectuosos además de pegar los que estaban sueltos, el cambio de 3 fuentes de poder de los equipos CSI 4500/6500 y reparaciones en las canalizaciones que estaban defectuosas.
- Se logró el correcto funcionamiento del sistema, quedando operativo al cabo de finalizar los puntos anteriores.
- Se hace una lista de recomendaciones necesarias para mejorar y aprovechar de mejor forma el actual sistema, destacando: la actualización del listado de equipos, cambiar el tipo de instalación de los sensores, disponer de personal que se encargue de la mantención y operación del sistema y la adquisición de una red propia para almacenar la información entregada.
- Finalmente se muestra el análisis de un caso con y sin sistema de vigilancia, quedando en evidencia lo ventajoso que resulta disponer de dicho sistema de monitoreo reduciendo considerablemente el costo de reparación del equipo en estudio.



## 9.- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

[1] SAAVEDRA, PEDRO. “La medición y análisis de las vibraciones como técnica de inspección de equipos y componentes, aplicaciones, normativas y certificación”. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.

[2] ESTUPIÑAN, E., & SAAVEDRA, P. “Técnicas de diagnóstico para el análisis de vibraciones de rodamientos”. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.

[3] SAAVEDRA, Pedro. “Análisis de Vibraciones de Máquinas. Nivel I.”  
Noviembre 1998. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería.

[4] SAAVEDRA, Pedro. “Análisis de Vibraciones de Máquinas. Nivel II.”  
Noviembre 1998. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería.

[5] Universidad Técnica Federico Santa María. (2007). Apunte de curso Vibraciones Mecánicas. Concepción.

[6] RODRIGUEZ, Cristian “nuevas técnicas de análisis de vibraciones de máquinas rotatorias”  
Concepción, Chile: Universidad de Concepción.

[7] ISO 10816-6:1995, Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW.

[8] ISO 8579-2:1993, Acceptance code for gears – Part 2: Determination of mechanical vibrations of a gear units during acceptance testing.

[9] EMERSON, “Sistemas de monitoreo en línea CSI 4500/6500”

# **Anexos**

# **Anexo 1: Parámetros y configuración de sistema de monitoreo continuo de vibraciones en software AMS.**

En este anexo se enfocará en la configuración que fue hecha en el software del sistema de monitoreo, siendo esta una parte primordial para lograr el correcto funcionamiento y mayor confiabilidad en el sistema, se explicará que parámetros se medirán y que significa el aumento de cada uno de estos, se configurarán las alarmas correspondientes según las normas existentes, también se explicará la función e importancia de cada configuración que se realizó.

### **A.1.-Parámetros que se medirán y sus respectivas unidades**

Vrms= Valor global de la velocidad RMS, permitirá evaluar severidad vibratoria según las normas existentes.

1XRPM= Valor en velocidad de las componentes de 1X, su incremento será ocupado para ver principalmente problemas de desbalanceamiento.

2XRPM= Valor en velocidad de las componentes 2X, el aumento de este parámetro indicara posibles problemas de desalineamiento.

5-20XRPM = Valores en velocidad, su incremento indica posibles fallas de engranaje, alabe, aspas, etc. Dependiendo del equipo en monitoreo.

21-50XRPM= valores en velocidad, su incremento indicar posibles fallas de rodamiento.

Alta frecuencia (HDF)= Valores en G`s, el aumento de este valor indicara problemas como el de lubricación y roce excesivo, esta es una potente herramienta utilizada por CSI.

Factor Cresta= Valor adimensional que corresponde a la razón entre el valor peak to peak y el valor rms, el aumento de esta razón indica problemas de golpes repetitivos atribuibles a partes sueltas de un rodamiento entre otras cosas.

Estos parámetros fueron seleccionados principalmente por disponer de un historial de los niveles vibratorios, siendo los parámetros más utilizados para poder determinar fallas en los equipos, es posible usar cualquier rango de frecuencias (3X, 4X, 5X, etc.) pero no tiene sentido usarlos sino existe una tendencia histórica con la cual establecer una comparación.

## A.2. Configuración del sistema de monitoreo continuo:

### A.2.1 Online Config (Configuración en línea)

El programa Online Config forma parte del menú principal del AMS Machinery Health Manager. El programa Online Config, es el que especifica como el equipo va ser monitoreado, y cual hardware especifico monitoreará este. Por lo tanto, una considerable cantidad de información acerca del hardware del CSI 4500/6500 y del equipo a monitorear debe ser conocida.

En las siguientes secciones se trabajara fuera de línea del servidor con el 4500/6500 para:

1. Crear una nueva base de datos.
2. Configurar el hardware del 4500/6500.
3. Definir predicados.
4. Definir áreas.
5. Definir equipos.
6. Definir componentes.
7. Definir puntos de medición.
8. Definir ajustes en la recolección de datos.
9. comisionar el hardware y comenzar el monitoreo.

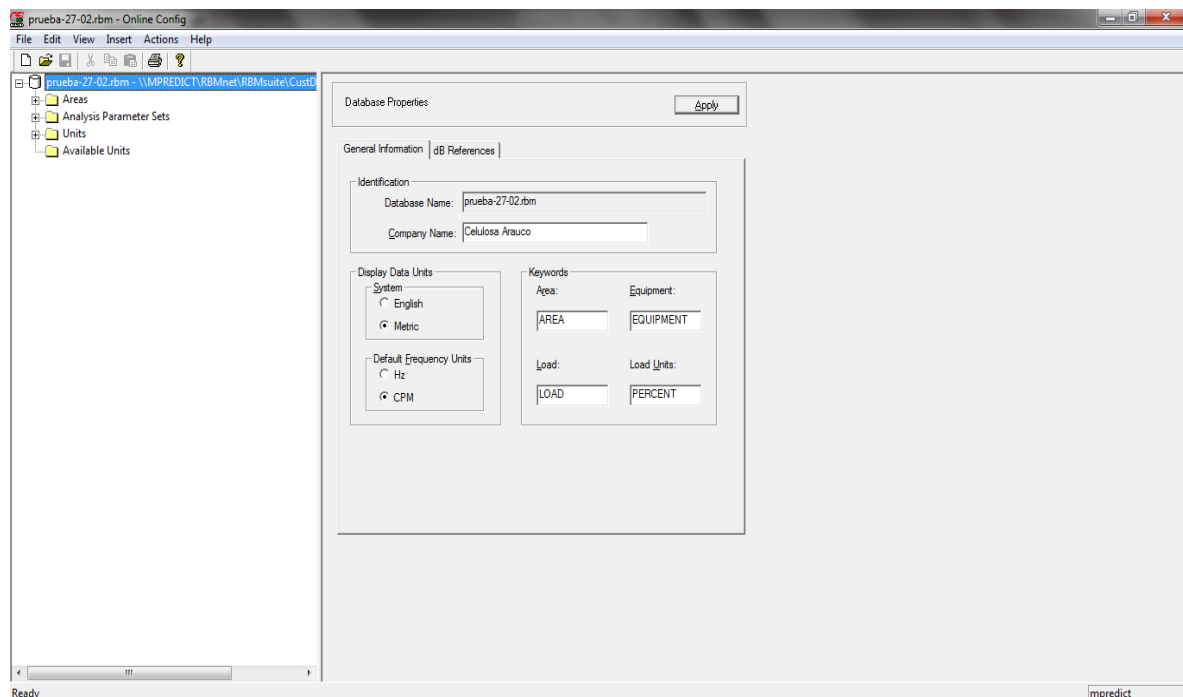


Figura A.1, vista principal de online Config.

### A.2.2- base datos o template

Los nombres de las bases de datos del software AMS Machinery Health Manager, tiene la extensión \*.rbm y los template o plantillas tienen la extensión \*.cvb. Solamente una persona al mismo tiempo puede usar el programa Online Config mientras esté conectado al servidor. Las plantillas no requieren conexión para funcionar porque son solo valores y datos que se configuran para luego enviarlos a la memoria de cada equipo 4500/6500 y empezar a recopilar información proveniente de los sensores generándose una base de datos.

En la pestaña de “General Information”, se deberá dar un nombre al template (plantilla) de la base de datos para poder guardarla y definir el sistema de medida ya sea en CPM (ciclos por minuto) o Hertz, pero en este caso se trabajara con CPM o RPM que es el parámetro más usado en este tipo de programas.

Como se muestra en la figura A.2 en el costado izquierdo de la pantalla aparecen 4 carpetas: Areas, Analysis parameter set, units, available set, a continuación se detallará la configuración necesaria para crear una base de datos.

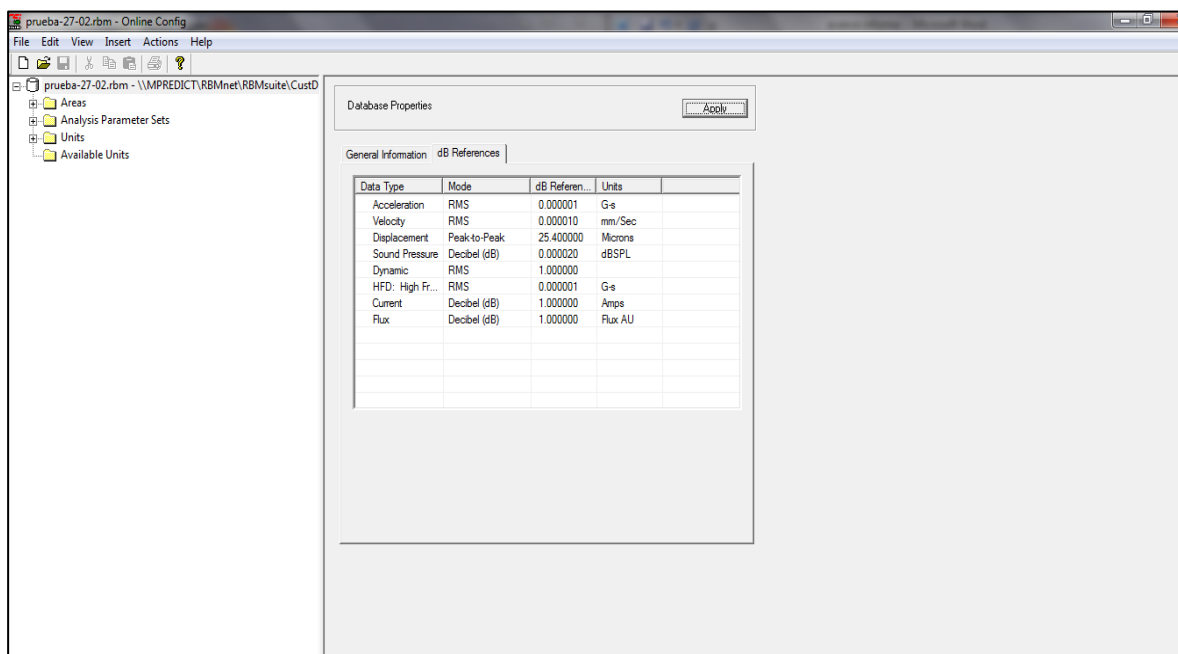


Figura A.2, configuración de sistema de unidades.

En la pestaña “db references” se utiliza para configurar los valores por defecto de la base de datos, como las unidades de aceleración, velocidad, desplazamiento, etc.

Para comenzar con la configuración del programa se debe expandir el árbol de cada uno de los 3 ítem que aparecen (Areas, Analysis parameter sets, Units).

### A.2.3. Configuración del Hardware (lado físico)

Lo primero que se debe configurar es el lado del hardware, aquí se debe establecer la conexión física del hardware (cajas recolectoras, sensores) con el programa.

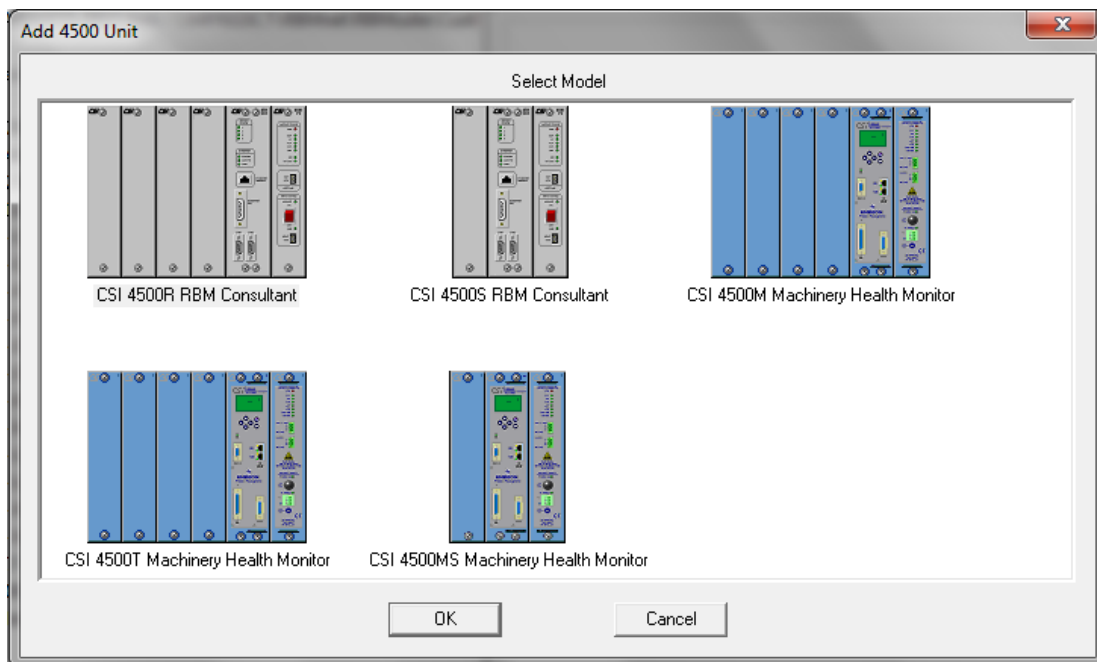


Figura A.3, selección caja recolectora.

Luego de escoger el tipo de caja instalada se debe asignar un nombre a la caja en el caso puntual de este sistema de monitoreo se asignará un tag a la caja y a las áreas que corresponde cada caja cabe destacar en este punto que las canalizaciones de todos los sensores fueron pensadas en que los sensores quedarán lo más cerca posible de su respectiva caja para evitar ciertas distorsiones que se provocan al superar ciertas distancias recomendadas por el fabricante (150 metros).

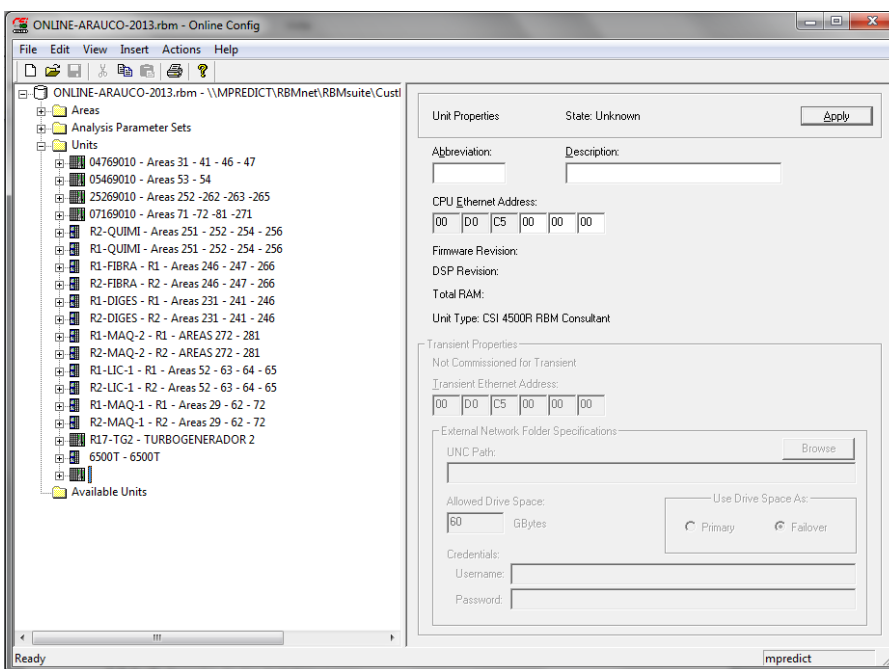


Figura A.4, definición de una caja CSI 4500.

### A.2.4.- Definición de las tarjetas

Luego de agregar las distintas unidades 6500 y 4500, al costado de ellas aparecerá una imagen referencial con el tipo de caja seleccionada para ayudar a visualizar de mejor forma los canales disponibles y en uso del dispositivo.

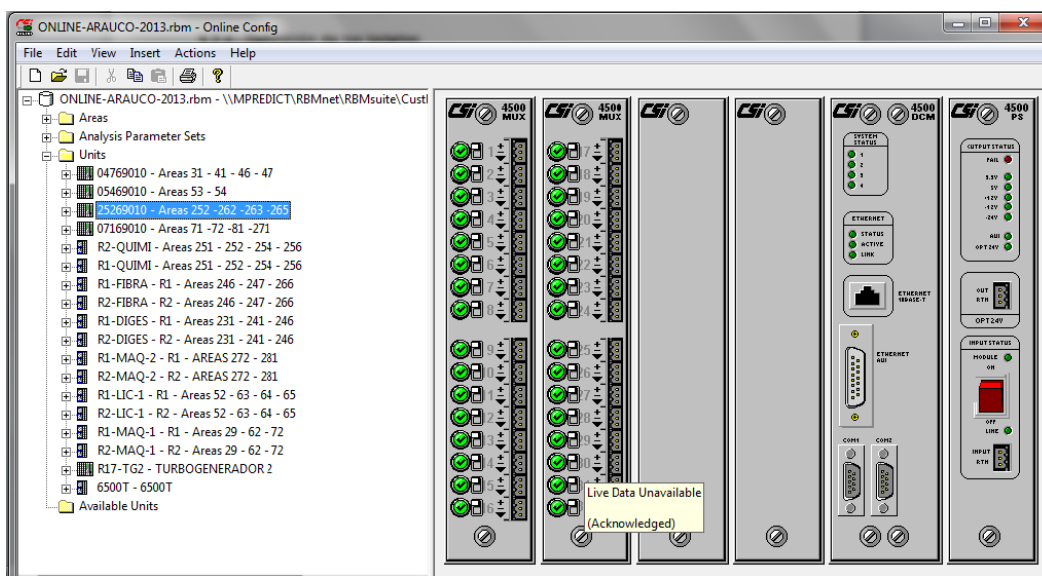


Figura A.5, imagen de una caja agregada a la base de datos



Es en el de la figura A.5 es donde se procederá a la configuración de los sensores y tacómetros que en esta oportunidad no serán físicos sino que virtuales, basta con hacer click derecho sobre la unidad e instalar una señal que corresponderán a los sensores conectados al equipo, como se aprecia en la figura A.6

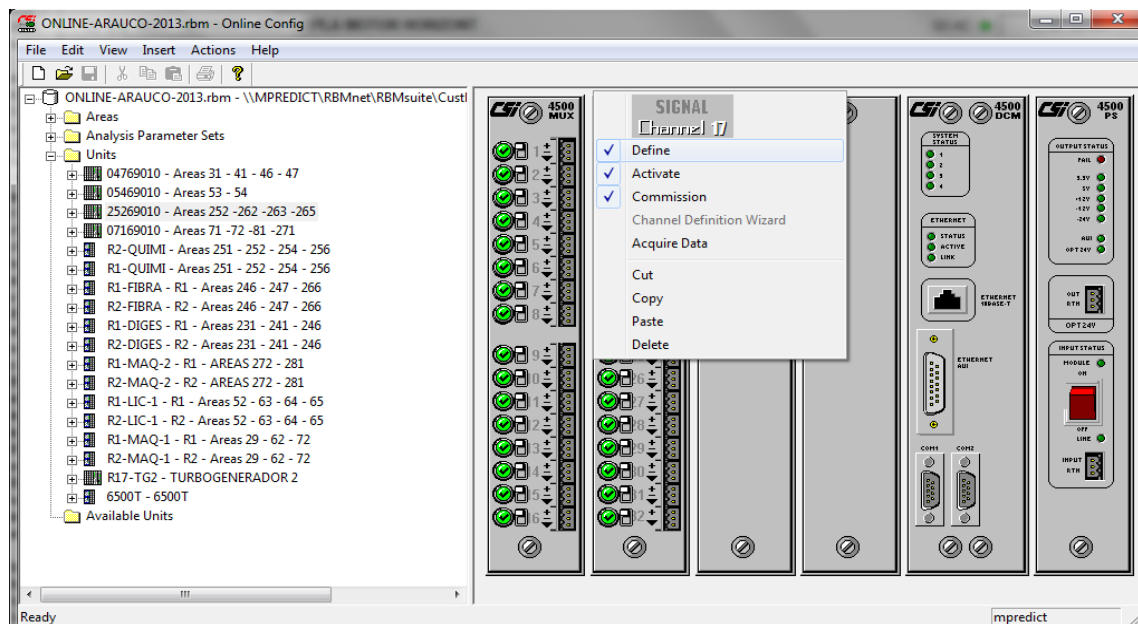


Figura A.6, caja CSI 4500 con tarjeta de canales

A cada sensor se le asignará un código único para que no se preste para alguna confusión y se deberá seleccionar que parámetro mide dicho aparato que en este caso es vibración. (Figura A.7)

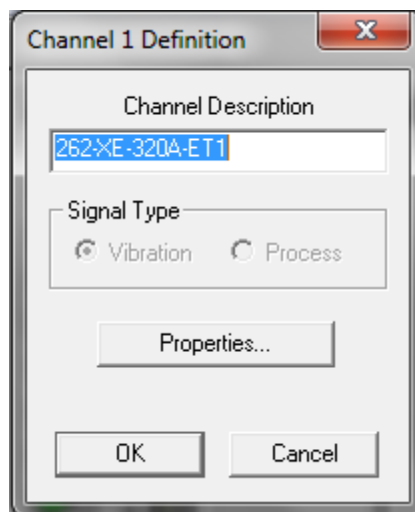


Figura A.8, definición de un canal de medición de vibración

### A.2.5.- Sensores de Vibración y Proceso

Los sensores de vibración son todos aquellos que miden vibraciones como: acelerómetros, velocímetros y sensores de desplazamiento.

Para definir un sensor es necesario:

- El tipo de sensor.
- La ganancia.
- Configuración del sensor.
- Los límites de las mediciones en AC y DC.
- La aplicación (el tipo de equipo y el medio donde operará).

### A.2.6.- Definición del canal

#### Sensor Information (información del sensor)

Primero se selecciona el tipo de sensor en el campo de “Sensor Information” (figura A.9) aquí se define qué tipo de sensor está instalado. En este caso los sensores son acelerómetros multipropósito a excepción de los proximitores de los turbogeneradores.

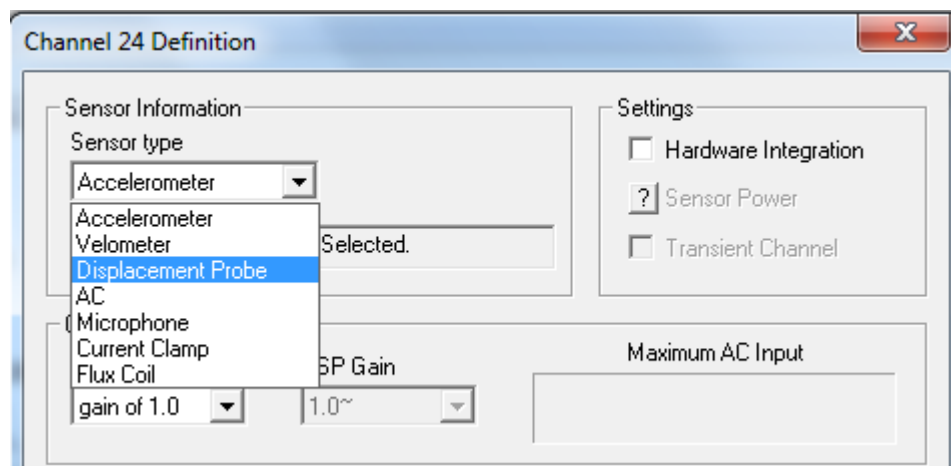


Figura A.9, definición tipo de sensor.

Luego se definirá la sensibilidad del sensor que se conectará a cada canal y los límites físicos de AC y DC.

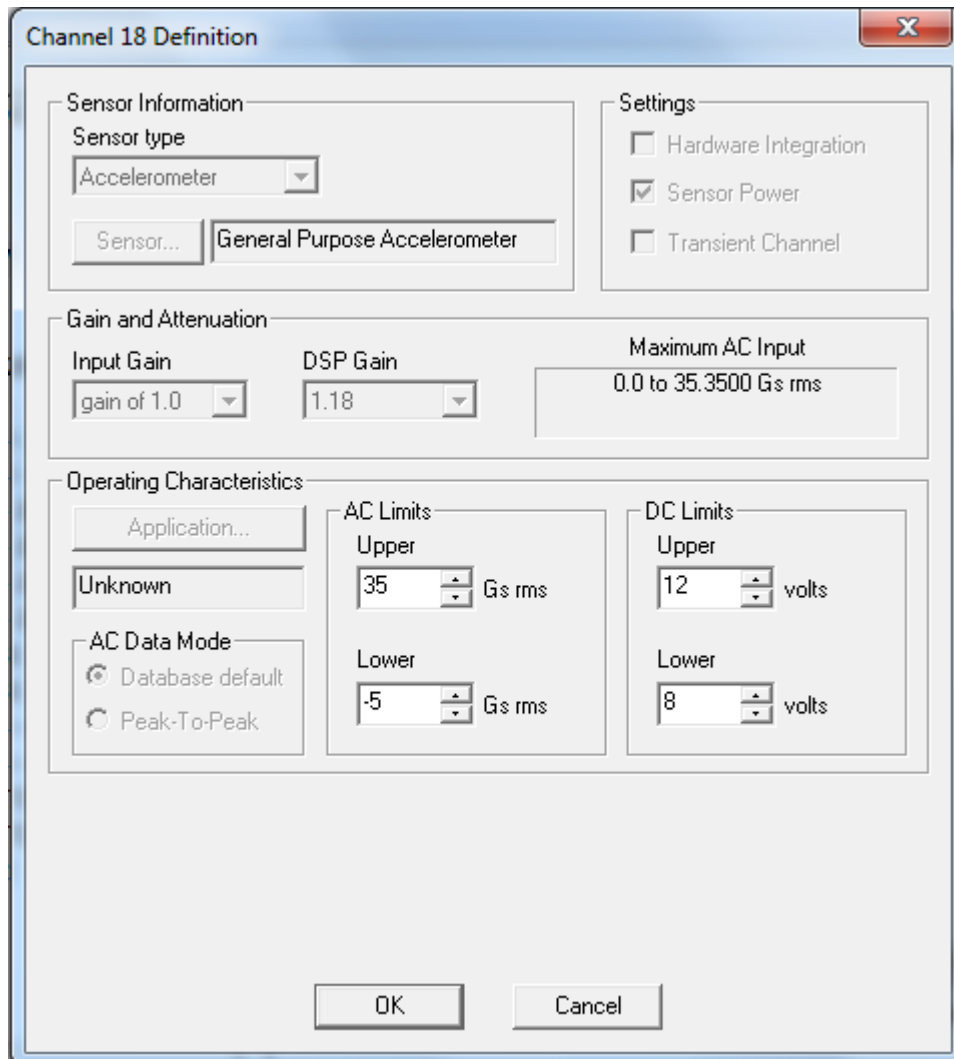


Figura A.10, configuración de un sensor.

AC: Corresponde al rango de medición de vibración en G's, el rango dependerá exclusivamente del tipo de sensor utilizado.

DC: Corresponde al rango de medición de voltaje, si el valor sale de este intervalo es señal de que el sensor no está midiendo correctamente y es necesario revisarlo.

## A.2.7. - Gain/Attenuation (Ganancia y Atenuación)

### Input Gain

En electrónica, la ganancia, es una magnitud que expresa la relación entre la amplitud de una señal de salida respecto a la señal de entrada. Dependiendo de si esta es mayor o menor respecto a la señal de salida se hablará de ganancia o atenuación respectivamente.

La ganancia y atenuación de la señal del sensor se debe configurar en un valor de 5 (recomendado por EMERSON).

## A.2.9 Máxima entrada relativa

Este concepto se rige para configurar el límite superior de entrada AC, es decir hasta que limite registrara el sensor en este caso esa información depende de la capacidad del sensor. (Figura A.11).

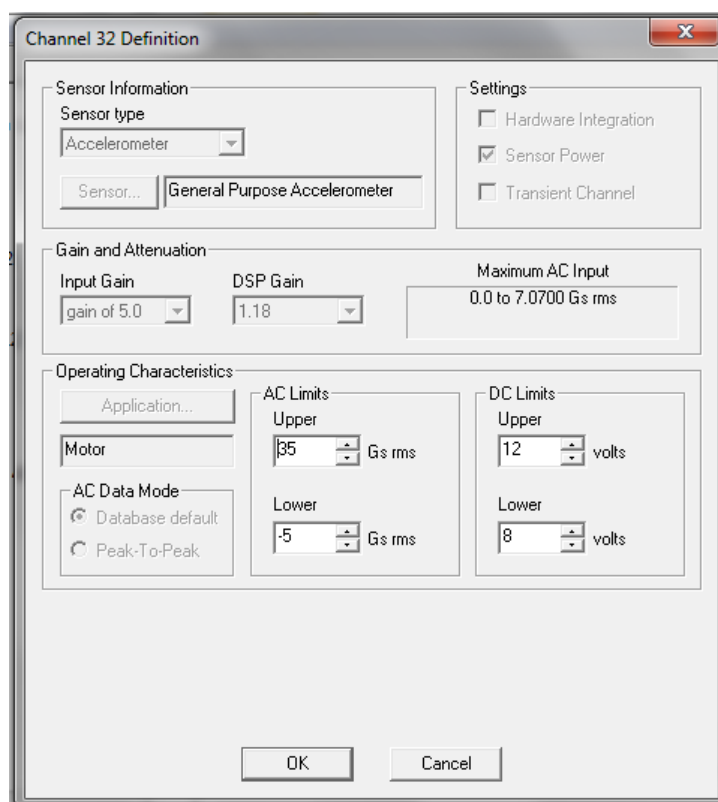


Figura A.11, configuración de limites AC y DC.

### A.2.10.- Operaciones Características

Los valores de AC (mide Vibración) y DC (mide voltaje del sensor) Limits (rangos de operación) son automáticamente tomados cuando el sensor es configurado. Estos valores se pueden modificar de acuerdo a su conveniencia (figura A.11). Aunque EMERSON recomienda usar AC entre -5 y 35 Gs rms y DC entre 8 y 12 volts.

### A.2.11.- Aplicaciones

La aplicación de campo es usada para especificar el tipo de componente en el cual, el sensor está montado.

Cada uno de los componentes tiene una ganancia y rangos de operación preseleccionados para facilitar la configuración del sistema. (Figura A.12).

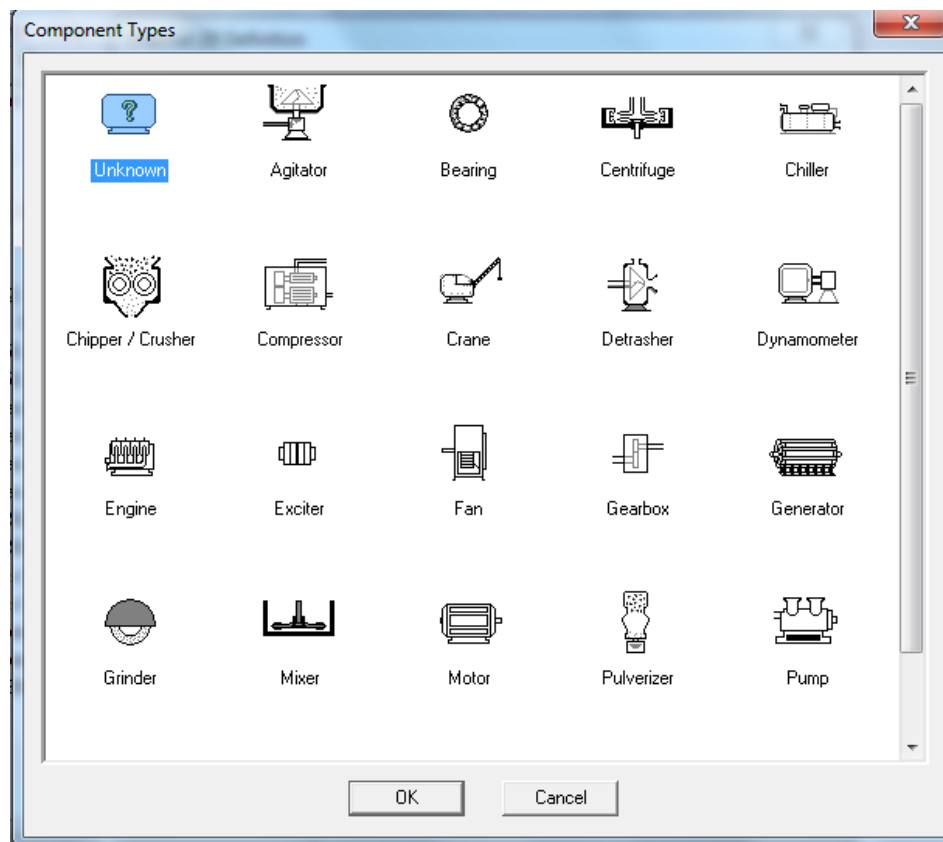


Figura A.12, lista de equipos predefinida del software.

### A.2.12.- Definición completa de cada sensor

Luego de definir todos los parámetros de un sensor es necesario comisionarlos, que consiste en obtener una señal del sensor que verifique que está funcionando, lo que indicará el programa con un piloto de color verde que esta comisionado y con uno rojo si no lo está, para lograr un comisionamiento es necesario que los equipos que componen el sistema de monitoreo estén conectados y funcionando correctamente, para que luego sean detectados por el sistema.

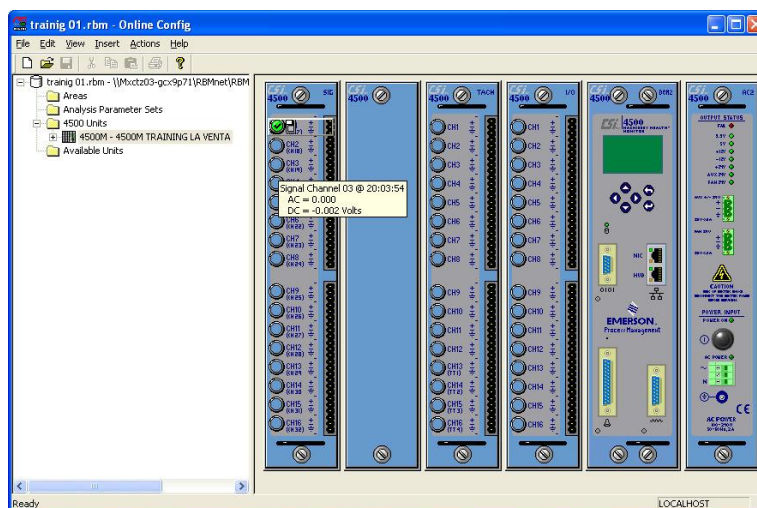


Figura A.13 Se aprecia un sensor comisionado mostrado en color verde.

Para terminar la configuración preliminar del sensor hay que habilitar su alimentación de energía.

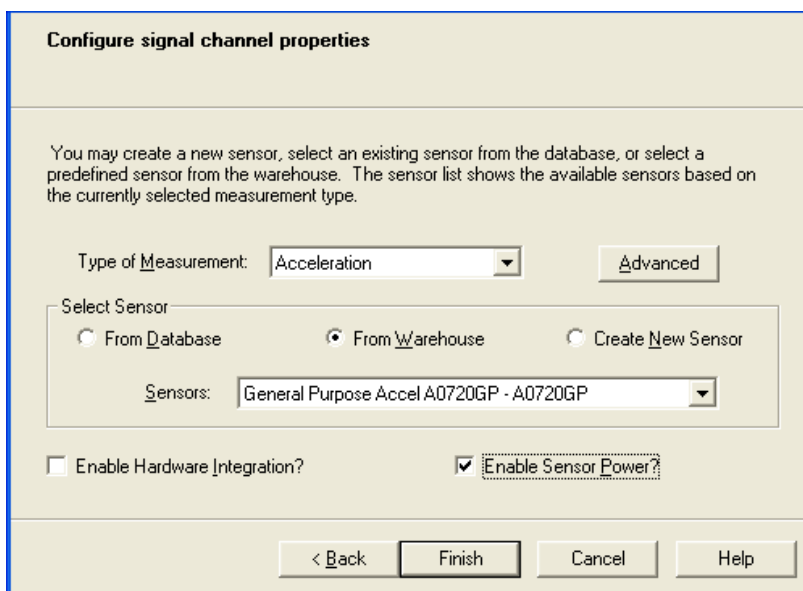


Figura A.14, habilitación de energía de un sensor.

### A.3. Configuración de software (lado lógico)

Luego de haber configurado la parte física del sistema será necesario configurar la parte lógica que consiste en definir áreas, los equipos, componentes, puntos de medición, configurar los parámetros de análisis y configurar la recolección de datos.

#### A.3.1 Designación de áreas de planta celulosa Arauco

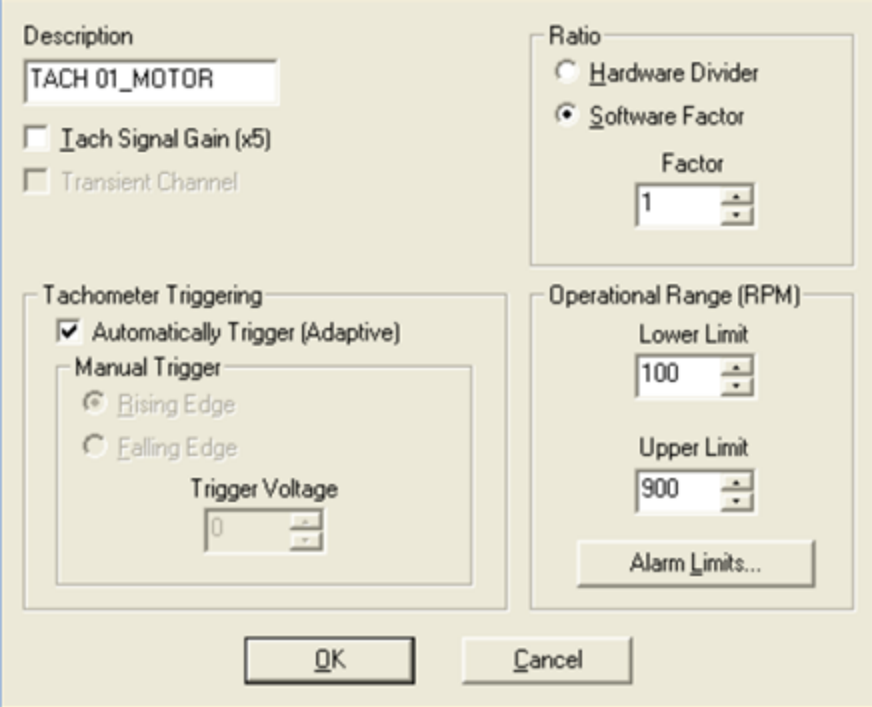
Tabla A-1, se muestra la nomenclatura usada para designar cada área.

Nº	Área
29	Área Compresores L1
31	Área Prep. Maderas L1
41	Área Digestores L1
46	Área Harneo y Lavado L1
47	Área Blanqueo L1
52	Área Cald. Recuperadora L1
53	Área Caustificación L1
54	Área Horno de Cal L1
62	Área Agua Calderas L1
63	Área Caldera de Poder L1
64	Área Caldera de Poder 3 L1
65	Área Turbogenerador L1
71	Área Preparación Pasta L1
72	Área Máquina L1
81	Área Línea de Término L1
231	Área Prep. Madera L2
241	Área Digestores L2
246	Área Harneo y Lavado L2
247	Área Blanqueo L2
251	Área Evaporadores L2
252	Área Cald. Recuperadora L2
253	Área Caustificación L2
254	Área Horno de Cal L2
256	Área Química L2
262	Área Agua Calderas L2
263	Área Caldera de Poder L2
265	Área Turbogenerador L2
266	Área Turbina 4/5 L2
271	Área Preparación Pasta L2
272	Área Máquina L2
281	Área Línea Termino L2

### A.3.2.-Configuración de los parámetros de medición de cada sensor

#### A.3.2.1 Configuración de Tacómetros

Los tacómetros son dispositivos que permiten medir la velocidad de giro de un equipo rotatorio, para el software AMS es necesario tener esta información, por lo cual es de suma importancia saber a qué velocidad gira cada equipo, pero una ventaja de este sistema es que tiene la opción de crear un tacómetro constante lo que permite asignar un valor fijo de la velocidad de rotación que se debe conocer o averiguar en terreno como se tuvo que hacer para los equipos que se desconocía esta información, esto se realizó por medio de una lámpara estroboscópica. Se averiguo todo esto permitiendo un ahorro importante de dinero debido a la cantidad de equipos en seguimiento, aunque existe una cantidad de equipos que tienen velocidad variable por lo que se recomienda instalar tacómetros físicos para estos para aumentar la confiabilidad del sistema (ver recomendaciones).



The screenshot shows a configuration dialog box for a tachometer. The 'Description' field is set to 'TACH 01\_MOTOR'. There are three checkboxes: 'Tach Signal Gain (x5)' (unchecked), 'Transient Channel' (unchecked), and 'Automatically Trigger (Adaptive)' (checked). Under 'Manual Trigger', 'Rising Edge' is selected. The 'Trigger Voltage' is set to 0. The 'Ratio' section has 'Software Factor' selected with a 'Factor' of 1. The 'Operational Range (RPM)' section has a 'Lower Limit' of 100 and an 'Upper Limit' of 900. There is an 'Alarm Limits...' button. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura A.15, Definición de un tacómetro



### A.3.2.2.- Configuración de Predicados

Un predicado es un parámetro que determina cuando se va a recolectar datos. Los predicados solamente aplican para la recolección de datos por excepción, esto quiere decir que cuando exista un cambio en los niveles vibratorios del equipo se activará la recolección de información, el fabricante recomienda configurar este parámetro de acuerdo a la medición de aceleración.

Para agregar un predicado es necesario acceder desde el online Config a la unidad CSI 4500/6500 respectiva y configurar dicho parámetro.

Sin embargo también existe la posibilidad de configurar un predicado en base a los tacómetros pero en este caso particular no será necesario recurrir a esto debido a que no existen tacómetros físicos.

Para que los sensores tengan independencia entre ellos es necesario que cada punto de medición tenga su predicado, eliminando la probabilidad de que al dejar de funcionar un sensor afecta a otro sensor que pueda estar asociado a un mismo predicado, por eso es importante la independencia de este parámetro al contrario de cómo estaba anteriormente.

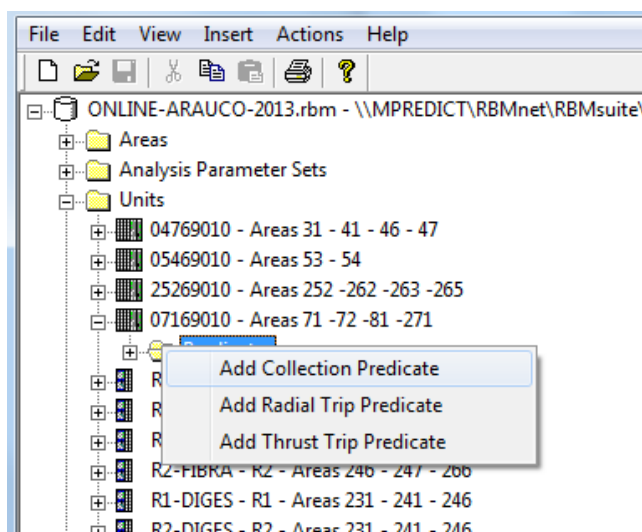


Figura A.17, Adición de un predicado a una unidad CSI 4500

### A.3.2.3.- Límites de alarmas

Este ítem es el alma del sistema de monitoreo continuo, al ser bien configuradas permite mantener un seguimiento de los equipos y advirtiendo de forma adecuada y oportuna cuando hay un exceso en los niveles de vibración de cada punto de medición.

Como se observa en la figura A.18 existen distintas alarmas como “high” de color amarillo que supone nivel de urgencia en cambio las “high high” implican un nivel crítico en los niveles de vibración, cabe destacar que este sistema no incluye paradas de equipos solo sirve para supervisar

los niveles y así poder comunicar esta información a las personas de operaciones que deben tomar la decisión de acuerdo a la gravedad del problema.

Una de las ventajas de esto es poder entregar información relevante a personas que no tengan un gran conocimiento de análisis de vibraciones.

La configuración de estas alarmas se debe hacer utilizando las normas existentes y un estudio de las tendencias de cada equipo que se monitoreará.

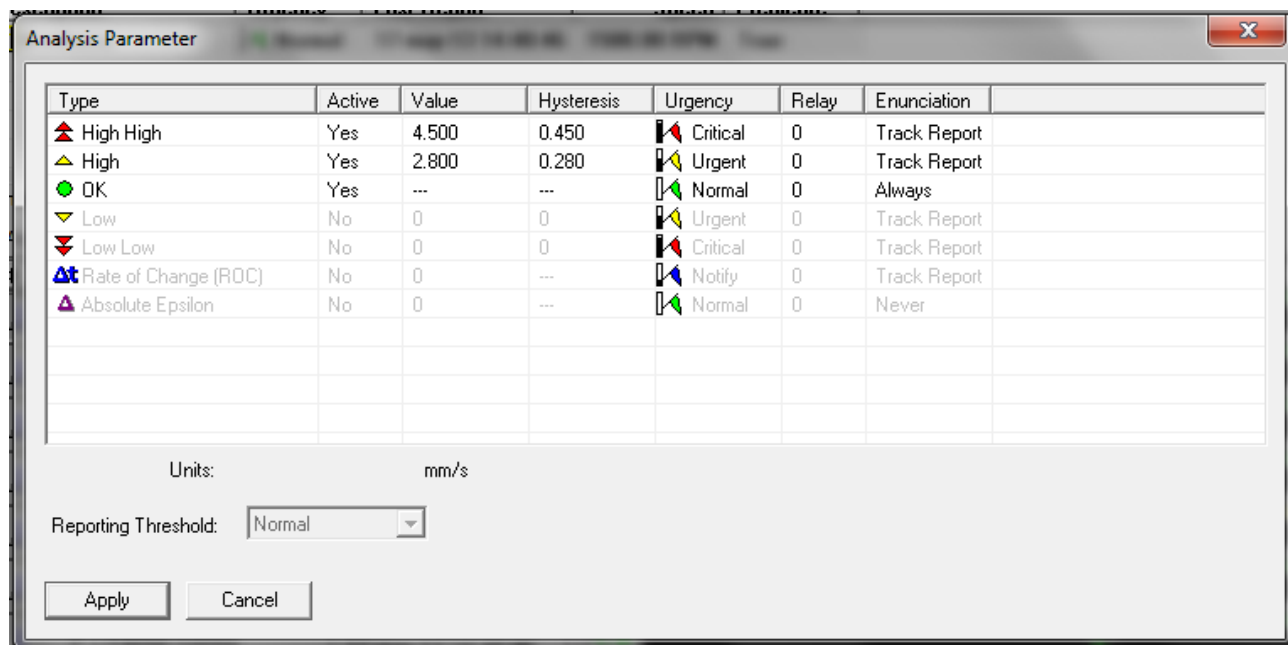


Figura A.18, ventana de configuración de límites de alarmas.

### Parámetros de cada alarma

**Type:** la columna de “Type” enlista los tipos de alarma con su ícono correspondiente.

**Active:** esta columna especifica si la alarma se encuentra activa (yes/no). Por de defecto es “No”.

**Value:** muestra los límites de las unidades de ingeniería del transductor.

**Hysteresis:** se define como la banda alrededor del límite, la cual puede evitar picos de alarmas que ocurren cuando los niveles de vibración fluctúan sobre los límites. Típicamente se configura como 1/10 del valor absoluto.

**Urgency:** se especifica el nivel de urgencia crítico, urgente, normal ó notificar.

**Relay:** este campo se refiere a los canales activos de los relevadores cuando alguna alarma se activa.

### A.3.2.4 Adición de Áreas

Para añadir un área es necesario asignarle un nombre y una abreviación que en este caso será el código del área que corresponda como en la tabla anexada de equipos.

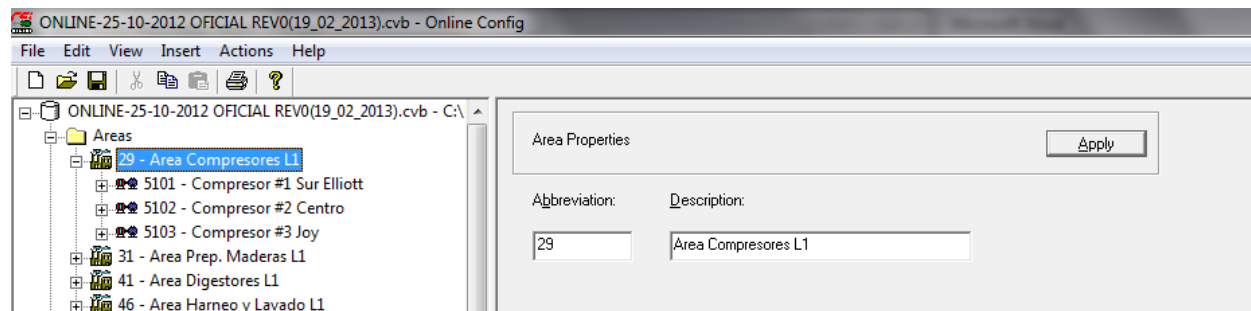


Figura A.19, designación de áreas y componentes.

### A.3.2.5 Adición de Equipos

Para adicionar equipos es necesario introducir la abreviación, nombre, velocidad de giro y asignar el tacómetro que corresponda como abreviación se usara una parte del tag del equipo y para los tacómetros se asignaron tacómetros constantes que fueron previamente creados.

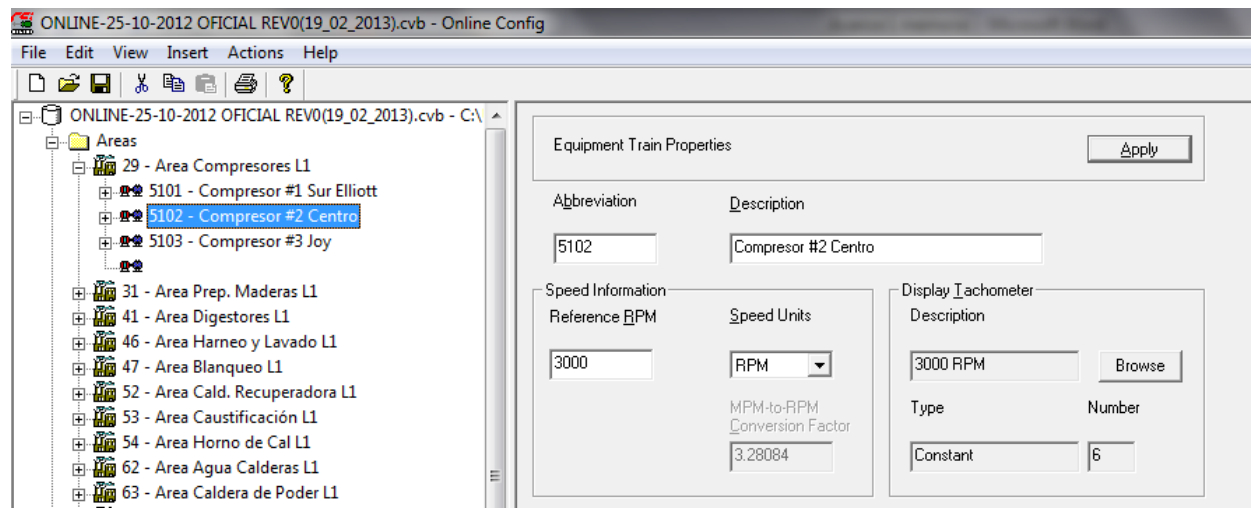


Figura A.20

### A.3.2.6.-Adición Componentes

Luego de crear en la base de datos el equipo a medir se debe agregar los componentes que se medirán como por ejemplo un ventilador que se separará en un motor y el ventilador propiamente tal. Aquí se debe definir qué tipo de equipo es para lo cual existe un listado de equipos disponibles y se debe definir en qué posición está ubicado dicha máquina y el tipo de soporte.

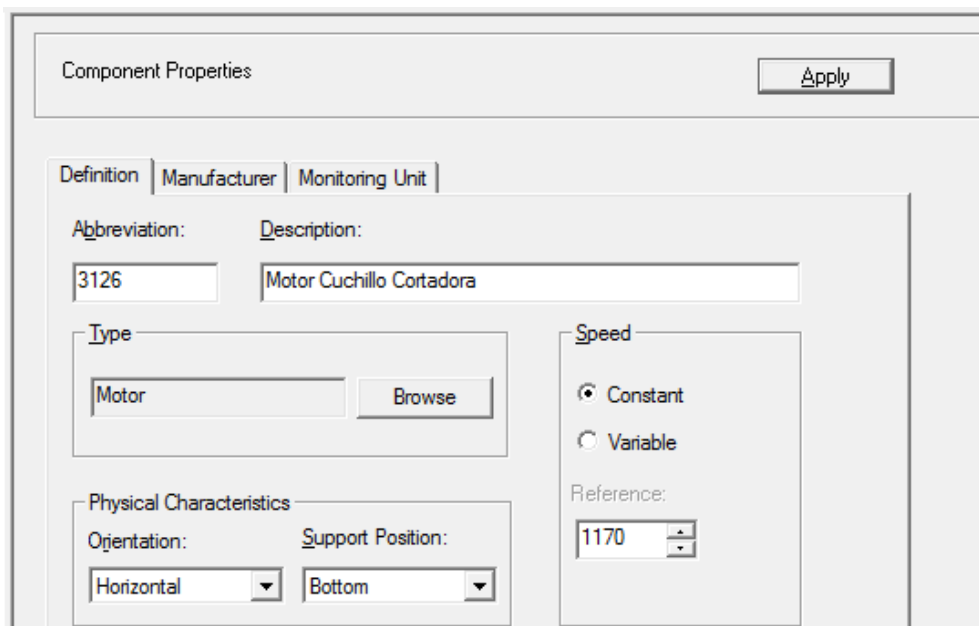


Figura A.21, Adición de un componente.

Tabla A-2, Simbología utilizada para definir componentes de los equipos

Designación	Maquina
A	Alimentador
B	Bomba
C	Compresores
T	Turbinas
R	Reductores
I	Impregnadores
G	Generadores
V	ventilador

### A.3.2.7 Adicionar Puntos de Medición

Luego de añadir el equipo y el componente que se medirá es necesario definir el punto de medición pudiendo ser 1 hasta 2 puntos de medición por equipo (Horizontal, Vertical o Axial).

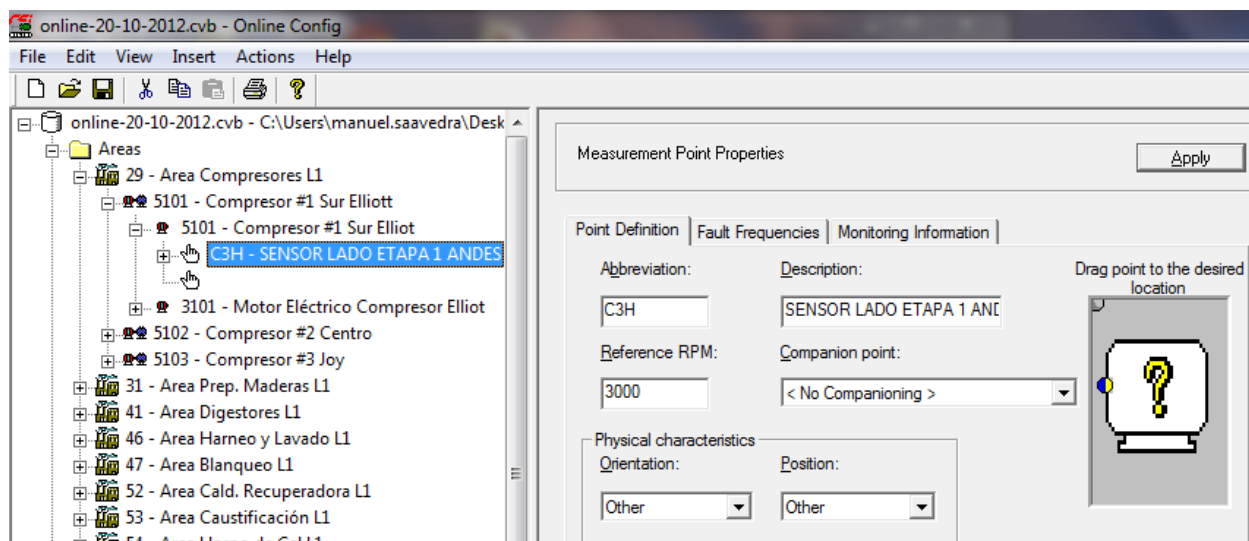


Figura A.23, definición de un punto de medición.

Como se muestra en la figura superior es necesario definir una “abbreviation” que será definido con una letra que da a conocer que tipo de componente es (ver tabla A-2) un número que da a conocer en que extremo del equipo es y una última letra que corresponde a la orientación del sensor.

También es necesario agregar la velocidad de rotación del equipo en revoluciones por minuto y las características de orientación del sensor.

Para definir el resto de los puntos se puede copiar y pegar un punto de medición y luego cambiarles los parámetros según corresponda.

### Definición de unidad de monitoreo

Para terminar la definición del punto es necesario designar a cada punto de medición una csi 4500/6500, tacómetro y su canal correspondiente, el sistema detecta automáticamente las cajas y canales de medición disponibles.

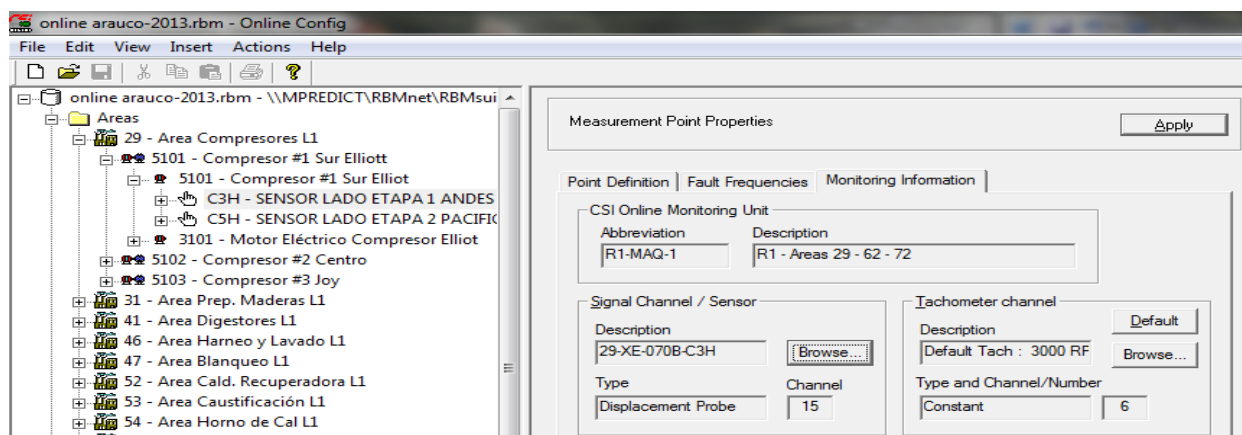


Figura A.24, definición unidad de monitoreo.

Luego de haber definido cada punto de medición (301 puntos) se debe definir que parámetros serán medidos (1X, 2X, FC, Vrms, etc.).

A continuación se mostrará la creación de los set de parámetros que tendrá cada punto de medición y su respectiva configuración.

#### A.4.-Configuración de parámetros

Como se aprecia en la siguiente figura existe una lista con todos los parámetros que se pueden medir dentro del software AMS cabe destacar que cada ítem a su vez tiene varias opciones las cuales se pueden personalizar a gusto del usuario como la unidad de medida puede ser velocidad, aceleración y desplazamiento.

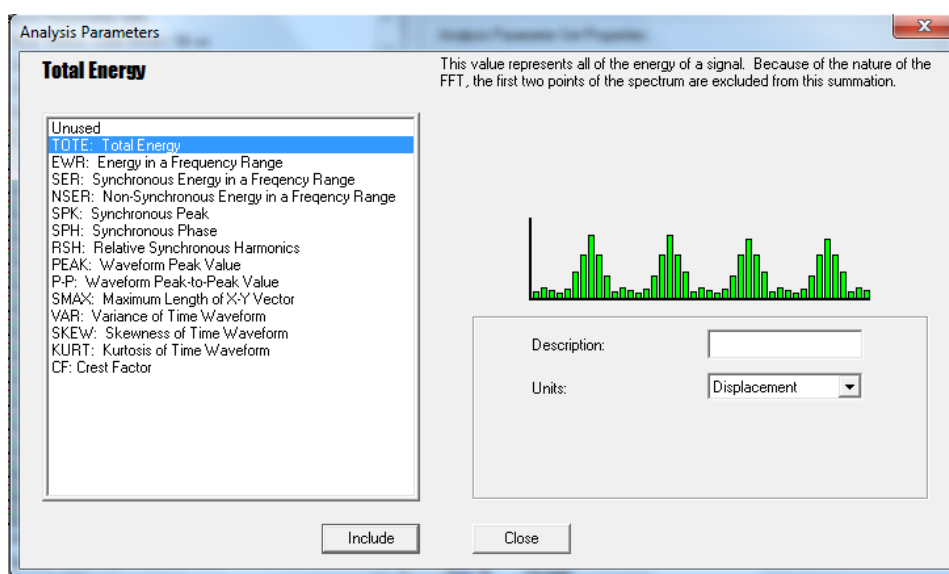


Figura A.25, lista con parámetros configurables del sistema de monitoreo continuo.

Para configurar la recolección de la velocidad rms se debe ocupar la segunda opción (TOTE) la cual medirá toda la energía provocada por la vibración del equipo.

Para los demás parámetros como lo son la 1X, 2X, 5-20X, 21-50X se debe seleccionar el rango de medición ingresando en la opción EWR definiendo el nivel inferior y el nivel superior como se muestra en la figura A.25.

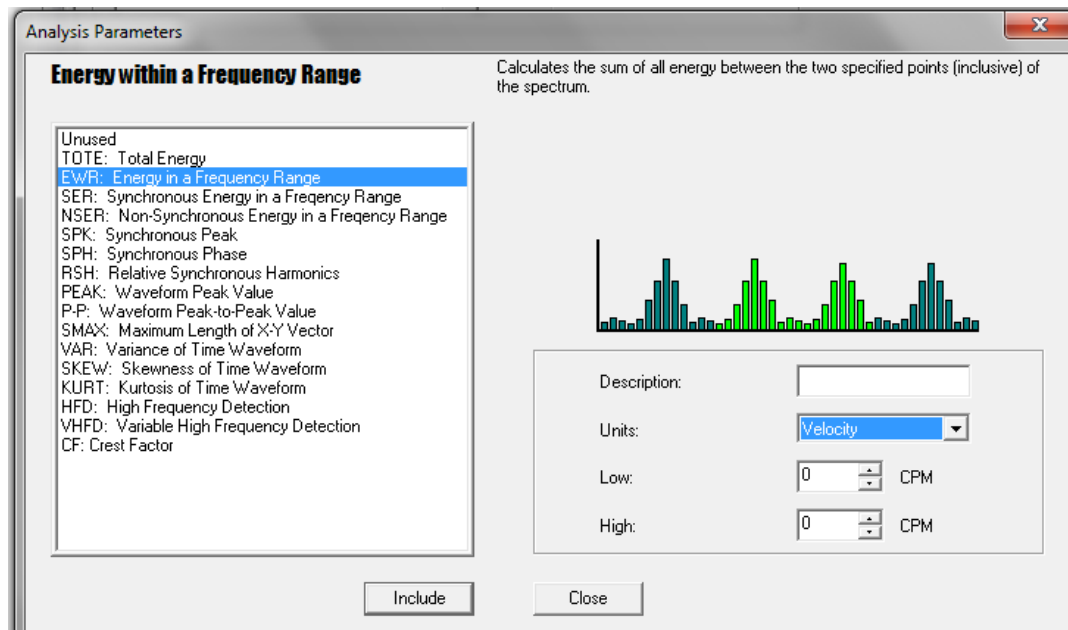


Figura A.26, configuración de EWR

Para el factor cresta y alta frecuencia (HFD) el software trae la opción específica como se aprecia en la figura superior. Es conveniente que se configure con una cierta "tolerancia" tanto en el nivel superior e inferior es decir por ejemplo en las componentes a la velocidad de rotación (1X) se configura como nivel inferior como 0.85X y como nivel superior 1.15X, y así para los demás parámetros estos valores deben estar a una misma distancia ya sea bajo y sobre el valor que se quiere medir. Ver figura A.27.

Number	Type	Description	Range	Units
1	EWR: Energy in...	Nivel Global	0.600 - 100.000 X	mm/s
2	EWR: Energy in...	1 X RPM	0.850 - 1.150 X	mm/s
3	EWR: Energy in...	2 X RPM	1.850 - 2.150 X	mm/s
4	EWR: Energy in...	5-20 X RPM	4.750 - 20.250 X	mm/s
5	EWR: Energy in...	21-50 X RPM	20.750 - 50.250 X	mm/s
6	HFD: High Freq...	HFD	5k Hz - 20k Hz	Gs
7	CF: Crest Factor	FACTOR CRESTA		
8	Unused			

Figura A.27, se muestra rango de configuración de cada parámetro configurado.

online arauco-2013.rbm - Online Config

File Edit View Insert Actions Help

Analysis Parameter Set Properties

Description: Soporte TG-3 Number: 16

Apply

Number	Type	Description	Range	Units
1	TOTE: Total En...	Global mm/s		mm/s
2	EWR: Energy in...	1 X RPM	0.800 - 1.200 X	mm/s
3	EWR: Energy in...	2 X RPM	1.800 - 2.200 X	mm/s
4	EWR: Energy in...	5-20 X RPM	4.750 - 20.250 X	mm/s
5	EWR: Energy in...	21-50 X RPM	20.750 - 50.250 X	mm/s
6	HFD: High Freq...	HFD	5k Hz - 20k Hz	Gs
7	CF: Crest Factor	FACTOR CRESTA		
8	Unused			
9	Unused			
10	Unused			
11	Unused			
12	Unused			
13	Unused			
14	Unused			
15	Unused			
16	Unused			
17	Unused			

Figura A.28, definición cotas de set de parámetros.

Para lograr la independencia de las alarmas es necesario crear un set de parámetros para casa punto de medición, es decir habrá que repetir para cada punto de medición este paso para luego poder configurar las respectivas alarmas, casa set de parámetros será asociado a un grupo de set que fueron clasificados por su velocidad de rotación debido a que dependiendo de este valor dependerá de cuantos orders (cantidad de veces la velocidad de rotación) serán medidos. Este valor de una recomendación del fabricante que está dada por la siguiente ecuación:



$$\text{numero de orders} = \frac{1000}{\text{Revoluciones por segundo}}$$

Nota: No es conveniente usar un número de orders mayor a 200, porque a medida que aumenta este número la adquisición es más lenta.

#### A.4.1.-Propiedades de la recolección de datos (Data Collection Set Properties)

Este ítem es necesario configurar para poder recolectar información, aquí es donde se logra relacionar cada punto de medición con el set de parámetros creado anteriormente, primero es necesario asignarle un nombre que en este caso será monitoreo, este nombre se repetirá para todos los puntos de medición, el programa tiene la posibilidad de agregar varios DCS dependiendo de las necesidades del usuario.

En esta ventana también se asocia el tacómetro creado con anterioridad.

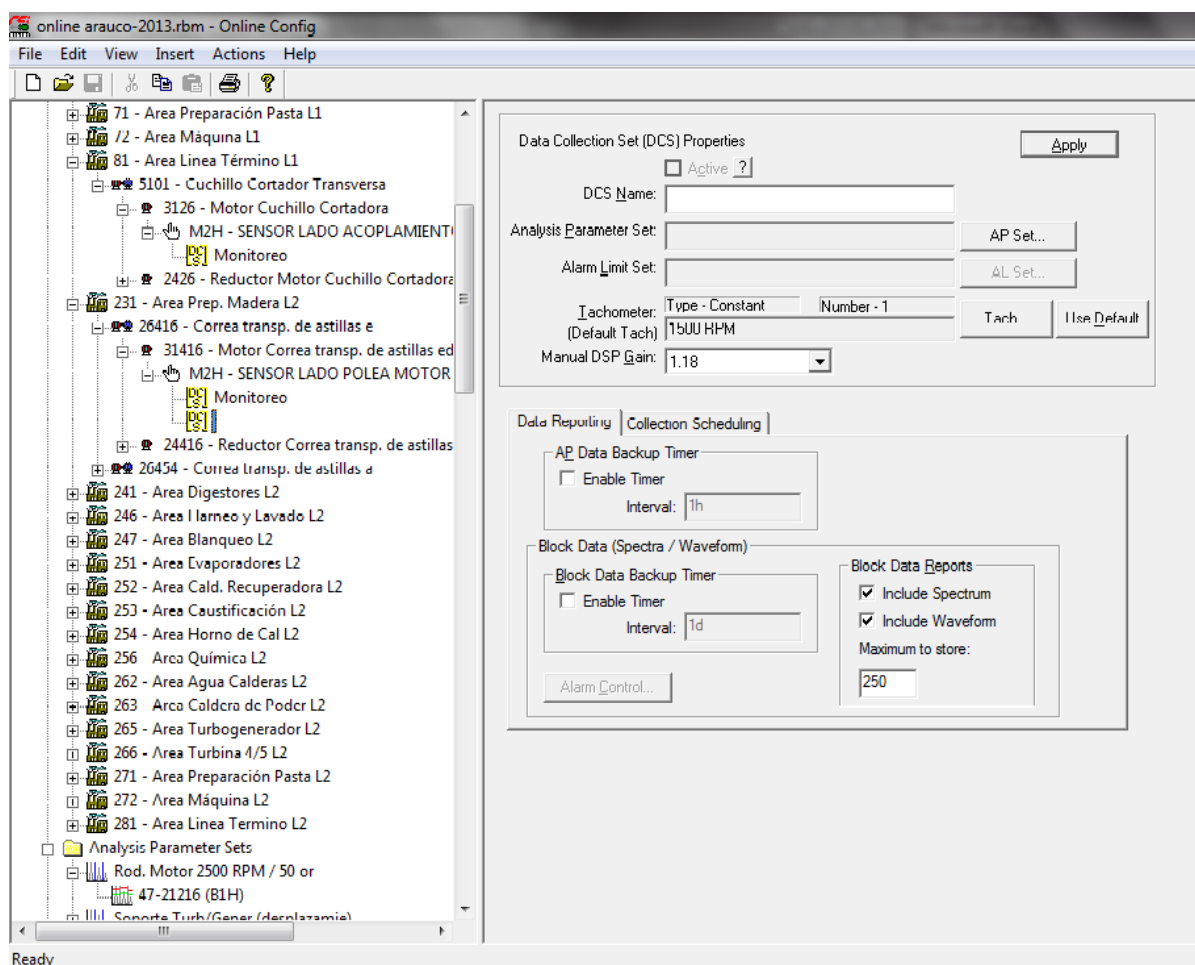


Figura A.29, configuración de los DCS.

Nota: es importante marcar la opción active o sino el DCS quedará deshabilitado y el sistema no registra información del estado del equipo.

#### A.4.2-Frecuencia de guardado de tendencias.

En este parámetro es posible configurar la frecuencia de guardado de tendencias de los parámetros de análisis (AP) y de espectros y formas de onda (spectra/waveform), una de las limitantes de este software es la capacidad de guardado de estos últimos siendo como máximo 250 espectros y formas de onda.

Figura A.30, configuración frecuencia de guardado.

#### A.4.3.-Collection Scheduling (Programación de la recolección)

Para terminar con la definición de un punto de monitoreo es necesario configurar con qué frecuencia medirá el nivel vibratorio o bajo qué circunstancias el sistema recolectará e informará el estado actual del equipo, esto puede ser definido como tiempo es decir cada cuanto tiempo reportara o como en este caso fue configurado con predicados los cuales dictan cuando se recolectará es decir cuando el equipo funcione (vibre) por lo cual comenzara a monitorear aquí se enlaza el punto con el predicado definido previamente.

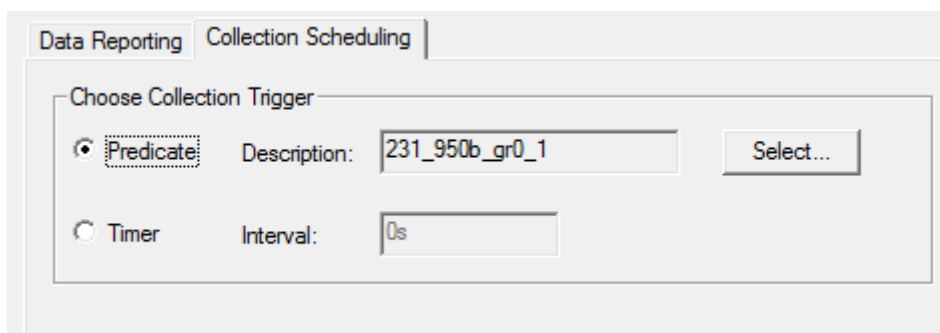


Figura A.31, configuración collection Scheduling

### A.5.-Conexión al Servidor

Terminado este procedimiento para todas las unidades 4500/6500 y sus respectivos sensores y tacómetros se puede establecer conexión con el servidor. Cabe mencionar que el departamento de mantención predictiva de la planta no posee una red propia por lo cual se han presentado varios problemas relacionados con la comunicación de las cajas CSI y el servidor (mpredict).

- Para poder empezar a recolectar datos es necesario deshabilitar la base de datos que este corriendo. Como se aprecia en la figura A.32 aparecen las direcciones ip de las unidades, el nombre del servidor y el nombre de la base de datos.

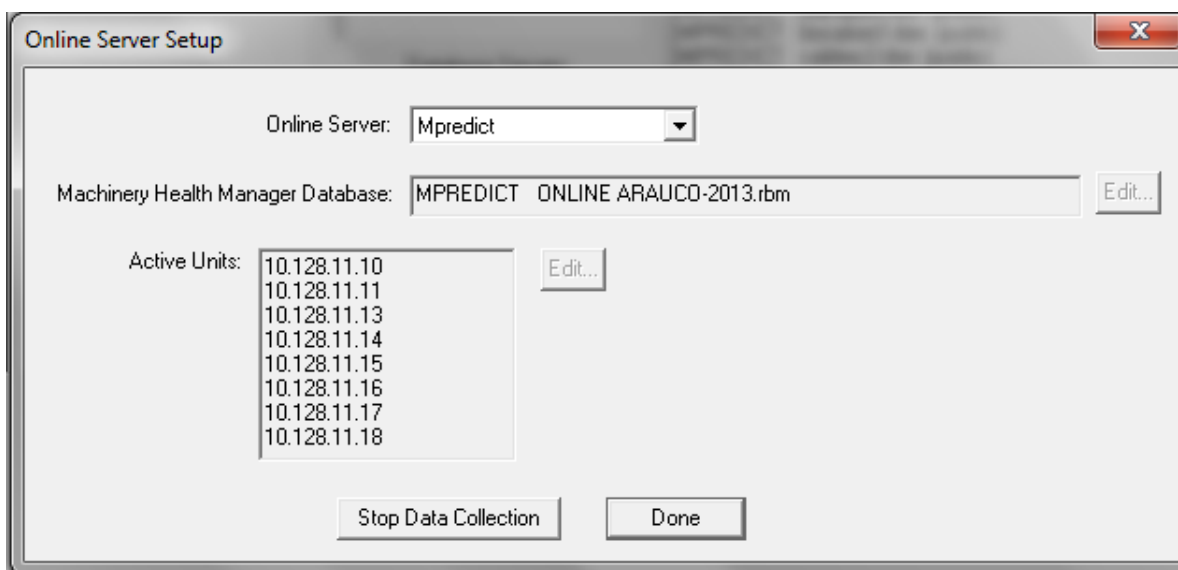


Figura A.32, configuración de ip y base de datos del sistema de monitoreo.

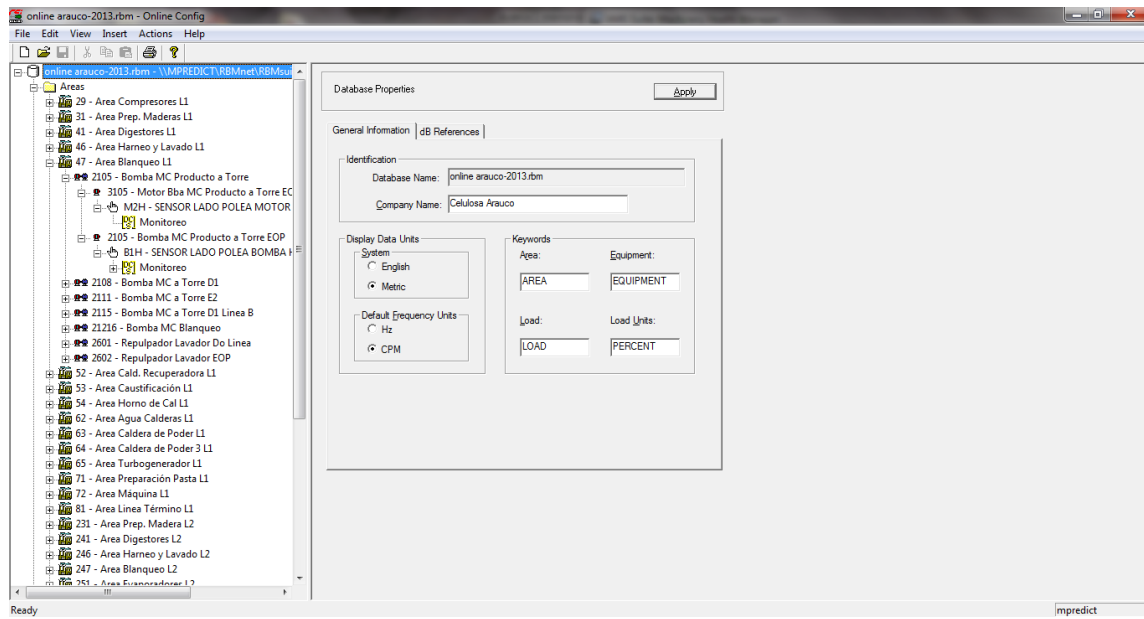


Figura A.33, se muestra base de datos con áreas, equipo, componentes, puntos de medición y monitoreo.

## **Anexo 2:**

# **Monitoreo en línea “Online Watch”**

La aplicación Online Watch, es donde se muestran las condiciones de los equipos usando gráficas, códigos de color e iconos. Con los permisos apropiados el AMS MACHinery Health Manager Administrador, permite reconocer alarmas, modificar los límites de alarmas existentes, ver tendencias y demandar adquisición de datos. El Online Watch no se preocupa de los datos del historial, solo permite ver los datos actuales.

### A2.1 Conexión al Online Server

Al acceder al Online Watch por primera vez, se debe de establecer una conexión con servidor.

En este caso el servidor se llama mpredict al cual debemos acceder para empezar el monitoreo.

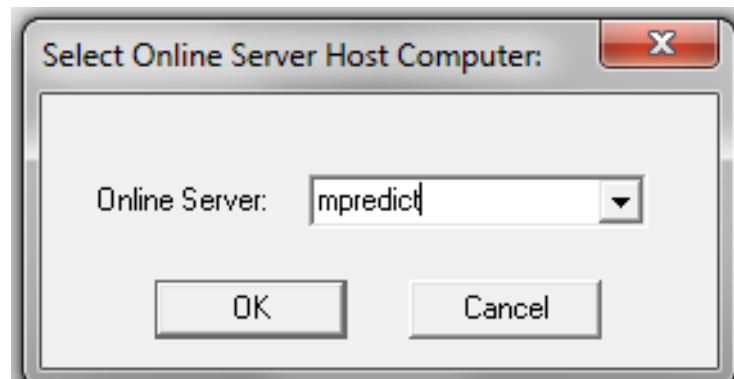


Figura A2.1, selección del servidor

Nota: Solo será necesario realizar este paso la primera vez después la conexión será automática.

## A2.2 Navegando en el online watch

En el online watch se aprecia la base de datos creado en el capítulo anterior pero se ven algunos recuadros rojos, amarillos y algunos de ningún color.

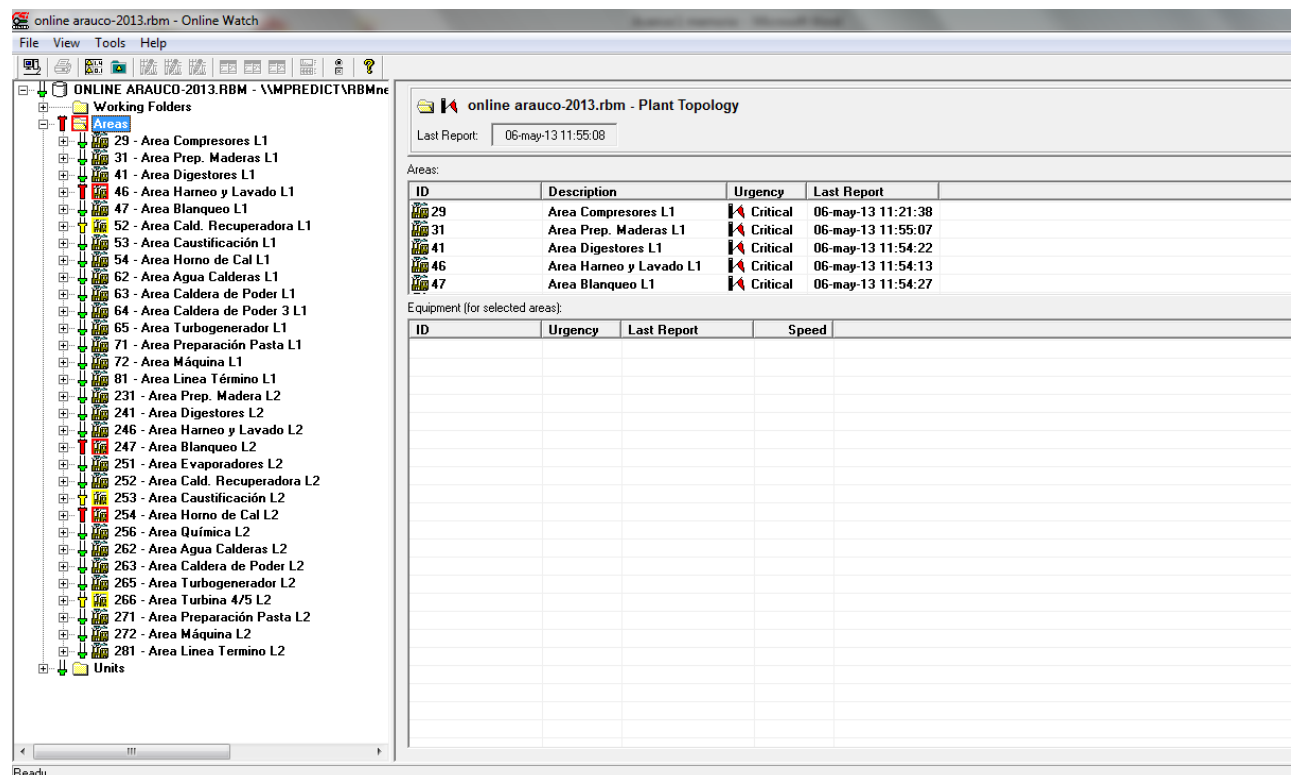


Figura A2.2, visualización principal del monitoreo continuo.

## A2.3 Código de colores

Los colores en el árbol proveen pistas del estatus del equipo que se está siendo monitoreado. Cuando cualquier punto o parámetro está en alarma, el punto cambia al color asignado a la alarma. El color asignado a la alarma más severa es el rojo. Existen otros colores como el amarillo el cual es una alarma media, y el color verde que representa las condiciones de operación estables.

### A2.4 Visualización del estado de cada equipo

Al seleccionar un punto de medición se podrá apreciar el estado de los niveles vibratorios de cada equipo como se aprecia en la siguiente figura, también se puede ver en la ventana superior derecha los datos que está captando el sensor como es el nivel vibratorio (Gs rms) el voltaje del sensor (volts) y velocidad de giro del equipo (RPM).

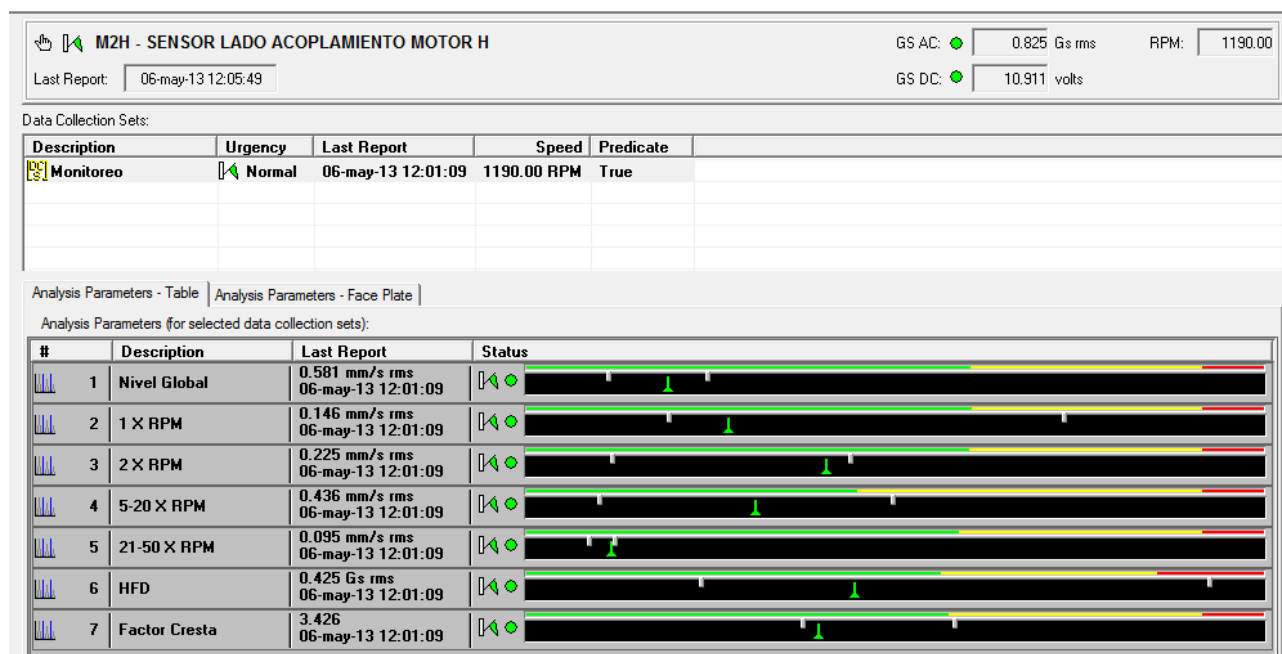


Figura A2.3, visualización estado vibratorio equipos.



## A2.5 Adquisición de datos en línea

Dentro de las múltiples opciones del monitoreo se encuentra la posibilidad de hacer una adquisición de datos en línea, es decir adquirir espectros y formas de onda del equipo en análisis.

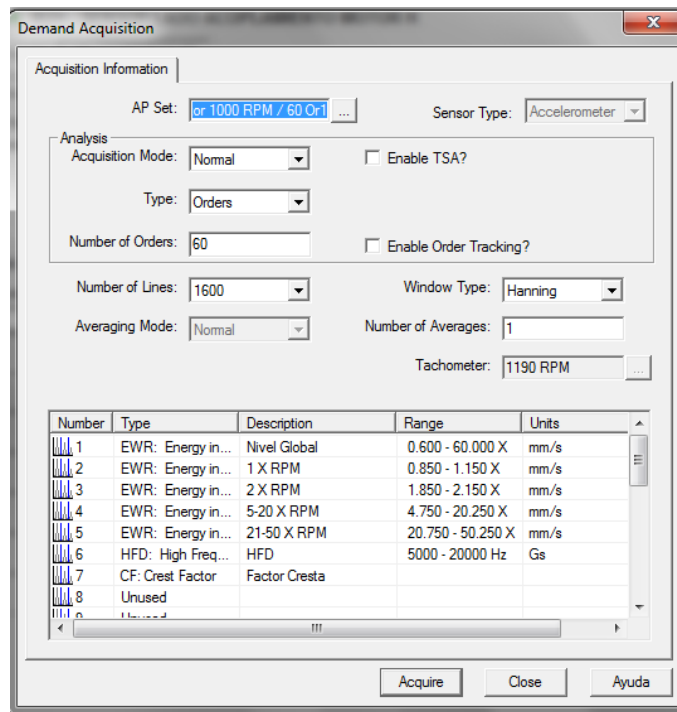


Figura A2.4, Configuración de la adquisición de datos en línea.

## A2.6 Vista del estado actual

Existen varios métodos para ver el estatus del sistema. Los métodos varían desde la vista de varios puntos a la vista de un punto en particular.

Al momento de abrir el online watch se mostrará automáticamente una ventana con las alarmas que se han producido con su hora y fecha correspondiente con el color respectivo dependiendo del nivel de vibración.

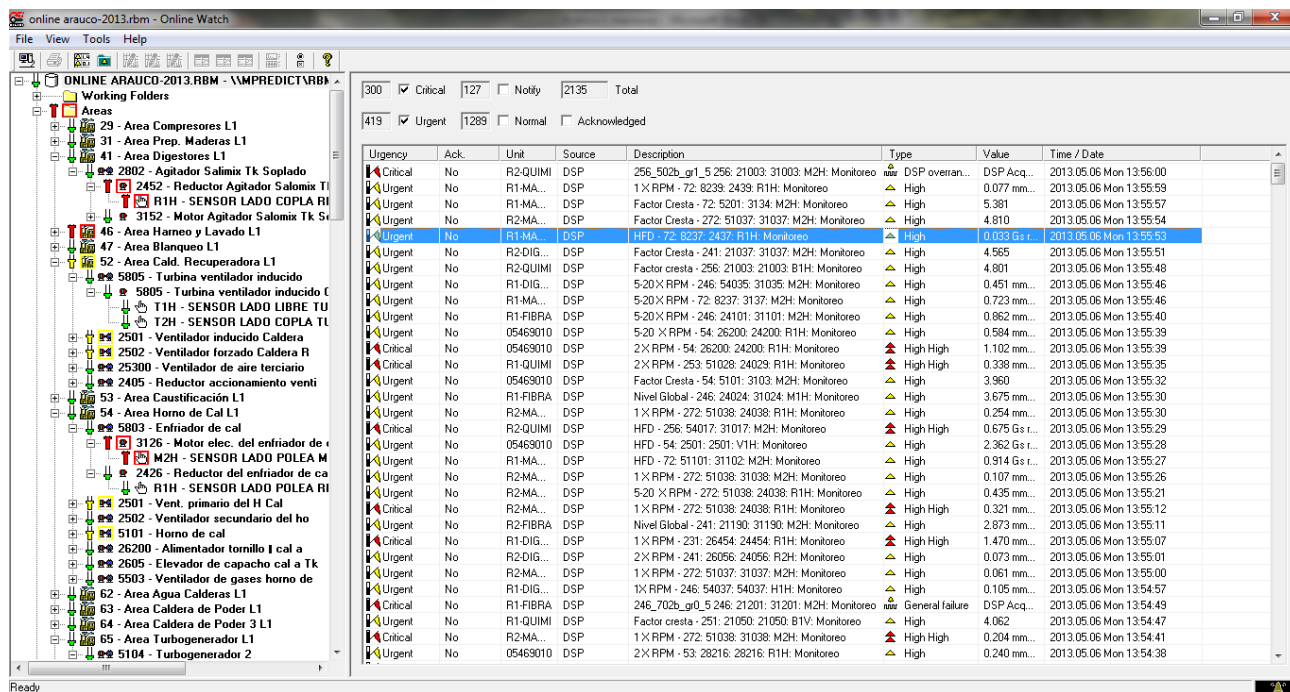


Figura A2.5, ventana con alarmas del sistema

### A2.7 Visualización General

El análisis de diagnóstico intenta dar un análisis de disponibilidad para ver más allá de los datos de vibración estática como un espectro simple o múltiple, formas de onda, Tendencias, etc.

Mientras esas funciones estén disponibles, con el recolector de datos de Emerson CSI 4500/6500 será perceptible en el Análisis de Diagnostico, incluyendo datos trascendentes.

Los suministros se presentan para ver formas de onda, picos/fases, cascadas, ejes de línea centrales y datos de orbita durante una sesión de monitoreo en vivo.

Adicionalmente, los datos guardados de Emerson CSI 4500/6500 en el disco duro se pueden extraer y analizar en segmentos de tiempo personalizados.

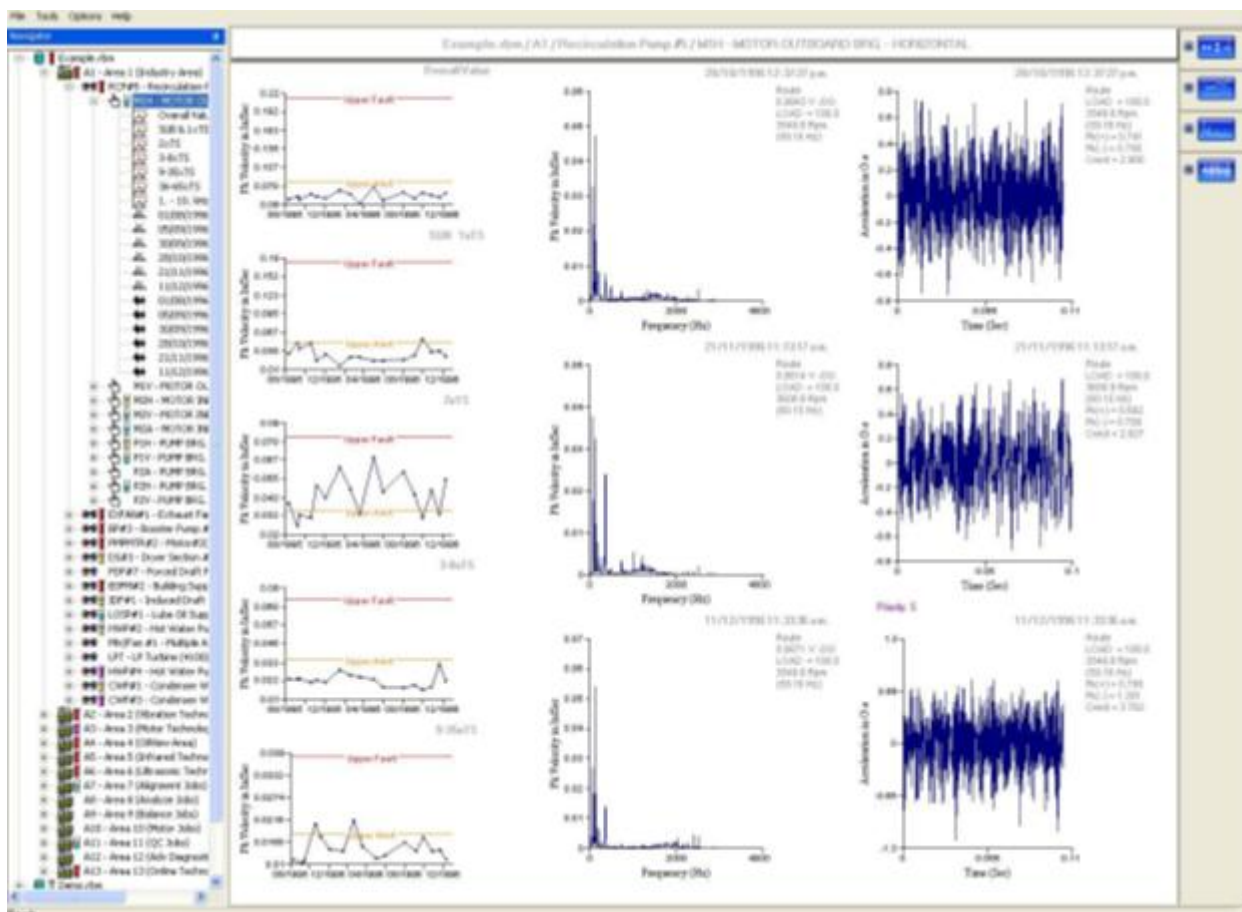


Figura A2.6, muestra la visualización general de cada punto de medición.

## **Anexo 3:**

# **Listado de equipos en monitoreo continuo de vibraciones Planta Celulosa Arauco Horcones**

Área	Nombre Área	Equipo	Punto medición	
29	Área Compresores L1 (29)	Compresor de aire #1 sur Elliot	C3H	SENSOR LADO ETAPA 1 ANDES
29	Área Compresores L1 (29)		C5H	SENSOR LADO ETAPA 2 PACIFICO
29	Área Compresores L1 (29)	Compresor de aire #2 centro	C1H	SENSOR LADO RODAMIENTO LIBRE COMPRESOR HORIZONTAL
29	Área Compresores L1 (29)		C2H	SENSOR LADO RODAMIENTO COMPRESOR HORIZONTAL
29	Area Compresores L1 (29)	Compresor centrífugo Joy	C1V	SENSOR LADO COPLA COPRESOR VERTICAL
29	Area Compresores L1 (29)		C4V	SENSOR LADO ANDES 1 ETAPA VERTICAL
29	Area Compresores L1 (29)		C5V	SENSOR LADO PACIFICO 2 EATAPA VERTICAL
29	Area Compresores L1 (29)	Compresor de aire #1 sur Elliot	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
29	Area Compresores L1 (29)	Compresor centrífugo Joy	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
31	Area Preparación Maderas L1 (31)	Reductor transp. astillas desde silo a digestores	R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
31	Area Preparación Maderas L1 (31)		M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
31	Area Preparación Maderas L1 (31)	Mesa del silo de astillas	R1V	SENSOR LADO COPLA REDUCTOR VERTICAL
31	Area Preparación Maderas L1 (31)		R3H	SENSOR LADO LIBRE REDUCTOR HORIZONTAL
41	Area Digestores L1 (41)	Reductor agitador salimix tk soplado	R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
41	Area Digestores L1 (41)		M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
46	Area Harneo y Lavado L1 (46)	Harnero secundario presurizado	H1H	SENSOR RODAMIENTO HARNERO LADO POLEA HORIZONTAL
46	Area Harneo y Lavado L1 (46)		S1H	SENSOR HARNERO PARTE SUPERIOR
46	Area Harneo y Lavado L1 (46)	Bomba producto a harneo	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
46	Area Harneo y Lavado L1 (46)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
46	Area Harneo y Lavado L1 (46)	Incrementador velocidad bomba m.c. lavado	R2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
46	Area Harneo y Lavado L1 (46)		B2H	SENSOR LADO LIBRE BOMBA HORIZONTAL
46	Area Harneo y Lavado L1 (46)	Harnero terciario presurizado	H1H	SENSOR RODAMIENTO HARNERO LADO POLEA HORIZONTAL
46	Area Harneo y Lavado L1 (46)		S1H	SENSOR HARNERO PARTE SUPERIOR

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
47	Area Blanqueo L1 (47)	Bomba media consist. producto a torre EOP línea A	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)		B1H	SENSOR LADO POLEA BOMBA HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)	Bomba media consist. A torre D1 Línea A	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)		B1H	SENSOR LADO POLEA BOMBA HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)	Bomba media consist. A torre E2	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)		B1H	SENSOR LADO POLEA BOMBA HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)	Bomba media consistencia a Torre D1 Línea B	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)		B1H	SENSOR LADO POLEA BOMBA HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)	Incrementador velocidad bba. media consist. Blanqueo	R2H	SENSOR RODAMIENTO L. ENTRADA AMP. HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)		B2H	SENSOR LADO LIBRE BOMBA HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)	Reductor repulpador lavador Do línea A	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REPULPADOR HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)	Reductor repulpador lavador EOP línea A	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
47	Area Blanqueo L1 (47)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
52	Area Caldera Recuperadora L1 (52)	Turbina ventilador inducido Caldera Recuperadora	T1H	SENSOR LADO LIBRE TURBINA HORIZONTAL
52	Area Caldera Recuperadora L1 (52)		T2H	SENSOR LADO COPLA TURBINA HORIZONTAL
52	Area Caldera Recuperadora L1 (52)	Ventilador inducido Caldera Recuperadora	V1H	SENSOR LADO COPLA VENTILADOR HORIZONTAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
52	Area Caldera Recuperadora L1 (52)	Ventilador forzado Caldera Recuperadora	V1H	SENSOR LADO COPLA VENTILADOR HORIZONTAL
52	Area Caldera Recuperadora L1 (52)		V2H	SENSOR DESCANSO LIBRE VENTILADOR HORIZONTAL
52	Area Caldera Recuperadora L1 (52)	Motor ventilador forzado Caldera Recuperadora	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL
52	Area Caldera Recuperadora L1 (52)	Ventilador de aire terciario Caldera Recuperadora	V1H	SENSOR LADO COPLA VENTILADOR HORIZONTAL
52	Area Caldera Recuperadora L1 (52)	Ventilador de aire terciario Caldera Recuperadora	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL
52	Area Caldera Recuperadora L1 (52)	Reductor accionamiento ventilador inducido caldera	R1H	SENSOR LADO COPLA REDUCTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)	Agitador clarificador licor verde 1	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)		R1H	SENSOR LADO POLEA REDUCTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)	Agitador almacenamiento de lodo	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)		R1H	SENSOR LADO POLEA REDUCTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)	Agitador lavador de lodo	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)		R1H	SENSOR LADO POLEA REDUCTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)	Agitador Caustificador N°5	R1H	SENSOR LADO COPLA REDUCTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)		R3H	SENSOR LADO AGITADOR REDUCTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)	Agitador Rastra Ecofiltro	R1H	SENSOR LADO COPLA SINFIN-MOTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)		R3H	SENSOR LADO LIBRE CORONA HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)	Apagador de Cal	R1H	SENSOR LADO COPLA REDUCTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)		R3H	SENSOR LADO AGITADOR REDUCTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)	Reductor veloc. tornillo calificados	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
53	Area Caustificación L1 (53)		R1H	SENSOR LADO COPLA REDUCTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)	Tornillo – clasificador (apagador)	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)		R1H	SENSOR LADO COPLA REDUCTOR HORIZONTAL
53	Area Caustificación L1 (53)	Bomba de vacío del filtro de lodo	B1H	SENSOR LADO POLEA BOMBA HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)	Reductor del enfriador de cal	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)		R1H	SENSOR LADO POLEA REDUCTOR HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)	Ventilador primario del horno de cal	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)		V1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO VENTILADOR HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)	Ventilador secundario del horno de cal	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)		V1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO VENTILADOR HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)	Reductor principal de horno de cal	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)	Alimentador tornillo – cal al apagador	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)	Reductor accionamiento elevador de cal	M2H	SENSOR LADO MOTOR PIÑON HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)		R1H	SENSOR LADO REDUCTOR PIÑON HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)	Ventilador de gases horno de cal	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
54	Area Horno de Cal L1 (54)		V1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO VENTILADOR HORIZONTAL
62	Area Agua Alim. Calderas L1 (62)	Bomba alimentadora agua caldera con turbina	T2H	SENSOR LADO DESCANSO TURBINA LADO MACHON HORIZONTAL
62	Area Agua Alim. Calderas L1 (62)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL



Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
62	Area Agua Alim. Calderas L1 (62)	Bomba alimentadora agua caldera con motor	B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
62	Area Agua Alim. Calderas L1 (62)		B2H	SENSOR LADO DESCANSO LIBRE BOMBA HORIZONTAL
62	Area Agua Alim. Calderas L1 (62)	Bomba alimentadora agua caldera con motor	B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
62	Area Agua Alim. Calderas L1 (62)		B2H	SENSOR LADO DESCANSO LIBRE BOMBA HORIZONTAL
62	Area Agua Alim. Calderas L1 (62)	Bomba alimentadora agua caldera con motor	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
62	Area Agua Alim. Calderas L1 (62)	Motor bomba alimentadora agua de caldera	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
63	Area Caldera de Poder L1 (63)	Ventilador inducido caldera de poder	V1H	SENSOR LADO COPLA VENTILADOR HORIZONTAL
63	Area Caldera de Poder L1 (63)	Ventilador forzado de caldera de poder	V1H	SENSOR LADO COPLA VENTILADOR HORIZONTAL
63	Area Caldera de Poder L1 (63)	Ventilador de aire primario Booster	V1H	SENSOR LADO COPLA VENTILADOR HORIZONTAL
63	Area Caldera de Poder L1 (63)	Ventilador forzado de caldera de poder	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL
63	Area Caldera de Poder L1 (63)	Ventilador de aire primario Booster	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL
63	Area Caldera de Poder L1 (63)	Motor ventilador inducido caldera de poder	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL
64	Area Caldera de Poder 3 L1 (64)	Bomba N°1 de agua de alimentación	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL
64	Area Caldera de Poder 3 L1 (64)		B1H	SENSOR LADO COPLA BOMBA HORIZONTAL
64	Area Caldera de Poder 3 L1 (64)	Bomba N°2 de agua de alimentación	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL
64	Area Caldera de Poder 3 L1 (64)		B1H	SENSOR LADO COPLA BOMBA HORIZONTAL
64	Area Caldera de Poder 3 L1 (64)	Ventilador de tiro forzado aire primario	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL
64	Area Caldera de Poder 3 L1 (64)		V1H	SENSOR LADO COPLA VENTILADOR HORIZONTAL
64	Area Caldera de Poder 3 L1 (64)	Ventilador de tiro forzado aire secundario	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
64	Area Caldera de Poder 3 L1 (64)		V2H	SENSOR LADO DESCANSO MOTOR VENTILADOR HORIZONTAL
64	Area Caldera de Poder 3 L1 (64)	Ventilador de tiro inducido	M2H	SENSOR LADO COPLA MOTOR HORIZONTAL
64	Area Caldera de Poder 3 L1 (64)		V1H	SENSOR LADO COPLA VENTILADOR HORIZONTAL
65	Area Turbogenerador L1 (65)	Turbina y Reductor N°2	T2H	SENSOR DESCANSO DELANTERO TURBINA ANDES
65	Area Turbogenerador L1 (65)		T2V	SENSOR DESCANSO TRASERO TURBINA PACIFICO
65	Area Turbogenerador L1 (65)		T1H	SENSOR DESCANSO TRASERO TURBINA ANDES
65	Area Turbogenerador L1 (65)		R1H	SENSOR DESCANSO DELANTERO REDUCTOR
65	Area Turbogenerador L1 (65)		R3H	SENSOR DESCANSO TRASERO REDUCTOR
65	Area Turbogenerador L1 (65)	Generador Eléctrico N°2	G1H	SENSOR DESCANSO DELANTERO GENERADOR PACIFICO
65	Area Turbogenerador L1 (65)		G2H	SENSOR DESCANSO TRASERO GENERADOR PACIFICO
71	Area Preparación Pasta L1 (71)	Bomba alimentación a limpiadores secundarios	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
71	Area Preparación Pasta L1 (71)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
71	Area Preparación Pasta L1 (71)	Bomba estanque de nivelación a limpiador	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
71	Area Preparación Pasta L1 (71)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
71	Area Preparación Pasta L1 (71)	Motor Bomba Dilución de Harneros y Control Cs	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
71	Area Preparación Pasta L1 (71)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Reductor accionamiento primera prensa	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Reductor accionamiento segunda prensa	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
72	Area Máquina L1 (72)	Reductor accionamiento cilindros pre-secadores	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Reductor accionamiento 3ra prensa polin inferior	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Reductor del sistema superior polin couch	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Reductor de motor de Foudrinier	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Reductor accionamiento paño superior 3ra prensa	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Reductor motor rodillos de enfriam. M6	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Motor Bomba Pileta Máquina a pozo couch	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Motor de Ventilador de Bajo Vacío Fourdrinier	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)		V1H	SENSOR LADO POLEA VENTILADOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Bomba al cajón de entrada	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Bomba de vacío N°6	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
72	Area Máquina L1 (72)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Bomba de vacío N°7	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
72	Area Máquina L1 (72)	Bomba al cajón de entrada	B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
81	Area Embalaje y L.Término L1 (81)	Motor cuchillo cortadora de hojas	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
81	Area Embalaje y L.Término L1 (81)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
231	Area Preparación Madera L2 (231)	Correa transp. de astillas edificio harnero	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
231	Area Preparación Madera L2 (231)		R1V	SENSOR LADO POLEA REDUCTOR HORIZONTAL
231	Area Preparación Madera L2 (231)	Correa transp. de astillas al digestor	M2V	SENSOR LADO POLEA MOTOR VERTICAL
231	Area Preparación Madera L2 (231)		R1V	SENSOR LADO POLEA REDUCTOR VERTICAL
241	Area Digestores L2 (241)	Bomba recirculación al tope de impregnador	B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)		M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)	Bomba recirculación	B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)		M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)	Bomba de recirculación y transferencia	B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)		M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)	Reductor del tornillo alimentador de astillas	R1H	SENSOR LADO POLEA REDUCTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)		M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)	Reductor del medidor flujo de astillas	R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)		M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
241	Area Digestores L2 (241)	Reductor del alimentador de baja presión	R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)		M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)	Reductor del vaporizador	R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)		M1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)	Reductor superior impregnador	R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)		M1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)	Reductor dispositivo descarga del digestor	R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)		R4H	SENSOR LADO RODAMIENTO EJE SALIDA REDUCTOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)	Alimentador rotatorio de A.P.	A1H	SENSOR LADO ACCIONAMIENTO HORIZONTAL SEN BAJ
241	Area Digestores L2 (241)		A2H	SENSOR LADO LIBRE HORIZONTAL SEN BAJ
241	Area Digestores L2 (241)	Dispositivo descarga impregnador	I1H	SENSOR LADO ACCIONAMIENTO IMPREGNADOR HORIZONTAL
241	Area Digestores L2 (241)		I2H	SENSOR LADO RASTRA IMPREGNADOR HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)	Reductor rastra difusor	R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)		M1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)	Harnero de nudos secundarios	M1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)		R1H	SENSOR LADO POLEA REDUCTOR HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)	Reductor Mezclador de Vapor	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)		R1H	SENSOR LADO POLEA REDUCTOR HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)	Incrementador	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)		R2H	SENSOR LADO LIBRE REDUCTOR HORIZONTAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)	Bomba MC	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)	Harnero terciario	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)		H1H	SENSOR LADO POLEA HARNERO HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)	Harnero cuaternario	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
246	Area Harneo y Lavado L2 (246)		H1H	SENSOR LADO POLEA HARNERO HORIZONTAL
247	Area Blanqueo L2 (247)	Incrementador vel. Bba. media consist. alim. Torre EO	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
247	Area Blanqueo L2 (247)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
247	Area Blanqueo L2 (247)	Incrementador vel. Bba media consist. alim. Torre E2	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
247	Area Blanqueo L2 (247)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
247	Area Blanqueo L2 (247)	Incrementador vel. Bba media consist. alim. Torre ADB	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
247	Area Blanqueo L2 (247)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
247	Area Blanqueo L2 (247)	Incrementador vel. Bba media consist. alim. Torre C/D	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
247	Area Blanqueo L2 (247)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
251	Area Evaporadores L2 (251)	Bomba recirculación efecto # 6	M2V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)		B1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)	Bomba recirculación efecto # 5	M2V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)		B1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)	Bomba recirculación efecto # 4	M2V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR VERTICAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
251	Area Evaporadores L2 (251)		B1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)	Bomba recirculación efecto # 3	M2V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)		B1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)	Bomba recirculación efecto # 2	M2V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)		B1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)	Bomba recirculación efecto # 1A	M2V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)		B1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)	Bomba recirculación efecto # 1B	M2V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR VERTICAL
251	Area Evaporadores L2 (251)		B1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA VERTICAL
251	Área Evaporadores L2 (251)	Bomba recirculación efecto # 7	M2V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR VERTICAL
251	Área Evaporadores L2 (251)		B1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA VERTICAL
251	Área Evaporadores L2 (251)	Bomba (A) recirculación del concentrador	M2V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR VERTICAL
251	Área Evaporadores L2 (251)		B1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA VERTICAL
251	Área Evaporadores L2 (251)	Bomba (B) recirculación del concentrador	M2V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR VERTICAL
251	Área Evaporadores L2 (251)		B1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA VERTICAL
252	Área Caldera Recuperad. L2 (252)	Ventilador Aire primario CR2	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
252	Área Caldera Recuperad. L2 (252)		V1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO VENTILADOR HORIZONTAL
252	Área Caldera Recuperad. L2 (252)	Ventilador Aire secundario CR2	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
252	Área Caldera Recuperad. L2 (252)		V1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO VENTILADOR HORIZONTAL
252	Área Caldera Recuperad. L2 (252)	Ventilador de aire terciario	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
252	Área Caldera Recuperad. L2 (252)		V1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO VENTILADOR HORIZONTAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
252	Área Caldera Recuperad. L2 (252)	Ventilador Inducido Lado Sur	H1V	SENSOR ROD. ENTRADA FLUIDRIVE VERTICAL
252	Área Caldera Recuperad. L2 (252)		V1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO VENTILADOR HORIZONTAL
252	Área Caldera Recuperad. L2 (252)	Ventilador Inducido Lado Norte	H1V	SENSOR ROD. ENTRADA FLUIDRIVE VERTICAL
252	Área Caldera Recuperad. L2 (252)		V1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO VENTILADOR HORIZONTAL
253	Área Caustificación L2 (253)	Apagador de cal	M1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
253	Área Caustificación L2 (253)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
254	Área Horno de Cal L2 (254)	Transp. torn. Filtro lodo a secador Flash	R1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR VERTICAL
254	Área Horno de Cal L2 (254)	Accionamiento del horno de cal	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
254	Área Horno de Cal L2 (254)		R1H	SENSOR LADO POLEA REDUCTOR HORIZONTAL
256	Área Preparación Química L2 (256)	Bomba recirculación generador diox. cloro	B1H	SENSOR LADO POLEA BOMBA HORIZONTAL
256	Área Preparación Química L2 (256)	Bomba Alimentación de Clorato Diluido al filtro	B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
256	Área Preparación Química L2 (256)	Filtro de sales	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
256	Área Preparación Química L2 (256)		R1H	SENSOR LADO POLEA REDUCTOR HORIZONTAL
256	Área Preparación Química L2 (256)	Bomba de transferencia de SO2	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
256	Área Preparación Química L2 (256)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
256	Área Preparación Química L2 (256)	Bomba recirculación generador diox. cloro	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)	Turbina bomba # 1 agua alimentación caldera	T2V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO TURBINA VERTICAL
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)	Bomba # 2 agua alimentación caldera	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL



Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)		B2H	SENSOR LADO LIBRE BOMBA HORIZONTAL
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)	Bomba # 3 agua alimentación caldera	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)		B2H	SENSOR LADO LIBRE BOMBA HORIZONTAL
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)	Bomba Booster	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)	Compresor de aire # 1	ET1	SENSOR LADO VIBRACIONES PRIMERA ETAPA COMPRESOR
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)		ET3	SENSOR LADO VIBRACIONES TERCERA ETAPA COMPRESOR
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)	Compresor de aire # 2	ET1	SENSOR LADO VIBRACIONES PRIMERA ETAPA COMPRESOR
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)		ET3	SENSOR LADO VIBRACIONES TERCERA ETAPA COMPRESOR
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)	Compresor de aire # 3	ET1	SENSOR LADO VIBRACIONES PRIMERA ETAPA COMPRESOR
262	Área Aliment. de Agua L2 (262)		ET3	SENSOR LADO VIBRACIONES TERCERA ETAPA COMPRESOR
263	Área Caldera de Poder L2 (263)	Ventilador de tiro forzado	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
263	Área Caldera de Poder L2 (263)		V1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO VENTILADOR HORIZONTAL
263	Área Caldera de Poder L2 (263)	Ventilador de alta presión	V1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO VENTILADOR HORIZONTAL
263	Área Caldera de Poder L2 (263)		V2H	SENSOR LADO LIBRE VENTILADOR HORIZONTAL
263	Área Caldera de Poder L2 (263)	Ventilador inducido caldera poder	F1V	SENSOR LADO COPLA FLUIDRIVE VERTICAL
263	Área Caldera de Poder L2 (263)		V1H	SENSOR LADO REDUCTOR DEL VENTILADOR HORIZONTAL
265	Área Turbogenerador L2 (265)	Turbina del turbo generador # 3	T1V	SENSOR LADO DESCANSO DELANTERO TURB. HORIZONTAL
265	Área Turbogenerador L2 (265)		T2V	SENSOR LADO DESCANSO TRASERO TURB. HORIZONTAL
265	Área Turbogenerador L2 (265)	Generador # 3	G1V	SENSOR LADO DESCANSO DELANTERO GENERADOR HORIZONTAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
265	Área Turbogenerador L2 (265)		G2V	SENSOR LADO DESCANSO TRASERO GENERADOR HORIZONTAL
266	Área Turbina 4/5 L2 (266)	Reductor Turbina Alta Presión	R2Y	SENSOR C. RED. TURB. A..P. DESC. DEL PIÑÓN RED. L.P. PROB.
266	Área Turbina 4/5 L2 (266)		R1Y	SENSOR C. RED. TURB. A..P. DESC. DE CORONA RED. L.P. PROB.
266	Área Turbina 4/5 L2 (266)	Reductor Turbina Baja Presión	R2Y	SENSOR C. RED. TURB. L.P. DESC. DEL PIÑÓN RED. L.P. PROB.
266	Área Turbina 4/5 L2 (266)		R1Y	SENSOR C. RED. TURB. L.P. DESC. DE CORONA RED. L.P. PROB.
266	Área Turbina 4/5 L2 (266)	Turbina N° 4	T1Y	SENSOR TURB. L.P. #4 DESCANSO L. LIBRE PROBETA X L. ANDES
266	Área Turbina 4/5 L2 (266)		T2Y	SENSOR TURB. L.P. #4 DESCANSO L. LIBRE PROBETA Y L. ANDES
266	Área Turbina 4/5 L2 (266)	Turbina N° 5	T1Y	SENSOR TURB. A.P. #5 DESC. L. LIBRE PROBETA X L. AND.
266	Área Turbina 4/5 L2 (266)		T2Y	SENSOR TURB. A.P. #5 DESC. L. COPLA PROBETA X L. AND.
266	Área Turbina 4/5 L2 (266)	Generador 4/5	G2Y	SENSOR TURBOG. #4 DESC. GEN. L. EXC. (SUR) SENSOR Y
266	Área Turbina 4/5 L2 (266)		G1Y	SENSOR TURBOG. #4 DESC. GEN. L. NORTE SENSOR Y
271	Área Preparación Pasta L2 (271)	Reductor accionamiento espesador	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
271	Área Preparación Pasta L2 (271)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
271	Área Preparación Pasta L2 (271)	Bomba Limpiadores Primarios	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
271	Área Preparación Pasta L2 (271)		B2V	SENSOR LADO LIBRE BOMBA VERTICAL
271	Área Preparación Pasta L2 (271)	Bomba producto Tk máquina	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
271	Área Preparación Pasta L2 (271)		B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Bomba Alimentación al cajón de cabeza	B1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO BOMBA HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		B2H	SENSOR LADO LIBRE BOMBA HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Bomba Vacío # 5	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		B1H	SENSOR LADO POLEA BOMBA HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Bomba Vacío # 4	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
272	Área Máquina L2 (272)		B1H	SENSOR LADO POLEA BOMBA HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Bomba Vacío # 3	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		B1H	SENSOR LADO POLEA BOMBA HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Bomba Vacío # 2	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		B1H	SENSOR LADO POLEA BOMBA HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Bomba Vacío # 1	M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		B1H	SENSOR LADO POLEA BOMBA HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Bomba Alimentación al cajón de cabeza	M2H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		T1H	SENSOR EXTREMO TACO LADO LIBRE
272	Área Máquina L2 (272)	Motor de ventilador de motor continua bomba Fan	V1H	SENSOR LADO POLEA VENTILADOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Motor ventilador de motor continua extremo húmedo	V1H	SENSOR LADO POLEA VENTILADOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		M2H	SENSOR LADO POLEA MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Reductor del polin de retorno de la tela	M1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		R1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Reductor del polin de vacío de paño	R1V	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR VERTICAL
272	Área Máquina L2 (272)		M1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		R3V	SENSOR RODAMIENTO INTERMEDIARIO REDUCTOR VERTICAL
272	Área Máquina L2 (272)	Reductor rodillo descurvador	R1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		M1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Reductor de polin prensa inferior # 2	R1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL

Área	Nombre Área	Equipo		Punto medición
272	Área Máquina L2 (272)		M1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Reductor de polin prensa superior # 3	R1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		M1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Reductor del polin inferior tercera prensa	R1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		M1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)	Reductor polin accionamiento tela Foudrinier	R1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
272	Área Máquina L2 (272)		M1H	SENSOR LADO ACOPLAMIENTO REDUCTOR HORIZONTAL
281	Área Embal. y L. Term.1 L2 (281)	Cuchillo móvil (transversal)	M1H	SENSOR LADO LIBRE MOTOR HORIZONTAL
281	Área Embal. y L. Term.1 L2 (281)		A1H	ACCIONAMIENTO LADO POLEA MOTRIZ SENTIDO HORIZONTAL

Tabla 8-2, equipos con velocidad variable.

Nº	Sensores con velocidades variables			Ubicación	Equipo
	Área	Tag			
1	72	8237	2437	R1H	Accionamiento primera prensa
2	72	8238	2438	R1H	Accionamiento segunda prensa
3	72	8239	2439	R1H	Accionamiento cilindros pre-secadores
4	72	8240	2440	R1H	Accionamiento 3ra prensa polín inferior
5	72	51101	24101	R1H	Sistema superior polin couch
6	72	5201	2434	R1H	Mesa Fourdrinier
7	72	82448	2448	R1H	Accionamiento paño superior 3ra prensa
8	72	5403	2446	R1H	Enfriador de lámina de celulosa
9	72	21112	31112	M2H	Bomba al cajón de entrada
10	72	21112	21112	B1H	Bomba al cajón de entrada
11	81	5101	3126	M2H	Cuchillo cortadora de hojas
12	241	26026	31026	M2H	Medidor flujo de astillas
13	241	26056	24056	R1H	Dispositivo descarga del digestor
14	241	26056	24056	R2H	Dispositivo descarga del digestor
15	241	26032	26032	A1H	Alimentador rotatorio de A.P.
16	241	26032	26032	A2H	Alimentador rotatorio de A.P.
17	272	21002	21002	B1H	Bomba Alimentación al cajón de cabeza
18	272	21002	21002	B2H	Bomba Alimentación al cajón de cabeza
19	272	51037	24037	R1H	Polín prensa inferior # 2
20	272	51037	31037	M2H	Polín prensa inferior # 2
21	272	51038	24038	R1H	Polín prensa superior # 3
22	272	51038	31038	M2H	Polín prensa superior # 3
23	272	51039	24039	R1H	Polín inferior tercera prensa
24	272	51039	31039	M2H	Polín inferior tercera prensa
25	272	51025	24025	R1H	Polín accionamiento tela Fourdrinier
26	272	51025	31025	M1H	Polín accionamiento tela Fourdrinier
27	281	24003	31003	M2H	Cuchillo móvil (transversal)