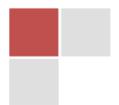




**“INSTRUMENTACIÓN PARA
MONITOREO DE LAS VIBRACIONES EN LAS
TURBINAS GENERADORAS
DEL NIVEL 1 Y 2 DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA
MALPASO”**

RESIDENCIA PROFESIONAL



**INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS**



CFE *Una empresa
de clase mundial*



**PROYECTO:
"INSTRUMENTACIÓN PARA
MONITOREO DE LAS VIBRACIONES EN LAS TURBINAS GENERADORAS
DEL NIVEL 1 Y 2 DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA
MALPASO"**

REALIZADO POR:

- **MENDOZA VELÁZQUEZ, JUAN JULIÁN GABRIEL.**

No. DE CONTROL:

07270464

INGENIERÍA MECÁNICA

ASESOR INTERNO:

- **ING. JOSÉ MANUEL RASGADO BEZARES**

ASESOR EXTERNO:

- **ING. GILDARDO JÍMENEZ RAMOS**

**Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
12 diciembre del 2011**



i. INDICE

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES	
1.1 Introducción.....	2
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Área de Participación.....	6
1.4.1 Localización geográfica.....	6
1.4.2 Características del embalse.....	7
1.4.3 Casa de máquinas.....	8
1.4.4 Características de la central.....	8
1.4.5 Pisos de la planta.....	8
1.4.6 Organigrama conceptual de la empresa.....	9
1.4.7 Características del departamento mecánico.....	10
1.5 Problemas a Resolver.....	11
1.6 Alcances y Limitaciones.....	12
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
2.1 Mantenimiento predictivo.....	14
2.2 Fenómeno vibratorio.....	15
2.2.1 ¿Qué es una vibración?.....	15
2.2.2 Vibración simple.....	15
2.2.3 Fase.....	16
2.2.4 Vibración compuesta.....	16
2.2.5 Transformada de Fourier.....	16
2.2.6 Medidas de la vibración.....	18
2.2.6.1 Desplazamiento.....	18
2.2.6.2 Velocidad.....	18

2.2.6.3 Aceleración	19
2.2.7 Descripción del fenómeno vibratorio	20
2.3 Instrumentación	20
2.4 Transductores de vibración y su tipología	22
2.4.1 Transductor de desplazamiento	23
2.4.2 Transductor de velocidad	25
2.4.3 Transductor de aceleración	26
2.4.4 Técnicas de fijación del sensor a la máquina	28

CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

3.1 Descripción de las actividades	30
3.2 Datos técnicos de la turbina	31
3.3 Estudio y reconocimiento de las turbinas	33
3.3.1 Chumacera de carga	34
3.3.2 Chumacera guía	35
3.4 Vibración relativa de la flecha	37
3.5 Sistema medición de las vibraciones	39
3.6 Selección del tipo de sensor	41
3.7 Determinación de parámetros del sensor	43
3.7.1 Tipo de salida	43
3.7.1.1 Salida digital	43
3.7.1.2 Salida analógica	44
3.8 Cálculo de parámetros	45
3.8.1 Sensibilidad	46
3.8.2 Cálculo señal de salida	46
3.8.3 Cálculo de la señal de OFFSET	46
3.9 Búsqueda de proveedores	48
3.9.1 Dimensiones del sensor	48
3.9.2 Características del sensor	49
3.9.3 Características eléctricas y electrónicas	49

3.9.4 Diagrama de conexión	50
3.10 Acondicionamiento de señal	51
3.10.1 Aislamiento de la señal.....	51
3.10.2 Cable blindado.....	52
3.11 Acondicionamiento de los sensores	55
3.11.1 Amplificación.....	55
3.11.2 Convertidor de señal corriente-voltaje.....	55
3.11.2.1 Salida Invertida.....	56
3.11.2.2 Salida NO Invertida.....	56
3.11.2.3 Cálculo de V_{OFFSET}	57
3.12 Sistema de adquisición de datos	58
3.12.1 Elementos del NI CompactDAQ	59
3.12.2 Chasis CompactDAQ.....	60
3.12.3 Módulo de adquisición de datos.....	62
3.13 Diseño del sistema de monitoreo de vibraciones	64
3.14 Memoria de cálculo	65
3.15 Programación en LABVIEW	69

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1 Resultados	73
4.2 Propuesta del sistema de monitoreo de vibraciones	74
4.3 Modelo completo de las 6 unidades	75
4.4 Plano de instrumentación del sistema	76
4.5 Plano chumacera guía generador (localización del sensor)	77
4.6 Chumacera guía turbina de unidades de la primera etapa	78
4.7 Chumacera guía inferior de unidades de la segunda etapa	79
4.8 Piso de turbinas de unidades de la primera etapa	80
4.9 Piso de turbinas de unidades de la segunda etapa	81
4.10 Plano de sala de control-oficina mecánico	82
4.11 Diagrama de conexión de los sensores	83
4.12 Cotización sensores Eddy current	84

4.13	Equipo de adquisición de datos seleccionado	85
4.14	Programa en LABVIEW	87
4.14.1	Panel de la primera etapa	88
4.14.2	Panel de la segunda etapa	89
4.14.3	Ejemplo de un subvi de una chumacera	90
4.15	Típicos de vibración de naturaleza mecánica	91
4.16	Espectros de vibración de origen eléctrico	97
4.17	Análisis de vibración eléctricos y mecánicos	102

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

5.1	Conclusión	104
5.2	Recomendaciones	106

II. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

107

III. APÉNDICE

A.1	Dimensiones y datos técnicos de la turbina	109
A.2	Funcionamiento sensor Eddy current	111
A.3	Simbología instrumentación	112
A.4	Simbología programación LABVIEW	113
A.5	Nomenclatura de letras	115
A.6	Glosario	116



CFE *Una empresa
de clase mundial*

CAPÍTULO 1: CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

La central hidroeléctrica Malpaso opera con turbinas tipo Francis las cuales aprovechan la energía cinética y potencial del agua que se hace pasar a través de ellas.

Actualmente, esta planta cuenta con 6 unidades generadoras, separadas por dos etapas. En donde la primera etapa está constituida por las unidades 1, 2, 3 y 4, que son de la marca Mitsubishi. Las unidades 5 y 6 son de la marca Escher Wyss, y corresponden a la segunda etapa.

Dentro de los mantenimientos que son: rutinario, correctivos, predictivos y general para las unidades generadoras; la planta no tiene un sistema de análisis de vibraciones para las chumaceras de carga y guías que afectarían directamente sobre el desempeño del conjunto turbina-generator.

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como tema central la instrumentación de sensores que puedan medir las vibraciones en cada una de las 6 unidades generadoras con las que cuenta la Central Malpaso bajo diferentes condiciones de trabajo, así como temperatura y factores externos.

La instrumentación permite en la actualidad el avance tecnológico en cuanto a la automatización de los procesos industriales. Instrumentar es una acción que se refiere que a través de ciertos elementos se puede sentir lo que sucede en un determinado proceso, para luego tomar una acción pre-programada que actúe sobre el sistema para obtener el resultado deseado.

Dentro de los fundamentos teóricos; el proyecto describe de forma detallada el fenómeno vibratorio: desde qué es una vibración, así como sus características y los problemas en los sistemas rotativos. Luego se hace mención a los diferentes

tipos de sensores disponibles en el mercado, estudiando sus ventajas y desventajas que tienen bajo ciertas condiciones de operación.

Después de estudiar los factores que alterarían el funcionamiento de los sensores a seleccionar y de logística en cuanto su posición de trabajo, se escogerán los adecuados de acuerdo a una cotización de empresas encargadas en el ramo para su distribución.

También se muestra los planos correspondientes de instrumentación y de colocación en sitio de los sensores. A la vez se diseñó un programa bajo la plataforma de LABVIEW usando dispositivos correspondientes a NATIONAL INSTRUMENTS para monitorear las condiciones de las unidades generadoras en cuanto al fenómeno vibratorio.

En la parte final del proyecto se muestra una serie de apéndices, los cuales ayudan a complementar la interpretación del trabajo, enseñando datos técnicos y el significado de la simbología que se utilizará en las ecuaciones así como en los distintos planos que se vayan desarrollando.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de nuevas tecnologías ha marcado tendencia o el rumbo actual de la industria. En los últimos años, la industria mecánica se ha visto bajo la influencia determinante de la electrónica y la automatización, exigiendo mayor preparación en el personal, no sólo desde el punto de vista de la operación de la maquinaria, sino desde el punto de vista de un constante monitoreo de las máquinas para un eficiente desempeño.

La finalidad del presente proyecto es cubrir una de las necesidades dentro del mantenimiento industrial, que es la medida y monitorización de las vibraciones en equipos rotativos.

Actualmente la central hidroeléctrica Malpaso no cuenta con un sistema de monitoreo de vibraciones, que permita ver y analizar los picos armónicos en las chumaceras guías y de carga que sean perjudiciales para las mismas y el eje rotativo; y así dar certidumbre a este fenómeno vibratorio

A fin de crear un sistema de medición, se empezara a instrumentar los sensores adecuados para cumplir con lo solicitado por la empresa.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

El objetivo general del proyecto es crear un sistema de medición de vibraciones para poder resolver la problemática en el mantenimiento preventivo de la planta con vistas a ser predictivo y así contribuir con una herramienta a este mantenimiento.

Lo anterior con la finalidad de evitar paros imprevistos en la planta; así como también disminuir riesgos y mejorar la calidad y confiabilidad de los equipos.

OBJETIVO ESPECÍFICO:

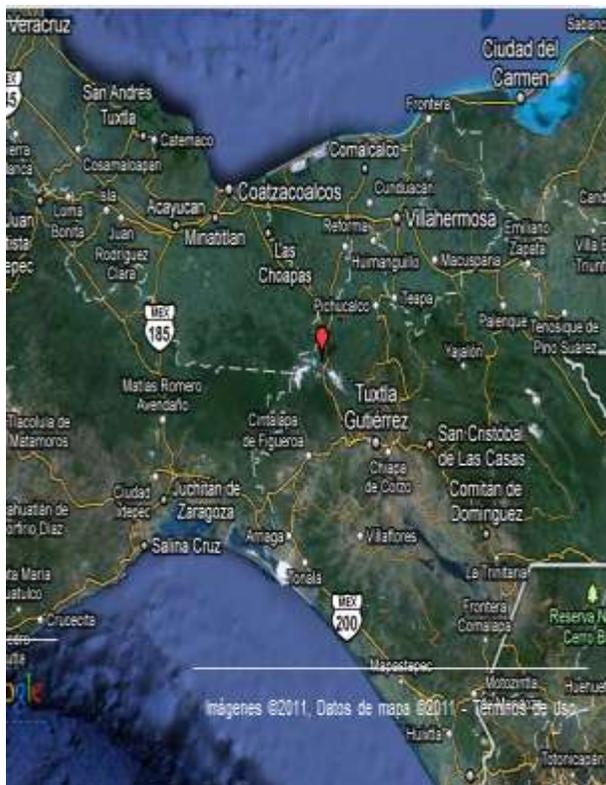
- Diseñar un sistema de monitoreo de vibraciones; seleccionando e instrumentando los sensores que se implementarán en las chumaceras guías y de carga para las seis turbinas de la central hidroeléctrica Malpaso.
- Seleccionar los dispositivos necesarios de medición y de acondicionamiento para obtener medidas adecuadas y precisas.
- Elegir el sistema de adquisición de datos adecuado así como desarrollar el software que tenga la característica de realizar el análisis del fenómeno vibratorio.

1.4 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE PARTICIPACIÓN

El proyecto que tiene como nombre “instrumentación para monitoreo de las vibraciones en las turbinas generadoras del nivel 1 y 2 de la central hidroeléctrica Malpaso”, tal como se menciona se realizó en dicha planta generadora, en las instalaciones de casa de máquinas. Dicho trabajo se hizo con la colaboración del departamento mecánico y personal del mismo.

1.4.1 Localización geográfica

La C.H. Malpaso se encuentra ubicada en los municipios de Berriozábal, Tecpatán y Ocozocuautla de Espinoza en el Noreste del estado de Chiapas, dentro de las coordenadas geográficas $93^{\circ} 45'20''$ de longitud Oeste y $17^{\circ} 00'15''$ de latitud Norte.



(a)



(b)

Fig. 1 (a) Ubicación geográfica de Malpaso en la región. (b) Localización detallada.

Comprendida en la Depresión Central de Chiapas, a 40 kilómetros al oriente del punto que concurren los límites de los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas. También localizado a 125 km de la ciudad de Cárdenas, Tabasco y a 80 km de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez

1.4.2 Características del embalse

El embalse está sobre el río Grijalva, tiene una capacidad de almacenamiento de 13 mil millones de m³ hasta la elevación 188 m.s.n.m que concierne al nivel de aguas máximas extraordinarias. Su tamaño máximo es de 30 mil hectáreas. Gracias a su capacidad se obtiene una producción de 3200 GW medio anuales de energía eléctrica.

DATOS GENERALES	
Área de la cuenca propia	9952.19 km ²
Escurrimiento medio anual (cuenca propia)	5638 x 10 ⁶ m ³
Gasto medio anual	179 m ³ /seg
Nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME)	188.00 m.s.n.m.
Nivel de aguas máximas de operación (NAMO)	182.50 m.s.n.m
Nivel de aguas mínimas de operación (NAMINO)	144.00 m.sn.m.
Volumen muerto	3,055.71 mm ³
Volumen útil	9,317.39 mm ³
Capacidad para el control de avenidas	1,638.00 mm ³
Capacidad total al NAME	4,056.00 mm ³
Área total inundada al NAME	30,000 Ha.
Nivel mínimo histórico (10-jul-	144.43 m.s.n.m

1975)	
Nivel máximo histórico (marzo-2008)	184.88 m.s.n.m

Tabla 1. Información del embalse

1.4.3 Casa de máquinas

La casa de máquinas es de tipo subterráneo y se localiza a un lado de la cortina. Está labrada en una caverna de conglomerado, totalmente revestida de concreto de 21.70 mts. De ancho en la bóveda hasta el nivel de trabe carril y de 20 mts. De ancho desde este nivel hasta el piso de turbinas.

1.4.4 Características de la central

La planta hidroeléctrica está constituida de dos etapas en donde la primera la forman las unidades generadoras de la 1 a la 4, y la segunda la integran las 5 y 6. Cada unidad tiene una capacidad instalada de 180 MW, así como un total de 1080 MW.

Las unidades 5 y 6 son máquinas que además de funcionar como generadoras, también la pueden hacer como condensadores síncronos con el motivo de eliminar la potencia reactiva.

1.4.5 Pisos de la planta

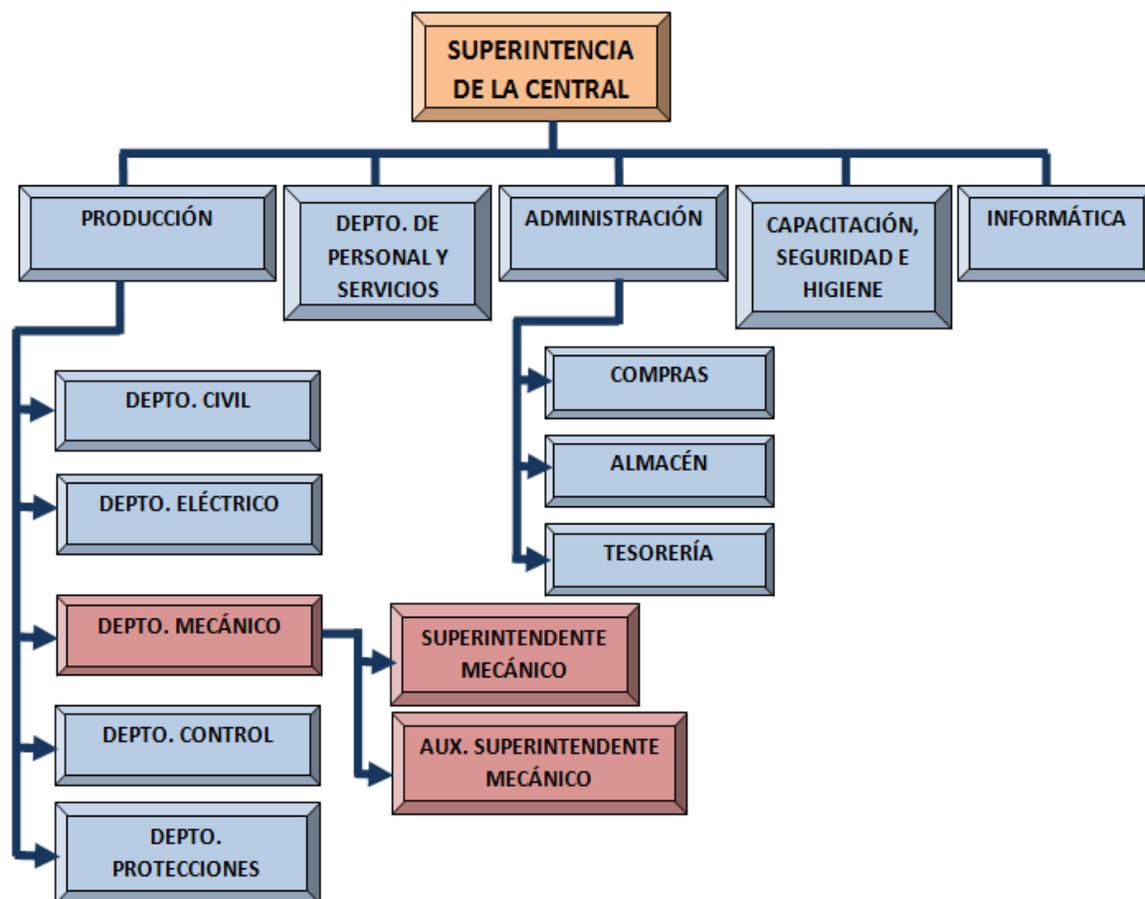
De manera general, la presa consta de 6 pisos diferentes, en donde se pudo tener participación y hacer un recorrido para reconocer la planta con el objetivo de saber cómo se constituía el conjunto turbina-generador y así obtener datos en campo sobre los componentes que interesan en la investigación del proyecto como lo son: chumaceras de carga, guía turbina y guía generador.

A continuación se hace mención de cada piso de la central.

Piso de excitación	89.50 m.s.n.m
Piso de generadores	85.00 m.s.n.m
Piso de turbinas	81.50 m.s.n.m
Piso de turbina auxiliar	76.50 m.s.n.m
Piso de válvulas	71.50 m.s.n.m
Piso de aspiración	65.50 m.s.n.m

Tabla 2. Altura de los pisos en la planta

1.4.6 Organigrama conceptual de la empresa



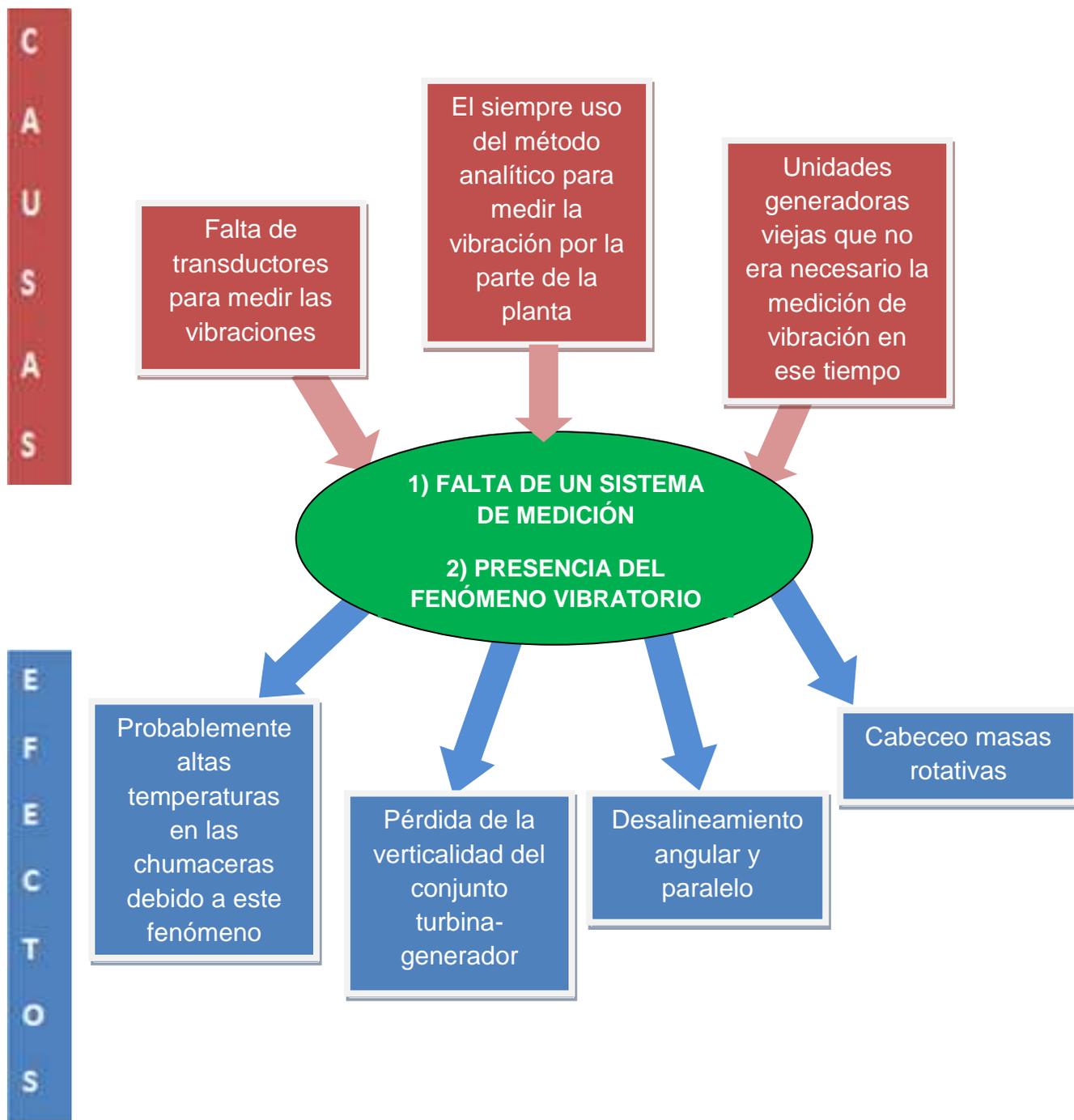
1.4.7 Características del departamento mecánico

En esta área se realizará el desarrollo de recolección de datos, planos e imágenes, así como también la logística para el desarrollo del proyecto.

Esta área está encabezado por el superintendente mecánico, cuyo responsable es el ingeniero Gildardo Jiménez Ramos. Apoyado también de la oficina del auxiliar del superintendente mecánico, ocupada por el ingeniero Miguel Ramos Utrilla. Finalmente, el trabajo planeado por las dos anteriores oficinas es realizado por personal de base sindicalizado.

1.5 PROBLEMAS A RESOLVER

Los problemas que pretende resolver el proyecto “Instrumentación para monitoreo de las vibraciones en las turbinas generadoras del nivel 1 y 2 de la central hidroeléctrica Malpaso” se presentan en el siguiente árbol de problemas.



1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1 ALCANCE

Los alcances obtenidos durante el desarrollo del proyecto son los siguientes:

- Resolver un problema de la empresa para fortalecer dentro del mantenimiento predictivo de la misma
- Conocimiento sobre el fenómeno vibratorio de las seis unidades generadoras con las que cuenta la planta.
- Analizar las tendencias de frecuencia-amplitud con las que trabaja las chumaceras guía generador y guía turbina
- Proponer planos que muestren la instrumentación de los sensores de vibración en las chumaceras de las unidades.

1.6.2 LIMITACIONES

Las limitaciones del proyecto son primordialmente:

- El espacio requerido ya sea en la chumacera de carga o guía en las unidades generadoras para la colocación de los sensores de vibración.
- El acabado de las paredes de la flecha del conjunto turbina-generador.
- Lograr totalmente la señal de vibración de campo debido a factores como el ruido y la distancia de transmisión de la misma a dos puntos lejanos.
- Adquisición de datos en planos de instrumentación.



CFE *Una empresa
de clase mundial*

CAPÍTULO 2:

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo está basado en la determinación del estado de la máquina en operación. El concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes del que fallen y este mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones.

Se trata de realizar ensayos no destructivos, como pueden ser análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, medida de vibraciones, medición de temperaturas, termografías, etc.



Fig. 2 Medición de vibraciones

El mantenimiento predictivo permite que se tomen decisiones antes de que ocurra el fallo: cambiar o reparar la máquina en una parada cercana, detectar cambios anormales en las condiciones del equipo y subsanarlos, etc.

2.2 FENÓMENO VIBRATORIO

2.2.1 ¿Qué es una vibración?

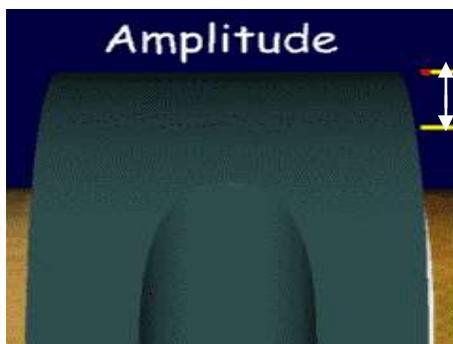


Fig. 3 Oscilación de una máquina

En términos muy simples una vibración es un movimiento oscilatorio de pequeña amplitud. Todos los cuerpos presentan una señal de vibración en la cual plasman cada una de sus características. De acuerdo a esto, las máquinas presentan su propia señal de vibración y en ella se encuentra la información de cada uno de sus componentes. Por tanto, una señal de vibración capturada de una máquina se compone de la suma de la vibración de cada uno de sus componentes.

2.2.2 Vibración Simple

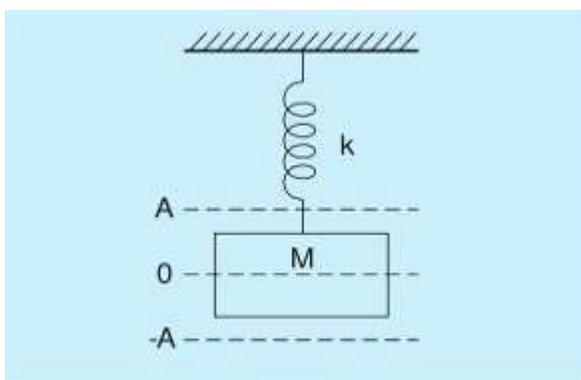


Fig. 4 Masa suspendida en un muelle.

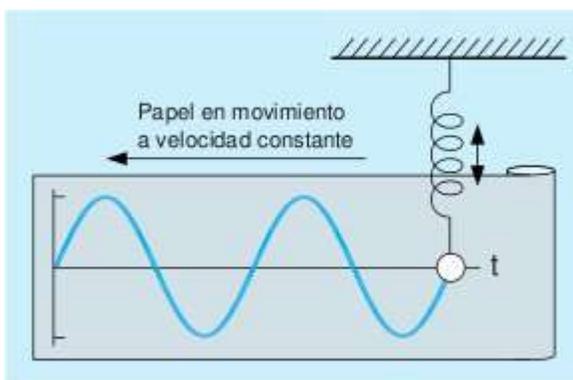


Fig. 5 Movimiento armónico simple.

La base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales. Estas son las más simples y son la representación de las oscilaciones puras. Una oscilación pura puede representarse físicamente con el

siguiente experimento: una masa suspendida de un muelle. Si esta masa es soltada desde una distancia A , en condiciones ideales, se efectuará un movimiento armónico simple que tendrá una amplitud A .

2.2.3 Fase

Es una medida de la diferencia de tiempo entre dos ondas sinusoidales. Aunque la fase es una diferencia de tiempo, siempre se mide en términos de ángulo, en grados o radianes. Eso es una normalización del tiempo que requiere un ciclo de la onda sin considerar su verdadero período de tiempo.

La diferencia en fase entre dos formas de onda se llama desfase o desplazamiento de fase

2.2.4 Vibración compuesta

Una vibración compuesta es la suma de varias vibraciones simples. La vibración de una máquina es una vibración compuesta de una serie de vibraciones simples asociadas a sus componentes internos en movimiento. Teniendo esto en cuenta, se deduce que la forma de onda de vibración de una máquina no es una señal sinusoidal sino que puede llegar a ser muy compleja.

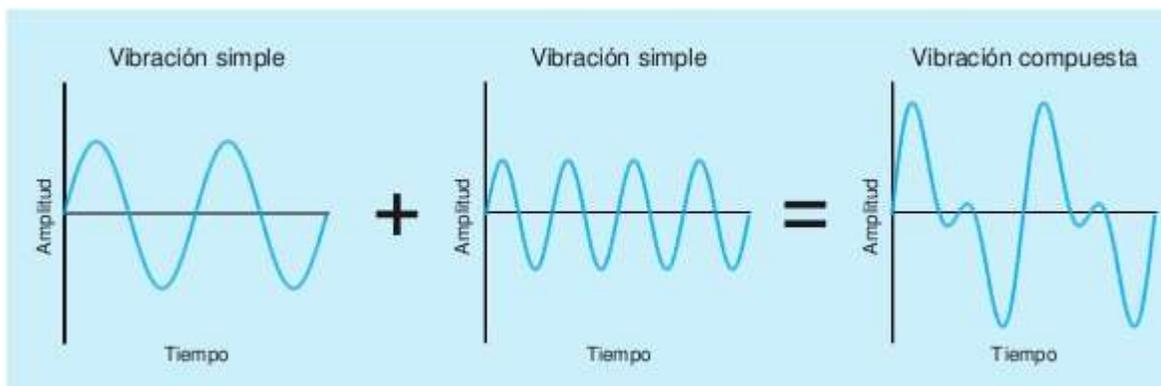


Fig. 6 Suma de vibraciones simples en el dominio del tiempo.

2.2.5 Transformada de Fourier

En un análisis de vibraciones, en las señales se encuentra plasmada toda la información acerca del comportamiento de cada componente de la máquina.

Existen varias formas para realizar un estudio de vibraciones, entre las cuales se encuentra analizar las señales en el dominio de la frecuencia. Para ello se emplea la gráfica de amplitud frente a frecuencia que es conocida con el nombre de espectro. Esta es la mejor herramienta que se tiene actualmente para el análisis de maquinaria.

El matemático francés Jean Baptiste Fourier (1768 - 1830) encontró la forma de representar una señal compleja en el dominio del tiempo por medio de series de curvas sinusoidales con valores de amplitud y frecuencia específicos.

La función de un analizador de espectros que trabaja con la transformada rápida de Fourier es capturar una señal de una máquina, calcular todas las series de señales sinusoidales que contiene la señal compleja y por último mostrarlas de forma individual en una gráfica de espectro.

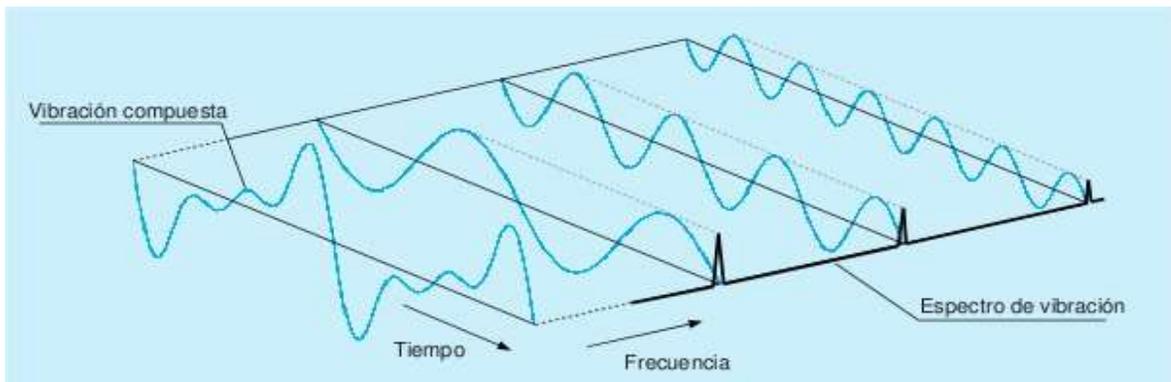


Fig. 7 Procesado FFT de una onda vibratoria compleja.

En la figura 7 se puede ver la señal de vibración compuesta, capturada desde una máquina. A dicha señal se le calculan todas las señales sinusoidales en el dominio del tiempo que la componen y por último se muestra cada una de ellas en el dominio de la frecuencia. Por tanto, empleando la transformada de Fourier se puede apreciar la suma de vibraciones simples y representar exactamente la misma operación en el dominio de la frecuencia como se muestra en la fig. 8, con la particularidad de que en este caso resulta obvio obtener las frecuencias y amplitudes de las dos componentes originales a partir del espectro resultante.

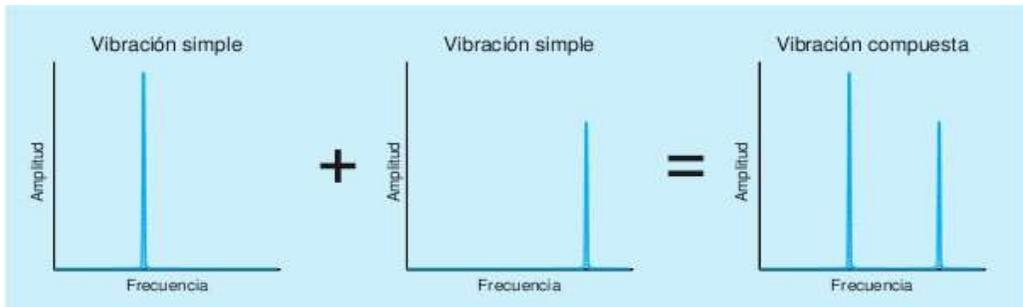


Figura 8. Suma de vibraciones simples en el dominio de la frecuencia.

2.2.6 Medición de las vibraciones

2.2.6.1 Desplazamiento

El desplazamiento es la distancia al objeto desde una posición de referencia o punto de equilibrio. Generalmente, suele ser el mejor indicador de la severidad de vibración en las bajas frecuencias. Típicamente, en la gama de frecuencias por debajo de los 600 cpm.

El desplazamiento alto produce (rotura) debido a esfuerzo. Las unidades son:

- Unidades Imperiales o Inglesas: Mils (1 mil = 0.001")
- Unidades Métricas ::Micrones (1 μm = 0.001 mm)
- Conversion::1 Mil = 25.4 μm

2.2.6.2 Velocidad

La velocidad se define como la proporción de cambio en el desplazamiento. Mide la máxima rapidez con que un transductor viajaría durante un ciclo. Esta en relación directa con la severidad de la vibración.

Este parámetro de medición es el preferido, ya que abarca una gama de frecuencias entre 600 y 60,000 ciclos por minutos. También mide la probabilidad de falla por fatiga y sus unidades son:

- Inglés o "Imperial": Pulgadas por segundo (ins or in/seg)
- Métricas : milímetros por segundo (mm/seg)
- Conversión: 1 ins = 25.4 mm/seg

2.2.6.3 Aceleración

La aceleración se define como la proporción de cambio en la velocidad y se mide en g (la aceleración promedio debida a la gravedad en la superficie de la tierra) o mm/s². Se maneja a altas frecuencias (EJM. 60 000 CPM Ó MAS), para este caso es el mejor indicador de la severidad de vibración.

Cuando el desplazamiento está en su máximo, la velocidad vale cero, porque esa es la posición en la que la dirección del movimiento se invierte. Cuando el desplazamiento vale cero (en el punto de equilibrio), la velocidad estará en su máximo., la velocidad está adelantada 90 grados con respecto al desplazamiento. La aceleración es la proporción del cambio de velocidad. Cuando la velocidad está en su máximo, la aceleración vale cero ya que la velocidad no cambia en ese momento. Cuando la velocidad vale cero, la aceleración está en su máximo en ese momento dado que es cuando más rápido cambia la velocidad. Se deduce que la aceleración tiene un avance de 90 grados respecto a la velocidad y de 180 grados respecto al desplazamiento.

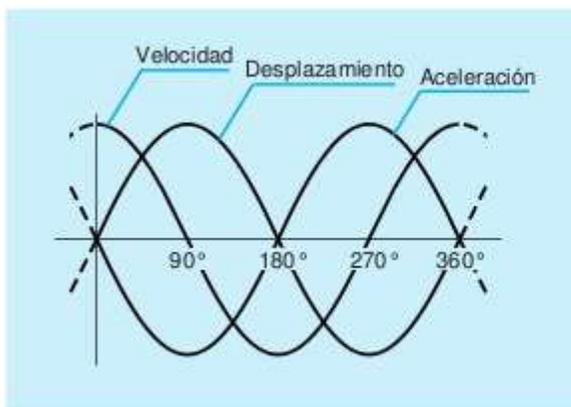


Fig. 9 Desfase entre magnitudes

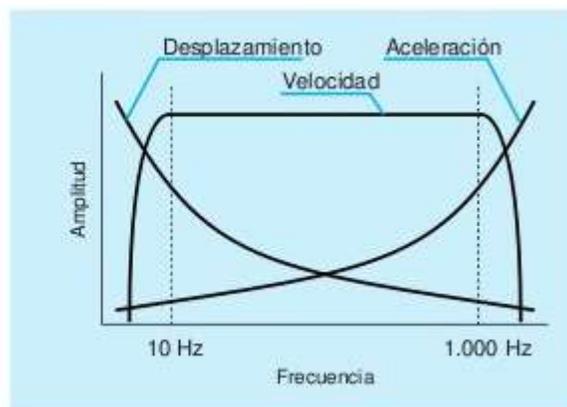


Fig. 10 Magnitudes en frecuencia

2.2.7 Descripción del fenómeno vibratorio

Las máquinas generan vibraciones como consecuencia de la dinámica de su funcionamiento. Estas vibraciones evidencian en principio la puesta en juego de un potencia mecánica no utilizable (salvo en las vibraciones), con la consiguiente pérdida de rendimiento. Además pueden actuar como fuente de excitación secundaria, generando a su vez vibraciones resonantes con las frecuencias propias de la estructura de la máquina. Por todo ello las vibraciones deben ser eliminadas, a ser posible, en su origen, o en su defecto deben ser absorbidas, aunque esto implica la degradación de los materiales que absorben esta energía no deseada, además de la dificultad y encarecimiento que esto supone.

Las vibraciones de las máquinas son fundamentalmente de dos tipos: relativas y absolutas.

- **Vibraciones relativas** las que tienen los órganos en movimiento con relación a las partes fijas de la máquina. Este es el caso de ejes y rotores en las máquinas rotativas y de bielas, pistones y cigüeñales en las máquinas alternativas. La magnitud que se detecta para definir el estado vibratorio es siempre el desplazamiento. Algunos tipos de captadores utilizados son los inductivos o los basados en las corrientes de Foucault, sin contacto.
- **Vibraciones absolutas** son las que tienen las partes fijas de la máquina ya que la base o fundamento se considera unida al sistema de referencia. Estas vibraciones son las transmitidas a través de cojinetes y soportes, y las que se generan como respuesta resonante de la estructura a las excitaciones de las vibraciones transmitidas.

Las vibraciones de las máquinas pueden estar justificadas como consecuencia de su funcionamiento dinámico, o ser resultado de malfuncionamiento en su origen, o reveladoras de resonancias estructurales.

2.3 INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación de forma generalizada se puede entender como la incorporación de diferentes componentes cuya finalidad es garantizar que el proceso industrial se realice dentro los parámetros especificados. Además, este grupo de elementos sirven para medir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en un proceso industrial.

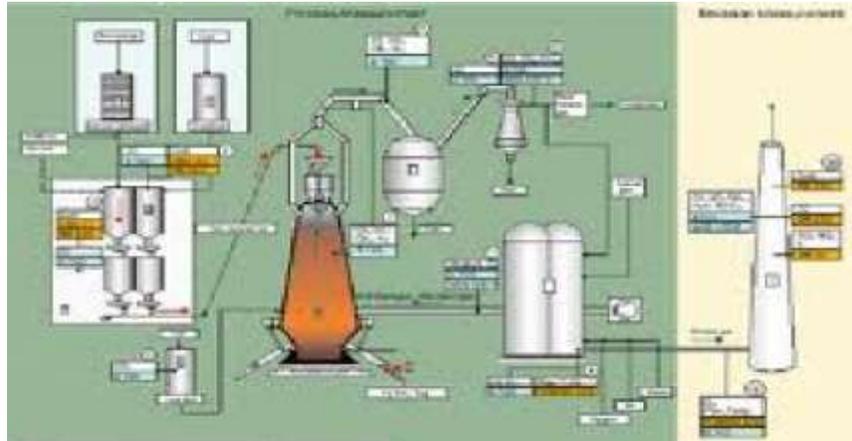


Fig. 11 Instrumentación para un proceso industrial



Fig. 12 Ejemplos instrumentos de medición

Una de las herramientas que es importante en la instrumentación son los instrumentos de medición.

Los instrumentos de medición como su nombre lo indica son aquellos destinados a la verificación de una variable física pudiendo tener diferentes grados de precisión.

En ingeniería mecánica las variables fundamentales son velocidad, presión, volumen y temperatura. Para el desarrollo de este proyecto, la variable a instrumentar será las vibraciones.

La confiabilidad de los instrumentos nos da el grado de certeza en los resultados y conclusiones a las que podamos llegar al comprobar el sistema.

2.4 TRANSDUCTORES DE VIBRACIÓN Y SU TIPOLOGÍA

El transductor es el elemento que transforma la vibración mecánica en una señal eléctrica analógica, para ser procesada, medida y analizada. De acuerdo a su construcción, hay transductores de vibración de desplazamiento, velocidad y aceleración, cada uno de ellos idóneo a cada aplicación industrial.

Todos los transductores deben ser precisos a la hora de tomar las lecturas de amplitud, ofreciendo repetibilidad (dos señales de la misma amplitud tendrán que generar en el transductor la misma salida de tensión). Los transductores también deben ser muy precisos en la información de frecuencias de la señal mecánica. Esto es fundamental pues, en muchos defectos mecánicos, la relación entre sus frecuencias y la frecuencia del eje de giro que se toma como referencia, proporciona al analista la información precisa para determinar la naturaleza del defecto mecánico que genera la vibración.

Los tipos diferentes de transductores responden a parámetros diferentes de la fuente de vibración, como se puede ver en la tabla.

TIPO	SENSIBLES A
Transductor de desplazamiento o sonda de proximidad	Desplazamiento
Transductor sísmico de velocidad o sonda de velocidad	Velocidad
Transductor piezoeléctrico o acelerómetro	Aceleración

2.4.1 Transductor de desplazamiento



Fig. 13 Transductores Eddy Current

El transductor de desplazamiento, conocido también como transductor "de corriente Eddy" o proxímetro, se aplica normalmente para bajas frecuencias (por debajo de 1.000 Hz) en cojinetes de fricción de turbomáquinas.

- Los proxímetros se emplean para medir el desplazamiento radial o axial de ejes.
- Se instalan en las cubiertas de rodamientos o a su lado y detectan el desplazamiento del eje en relación a su posición de anclaje.
- Un sistema de captación de proximidad de tipo Eddy se compone del propio sensor y un acondicionador de señal.
- Su respuesta en frecuencia es excelente.
- No tienen un límite inferior de frecuencia de trabajo y se emplean en la medición tanto de vibración como de la posición axial de ejes.

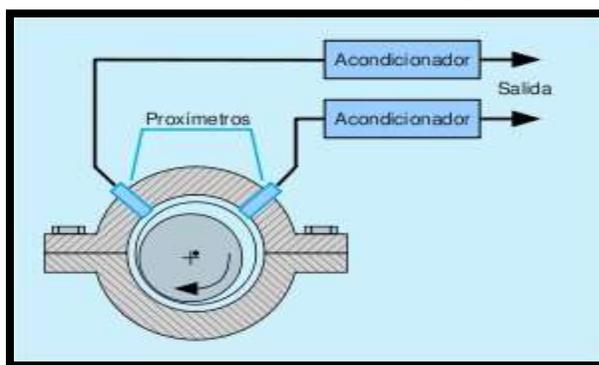


Fig. 14 Proxímetros en un cojinete.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>1) Mide el movimiento relativo entre su punta y el eje de giro.</p>	<p>1) Estos transductores deben instalarse permanentemente. Esto es siempre costoso, e incluso imposible en algunos casos.</p>
<p>2) Su empleo es de especial utilidad en maquinaria rígida donde se transmite muy poca vibración a la carcasa de la máquina. Esta situación se da si la masa de la carcasa es del mismo orden de magnitud que la del eje.</p>	<p>2) El rango de frecuencias está limitado en cierto modo respecto a otros modernos transductores típicamente lineales entre 0-1.000 Hz.</p>
<p>3) Mide tanto la componente continua como alterna de una señal vibratoria. La tensión continua permite localizar físicamente el eje en el cojinete objeto de estudio. La tensión alterna suministra información de la forma de onda y del espectro de vibración, lo que permite diagnosticar y observar la evolución de defectos mecánicos.</p>	<p>3) Los transductores de desplazamiento se ven afectados por errores de lectura eléctricos y mecánicos. Incluso pequeñas grietas en el eje pueden hacer que el transductor las interprete como una gran actividad de vibración.</p>
	<p>4) Se requiere un acondicionador de señal</p>

2.4.2 Transductor de velocidad

Este tipo de dispositivo fue desarrollado para su uso industrial por primera vez a finales de los años 40 por Arthur Crawford, y su aplicación se extendió durante los años 60 y 70.

El transductor sísmico de velocidad se aplica a máquinas donde el eje transmite la vibración a la carcasa con poca amortiguación, es decir, las amplitudes de vibración en la carcasa son grandes. Se compone de un imán permanente ubicado en el centro de una bobina de hilo de cobre. Cuando la carcasa vibra, se crea un movimiento relativo entre el imán y el bobinado, induciéndose por la ley de Faraday una tensión proporcional a la velocidad del movimiento.

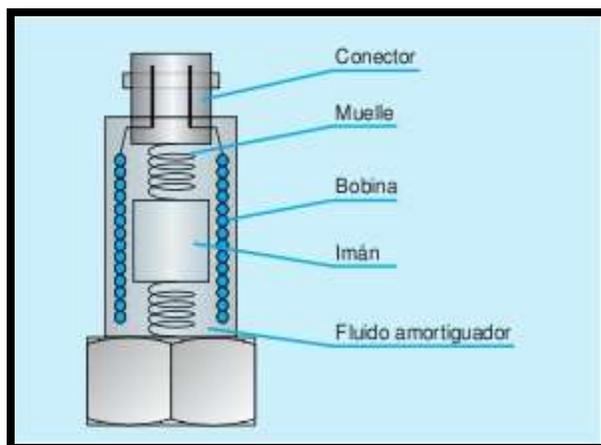


Fig. 15 Transductor sísmico de velocidad.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Mide directamente la velocidad, que es proporcional a la severidad de la vibración. • No se necesita fuente externa de alimentación, lo que permite enviar la señal eléctrica a lo largo de grandes distancias por cable, haciéndolo ideal para aplicaciones donde queden lejanos e instalados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las dimensiones del transductor son relativamente grandes, necesitando grandes bases magnéticas para su sujeción. En consecuencia, el rango de frecuencias es, en cierto modo, restrictivo: 10-1.000 Hz. ▪ La salida del transductor depende de la temperatura. A

permanentemente.

- Sólo requiere una simple diferenciación o integración para convertir la señal a otras unidades de amplitud. Esto repercute en una mejor calidad del postprocesado de datos.
- Tienen una relación de señal muy buena respecto al ruido eléctrico de su rango de frecuencia de uso.

elevadas temperaturas, la salida se reduce al debilitarse el campo magnético. Sin embargo, se han desarrollado transductores específicos para altas temperaturas.

- La orientación de la medida, vertical u horizontal del transductor puede alterar la señal de salida del orden de un 5-10%.
- La calibración puede perderse por el desgaste y la temperatura.

2.4.3 Transductor de aceleración

Este tipo de transductor genera una tensión eléctrica proporcional a la aceleración por presión sobre un cristal piezoeléctrico.

Un acelerómetro piezoeléctrico puede captar con precisión señales entre 1 Hz y 15.000 Hz. Estos dispositivos son muy apropiados para tomar datos de vibración a alta frecuencia, donde aparecen grandes esfuerzos con desplazamientos relativamente pequeños. Algunos transductores especiales pueden medir frecuencias mucho más bajas y también mucho más altas. La recogida de datos de vibración a altas frecuencias depende del medio de fijación del transductor a la máquina.

Un velocímetro piezoeléctrico se construye igual que un acelerómetro, pero con un amplificador de señal que realiza una integración lógica. Como esta etapa de integración se hace dentro del velocímetro, la salida de señal viene en unidades de velocidad. El velocímetro aprovecha las buenas características de respuesta en

frecuencia de un acelerómetro, de modo que genera una salida lineal en un rango de frecuencia mucho mayor que el velocímetro sísmico.

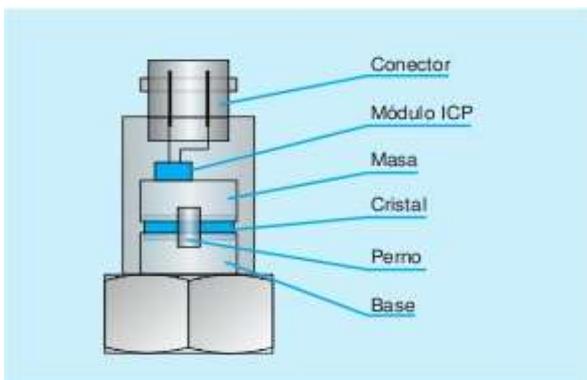


Figura 16. Transductor piezoeléctrico.



Figura 17. Acelerómetro piezoeléctrico.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • La mayoría de los sensores tiene un amplio rango de frecuencia, normalmente entre 2 Hz y 15.000 Hz. Hay que observar que la respuesta en frecuencia depende del tipo de montaje del sensor en la máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se usa en modo "hand-held" o "stinger" para medir altas frecuencias, la respuesta de señal es muy pobre por encima de 1.200 Hz.
<ul style="list-style-type: none"> • Estos transductores son muy compactos, sin partes móviles, ligeros y de tamaño reducido, necesitando pequeñas bases magnéticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los acelerómetros necesitan una fuente de alimentación externa.
<ul style="list-style-type: none"> • Se montan fácilmente con adhesivos o atornillados. También se puede disponer de bases magnéticas para montajes temporales o aplicaciones especiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • La salida de amplitud viene dada en unidades de aceleración. Esta salida debe ser integrada para obtener la representación espectral o el valor global de amplitud de velocidad.

2.4.4 Técnicas de fijación del sensor a la máquina

Existe un aspecto de gran importancia relativo a la colocación de los sensores de contacto. El método de sujeción del sensor en la máquina determina directamente el corte de altas frecuencias, ya que el contacto sensor-máquina actúa como un filtro mecánico. En la tabla 3 se muestra la frecuencia límite según las distintas formas de sujeción de los sensores que aparecen en la fig. 18 agrupadas como temporales y permanentes.

Es preferible sujetar el sensor con la mano de forma directa sobre el punto a medir a utilizar varillas de extensión que actúan como amortiguadores. El mejor método de sujeción es, evidentemente, atornillando el sensor a la superficie de la máquina donde se va a medir, aunque, por su coste, solamente se utiliza este método en sistemas de monitorización en continuo. Para capturar señales a muy alta frecuencia (de 6 a 8 kHz), se recomienda la utilización de grasas y pegamentos a base de silicona. En general, en la industria es muy difícil obtener medidas fiables de vibraciones a frecuencias por encima de 5 kHz. Los analizadores de vibraciones modernos disponen de rangos de frecuencia para medidas lineales que están muy por encima de los rangos de respuesta lineal de los sensores.

Forma de fijación	Frecuencia máx. (Hz)
Sujeción manual	2000
Montaje con imán	5000
Montaje con adhesivo	6000
Montaje atornillado	7000

Tabla 3. Límite frecuencial según la fijación.

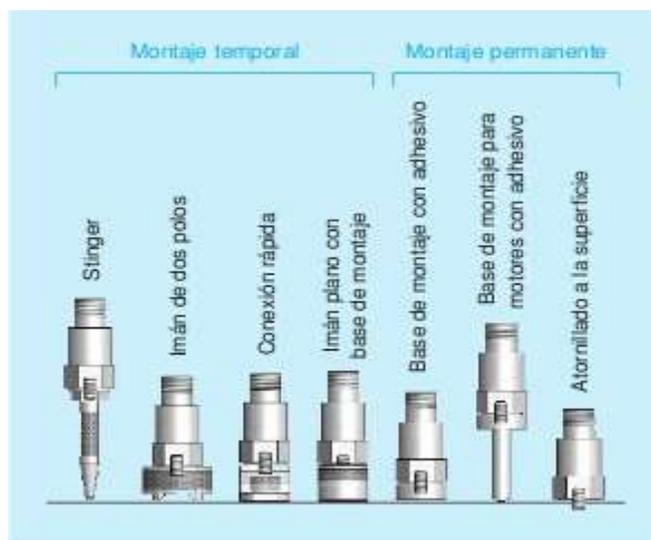
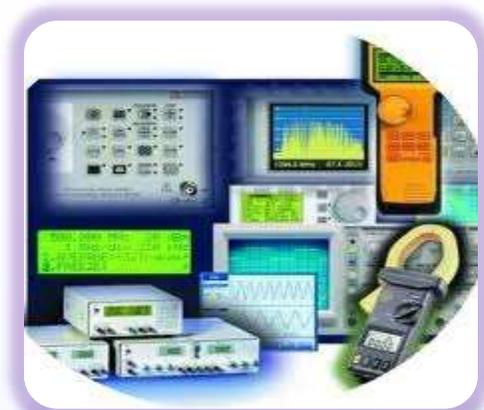


Fig. 18 Tipos de montaje



CFE *Una empresa
de clase mundial*

CAPÍTULO 3: PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

El proyecto de residencia con nombre: **“Instrumentación para Monitoreo de las vibraciones en las turbinas generadoras del nivel 1 y 2 de la central hidroeléctrica Malpaso”**, se realizó durante el período del presente semestre que inició el 22 de agosto y culminó el 9 de diciembre del 2011 cubriéndose un total de 680 horas con un horario de lunes a viernes de 8:00 a 15:30 horas.

Durante el período de estancia se realizaron las actividades necesarias para cumplir con el objetivo del proyecto, que a continuación se muestran a detalle:

- 1) Recolección de datos técnicos
- 2) Estudio y reconocimiento de las turbinas
- 3) Análisis de factores para la medición de vibraciones
- 4) Investigación del fenómeno vibratorio
- 5) Búsqueda de proveedores
- 6) Programación para desarrollo de software
- 7) Cotización de equipo

3.2 DATOS TÉCNICOS DE LA TURBINA

La turbina es de eje vertical de un solo rodete tipo Francis con caja espiral y tubo de aspiración acodado, la rotación de la turbina es en el sentido de las manecillas del reloj cuando se mira hacia abajo sobre la unidad.

La turbina está diseñada y construida como sigue:

- El cojinete de carga de la unidad es proporcionado en la turbina y localizado en la cubierta o tapa superior (escudo superior).
- Las partes de la turbina removibles son: rodete, flecha principal, cojinete guía principal, el cojinete de carga, el soporte del cojinete de carga, el escudo superior , los anillos de desgaste, las placas de desgaste, el mecanismo de los álabes, pueden ser desmontados desde arriba y a través de la turbina y el foso del generador.
- Todas las partes pesadas de la turbina están provistas de pernos, argollas o dispositivos de izaje para facilitar el manejo o maniobras con la grúa de la casa de máquinas.

La turbina tienen una capacidad de 250 000 CV con la abertura total de los álabes y una gasto de $240\text{m}^3/\text{s}$ cuando opera a 128.57 rpm bajo un salto efectivo de 85.

DATOS RELEVANTES PARA EL FENÓMENO VIBRATORIO
VELOCIDAD DE LA TURBINA
<ul style="list-style-type: none"> ➤ LA VELOCIDAD NORMAL DE LA TURBINA ES DE 128.57 rpm. ➤ La velocidad de embalamiento de la turbina es de 254 rpm con la apertura máxima de los álabes y bajo un salto máximo a la elevación de 176 m.sn.m

CONSTRUCCIÓN DEL RODETE

- Por lo general, el rodete de la turbina tipo FRANCIS está fabricado de acero inoxidable al 13% de cromo y fundido en una sola pieza.
- El rodete debe contar con la suficiente resistencia para soportar su propio peso y el peso de la flecha principal cuando esta desconectado del collar de carga.

CONSTRUCCIÓN FLECHA DEL GENERADOR

- La flecha principal transmite la potencia desde el rodete de la turbina a la flecha del generador.
- La flecha está fabricada de acero forjado tratado al calor en igual forma las bridas para el acoplamiento para la conexión con el rodete y para el anillo de carga.
- La flecha de la turbina se acopla a la flecha del generador a través del anillo de carga.

SALTO EFECTIVO SIN VIBRACIONES

La turbina operara satisfactoriamente sin torbellinos, vibraciones o desequilibrio dinámico, con todos los álabes abiertos o potencia de salida dentro de los rangos principales de 95.5 a 60 m.

Tabla 4. Información de la turbina

3.3 ESTUDIO Y RECONOCIMIENTO DE LAS TURBINAS

Se reconoció la central, para conocer como estaban constituidas las diferentes unidades de la primer y segunda etapa, así como sus características de cada una de ellas.

Por lo tanto, unas de las primeras actividades que se hicieron en las primeras semanas fue:

- Recorrido en los diferentes pisos de la planta: piso de excitación, de turbinas, de turbina auxiliar, de válvulas y de aspiración.
- Información sobre la constitución de las turbinas.

De la información en manuales e instructivos se describe que las 6 unidades generadoras son de tipo colgante de eje vertical.

Como se menciona antes, las primeras cuatro turbinas (1-4) de la primera etapa son de la marca Mitsubishi de fabricación japonesa y las turbinas 5 y 6 de la segunda etapa son de la marca Escher Wyss de fabricación alemana.

Para afines del proyecto y de manera general, se estudia que cada unidad consta de sus chumacera de carga y chumaceras guías (en el generador y en la turbina). A continuación se muestra un esquema generalizado de cada unidad.

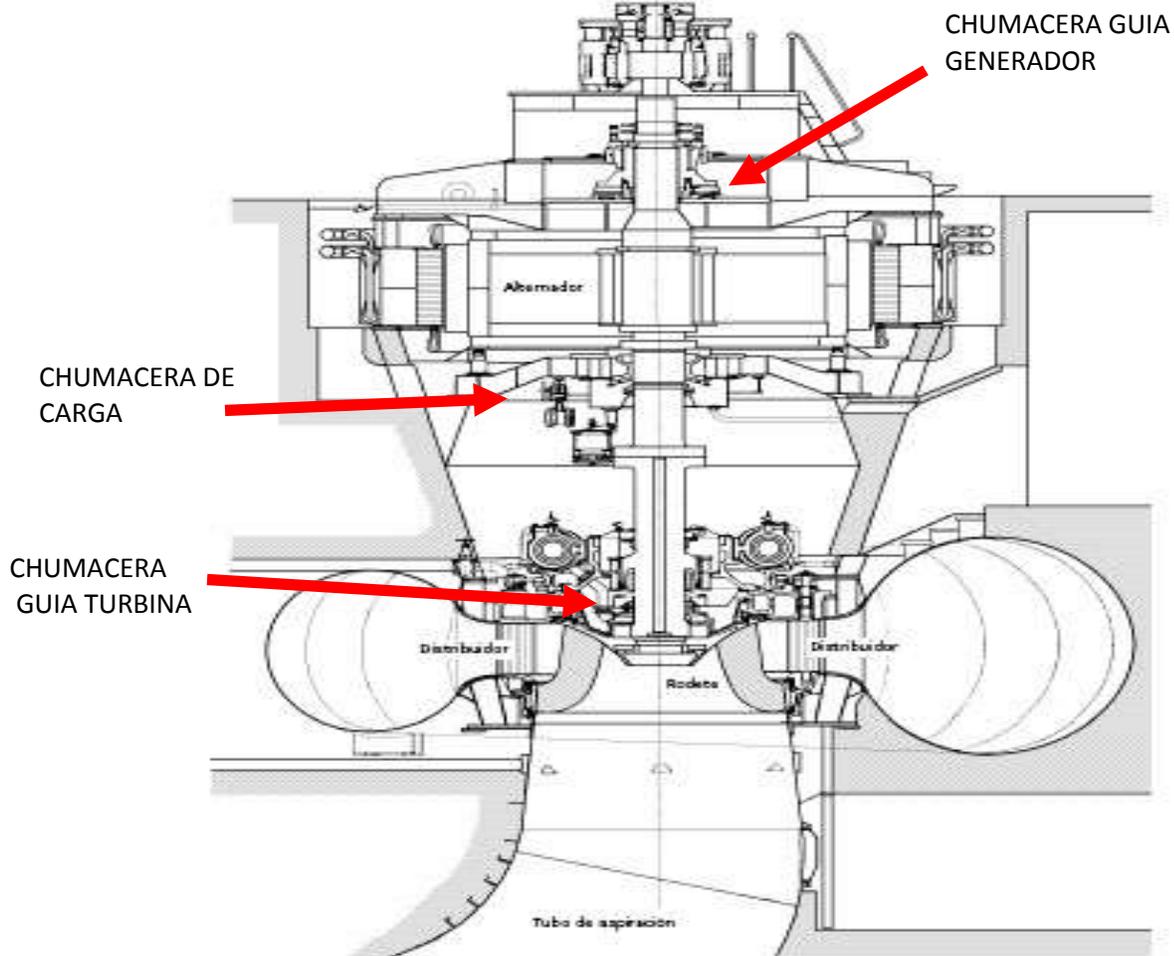


Fig. 19 Ubicación de chumaceras en una unidad generadora

3.3.1 Chumacera de carga

En una unidad generadora de eje vertical, la chumacera de carga soporta el peso de la masa giratoria de la unidad, además del empuje hidráulico de la turbina (para las de reacción). Existen dos tipos de chumaceras de carga usados en unidades hidroeléctricas: el Kingsbury y el Mitchel.

Las Kingsbury, pueden ser de dos formas:

1. Segmentos ajustables (tubos o pernos de compresión)
2. Segmentos autonivelables (con placas autoniveladoras, con anillo de diafragmas de vasos comunicantes y chumacera semirrígida)

Para el caso de la central, las chumaceras de carga son de segmentos ajustables. Este tipo de chumacera consiste en ajustar sus zapatas mediante pernos o tubos roscados, igualando las cargas.

Para fines del proyecto, no se colocarán sensores de vibración en las chumaceras de carga en las unidades generadoras ya que el desplazamiento axial de la flecha es casi nulo y según registros no es necesario realizar esta medición.

3.3.2 Chumacera guía

Las chumaceras guía son los elementos que mantienen la masa rotativa centrada y soportan las cargas radiales, permitiendo el giro de la flecha a las velocidades requeridas. Normalmente las chumaceras guía están instaladas en la parte superior e inferior del generador, así como en la parte superior de la tapa de la turbina, en unidades de eje vertical, y en las unidades de eje horizontal la ubicación de las chumaceras es similar, no obstante estas soportan el peso de las masas rotativas. Las chumaceras guía deben contar con sistema de lubricación (natural o forzado), capaces de soportar los arranques y paros sin daños, así como de velocidades de desboque de la unidad por lo menos hasta por 30 minutos.



Fig. 20 Estructura de una chumacera guía

Las unidades de la primera etapa (1-4) se componen de dos chumaceras guías; una se localiza en el generador y la otra en turbina, recibiendo el nombre de donde se encuentran (chumacera guía generador y guía turbina).

Para el caso de las unidades de la segunda etapa (5 y 6) se constituyen de tres chumaceras guías, una colocada en el generador y dos en la turbina llamadas guía superior e inferior. Pero a diferencia de las unidades de la primera etapa, la chumacera guía superior se combina con la de carga (chumacera combinada).

Dentro de los instructivos se investigó los huelgos de las chumaceras guías en las 6 unidades generadoras; los cuales son datos importantes para fines del proyecto para establecer y usarlos de parámetro en la amplitud de la vibración.

HUELGO DE LAS CHUMACERAS GUÍAS	
GUIA GENERADOR	0.15 mm
GUÍA TURBINA	0.30 mm

Tabla 5. Valores de claros de las chumaceras guías

3.4 VIBRACIÓN RELATIVA DE FLECHA

Este criterio se llama así a la medición hecha a la flecha o muñón con sensores de desplazamiento apoyados sobre la cubierta de la chumacera. Logística que se aplicará en este proyecto debido a las características físicas y geométricas de las chumaceras guías con las que cuenta la central Malpaso.



Fig. 21 Chumacera guía generador

Fig. 22 Chumacera guía turbina

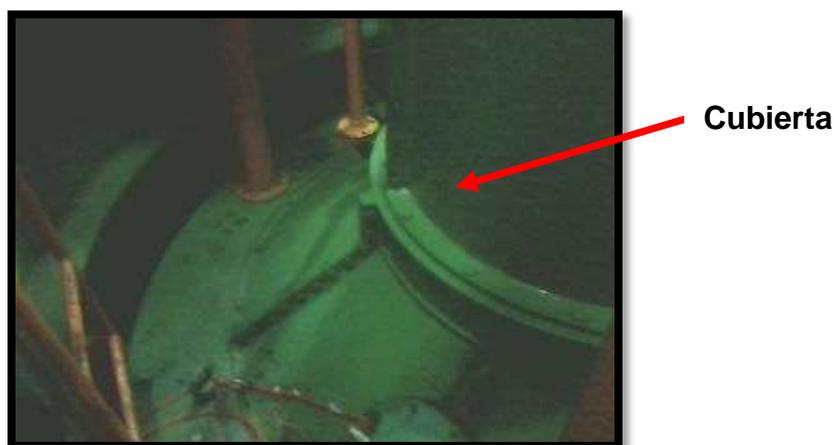


Fig. 23 Chumacera guía inferior

El criterio de severidad para esta medición se establece en función del límite máximo de estabilidad de la película de aceite en la chumacera con la referencia del huelgo diametral entre muñón y apoyo.

CRITERIO	CÁLCULO
LÍMITE DE PELIGRO (NO OPERAR)	VIBRACIÓN MAYOR AL 30% DEL HUELGO
CRITERIO DE ALARMA (TOMAR ACCIÓN)	15% DEL HUELGO
OPERACIÓN NORMAL	10% DEL HUELGO
EXCELENTE MÁQUINA NUEVA RECIÉN REPARADA	7 % DEL HUELGO

Tabla 6. Cálculo de valores críticos

Tomando los valores de huelgo de las chumaceras guía de la tabla 5 en cada una unidad generadora, se puede calcular los valores críticos de acuerdo a los criterios enseñados en la tabla 6.

GUÍA GENERADOR	
LÍMITE DE PELIGRO (NO OPERAR)	0.045 mm
CRITERIO DE ALARMA (TOMAR ACCIÓN)	0.0225 mm
OPERACIÓN NORMAL	0.015 mm
EXCELENTE MÁQUINA NUEVA RECIÉN REPARADA	0.0105 mm

Tabla 7. Resultados de valores críticos – guía generador

GUÍA TURBINA	
LÍMITE DE PELIGRO (NO OPERAR)	0.09 mm
CRITERIO DE ALARMA (TOMAR ACCIÓN)	0.045 mm
OPERACIÓN NORMAL	0.03 mm
EXCELENTE MÁQUINA NUEVA RECIÉN REPARADA	0.021 mm

Tabla 8. Cálculo de valores críticos – guía turbina

3.5 SISTEMA DE MEDICIÓN DE LAS VIBRACIONES

La medición de la Vibración tiene como objetivo el estudio de las oscilaciones mecánicas de un sistema dinámico. Las mediciones de la vibración en cada unidad deberán ser hechas con la finalidad de producir los datos necesarios con una alta precisión. Estos datos serán usados para minimizar o eliminar la vibración, y a la vez eliminar el ruido resultante. El parámetro a controlar será la calidad del producto obtenido por el sistema.

El sistema de medición y procesamiento de señales de vibración que se diseñará en este proyecto estará formado por:



Fig. 24 Sistema de Monitoreo y Control de Vibración en Computadora, a través de una tarjeta de Adquisición de datos, Acondicionamiento de Señal y Transductores

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Transductores de vibraciones (Acelerómetros, LVDTs, Sondas de Corriente Eddy)	Encargados de transformar las vibraciones en señales eléctricas
Sistema de acondicionamiento de señal	Se encarga de recoger las diferentes señales, amplificarlas y llevarlas a los niveles de tensión aceptados por el sistema de adquisición de datos.

Tarjeta de adquisición de datos Se encarga de digitalizar la señal, realizando para ello, un muestreo discreto de la señal analógica proveniente del acondicionamiento de señal, y de introducirla al computador donde se realizan diferentes tipos de procesamiento para obtener toda la información que se requiere para el análisis y monitoreo de las vibraciones de las máquinas.

3.6 SELECCIÓN DEL TIPO DE SENSOR

La parte fundamental del proyecto es la búsqueda y selección de los tipos de transductores que medirán la vibración en cada chumacera guía que compone cada unidad generadora.

En base a la información obtenida en la sección 3.2 y 3.3 se escogió el tipo de sensor (desplazamiento, velocidad ó aceleración).

Velocidad de giro conjunto turbina-generador	128.35 RPM
Material	ACERO FORJADO
Tipo de medición	RELATIVO ENTRE LA CHUMACERA Y EL EJE DE GIRO
Localización del sensor	CUBIERTA DE LA CHUMACERA
Frecuencia	60 HZ.

Tabla 9. Información resumida selección sensor

TIPO SENSOR	DESPLAZAMIENTO
-------------	----------------

- SENSORES DE DESPLAZAMIENTO {
- LVDT
 - INDUCTIVO (EDDY CURRENT)

SENSOR LVDT



Figura 25 Sensor LVDT

- LVDT operan bajo el principio de un transformador y consisten en un conjunto de la bobina estacionaria y un núcleo móvil.

SENSOR INDUCTIVO

- Las sondas de corrientes de Foucault de proximidad son los sensores que miden la proximidad relativa. Que utilizan los cambios de voltaje para medir las superficies del eje que girar o intercambiar.
- Los instrumentos de Corriente *Eddy son* dispositivos de desplazamiento sin contacto, miden directamente la posición de un eje giratorio con respecto a un punto “fijo”.
- Desde el punto de montaje, miden el comportamiento de desplazamiento estático y dinámico de la máquina en movimiento.

TIPO SENSOR DESPLAZAMIENTO

INDUCTIVO EDDY CURRENT

La aceptación de este tipo de transductor es por ser funcional en campos accidentados, por su simplicidad y confiabilidad de operación. La construcción de la sonda de prueba resiste altas temperaturas y ambientes hostiles, los cuales son las características de las unidades generadoras en Malpaso.

3.7 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL SENSOR

3.7.1 Tipo de salida

Hay dos clases de sensores Eddy Current tipo inductivo en cuanto a la salida generada por el mismo transductor:

- Digital
- Analógica

DIGITAL
La señal generada es todo o nada, en donde se obtiene valores altos y bajos (0 y 1), siendo cantidades discretas.
ANALÓGICA
La señal de salida es continua, es decir, se obtiene toda la información de la función que se genera por parte del sensor. Siendo la más adecuada para un análisis completo de gráficas y espectros.

TIPO SEÑAL A MANEJAR	ANALÓGICA
-----------------------------	------------------

En seguida se muestra los tipos y características de los sensores inductivos según el tipo de señal de salida generada.

3.7.1.1 Salida digital

Todo/Nada.

Estado sólido	Dos hilos	Corriente continua	
		Corriente alterna	
	Tres hilos	Corriente continua	Transistor NPN
			Transistor PNP
	Corriente alterna		
	Cuatro hilos	Transistor NPN	
Transistor PNP			

3.7.1.2 Salida analógica

❖ Señal de corriente

La corriente de salida varía en función de la magnitud de la medida. Márgenes típicos (en mA):

$$[0 \div +20], [+4 \div +20], [-20 \div +20]$$

Características:

- La impedancia de la carga debe ser baja (típicamente inferior a 300 ohmios).
- Inmunidad al ruido alta.
- Admite longitudes de cableado muy superiores a los de salida analógica de tensión.

❖ Señal de tensión

La tensión de salida varía en función de la magnitud de la medida. Márgenes típicos (en V):

$$[0 \div +15], [+1 \div +5], [0 \div +10], [-10 \div +10], [-5 \div +5]$$

Características

- La caída de tensión en los hilos debe ser muy baja.
- La impedancia de la carga debe ser muy superior a la impedancia de salida del sensor. Típicamente la carga debe superar 1K.
- Inmunidad al ruido baja.
- La longitud del cableado no debe ser muy grande (generalmente menor de 10m.).

TIPO SALIDA A MANEJAR	CORRIENTE
------------------------------	------------------

3.8 CÁLCULO PARÁMETROS

Como el sensor inductivo está en función de la distancia que mide, como resultado se obtendrá un cierto valor de señal eléctrica de salida, la cual será la señal generada por el transductor. A continuación se muestra la forma en que se colocará y sensorará el desplazamiento radial del conjunto de la flecha, tanto para el generador y la turbina:

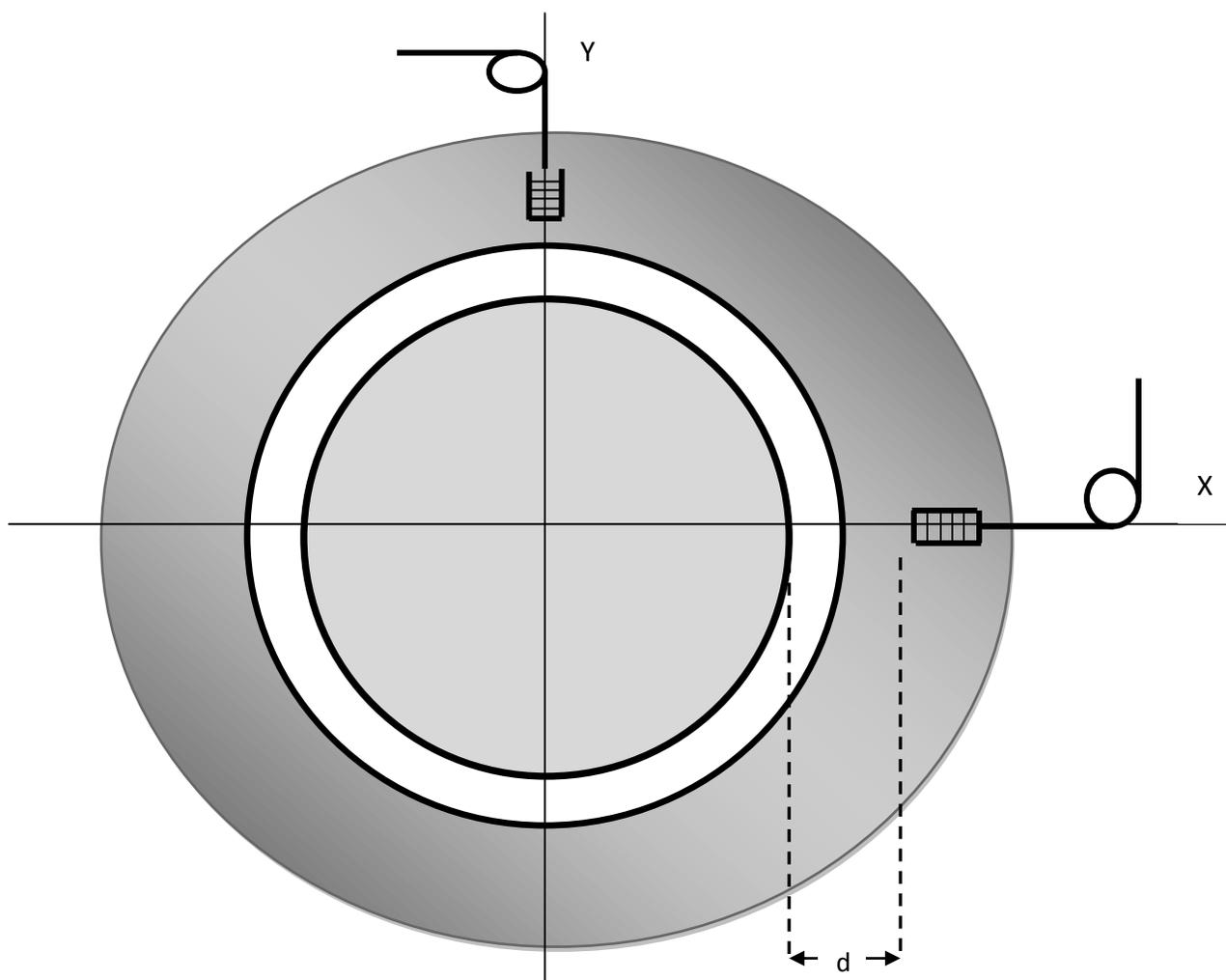


fig. 26 Corte en planta colocación sensores

Se montarán dos sensores de proximidad Eddy Current en cada chumacera guía tanto en la turbina y el generador en todas las unidades, para monitorear y controlar el desplazamiento radial en el plano (x,y) del conjunto de la flecha.

Los parámetros a calcular y considerar para la selección del sensor, montaje y programación será: sensibilidad señal eléctrica (corriente o voltaje), OFFSET y distancia.

3.8.1 Sensibilidad

$$s = \frac{\text{Spam salida analógica}}{\text{Margen recorrido}} \dots\dots\text{ec. (1)}$$

$$s = \frac{\text{Spam salida analógica} \times \text{resolución}}{\text{Margen recorrido} \times \text{resolución}} \dots\dots \text{ec. (2)}$$

3.8.2 Cálculo señal de salida

$$V_{out} = d * sv + V_{OFFSET} \dots\dots\text{ec. (3)}$$

$$I_{out} = d * si + I_{OFFSET} \dots\dots \text{ec. (4)}$$

Despejando la distancia:

$$d = \frac{V_{out} - V_{OFFSET}}{sv} \dots\dots \text{ec. (5)}$$

$$d = \frac{I_{out} - I_{OFFSET}}{si} \dots\dots \text{ec. (6)}$$

3.8.3 Cálculo de la señal de OFFSET

El valor de OFFSET es el cero virtual donde comienza a generarse la curva por parte del sensor. Para calcular la señal de voltaje o de corriente de OFFSET depende principalmente de donde vaya a colocarse el sensor de proximidad.

Por lo tanto, el valor de OFFSET está en función de la distancia de separación que tendrá el sensor al montarse con respecto a la flecha.

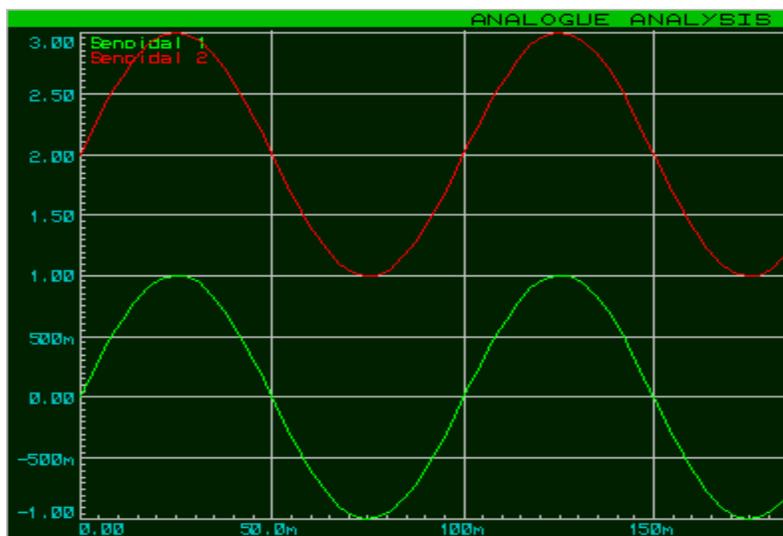


Fig. 27 Ejemplo de gráfica de voltaje de OFFSET

Ya sea para un valor de voltaje o corriente de OFFSET, es el desfase de donde se desea que comience a generarse la gráfica de desplazamiento.

3.9 BÚSQUEDA DE PROVEEDORES

Después de haber determinado el tipo de sensor que se iba a montar en las chumaceras guía generador y turbina en cada unidad, la siguiente actividad era buscar en el mercado compañías que contarán con transductores de posición tipo inductivos.

Entre las compañías que se buscaron principalmente fueron:

- FESTO
- Bently Nevada

Los sensores que ofrecía la compañía FESTO son funcionales y a comparación de otros en el mercado, tienen la característica importante que ya están polarizados.

A continuación se muestra las especificaciones de los sensores tipo inductivos que ofrece FESTO.

3.9.1 Dimensiones del sensor

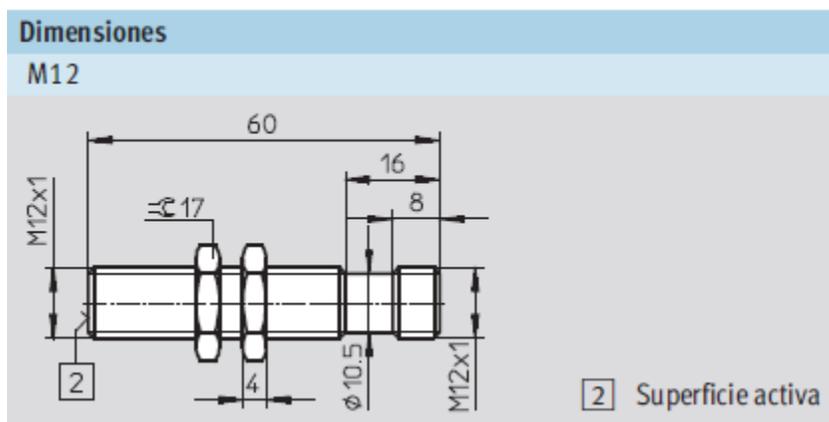


Fig. 28 Medidas físicas del sensor Eddy current de FESTO

3.9.2 Características del sensor

Salida conmutada		
Tamaño		M12
Salida analógica	[V]	0 ... 10
	[mA]	4 ... 20
Tensión de salida con 23 °C	[V]	+10 / ±0,4 (s = 6 mm)
	[V]	+5,2 / ±0,4 (s = 3 mm)
	[V]	0 / -0 ±0,4 (s = 0 mm)
Corriente de salida con 23 °C	[mA]	20 / ±0,8 (s = 6 mm)
	[mA]	4 / ±0,8 (s = 0 mm)

Tabla 10. Especificaciones del sensor

Señal de entrada / elemento de medición		
Tamaño		M12
Temperatura ambiente	[°C]	-25 ... +70
Margen del recorrido de medición	[mm]	0 ... 6
Resolución del recorrido	[mm]	0,001
Desviación de la temperatura de la distancia real de conmutación	[%]	≤ ±5 (0 ... 70 °C)

Tabla 11. Especificaciones del sensor

3.9.3 Características eléctricas y electrónicas

Parte electrónica		
Tensión de funcionamiento	[VDC]	15 ... 30
Ondulación residual	[%]	20
Intensidad en reposo	[mA]	≤ 10
Protección contra polarización inversa		Sí, para la tensión de funcionamiento

Tabla 12. Especificaciones eléctricas

Electromecánica		
Tamaño		M12
Conexión eléctrica		Conector tipo clavija M12x1, 4 contactos
Longitud del cable	[m]	2,5

Tabla 13. Especificaciones eléctricas

Ocupación de clavijas: M12x1, 4 contactos			
	Pin	Color del hilo	Asignación
	1	Marrón	+
	2	Blanco	Corriente
	3	Azul	-
	4	Negro	Tensión

Tabla 14. Código de colores

3.9.4 Diagrama conexión

El diagrama de conexiones del sensor es el siguiente:

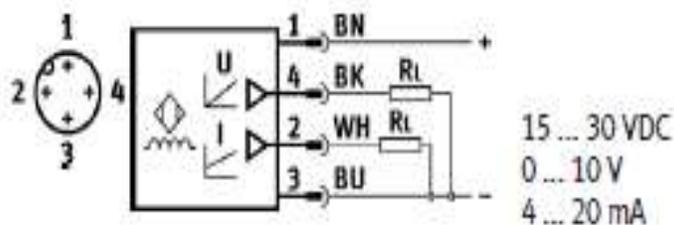


Fig. 29. Diagrama de conexión sensor proximidad

3.10 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

La aplicación de los sensores de proximidad requiere aislarse del medio ambiente. Estos sensores, a su vez, requieren de acondicionamiento de señal antes de que el dispositivo de adquisición de datos pueda medir con precisión la señal.

Actualmente, hay tecnologías clave de acondicionamiento de señal, que proporcionan mejoras distintas tanto para el rendimiento y la precisión de los sistemas de adquisición de datos.

3.10.1 Aislamiento de la señal

Para aislar la señal de salida de los sensores, uno de los factores a considerar es el ruido ya que podría alterar la gráfica de vibración, así como también el espectro de vibración por las ondas que se podrían generar por dicho motivo.

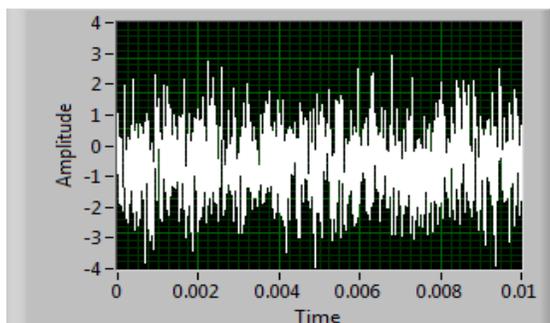


Fig. 30 Gráfica de señal afectada por ruido

Mediante un dispositivo se midió la cantidad de ruido en cada una de las unidades generadoras y posteriormente analizar si es un factor perjudicial.



Fig. 31 Instrumento para medir sonido

UNIDAD		DECIBELES
1	EXTERIOR	93
	INTERIOR	105.8
2	EXTERIOR	95.8
	INTERIOR	106
3	EXTERIOR	94-95
	INTERIOR	107.6
4	EXTERIOR	92-94
	INTERIOR	105.4
5	EXTERIOR	89.4
	INTERIOR	96.9
6	EXTERIOR	90.2
	INTERIOR	98.8

Tabla 15. Resultados de medición de ruido

TIPO AISLAMIENTO	CABLE BLINDADO
-------------------------	-----------------------

3.10.2 Cable blindado

El cable blindado es un tipo de cable recubierto por una *malla* o un *tubo metálico*, que actúa con el principio de la jaula de Faraday para evitar el acople de ruidos y otras interferencias, tanto del entorno hacia el cable, como del cable al entorno.

Para el diseño del proyecto se investigó diferentes proveedores de cables, pero el que se eligió fue la compañía CONDELMEX, el cual contaba con cables para distintas aplicaciones como: para construcción, uso industrial, uso automotriz, etc.

Analizando el catálogo que cuenta CONDELMEX, el cable que cumple con las características para implementarlo en la transmisión de las señales de los sensores hacia el sistema de adquisición de datos es el *cable de instrumentación -LS 90°C 300V*.

A continuación se muestra la ficha técnica del cable elegido:

CABLE INSTRUMENTACIÓN –LS 90°C, 300V



Fig. 32 Cable blindado

Descripción

- Conductor de cobre cableado concéntrico clase B y flexible clase K.
- Aislamiento de PVC-LS
- En pares o triadas
- Cinta reunidora de poliéster aluminio
- Conductor de drenaje (dren) de cobre estañado
- Malla de cobre estañado o sin estañar
- Cubierta de PVC-LS flexible antinflama y resistente a la propagación del incendio

Aplicación

Señalización y control en circuitos electrónicos en la industria, sistemas tipo PLC, robótica, etc.

Debido a que las señales que transmiten estos cables son generalmente muy sensibles, cuenta con la utilización de blindajes mediante mallas metálicas, además el sistema de blindaje se complementa con la utilización de un conductor de drenaje (dren) que lleva a tierra cualquier corriente inducida en el blindaje.

Propiedades

- Retardante a la propagación del incendio, baja emisión de humos y gases ácidos, resistentes a agentes químicos.
- Fácil instalación.
- El sistema de malla, evita interferencias a la transmisión de señales.

Calibres

22 AWG al 12 AWG

Temperatura máxima de operación

75°C

Especificaciones

NOM-063-SCFI

NÚMERO CONDUCTORES	DIADAS (DOS)
---------------------------	---------------------

Los conductores del cable tienen ciertas diferencias en base al calibre que se vaya a utilizar, por lo que se anexa la siguiente tabla:

CONDUCTORES INTERNOS CABLE DE INSTRUMENTACIÓN				
Cableado clase B				
Área de la sección transversal mm²	Calibre AWG	Número de hilos	Espesor de aislamiento	Diámetro Nominal Sobre el Aislamiento
0.327	22	7	0.51	1.75
0.519	20	7	0.51	1.98
0.823	18	7	0.64	2.49
1.307	16	7	0.64	2.81
2.082	14	7	0.76	3.45
3.307	12	7	0.76	3.96

Tabla 16. Información conductores

3.11 ACONDICIONAMIENTO DE LOS SENSORES

Para mejorar la señal de salida que proviene de los sensores a través del cable blindado, se necesita una etapa de acondicionamiento de señal que logre manipular de mejor manera los valores obtenidos.

Existen diferentes etapas de acondicionamiento:

- Amplificación
- Excitación
- Filtrado
- Multiplexado
- Aislamiento
- Linealización

ACONDICIONAMIENTO A MANEJAR

AMPLIFICADORES

3.11.1 Amplificación

La función de los amplificadores es aumentar o ampliar el nivel de tensión para mejorar la señal analógica o digital, lo que aumenta la resolución de la medición y la sensibilidad.

Los acondicionadores de señal externos ubicados en la fuente de señal, o transductor, mejora la medición de la señal al aumentar el nivel de voltaje antes de que se vea afectada por el ruido ambiental.

3.11.2 Convertidor de señal Corriente-Voltaje

Los convertidores de corriente-voltaje son llamados amplificadores de transresistencia y responden a la necesidad de construir fuentes de tensión constantes, independiente de la carga y controlados por corriente. Existen dos circuitos básicos: con la salida invertida y con la salida no invertida. - Salida Invertida.

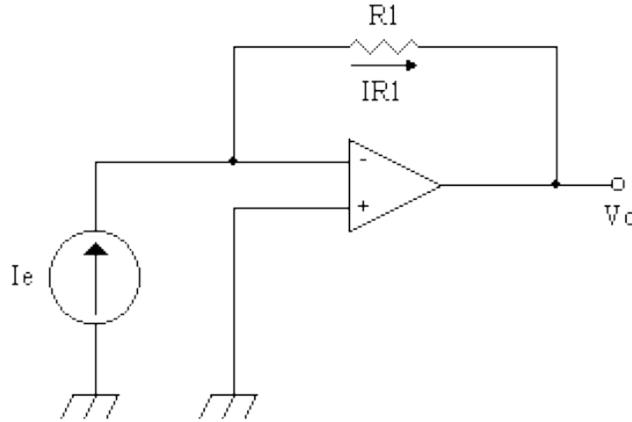


Fig. 33 Circuito de convertidor salida invertida

3.11.2.1 Salida Invertida

$I_e = IR_1$	$IR_1 = \frac{-V_o}{R_1}$ ec. (7)
Entonces:	$I_e = \frac{-V_o}{R_1}$ ec. (8)
$-V_o = I_e \cdot R_1$ ec. (9)	
$V_o = -(I_e \cdot R_1)$ ec. (10)	$V_o = I_e \cdot K$

3.11.2.2 Salida NO Invertida

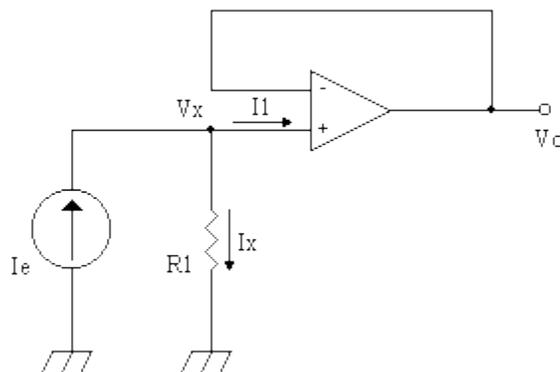


Fig. 34 Circuito de convertidor salida no invertida

$I_x = 0$	$I_e = I_1$	$I_1 = \frac{V_x}{R_1} \dots \text{ec. (11)}$
Entonces:	$I_e = \frac{V_x}{R_1} \dots \text{ec. (12)}$	
Por la masa virtual se tiene:		
$I_e = \frac{V_o}{R_1} \Rightarrow V_o = I_e \cdot R_1 \dots \text{ec. (13)}$		

3.11.2.3 Cálculo de V_{OFFSET}

Para determinar el V_{OFFSET} , se debe tomar la siguiente consideración:

- Una vez establecido el valor de corriente OFFSET (I_{OFFSET}), este valor será transformado a otro pero de voltaje gracias al convertidor de señal corriente-voltaje y se generará un nuevo valor de voltaje OFFSET (V_{OFFSET}). Se recomienda manejar cantidades cerradas, a fines que la programación sea más conveniente.

3.12 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Como parte del sistema de medición y procesamiento de señales de los sensores de proximidad, una parte medular es el equipo de adquisición de datos.

El sistema de adquisición de datos que se seleccionará y se analizará, será determinado por los equipos con los cuenta la compañía NATIONAL INSTRUMENTS, la cual es una empresa líder en el procesamiento de señales de cualquier tipo de sensores.

Dentro de la búsqueda de los productos que ofrecía la compañía, se analizó y estudió que el adecuado para el sistema que se está diseñando para el análisis de vibraciones de las unidades generadoras es el COMPACTDAQ.



Fig. 35 Equipo NI-COMPACTDAQ

NI CompactDAQ es un sistema modular de adquisición de datos para USB, Ethernet y Wi-Fi que proporciona las medidas de los sensores en el campo de trabajo o en la línea de producción. Además es la mejor solución para las mediciones de proximidad y con un bajo costo.

3.12.1 Elementos del NI-CompactDAQ

Los elementos que componen al sistema NI-Compact-DAQ son los siguientes que se muestran en la figura.



Fig. 36 Componentes del sistema NI-COMPACTDAQ

MÓDULO

Cada módulo de la Serie C es específicamente diseñado para una media particular eléctrica y de sensor y contiene el convertidor de señales, conectividad y circuitos de acondicionamiento en un solo paquete robusto. El acondicionamiento de señales, como amplificación, filtros, excitación y aislamiento, es esencial para adquirir medidas precisas de sensores.

CHASIS

El chasis proporciona alojamiento modular y robusto para su controlador (si se usa CompactRIO) y los módulos de la Serie C. El plano trasero de alto rendimiento en el chasis contiene los datos del sistema y buses de temporización y disparo.

CONTROLADOR

El controlador ejecuta su aplicación y establece interfaz con los módulos de la Serie C. En el caso de la plataforma CompactDAQ, una PC Personal actúa como el controlador del sistema.

La plataforma CompactDAQ es compatible con LabVIEW, C/C++, Visual Basic y .NET.

3.12.2 Chasis COMPACTDAQ

El chasis NI CompactDAQ controla la temporización, la sincronización y la transferencia de datos entre un servidor y hasta ocho módulos de E/S de la Serie C. Un solo chasis NI CompactDAQ puede administrar diferentes tareas de E/S temporizadas por hardware a distintas velocidades de muestreo en el mismo sistema. Por ejemplo, puede instalar un módulo de termopar de 75 S/s junto a un módulo de acelerómetro de 51.2 kS/s y adquirir desde ambos simultáneamente.

- **Chasis USB**

El chasis USB NI CompactDAQ brinda la sencillez plug-and-play de USB a las medidas de sensor y eléctricas. Disponible con una, cuatro y ocho ranuras, los chasis USB NI CompactDAQ están diseñados para sistemas pequeños y portátiles de medidas mixtas en el laboratorio o en campo.



Fig. 37 Chasis salida USB

- **Chasis Ethernet**

El chasis NI CompactDAQ Ethernet extiende el alcance de DAQ de alta velocidad para medidas remotas de sensor y eléctricas. El NI cDAQ-9188 puede alojar hasta ocho módulos de E/S de la Serie C para sistemas de medidas distribuidas usando infraestructura Ethernet estándar.



Fig. 38 Chasis salida Ethernet

- **Chasis Inalámbrico**

El chasis NI CompactDAQ inalámbrico ofrece la última solución para medidas remotas y distribuidas. Con una simple configuración en 802.11 Wi-Fi y soporte para más de 50 módulos específicos de medidas, el NI cDAQ-9191 puede leer datos desde cualquier sensor, sin importar la ubicación.



Fig. 39 Chasis salida Wi-Fi

CHASIS A MANEJAR	ETHERNET
-------------------------	-----------------

3.12.3 Módulo adquisición de datos

La compañía National Instruments cuenta con diferentes módulos de adquisición de datos para adquirir y controlar distintos tipos de medidas como: corriente, presión, voltaje, aceleración, sonido, temperatura, frecuencia, etc.

Para el caso del proyecto se trabajará con señales analógicas de voltaje, las cuales serán obtenidas de los convertidores de señal. Por lo tanto el módulo que recomienda la compañía es el NI-9205, que en seguida se muestra sus características.



Fig. 40 Presentación módulo NI 9205

- ❖ El NI 9205 de National Instruments cuenta con 32 entradas analógicas de una sola terminal y 16 diferenciales, resolución de 16 bits y máxima velocidad de muestreo de 250 kS/s.
- ❖ Cada canal NI 9205 tiene rangos de entrada programables de ± 200 mV, ± 1 V, ± 5 V y ± 10 V.
- ❖ Para protegerse contra señales transitorias, el módulo NI 9205 incluye hasta 60 V de protección contra sobrevoltajes entre canales de entrada y común (COM).
- ❖ Este módulo incluye doble barrera de aislamiento de canal a tierra para seguridad, inmunidad a ruido y alto rango de voltaje en modo común.
- ❖ Está diseñado para protección de sobrevoltaje transitorio de 1 000 Vrms.

General

Producto	NI 9205
Familia de Productos	E/S Industrial
Formato Físico	CompactDAQ , CompactRIO
Número de Parte	779519-01
Sistema Operativo/Objetivo	Real-Time , Windows
Tipos de Medida	Voltaje
Tipo de Aislamiento	Aislamiento de Canal a Tierra
Compatibilidad con RoHS	No

Especificaciones Físicas

Longitud	9 cm
Ancho	2.3 cm
Conector de E/S	Terminal de resorte de 36 posiciones , D-Sub de 37 pines
Temperatura de Operación	-40 °C
Temperatura de Operación	70 °C
Temperatura de Almacenamiento	-40 °C
Temperatura de Almacenamiento	85 °C

Entrada Analógica

Canales	32 , 16
Canales de una sola terminal	32
Canales Diferenciales	16
Resolución	16 bits
Velocidad de Muestreo	250 kS/s
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V , 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	6220 μ V
Rango de Voltaje Mínimo	-0.2 V , 0.2 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	157 μ V
Muestreo Simultáneo	No

3.13 DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE VIBRACIONES

El sistema de medición que se habrá de instalar en cada una de las unidades generadoras debe diseñarse en función de las características de cada una, así como de los factores que podrían afectar en la instrumentación del equipo necesario.

A continuación se muestra los componentes principales que forman al sistema que propone el trabajo de residencia.

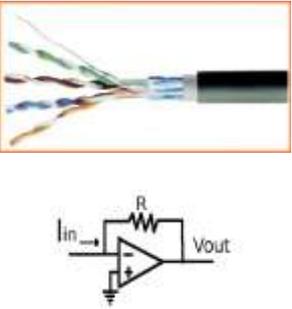
SENSORES	ACONDICIONADORES DE SEÑAL	SISTEMA ADQUISICIÓN DE DATOS	SOFTWARE
 <p>Sensores de proximidad tipo inductivo</p>	 <p>Cable blindado Amplificadores</p>	 <p>Sistema NI-CompactDAQ</p>	 <p>Plataforma en LABVIEW</p>

Fig. 41 Componentes del diseño del sistema

3.14 MEMORIA DE CÁLCULO

1) Parámetros del sensor

❖ Sensibilidad

Como la salida que se utilizará del sensor será analógica de corriente ($s_i=s$)

$$Spam\ salida\ analógica = 20\ mA - 4\ mA$$

$$Spam\ salida\ analógica = 16\ mA$$

$$Margen\ recorrido = 6\ mm$$

Usando la ecuación (1)

$$s = \frac{16mA}{6mm} \qquad s = 2.667mA/mm$$

Manejando la ecuación (2) con la máxima resolución del sensor

$$s = \frac{(0.016A)(0.001)}{(0.006m)(0.001)}$$

$$s = \frac{16\mu A}{6\mu m} \qquad s = 2.667\mu A/\mu m$$

❖ Cálculo de I_{OFFSET} y montaje del sensor

El valor de OFFSET está en función de la distancia de separación que tendrá el sensor al montarse con respecto a la flecha.

Una vez calculado la sensibilidad se puede determinar la salida de corriente a diferentes posiciones.

DISTANCIA	CORRIENTE SALIDA
0mm	4 mA
1mm	6.667 mA
2 mm	9.333 mA

3 mm	12 mA
4 mm	14.667 mA
5 mm	17.333 mA
6 mm	20 mA

Tabla 17. Cálculo de corriente en función de la distancia

Como se puede ver en la tabla anterior, la posición idónea para colocar el sensor con respecto a la flecha es de 3mm, donde se generará una señal de corriente de 12mA. Entonces:

$$\text{Posición montaje} = 3\text{mm}$$

$$I_{\text{OFFSET}} = 12\text{mA}$$

❖ **Cálculo señal de salida del sensor**

Teniendo el valor de I_{OFFSET} se puede determinar el valor de las variaciones de corriente a diferentes posiciones cuando la unidad esté operando.

Usando la ecuación (4)

$$I_{\text{out}} = (2.667\text{mA/mm}) * d + 12\text{mA}$$

2) Convertidor de señal

Después que se haya generado un valor de corriente debido al desplazamiento radial de la flecha de una unidad, dicha señal será sometida a una fase de amplificación. Antes de llegar al módulo de adquisición de datos, pasará por el convertidor y será transformado a un nuevo valor de voltaje.

❖ **Cálculo de V_{OFFSET}**

Como el módulo de adquisición de datos maneja valores de $\pm 5\text{V}$, se decide que:

$$V_{\text{OFFSET}} = 3\text{V}$$

❖ **Diseño del convertidor de señal**

Para el diseño del convertidor de señal de corriente a voltaje se tiene que determinar el valor de la resistencia R1.

Tanto para el dispositivo de salida invertida y no invertida, las ecuaciones 10 y 13 cumplen con la ley de Ohm. Lo único que cambia es el sentido del signo.

De acuerdo a la ley de Ohm: $R1 = \frac{V_o}{I_e}$	
$R1 = \frac{V_{OFFSET}}{I_{OFFSET}}$	$R1 = \frac{3V}{0.012A}$
$R1 = 250\Omega$	

Por lo tanto en la construcción del circuito amplificador se tendrá que manejar una resistencia de 250Ω.

Dependiendo del tipo de circuito:

- Si se maneja el de tipo de salida invertida, la señal de voltaje resultante será negativa.
- Si se utiliza el de tipo de salida no invertida, el nuevo valor de voltaje será positivo.

3) Sensibilidad de voltaje

Como la señal que se usará será de corriente y luego transformada a voltaje. Se determinará un nuevo valor de sensibilidad de voltaje que a la vez servirá en la programación.

Se calcula el voltaje a los extremos del margen de recorrido que puede medir el sensor (0mm y 6 mm) utilizando la Ley de Ohm para calcular Voltaje.

$$V_{out} = R1 * I_{Out} \quad \dots \text{ ec. (7)}$$

DISTANCIA	CORRIENTE SALIDA	VOLTAJE SALIDA
0mm	4 mA	1 V
6 mm	20 mA	5 V

Tabla 18. Cálculo de corriente y voltaje

Spam salida analógica= 5V – 1V

Spam salida analógica= 4V

Margen recorrido= 6 mm

Usando la ecuación (1)

$$sv = \frac{4V}{6mm} \qquad sv = 0.667V / mm$$

4) Cálculo de la distancia

Como la señal de voltaje que mande el convertidor-amplificador será la final y la cual será registrada y analizada en el módulo de adquisición de datos para usarse en la programación, se hace uso de la ecuación (5)

$$d = \frac{V_{out} - 3V}{0.666V / mm}$$

$$d = \frac{V_{out} - 3V}{\frac{2}{3}V / mm} \quad \dots \text{ ec. (8)}$$

3.15 PROGRAMACIÓN EN LABVIEW

Después de haber concluido con la instrumentación física del proyecto, ahora el siguiente paso era desarrollar un software que permitiera al usuario una interfaz con la instrumentación virtual de los sensores que se planean instalar.

Para dicha tarea se optó por la opción de programar en LABVIEW; el cual es un programa que tiene un lenguaje sencillo, ya que se maneja con comandos en bloques y enlaces.

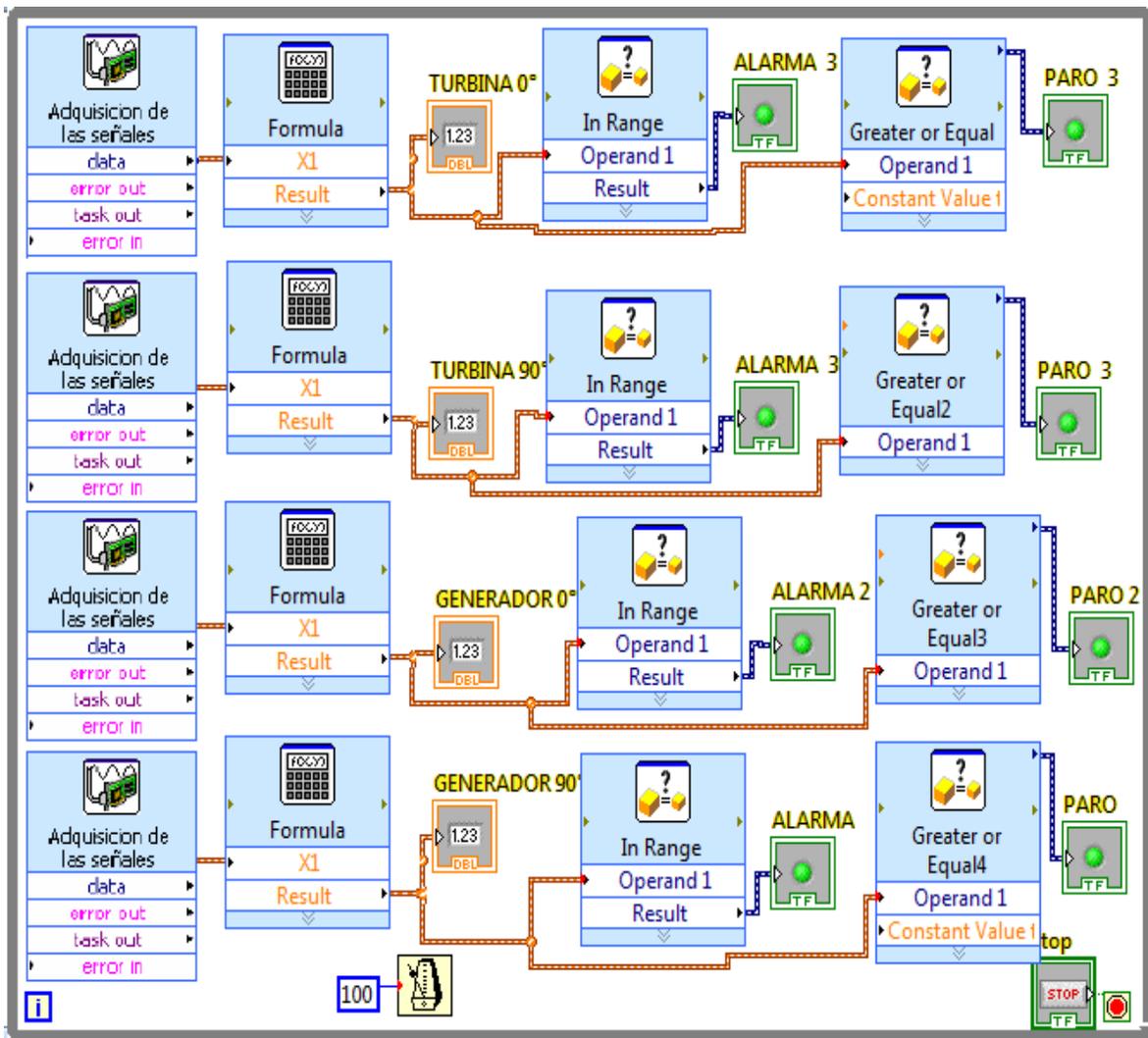


Fig. 42 Diagrama de bloques para diseño del panel principal

Para el bloque de fórmula se tiene que utilizar la ecuación (8) para calcular las distancias que vaya monitoreando los sensores.

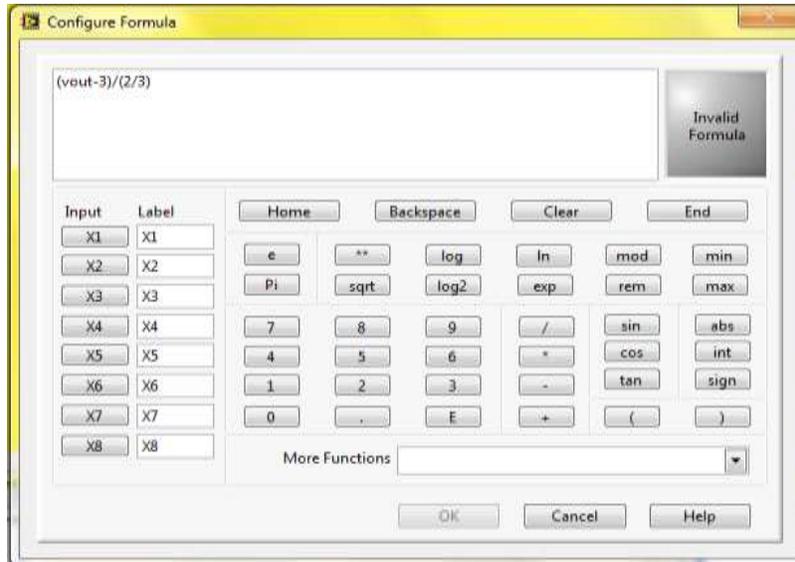


Fig. 43 Cálculo de la distancia en LABVIEW

También se pensó establecer hipervínculos desde el panel principal hasta los SUBVI's, que son pequeños programas más detallados que muestran un análisis más personalizado de la medición de la vibración en cada sensor de cualquier chumacera.

A continuación se muestra el diagrama de bloques que se programó para crear el hipervínculo.

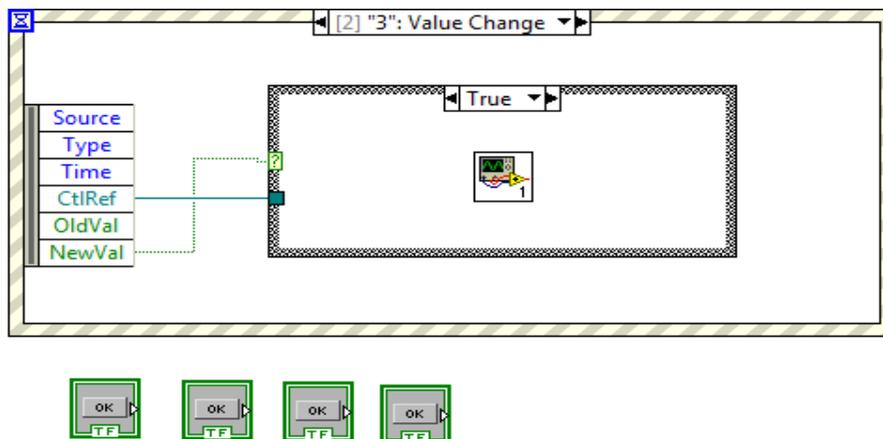


Fig. 44 Diagrama de bloques para programación de hipervínculo

Cada SUBVI se estructuró con la misma programación

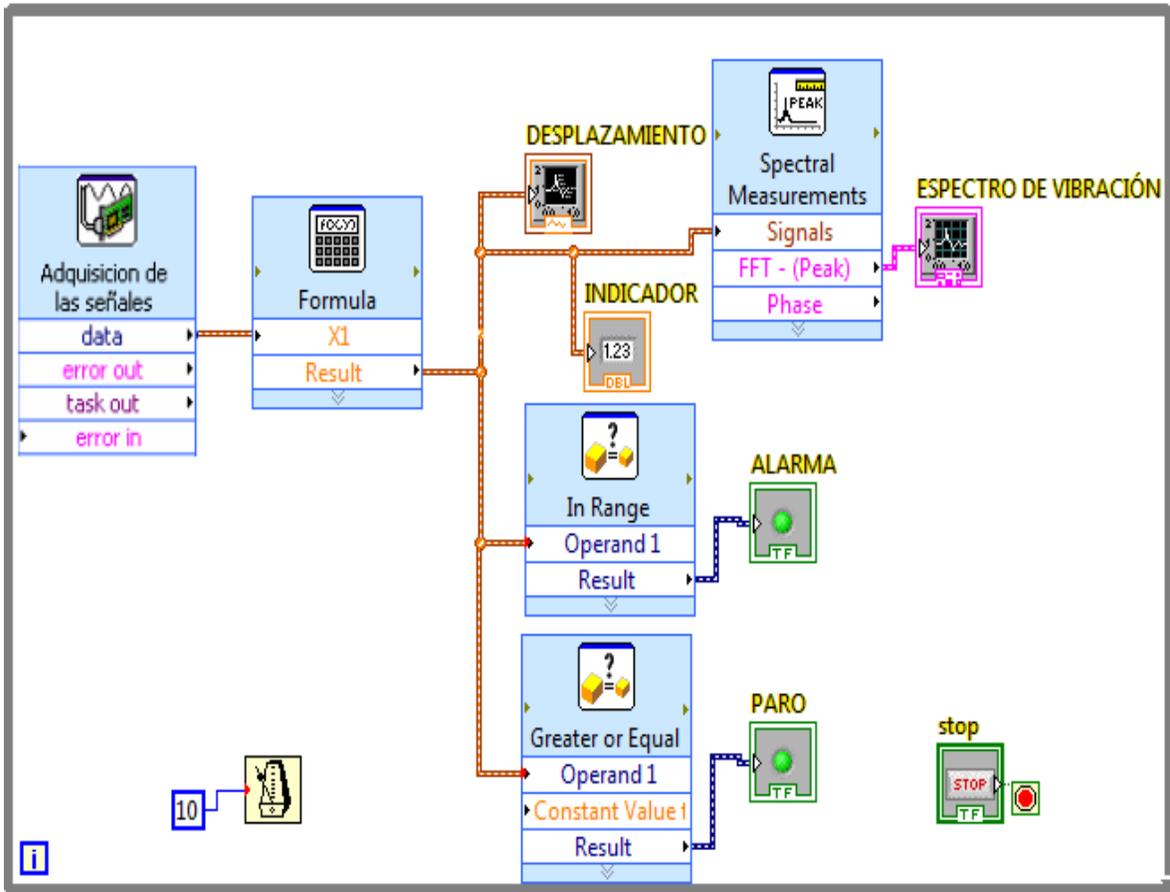


Fig. 45 Diagrama de bloques para cada sub-programa



CFE *Una empresa
de clase mundial*

4. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

En este punto del proyecto se muestran los resultados y la logística en cuanto a la instrumentación física y virtual del sistema que se diseñó para monitorear los desplazamientos radiales de las flechas en las seis unidades generadoras con que cuenta la C.H. Malpaso.

Se muestra los siguientes resultados que son la parte medular del proyecto:

- Planos de las chumaceras guías de las unidades, así como la localización de los sensores.
- Planos de cableado
- Plano de instrumentación
- Programa en LABVIEW
- Típicos de vibración

4.2 PROPUESTA DEL SISTEMA MONITOREO DE VIBRACIONES

Los siguientes resultados que se mostrarán están en función del siguiente modelo de instrumentación.

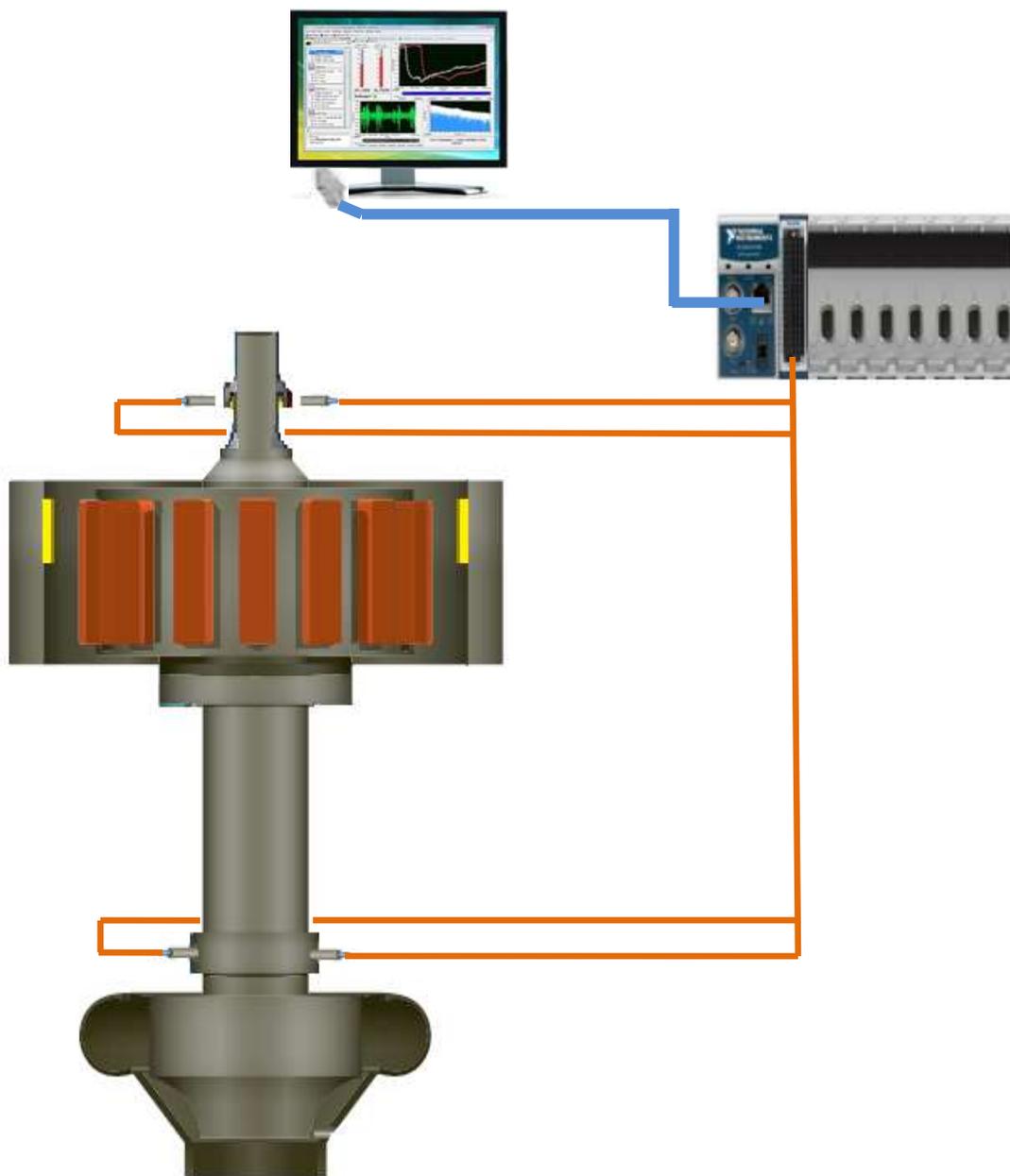


Fig. 46 Diseño del sistema por cada unidad

4.3 MODELO COMPLETO DE LAS 6 UNIDADES

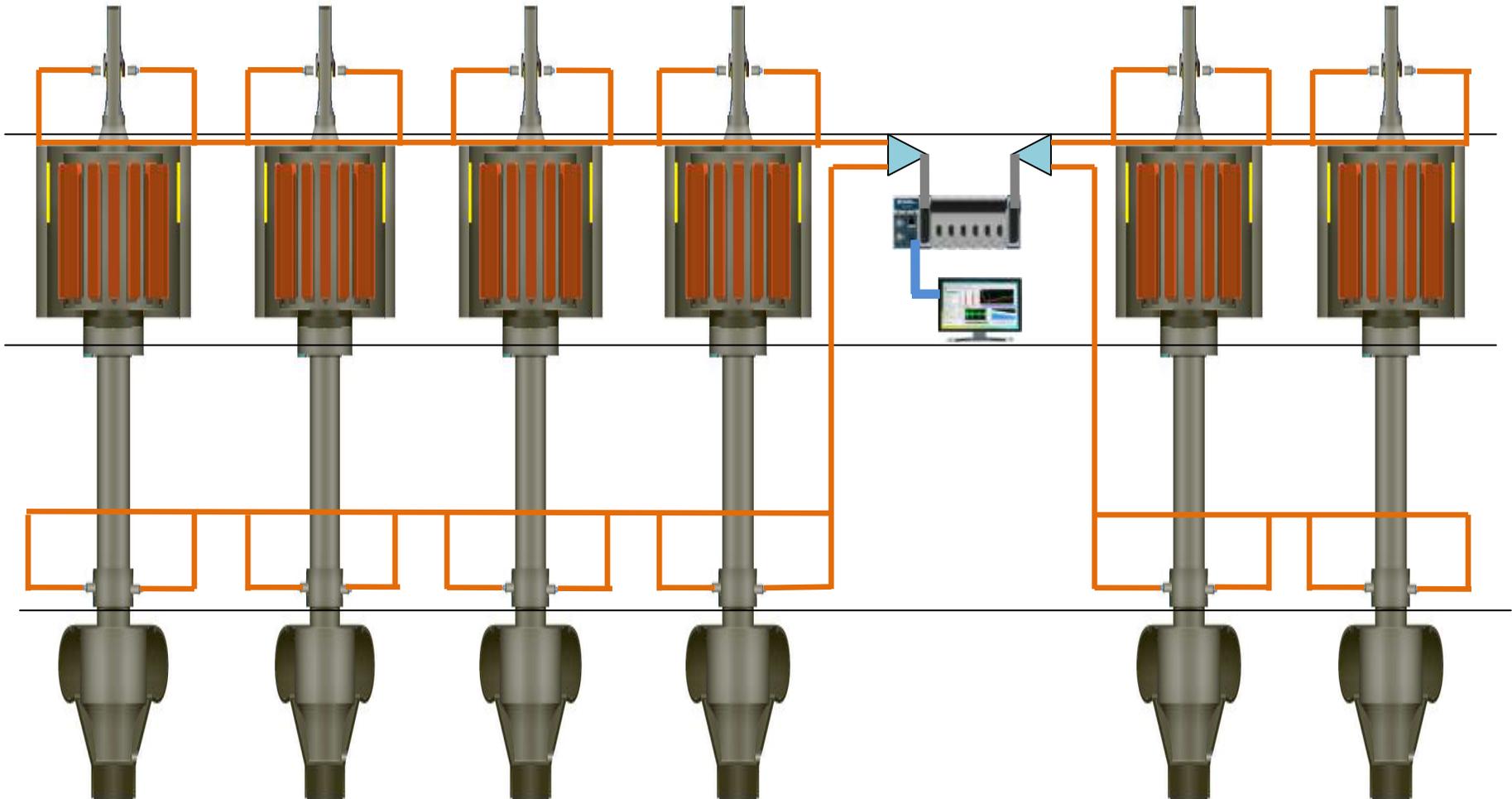
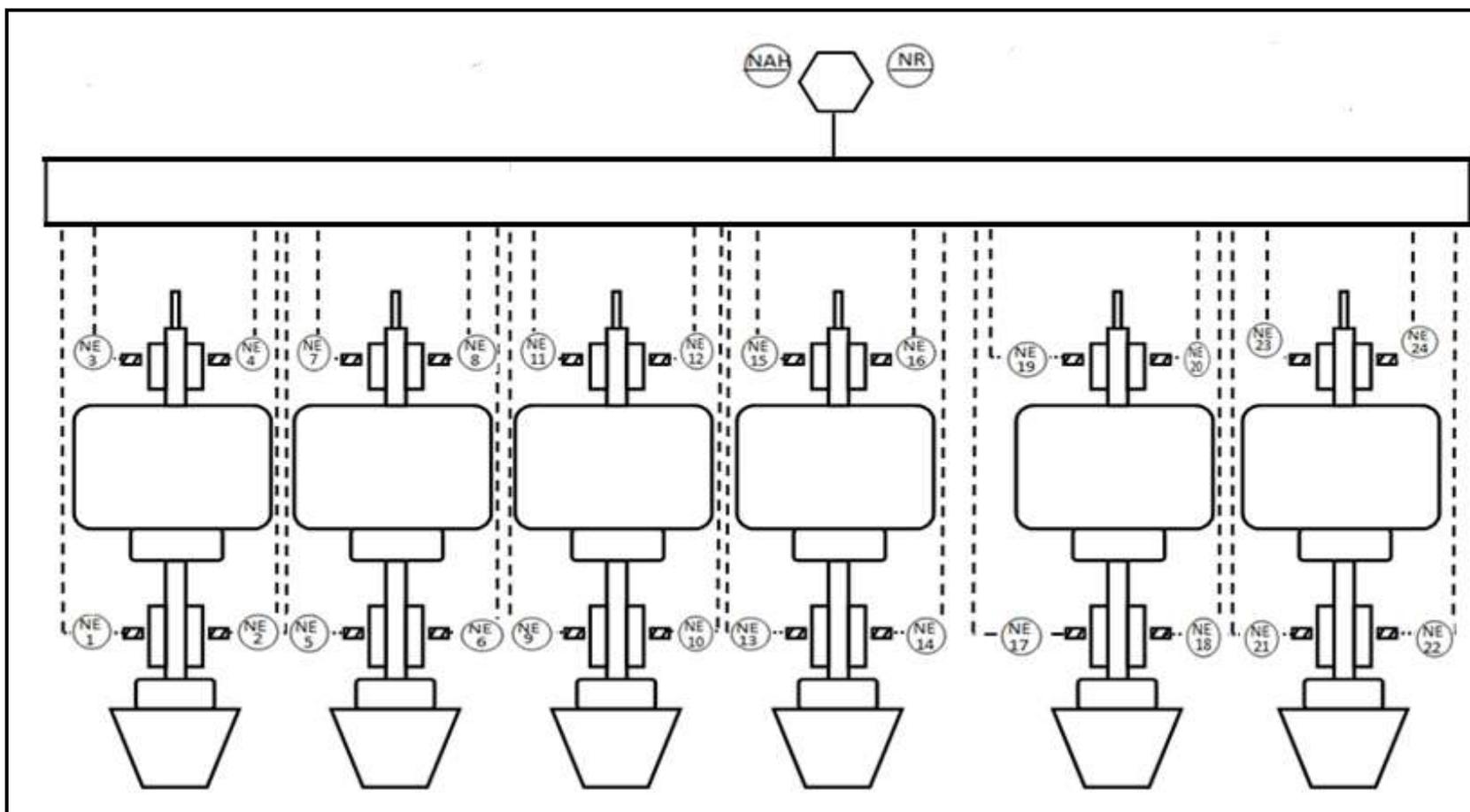


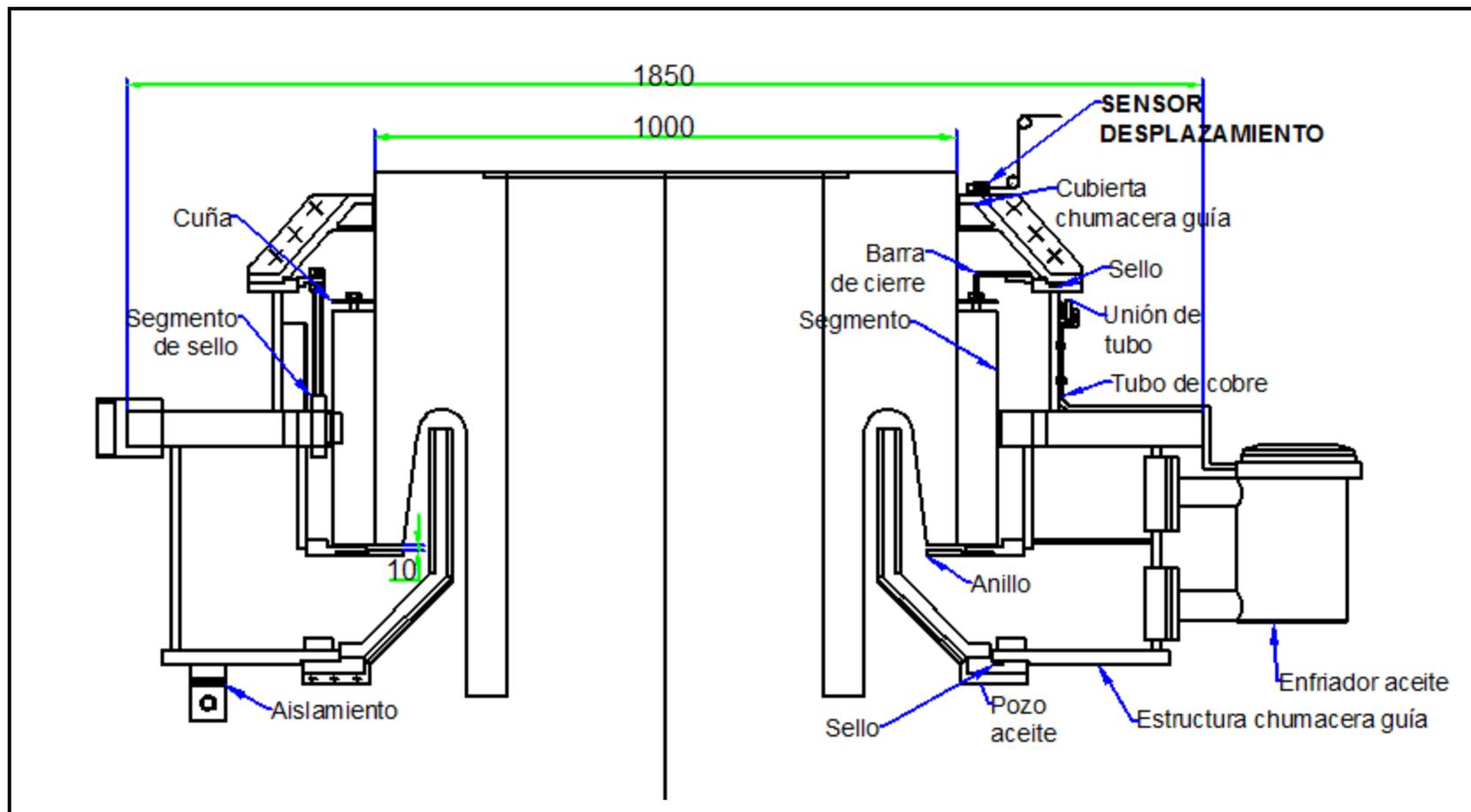
Fig. 47 Instrumentación de las 6 unidades generadoras para C.H. Malpaso

4.3 PLANO INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA

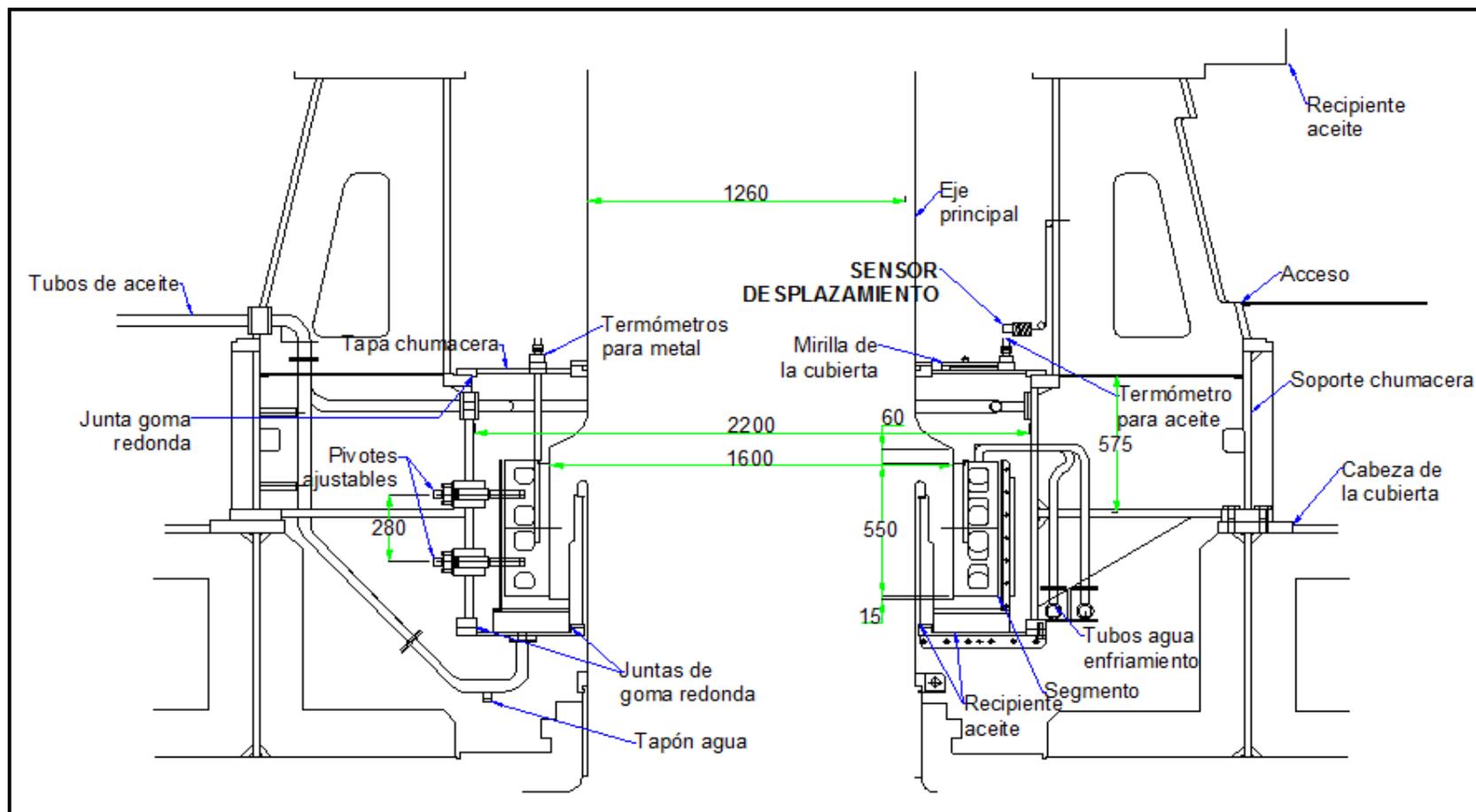


	C.H. MALPASO	
	INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA MONITOREO DE VIBRACIONES	
	Dibujó: Juan Julián G. Mendoza Velázquez	PLANO 1
	Revisó: Ing. Gildardo Jiménez Ramos	ACOTACIÓN:----

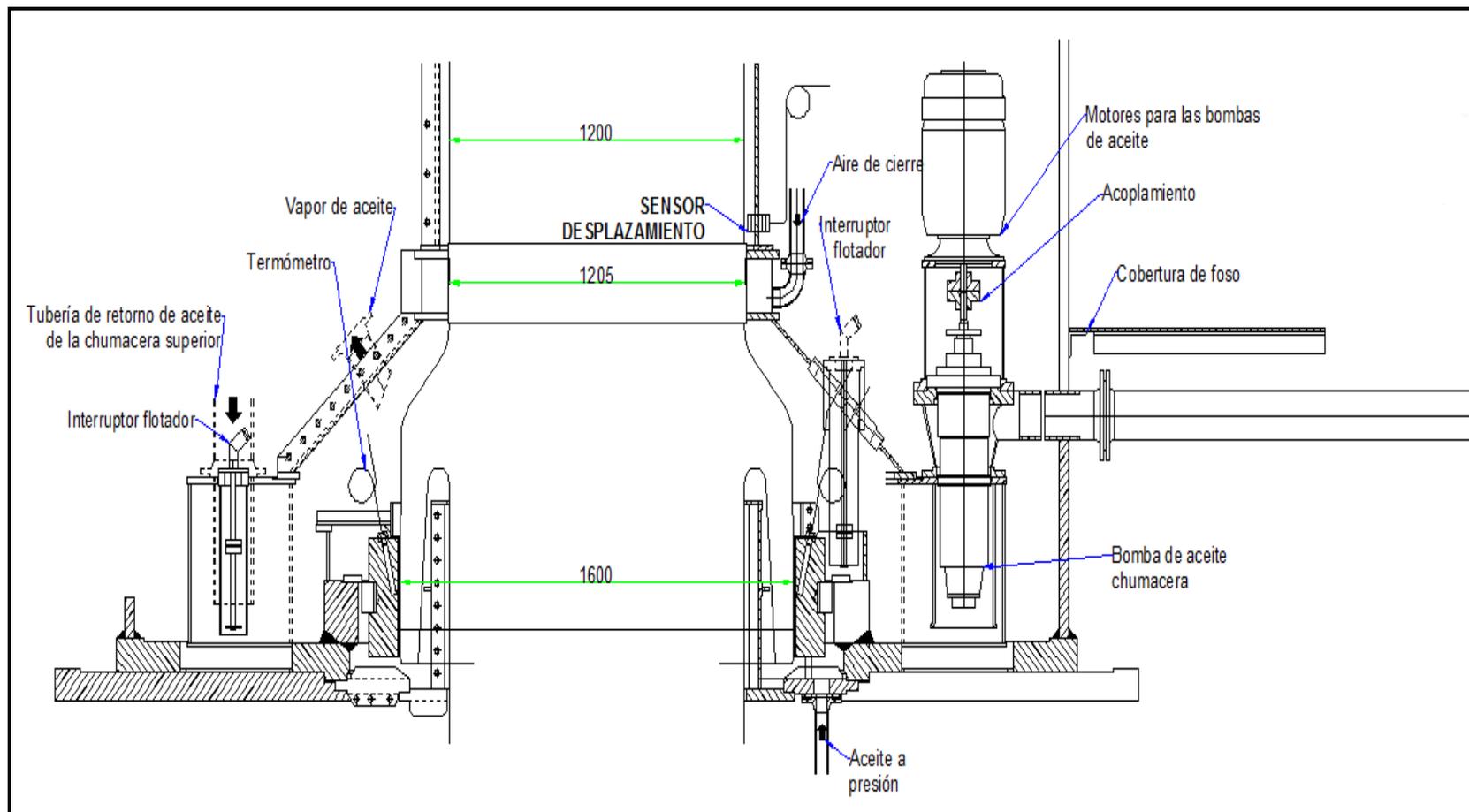
4.5 PLANO CHUMACERA GUÍA GENERADOR (LOCALIZACIÓN SENSOR)



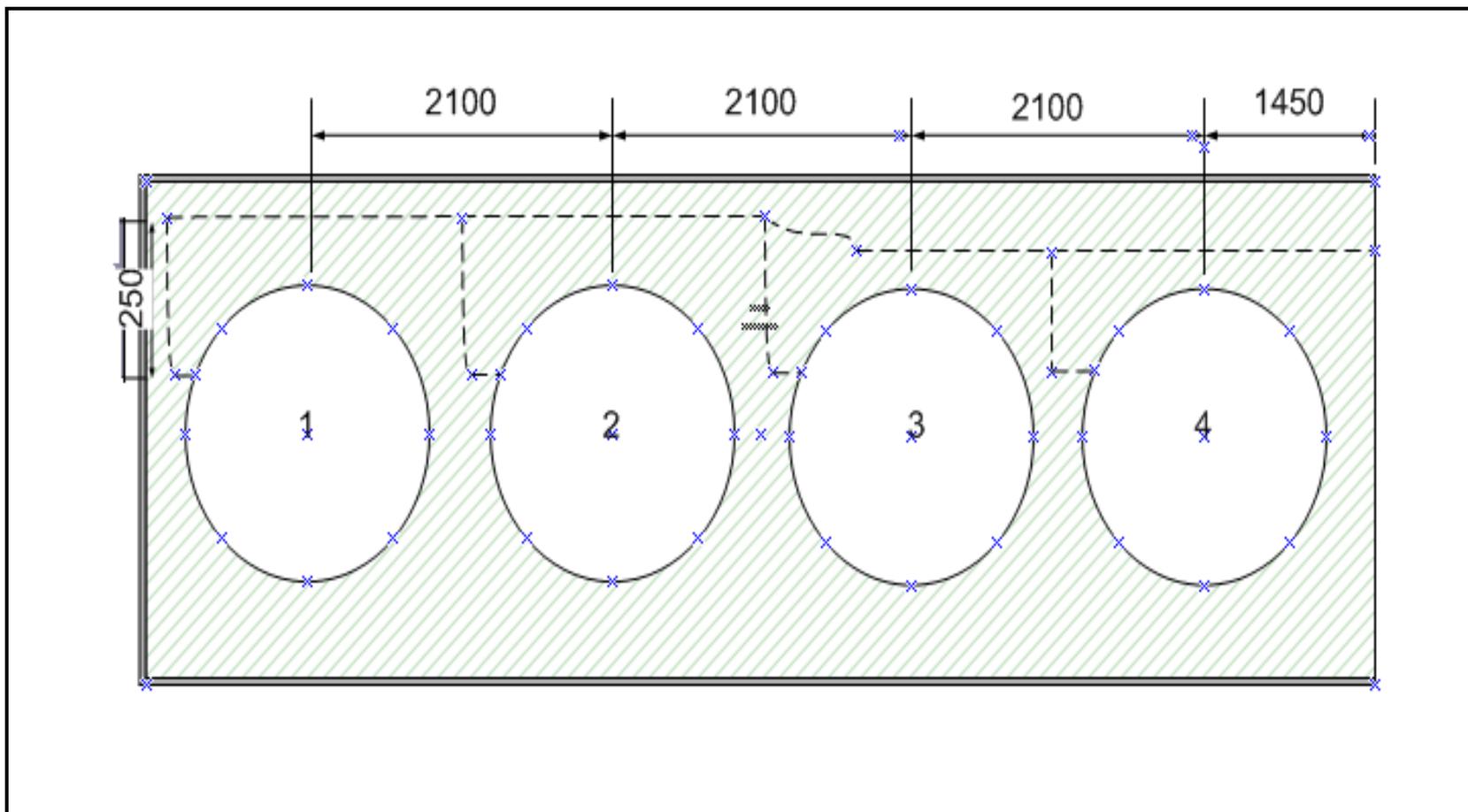
4.6 CHUMACERA GUÍA TURBINA DE UNIDADES PRIMERA ETAPA (LOCALIZACIÓN DEL SENSOR)



4.7 CHUMACERA GUÍA INFERIOR DE UNIDADES SEGUNDA ETAPA (LOCALIZACIÓN DEL SENSOR)

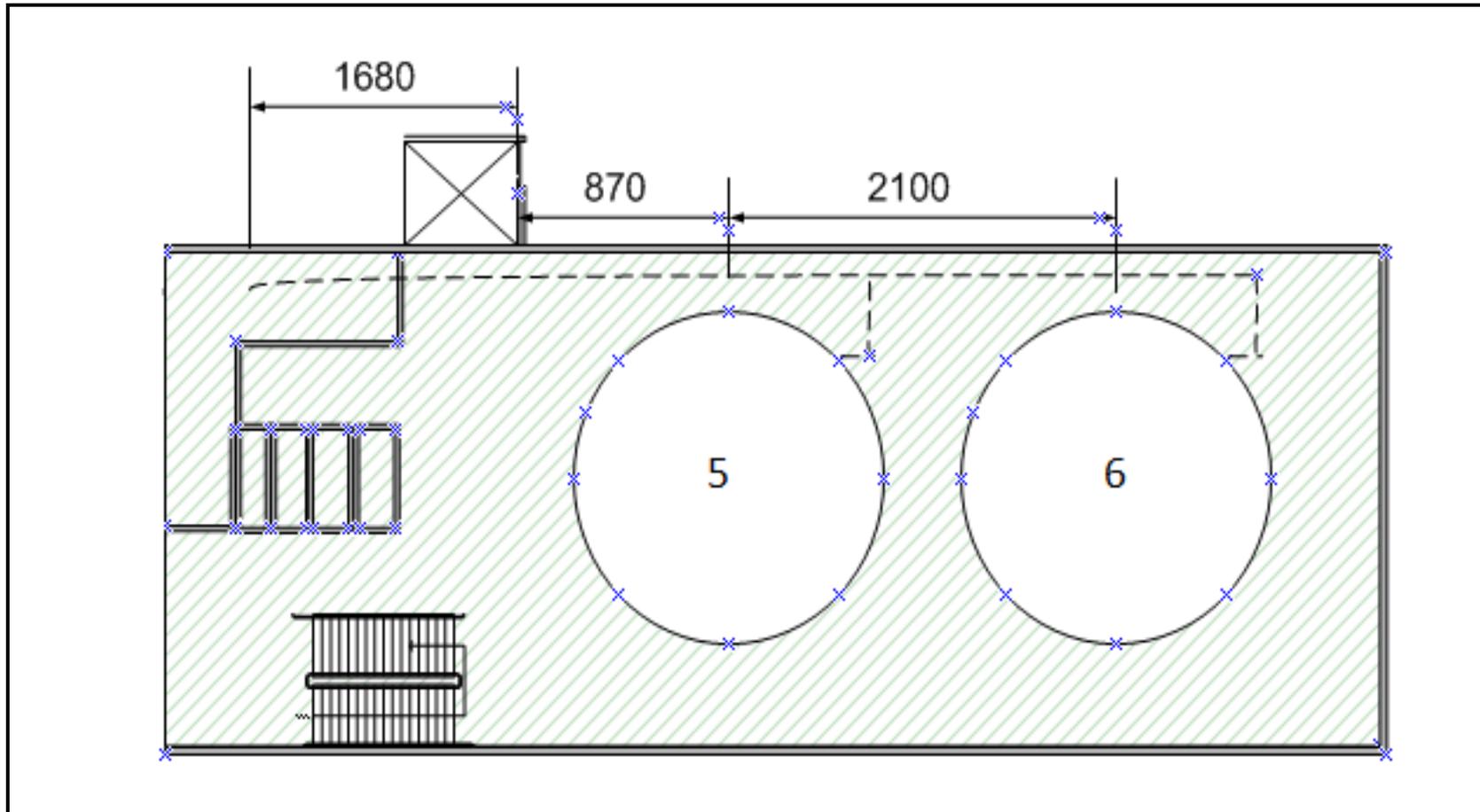


4.8 PISO DE TURBINAS DE UNIDADES DE LA PRIMERA ETAPA (CABLEADO)



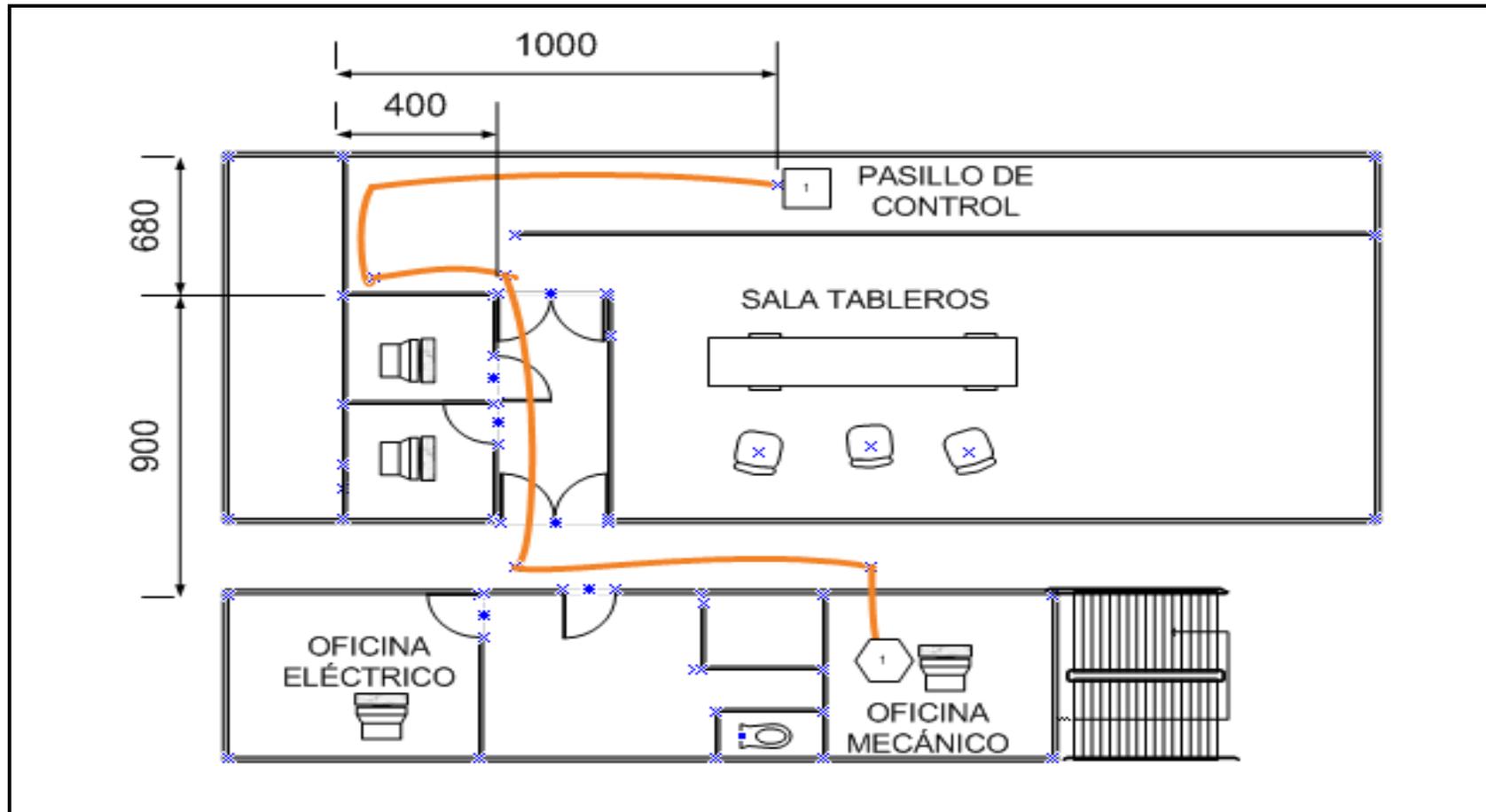
	C.H. MALPASO	
	CABLEADO EN PISO DE TURBINAS UNIDADES 1ª. ETAPA	
	Dibujó: Juan Julián G. Mendoza Velázquez	PLANO 5
	Revisó: Ing. Gildardo Jiménez Ramos	ACOTACIÓN: cm

4.9 PISO DE TURBINAS DE UNIDADES DE LA SEGUNDA ETAPA (CABLEADO)



	C.H. MALPASO	
	CABLEADO EN PISO DE TURBINAS UNIDADES 2ª. ETAPA	
	Dibujó: Juan Julián G. Mendoza Velázquez	PLANO 6
	Revisó: Ing. Gildardo Jiménez Ramos	ACOTACIÓN: cm

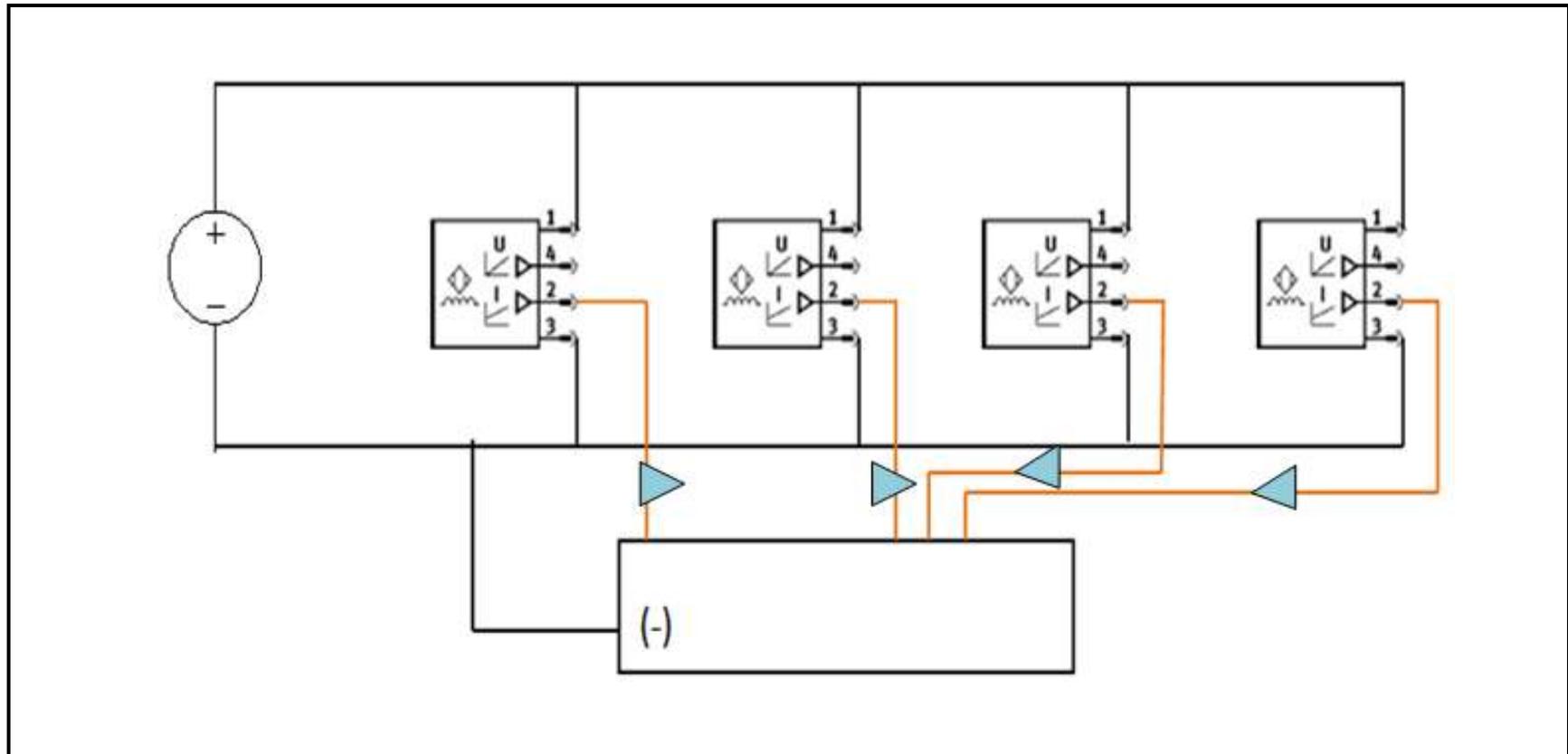
4.10 PLANO SALA DE CONTROL-OFICINA MECÁNICO



	C.H. MALPASO	
	SALA DE CONTROL-OFICINA MECÁNICO	
	Dibujó: Juan Julián G. Mendoza Velázquez	PLANO 7
	Revisó: Ing. Gildardo Jiménez Ramos	ACOTACIÓN: cm

4.11 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE LOS SENSORES

El siguiente diagrama muestra cómo debe conectarse los 4 sensores que se montarán en cada unidad con su respectiva fuente de poder y con el módulo de adquisición de datos.



4.12 COTIZACIÓN SENSORES EDDY CURRENT

Referencias					
Tamaño	S ¹⁾	Tipo de montaje	Salida analógica		Conexión eléctrica
	[mm]				Conector tipo clavija
					Nº art. Tipo
M12					
	0 ... 6	Enrasado	0 ... 10 V	4 ... 20 mA	538292 SIEA-M12B-UI-S

Pos.	Nro. mat.	Descripción	Cant.	Precio unit
1	538292	Sensor de proximidad SIEA-M12B-UI-S	1	2,950.00



Alcance: 0-6mm

CANTIDAD	CONCEPTO	MONTO
24	Sensores de proximidad	\$ 70,800.00

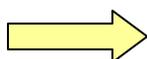
4.13 EQUIPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS SELECCIONADO

Chasis

Ethernet



- Chasis de 1 u 8 ranuras
- Interfaz Ethernet
- Ideal para medidas remotas
- Cableado de hasta 100 m por segmento



NI cDAQ-9188



MX\$ 21,545

- **Número de Ranuras:** 8
- **Interfaz de Comunicación:** Gigabit Ethernet
- **Rango de Transmisión:** 100 m por segmento
- **Temperatura de Operación:** -20 a 55 grados C
- **Potencia:** 9 a 30 VDC
- **Disparo:** 2 líneas digitales PFI

Módulo adquisición de datos

NI 9205 con Terminales de Resorte



MX\$ 12,675

Cantidad:

- **Rango:** 4 ajustes desde +/-200 mV a +/-10 V
- **Velocidad de Muestreo:** 250 kS/s acumulada
- **Aislamiento:** banco CAT II de 250 Vrms
- **Canales:** 32 SE o 16 DI
- **Tipo de Conector:** Terminal de Resorte

Cable de comunicación chasis-PC (Ethernet)

Shielded Ethernet Cable (10m)



MX\$ 310

- **Tipo de Cable:** Blindado
- **Longitud del Cable:** 10 m

4.14 PROGRAMA EN LABVIEW

Después de haber explicado la programación de bloques en la plataforma del LABVIEW en el capítulo anterior. Se muestra en seguida los paneles que son los que el usuario podrá visualizar y manipular.

Se diseñaron dos paneles diferentes en uno principal, lo cuales serían:

- Primera etapa
- Segunda etapa

Como bien se explicó, en la primera etapa consta de las unidades uno a la 4 y la segunda etapa las unidades 5 y 6.

Cada panel de cada unidad tendrá las siguientes características:

- a) Indicadores de desplazamiento (amplitud)
- b) Indicadores de alarmas y paro
- c) Hipervínculos

4.14.1 PANEL DE LA PRIMERA ETAPA

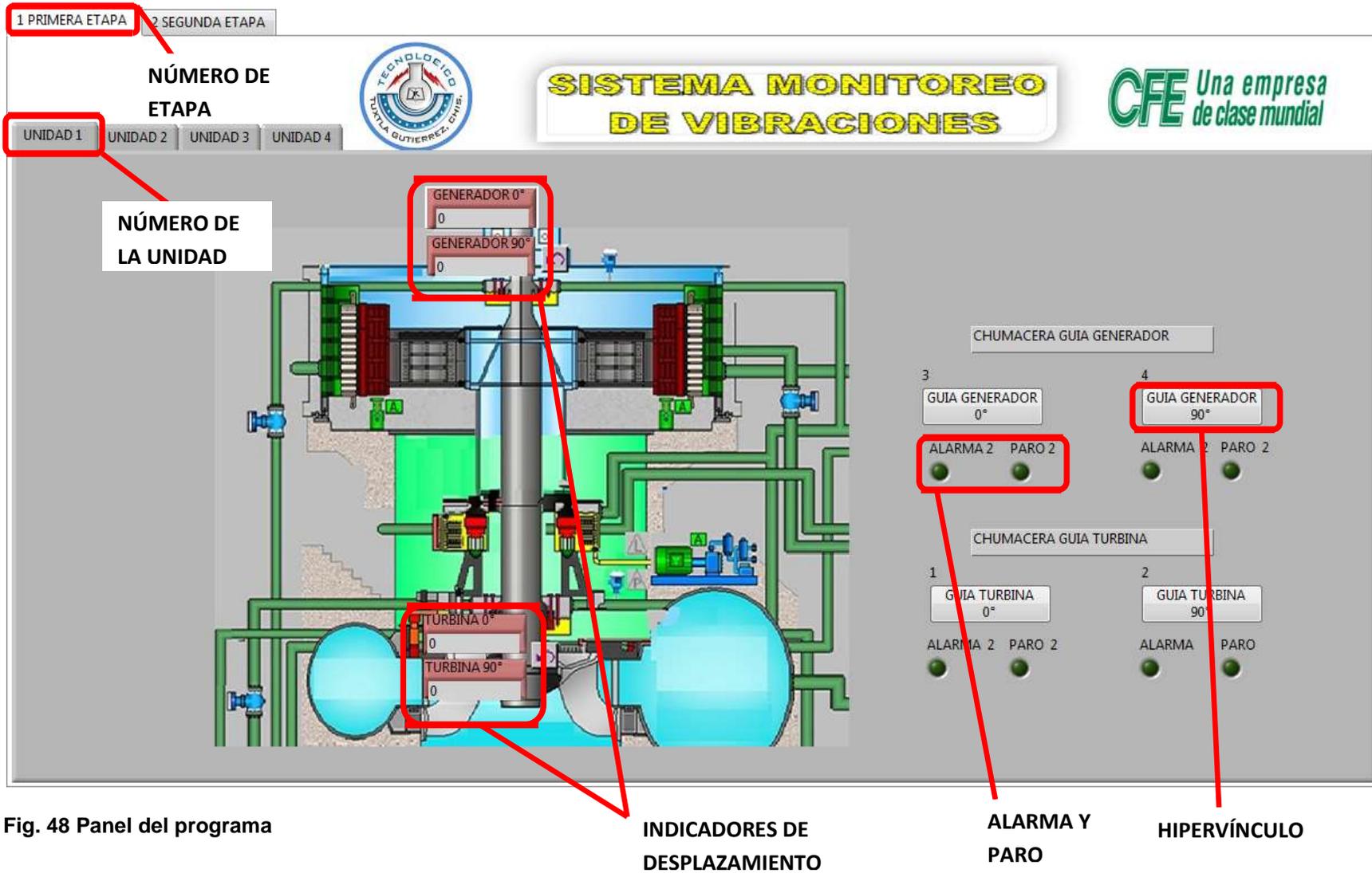
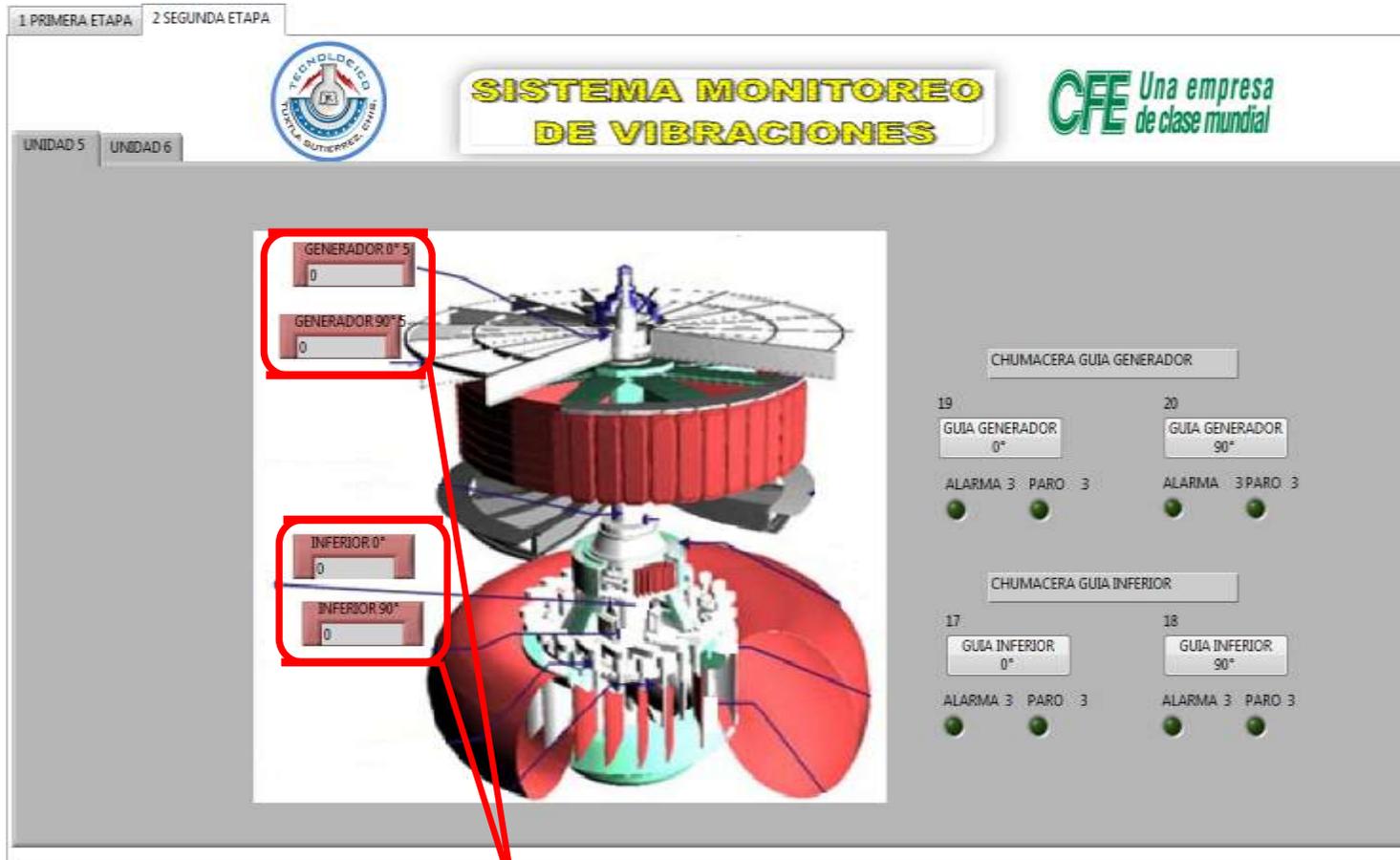


Fig. 48 Panel del programa

4.14.2 PANEL DE LA SEGUNDA ETAPA



**INDICADORES DE
DESPLAZAMIENTO**

Fig. 49 Panel segunda etapa

4.14.3 EJEMPLO DE UN SUBVI DE UNA CHUMACERA

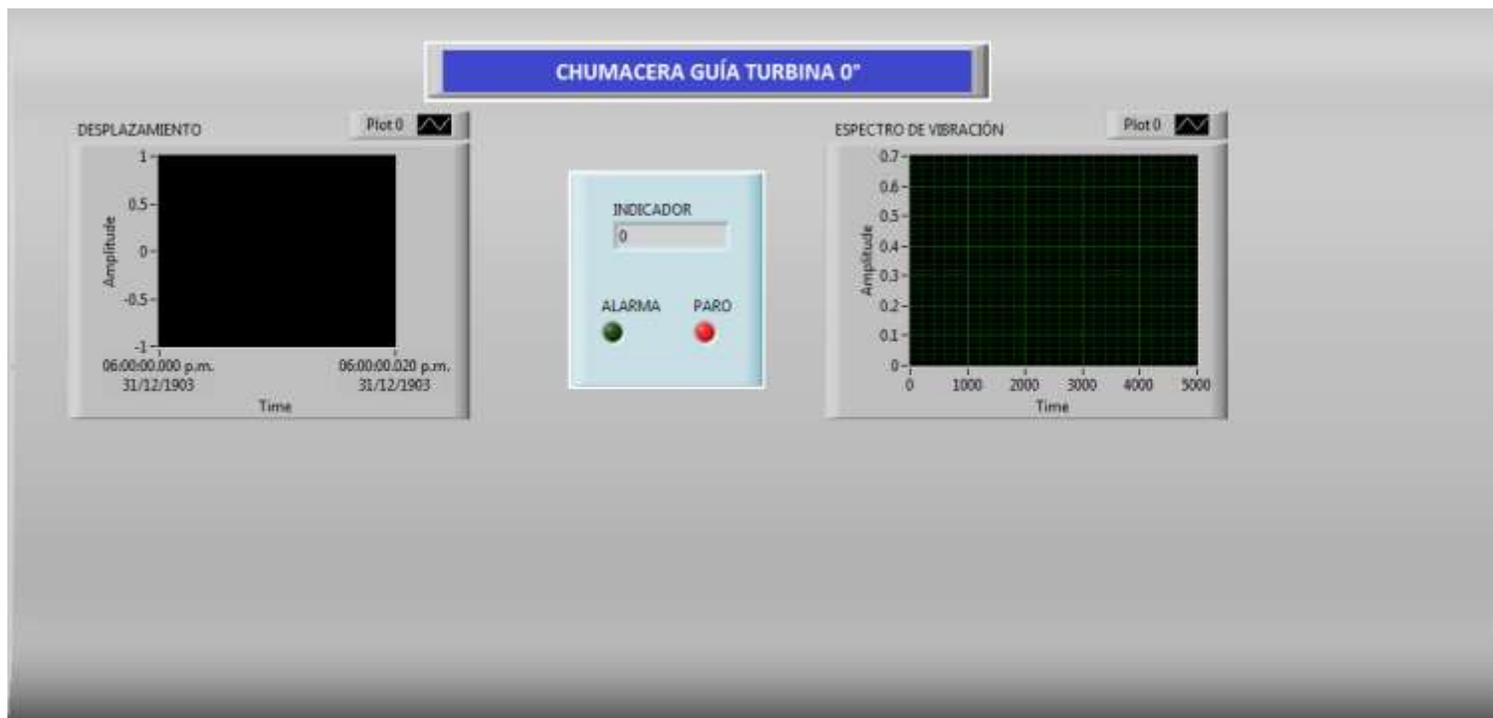


Fig. 50 Panel del sub-programa

Cada SUBVI tiene la función de hacer un análisis personalizado de un sensor en particular donde se podrá apreciar:

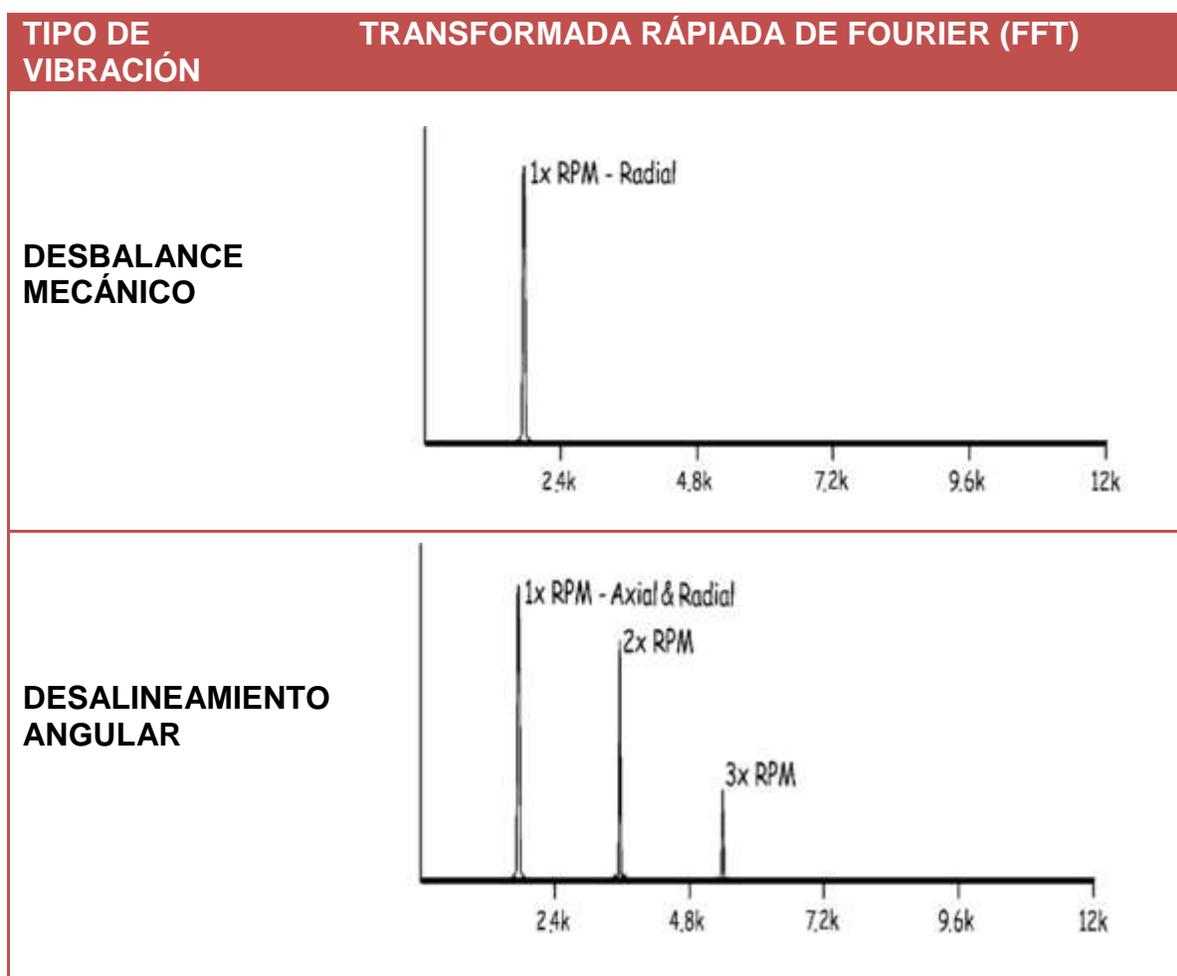
- 1) Gráfica de desplazamiento y espectro de vibración
- 2) Indicador de desplazamiento
- 3) Alarma y paro

4.15 TÍPICOS DE VIBRACIÓN DE NATURALEZA MECÁNICA

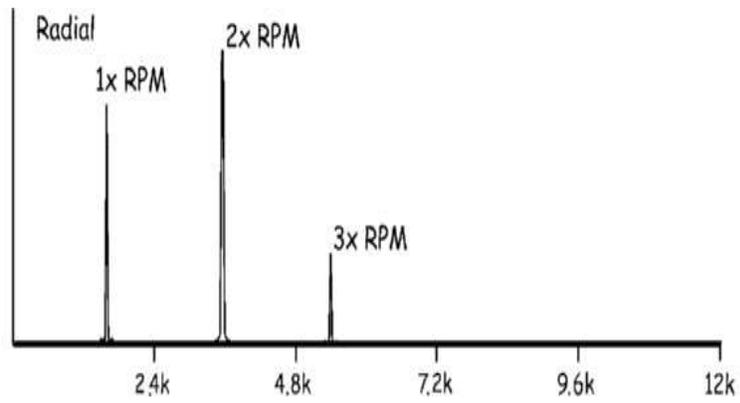
Los problemas de vibración de generadores eléctricos como cualquier máquina rotativa, pueden presentarse por diferentes condiciones, que pueden ser a causa de:

- Fallas de origen en el diseño o construcción
- Fallas en el mantenimiento
- Desgaste natural de sus partes
- Fallas operativas

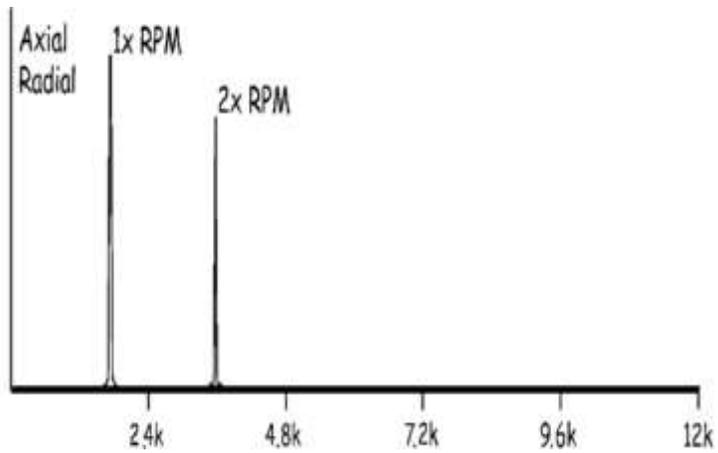
Los espectros de vibración de origen mecánico que podría arrojar como resultado el programa son los siguientes que se mencionan a continuación:



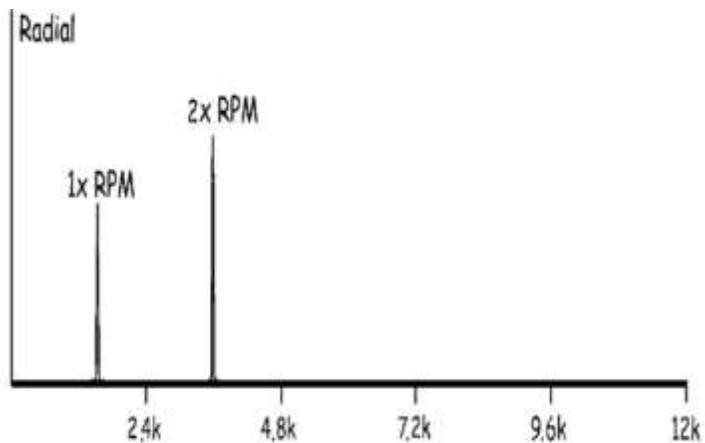
DESALINEAMIENTO PARALELO



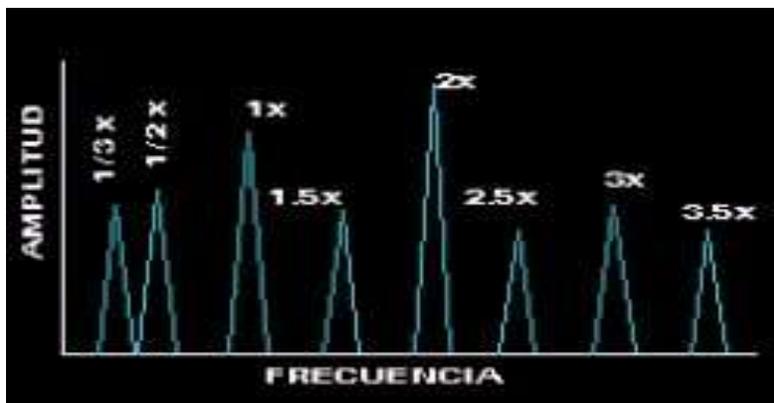
FLECHA FLEXIONADA O TORCIDA



AFLOJAMIENTO DE ESTRUCTURAS



ROZAMIENTO DEL EJE CON LA CHUMACERA GUIA O ROTOR CON ESTATOR



FALLAS OPERATIVAS POR ALTAS PRESIONES

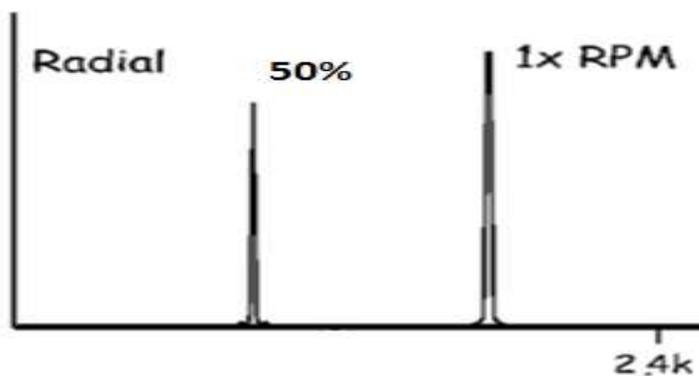


Tabla 19. Típicos de vibración origen mecánico

TIPO DE VIBRACIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL ESPECTRO	CAUSA MÁS COMÚN
DESBALANCE MECÁNICO	<ul style="list-style-type: none"> • La frecuencia de vibración se manifiesta a la 1XRPM, de la pieza desbalanceada. • La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalance. 	Es una de las causas más comunes de la vibración
DESALINEAMIENTO ANGULAR	<ul style="list-style-type: none"> • Se caracteriza por altas vibraciones axiales. • 1 X RPM o 2 X RPM son las más comunes, con desfase de 180° a través del cople. • También se presenta a la 3 X RPM. 	Las líneas centrales del eje se interceptan pero no de forma paralela
DESALINEAMIENTO PARALELO	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede detectar altas vibraciones radiales a 2 X RPM predominante, y a 1 X RPM con desfase de 180° a través del cople. • La vibración radial dependerá de donde la línea central del eje 	Las líneas centrales del eje no se interceptan y quedan separadas paralelamente

	intercepta el ensamble de la línea central.	
FLECHA FLEXIONADA O TORCIDA	Vibración alta a la primera armónica con una componente en la segunda (2x) menor que la primera	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe a mala calibración de la chumacera, o los segmentos están dañados. • Sobreesfuerzo mecánico en algún punto específico.
AFLOJAMIENTO DE ESTRUCTURAS	<ul style="list-style-type: none"> • Vibración radial alta a la 1x, 2x rpm (a menudo más alta a la 2x) y posiblemente 3x (bajo). • La amplitud es extremadamente alto en dirección del aflojamiento. 	Algún componente ha perdido rigidez por lo que será necesario cerciorarse que elemento necesita apriete.
ROZAMIENTO DEL EJE CON LA CHUMACERA GUIA	<ul style="list-style-type: none"> • Se genera numerosos armónicos de RPM • Hay una serie de frecuencias excitando una o más resonancias. • También excita ubarmónicos de fracciones enteras a velocidad nominal (1/2x, 1/3x, ..., 1/nX). 	<ul style="list-style-type: none"> • Mal ajuste o falta de calibración en las chumaceras guías. • Problemas en el acoplamiento conjunto turbina-generador.
FALLAS OPERATIVAS POR ALTAS PRESIONES	<ul style="list-style-type: none"> • Se induce un incremento de la vibración 	Estas fallas son por los cambios de presiones de

	<p>manifestada principalmente a la frecuencia de la velocidad nominal.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencias entre un 40 y 50% de la velocidad nominal 	<p>los parámetros de operación como aceite de lubricación y aceite de sellos, gas de enfriamiento, diferencial de sellos e inestabilidad en la lubricación de las chumaceras</p>
--	--	--

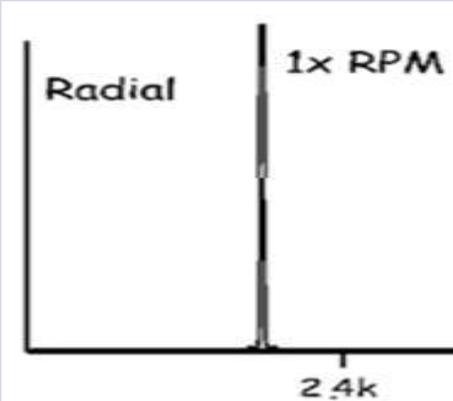
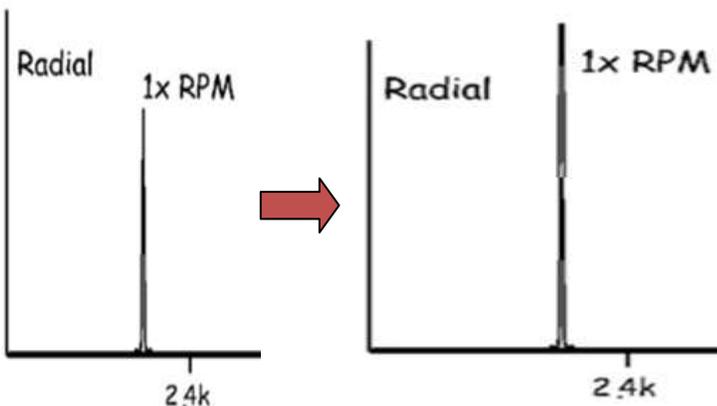
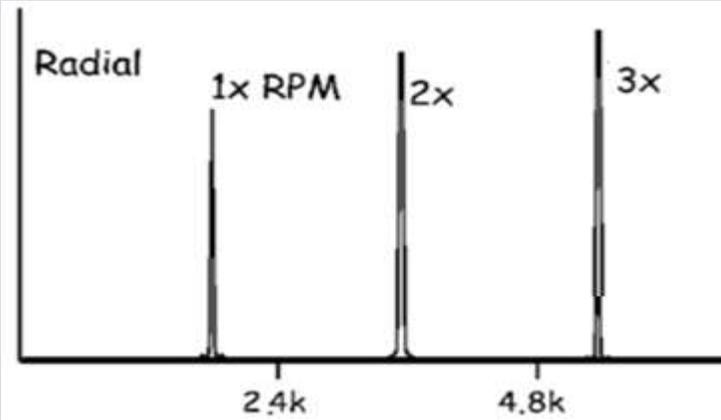
Tabla 20. Descripción típicos vibración origen mecánico

4.16 ESPÉCTROS DE VIBRACIÓN DE ORIGEN ELÉCTRICO

La diferencia entre una falla de origen eléctrico como una falla de origen mecánico es el simple hecho de manifestar la vibración de la unidad en el momento de inducirse una corriente eléctrica.

Algunos de los problemas de origen eléctrico manifestados como vibración en motores y rotores de generadores eléctricos son originados por:

- Corto circuito en el rotor
- Deformación del estator del generador eléctrico
- Desbalance de flujo eléctrico
- Bobinas flojas en estator
- Cuñas flojas del rotor
- Fisuras en barras

TIPO DE VIBRACIÓN	TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER (FFT)
<p>CORTO CIRCUITO EN EL ROTOR</p>	
<p>DEFORMACIÓN DEL ESTATOR DEL GENERADOR ELÉCTRICO</p>	
<p>BOBINAS FLOJAS EN ESTATOR</p>	

<p>FISURAS EN EL ROTOR</p>	
<p>FLEXIÓN DEL ROTOR</p>	
<p>ALTAS TEMPERATURAS EN DEVANADOS</p>	

Tabla 21. Típicos de vibración origen eléctrico

TIPO DE VIBRACIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL ESPECTRO	CAUSA MÁS COMÚN
CORTO CIRCUITO EN EL ROTOR	El efecto se manifiesta a la frecuencia de giro 1X, como un constante desbalance mecánico al existir una desigualdad en el flujo magnético del rotor.	Una máquina con corto circuito, se puede comportar como una unidad sin falla. Pero una falla incipiente normalmente se manifiesta hasta el momento de rodar el rotor y estar bajo el efecto de una fuerza centrífuga.
DEFORMACIÓN DEL ESTATOR DEL GENERADOR ELÉCTRICO	Se manifiesta con vibración a la frecuencia de giro en el momento de ser excitado el rotor, registrando un cambio brusco de amplitud, con el mismo comportamiento en las diferentes condiciones operativas (carga y excitación)	La deformación del estator genera un desbalance magnético que se manifiesta como vibración a la frecuencia de giro; a causa del tamaño del estator y su instalación vertical.
BOBINAS FLOJAS EN ESTATOR	<ul style="list-style-type: none"> • No se nota un incremento de vibración a la frecuencia de giro. • Hay un incremento sustancial en la componente del doble de la frecuencia de giro (2X) y de sus armónicos 	Con las horas de trabajo de la unidad, llegan a aflojarse las bobinas del estator, generando un ruido característico al de un transformador en el momento de ser excitado

<p>FISURAS EN EL ROTOR</p>	<p>Se manifiesta con una fuerte amplitud de vibración a la frecuencia de giro, así como la presencia fuerte de una segunda y tercera armónica. Otra característica es la no repetición de la vibración entre un rodado y otro.</p>	<p>Es una falla mecánica con consecuencias eléctricas y se puede confundir con un fuerte desbalance.</p>
<p>FLEXIÓN DEL ROTOR</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se caracteriza con la presencia de alta vibración a la frecuencia de giro con una excentricidad considerable en el inicio del rodado. • Al paso de la velocidad crítica puede observarse un decremento aparente de la vibración. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La flexión de rotor puede ser de forma permanente o temporal. ➤ Una flexión temporal se puede corregir con las horas de virado de la máquina. ➤ Una flexión permanente sólo se puede eliminar mediante técnicas de tratamiento térmico o la colocación de pesos.
<p>ALTAS TEMPERATURAS EN DEVANADOS</p>	<p>Este efecto induce a un incremento de la vibración a la frecuencia de giro con posibles componentes al doble 2x.</p>	<p>Es provocado por una falta de enfriamiento o una sobrecarga eléctrica en la máquina.</p>

Tabla 22. Descripción típicos naturaleza eléctrica

4.17 ANÁLISIS DE VIBRACIONES ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS

En la mayoría de los casos anteriores, la frecuencia de vibración resultante de los problemas de índole eléctrica será la 1xr.p.m y por lo tanto se parecerá a un desbalance. Una manera sencilla de hacer la prueba para verificar la presencia eventual de vibración eléctrica es observar el cambio de la amplitud de la vibración total (filtro fuera) en el instante en el cual se desconecta la corriente de esa unidad. Si la vibración desaparece en el mismo instante en que se desconecta la corriente, el problema con toda posibilidad será eléctrico. Si sólo decrece gradualmente, el problema será de naturaleza mecánica.

VIBRACIONES MECÁNICAS	VIBRACIONES ELÉCTRICAS
Los típicos mencionados de naturaleza mecánica serán resultados de los sensores montados en las chumaceras guía generador y guía turbina.	Los problemas y típicos descritos en cuanto vibraciones de origen eléctrico solamente serán arrojados por los sensores colocados en la chumacera guía generador.
El típico de desbalance mecánico que tiene como espectro en la primera armónica tendrá una magnitud relativa baja que no rebasará el valor de alarma.	Algunos típicos de carácter eléctricos como: flexión el rotor, corto circuito y deformación del estator también tienen un espectro en la primera armónica. Pero para estos casos su puede rebasar la amplitud del valor de alarma e inclusive alcanzar el valor de paro.



CFE *Una empresa
de clase mundial*

5. CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIÓN

Las conclusiones a la que se llegó al desarrollar este proyecto que tiene como nombre: *“instrumentación para Monitoreo de las vibraciones en las turbinas generadoras del nivel 1 y 2 de la central hidroeléctrica Malpaso”* son las que se enuncian a continuación.

Las 6 máquinas generadoras son unidades de baja velocidad (128 rpm), por lo que se tuvo que utilizar sensores inductivos llamados de Eddy current, ya que la medida a realizar era el desplazamiento radial de la flecha conjunto turbina-generator. No se seleccionaron los LVDT's debido que no son adecuados para lugares de trabajos robustos y sucios.

Se seleccionó el equipo NI-COMPACTDAQ de NATIONAL INSTRUMENTS como sistema de adquisición de datos, debido a que un solo módulo puede adquirir y procesar varias señales de los sensores que monitorearan los desplazamientos radiales en las flechas, sin ser necesario ocupar y comprar un equipo para cada unidad.

Para realizar dicha tarea se seleccionaron como puntos estratégicos las chumaceras guía generador y guía turbina. Se utilizó el criterio de la vibración relativa; la razón fue que los sensores de desplazamiento a montarse serían colocados en las cubiertas de las chumaceras.

Se escogió manejar la salida analógica de tipo corriente generada por los sensores ya que no es alterada por viajar a grandes distancias, que a comparación de la de voltaje se pierde totalmente la señal a una distancia máxima de diez metros. Cuando la unidad esté sin operar, el sensor debe estar a 3 mm generando una salida de 12 mA.

La señal analógica de corriente antes de llegar al módulo de adquisición de datos, se amplificará usando los convertidores de señal, con el motivo de transformar la señal de corriente a voltaje, ya que es más conveniente para procesarla en el módulo.

Cada módulo de voltaje puede adquirir hasta 16 señales diferentes y de corriente hasta ocho solamente, por dicha razón es más conveniente y no es necesario comprar varios módulos.

Por lo explicado en el párrafo anterior, se planeó utilizar dos módulos de voltaje, una para las unidades de la primera etapa y la otra para las de la de segunda etapa.

Una amplitud de vibración que se registre en el programa desarrollado en la plataforma de LABVIEW mayor a los valores de las holguras de las chumaceras tanto guía turbina o generador será erróneo.

El sistema diseñado y el programa son fáciles de utilizar, y no se necesita un seminario completo para poder operarlo. Únicamente debe de tenerse cuidado en el montaje de los sensores para que las mediciones obtenidas sean las correctas.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se dan para este proyecto son las siguientes:

- El proyecto sólo concluye con la instrumentación física y virtual, mostrando, describiendo y explicando los detalles de la logística de los elementos y equipo necesarios para monitorear las vibraciones en las chumaceras guías de las unidades. Pero se le puede darle continuidad una vez que se haya conseguido y comprado todo el equipo, ya que cuando se lleve a cabo la instalación, será necesario hacer las pruebas preoperativas correspondientes para dar validez que todos los elementos e instrumentos funcionan adecuadamente y con la debida precisión.
- El software que se entrega no tiene la programación en función de los sensores que se van a montar, por lo que se desarrolló con señales de muestra que ayuden a verificar el correcto funcionamiento del programa. Para cuando se vaya a implementar, es necesario usar el ícono de Daq-Acquisition de LABVIEW y configurar la entrada en modo voltaje.
- La chumacera guía inferior de las unidades 5 y 6 están cubiertas y selladas parcialmente, mostrando un problema para la colocación de un sensor de posición que pueda medir el desplazamiento radial de la flecha de la turbina. Se recomienda hacer unos orificios para adecuar el montaje de un sensor y colocarlos como se muestra en el plano III.
- Debe tenerse una gran precisión en el montaje de los sensores en las chumaceras colocándose a 3 mm de distancia con la flecha, ya que el sensor tendrá una alta sensibilidad y ante pequeñas variaciones de distancia será registrada y se enviarán mediciones incorrectas.
- Para el caso del uso de las resistencias en los convertidores de señal, se puede a la vez implementar potenciómetros digitales, para poder variar la señal de voltaje de salida hacia el módulo de adquisición de datos.

II. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros.

- GÓMEZ DE León, Félix Cesáreo. Tecnología del mantenimiento Industrial; Ed. Servicio de Publicaciones Universidad de Murcia; España, 1998, 339 pp.
- PALLAS Areny, Ramón. Sensores y acondicionadores de señal; 4ª. ed., Ed. Marcombo, España, 2003, 474 pp.
- PEMEX. Curso de Vibración y Balanceo; Manual de Pemex, México, 98 pp.

Fuentes de Internet

- http://www.sinais.es/indice_vibraciones.html
- <http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n17:daq/fmid/654/>
- <http://mexico.ni.com/>
- <http://es.scribd.com/doc/27477608/Manual-de-Ejercicios-Introduccion-a-LabVIEW>



CFE *Una empresa
de clase mundial*

III. APÉNDICE

A.1 DIMENSIONES Y DATOS TÉCNICOS DE LA TURBINA

Diámetro exterior del rodete	5600 mm
Diámetro de la flecha principal	1260 mm
Diámetro del cojinete guía	1600
Diámetro del cojinete de carga	3380
Diámetro exterior del escudo superior	7010
Diámetro interior del caracol	5600
Distancia transversal desde la línea de centro de la unidad hasta la línea de centro del interior del caracol	6450
Peso total de la partes rotativas de la turbina	150 000 kg
Peso total de las partes rotativas del generador	540 000 kg
Máximo desbalanceo del empuje hidráulico	570 000 kg
Máxima carga sobre la chumacera de carga	1 260 000 kg
Máxima temperatura en el cojinete guía principal	60 °C
Máxima temperatura del agua de enfriamiento	30 °C
Máxima temperatura en el cojinete de carga	65 °C
Cantidad de agua de enfriamiento para el cojinete de guía principal	400 lts/min
Cantidad de agua de enfriamiento para el cojinete de carga	1600 lts/min
Cantidad de agua de enfriamiento	130 lts/min

para el prensaestopas de la flecha principal	
Diferencia de presión del agua de enfriamiento entre la entrada y salida del cambiador de calor	1.5 kg/cm ²
Máxima presión en los cambiadores de calor	5
Volumen de aceite lubricante para el cojinete guía principal	750 lts.
Volumen de aceite lubricante para el cojinete de carga	8200 lts
Cantidad de fugas de agua en el foso de la turbina: Normal: Anormal:	60 lts/min 300 lts /min
Cantidad de fuga de agua a través de los álabes directrices: Normal: Anormal:	0.5 m ³ /seg 1.3 m ³ /seg
Volumen del tubo difusor	2400 m ³

Tabla 23. Información turbina

MÁXIMA POTENCIA DE DISEÑO DE OPERACIÓN DE LA TURBINA

Salto hidráulico efectivo m	Potencia máxima CV	Potencia mínima CV
95.5	296 500	76 000
85	250 000	60 000
60	142 000	32 000

Tabla 24.

A.2 FUNCIONAMIENTO SENSOR EDDY CURRENT

Los instrumentos de Corriente *Eddy* o dispositivos de desplazamiento sin contacto, miden directamente la posición de un eje giratorio con respecto a un punto “fijo”. El cambio en la posición de un eje provee una indicación directa de la vibración.

La punta de la sonda contiene una bobina encapsulada, la cual cuando es excitada con una señal de alta frecuencia genera un campo electromagnético. A medida que el eje rota bajo condiciones de vibración, se alejará o acercará a la punta de la sonda interactuando por consiguiente, con el campo electromagnético.

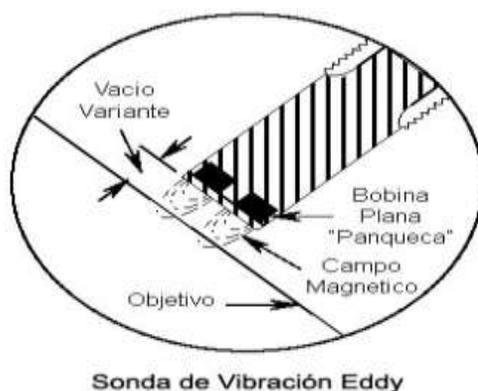


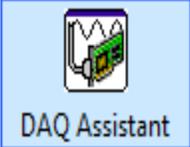
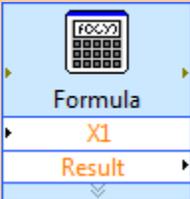
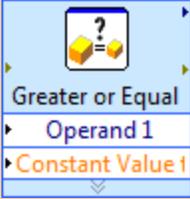
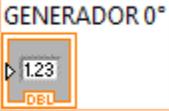
Fig. 51 Funcionamiento sensor proximidad

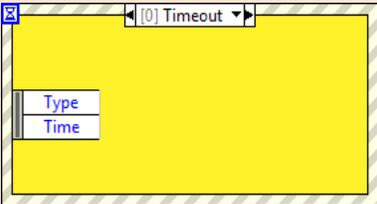
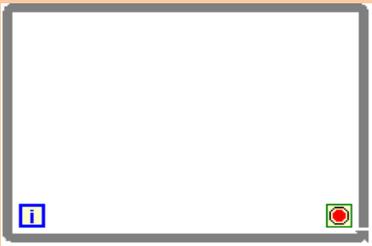
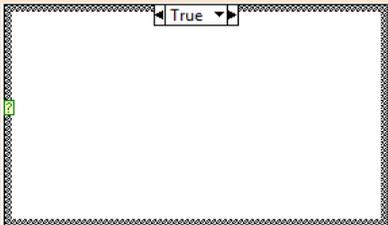
Se induce una corriente *Eddy*, cuya energía es proporcional a la interferencia del campo magnético. Por lo tanto, midiendo el valor de la corriente *Eddy*, se puede determinar la posición del eje y por consiguiente la vibración.

A.3 SIMBOLOGÍA INSTRUMENTACIÓN

	<p>Sensor EDDY CURRENT</p>
	<p>Esquema de montaje local</p>
	<p>Símbolo de montaje en panel</p>
	<p>N- Posición E- Sensor 8- Número del sensor o bucle</p>
	<p>Pantalla o display del programa</p>
	<p>Señal eléctrica generada por el sensor</p>
	<p>Comunicación Ethernet entre módulo DAQ-PC</p>
	<p>Circuito conversor de señal corriente-voltaje</p>
	<p>Sistema adquisición de datos</p>

A.4 SIMBOLOGÍA PROGRAMACIÓN LABVIEW

	<p>Ícono de adquisición de datos desde el módulo DAQ</p>
	<p>Bloque para realizar operaciones matemáticas</p>
	<p>Comparador de valores para establecer la alarma</p>
	<p>Comparador mayor o igual</p>
	<p>Indicadores luminosos de alarma y paro</p>
	<p>Indicador numérico</p>
	<p>Temporizador de señal</p>

	<p>PUSH Bottom</p>
	<p>Estructura de eventos- Establece acciones determinadas como hipervínculos</p>
	<p>Lazo WHILE- Establece un ciclo while de manera que una acción sea continúa</p>
	<p>Estructura de casos- Es un tipo seleccionador para ejecutar diferentes acciones</p>

A.5 NOMENCLATURA DE LETRAS

d	Distancia a medir
s	Sensibilidad sensor
si	Sensibilidad de señal de corriente
sv	Sensibilidad de señal de voltaje
I_{OFFSET}	Valor de corriente de OFFSET
V_{OFFSET}	Valor de voltaje de OFFSET
I_{OUT}	Corriente de salida
V_{OUT}	Voltaje de salida
I_e	Corriente entrada al convertidor de señal
V_o	Voltaje amplificado por el convertidor de señal
R1	Resistencia del amplificador para convertidor de señal

A.6 GLOSARIO

Amplificador operacional- Es un circuito electrónico (normalmente se presenta como circuito integrado) que tiene dos entradas y una salida. La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor (G) (ganancia): $V_{out} = G \cdot (V_+ - V_-)$

Armónico de vibración- Es el típico de vibración o pico característico de amplitud en un análisis de una transformada rápida de Laplace (FFT), y comúnmente se representa con respecto a la velocidad de giro (1x rpm, 2x rpm, 3x rpm, etc.)

Chumacera- Es el dispositivo que permite el soporte y alineación para la rotación de un eje

Offset- También conocido como desviación de cero, es el valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el *offset*.

Resolución- Mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida

Sensibilidad- Relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.

Sensor de proximidad inductivo- Es una clase especial de sensores que sirve para detectar materiales metálicos ferrosos. En su estructura contiene un devanado interno y cuando una corriente circula por el mismo, un campo magnético es generado. También se le conoce como sensor de Eddy current o corriente de Foucault.

Subvi- Dentro de la programación de LABVIEW, es un pequeño programa equivalente a ciertas funciones o subrutinas.