



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Apizaco

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**“GESTIÓN DE MEJORA DEL MANTENIMIENTO
PREDICTIVO”**

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTA:
TRISTÁN LEÓN LÓPEZ**

**NOMBRE DEL ASESOR:
DR. CARLOS BUENO AVENDAÑO**



APIZACO, TLAX., OCTUBRE 2024



Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Apizaco, Tlaxcala, 21/octubre/2024
Departamento: Ingeniería Eléctrica y Electrónica
No. De oficio: I.E.E. /941/2024

Asunto: Liberación de Proyecto
para la Titulación Integral

CÉSAR REYNALDO RAMOS GÓMEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del egresado:	TRISTÁN LEÓN LÓPEZ
Carrera:	INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
No. De Control:	19370507
Nombre del proyecto:	"GESTIÓN DE MEJORA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO."
Producto	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Y ELECTRÓNICA

JAIME ALBERTO ELIZALDE OLIN
JEFE DEL DEPTO. DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARLOS BUENO AVENDAÑO
Nombre y firma de la asesor

JAEO/Isa*
C.p. Archivo



Apizaco, Tlaxcala, 28/octubre/2024

LEÓN LÓPEZ TRISTÁN.
EGRESADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
EN ELECTRÓNICA.
CON NÚMERO DE CONTROL 19370507.
PRESENTE.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL cuyo tema es: "GESTIÓN DE MEJORA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO" conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar 2 USB del mismo, apropiadamente encuadernados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepcion Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido de Usted.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica-
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®*

CÉSAR REYNALDO RAMOS GÓMEZ.
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DIVISIÓN DE
ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo

CRRG/rls

Apizaco, Tlaxcala, 11/octubre/2024



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo va dedicado principalmente a mis padres, Juan y Estela, que gracias a ellos soy la persona que soy ahora y siempre estaré agradecido con su apoyo.

Le agradezco a:

Mis amigos de la universidad que han estado en las buenas, en las malas y en las peores; deseo que todos sigamos en contacto y que nuestros caminos en la vida se vuelvan a juntar en algún momento. Ellos son Marcelino, Azucena, Salvador Abraham, Brian, Roy y Manuel. Siempre significarán mucho para mí y nunca terminaré de devolverles todo lo que me han brindado.

Mis hermanos Ivanna y Diego, espero podemos ser más unidos en el futuro.

Mis compañeros de trabajo que hicieron de las prácticas profesionales una experiencia grata de aprendizaje personal y profesional.

Mis asesores, Juan Carlos Muñoz Concha y Carlos Bueno Avendaño, los cuales se tomaron el tiempo y la paciencia para llevar a cabo mis logros.

Y, por último, pero no menos importante; a mi colega Bruno que partió de mis brazos un 15 de enero del 2023 pero me cuida desde lo más alto del cielo y a Sasha cuya cara muestra los años que ha estado a mi lado. Ambos estarán en mi corazón siempre como mis mascotas.

ÍNDICE

I.- RESUMEN	
1.- Introducción.....	1
2.-Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo	2
3.- Problemas para resolver	4
4.- Objetivos.....	6
4.1.- Objetivo general.....	6
4.2.- Objetivos específicos	6
5.- Justificación.....	7
6.- Limitaciones.....	8
III.- MARCO TEÓRICO.....	9
7.- El mantenimiento y su evolución	9
7.1.- Mantenimiento predictivo	10
7.1.1.- Pruebas no destructivas.....	12
8.- Técnicas del mantenimiento predictivo	13
8.1.- Análisis de vibraciones	13
8.2.- Análisis de aceite.....	14
8.3.- Termografías	15
8.4.- Análisis de ultrasonido	16
9.- Medición de vibraciones.....	17
9.1.- Características de la medición de vibraciones	18
10.- Elementos relacionados en la toma de vibraciones	21
10.1.- Rodamientos	21
10.1.1.- Rodamiento radial.....	21
10.1.2.- Partes de un rodamiento	22
10.2.- Motores trifásicos	24
10.2.1.- Partes de motores trifásicos.....	24
10.2.2.- Funcionamiento de un motor	26
10.3.- Bombas centrifugas	27
10.3.1.- Partes de una bomba centrifuga	28
10.4.- Reductores de velocidad.....	29
10.4.1.- Tipos de reductores de velocidad.....	30
11.- Equipo para la toma de vibraciones	31

11.1.- Analizador de vibraciones	31
10.2.- Software de análisis de datos	32
10.3.- Sensores acelerómetros	33
10.3.1.- Acelerómetro AC192.....	34
10.3.2.- Acelerómetro AC135.....	34
10.4.- Procesamiento de señales	35
11.-Estandares para el diagnóstico de resultados	37
11.1.- Norma ISO 10816.....	37
11.2.- Tablas de Charlotte	38
IV.- DESARROLLO	40
12.- Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	40
12.1.- Uso del equipo CSI 2130	40
12.2.- Puntos de medida	42
12.2.1.- Puntos de lectura para elementos de velocidad alta.....	42
12.2.2.- Puntos de lectura para elementos de baja velocidad	45
12.3.1.- Descarga de datos.....	48
12.3.2.- Localización de datos en la ruta de análisis	54
12.4.- Descripción de la ruta	59
13- Toma de medidas	61
13.1.- Consideraciones de mediciones en bombas	61
13.1.1.- Bombas de recirculado	62
13.1.2.- Bomba de recirculado GP-130A.....	62
13.2.- Agitador del lavador GA-121	66
V.- RESULTADOS	71
14.- Análisis de resultados.....	71
14.1.- Análisis a bomba GP-130B.....	71
14.2.- Análisis al agitador del GA-121	73
VI.- Conclusión	74
15.-Conclusiones del proyecto	74
15.1.- Recomendaciones	75
15.2.- Experiencia personal profesional.....	76
VII.- Fuentes de información.....	77
16.- Bibliografía.....	77

16.1.- Bibliografía de imágenes.....	80
17.- Glosario.....	83
18.- Anexos	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la planta Novidesa	3
Figura 2 Daños en rodamientos de máquinas rotativas.....	4
Figura 3 Ciclo del mantenimiento predictivo	11
Figura 4 Analizador de vibraciones.....	13
Figura 5 Cámara Termográfica.....	16
Figura 6 Detectores ultrasónicos	17
Figura 7 Sistema de un analizador de vibraciones	18
Figura 8 Gráfica de la velocidad en un objeto que vibra	19
Figura 9 Gráfica de la aceleración de la vibración	20
Figura 10 Rodamiento Radial.....	21
Figura 11 Anillo interior (derecha) y anillo exterior (izquierda)	22
Figura 12 Elementos de rodadura	23
Figura 13 Jaula de rodamiento.....	23
Figura 14 Motor trifásico.....	24
Figura 15 Estator de un motor.....	25
Figura 16 Rotor de un motor.....	25
Figura 17 Escudo y carcasa de motor	26
Figura 18 Funcionamiento de una bomba centrífuga	27
Figura 19 Impulsor de una bomba.....	28
Figura 20 Carcasa de una bomba.....	29
Figura 21 Reductor de eje paralelo	30
Figura 22 Reductor de grupo cónico	30
Figura 23 Reductor planetario.....	31
Figura 24 Analizador de vibraciones CSI 2130.....	32
Figura 25 Versión del software AMS Machinery Health Manager	32
Figura 26 Acelerómetro piezoeléctrico	33
Figura 27 Acelerómetro AC195	34
Figura 28 Acelerómetro AC135	35
Figura 29 Funcionamiento de la FFT	36
Figura 30 Tabla de severidad Norma ISO 10816	38
Figura 31 Botón de encendido del equipo CSI2130	40
Figura 32 Menú de inicio	40
Figura 33 Ingreso al administrador de ruta	41
Figura 34 Localización de rutas	41
Figura 35 Navegación de equipos	42
Figura 36 Vista frontal de posicionamiento del sensor en lectura horizontal.....	43
Figura 37 Vista lateral de posicionamiento del sensor en lectura horizontal	43
Figura 38 Vista frontal de posicionamiento del sensor en lectura vertical	44
Figura 39 Vista lateral de posicionamiento del sensor en lectura vertical.....	44
Figura 40 Vista lateral de posicionamiento del sensor en lectura axial	45
Figura 41 Vista frontal de posicionamiento del sensor en lectura axial.....	45
Figura 42 Vista lateral del posicionamiento del sensor en lectura radial.....	46
Figura 43 Vista frontal del posicionamiento del sensor en lectura radial	46

Figura 44 Vista frontal del posicionamiento del sensor en lectura axial.....	46
Figura 45 Vista lateral del posicionamiento del sensor en lectura axial	46
Figura 46 Ubicación del software AMS Machinery Manager	47
Figura 47 Pantalla de inicio de AMS Machinery Manager	47
Figura 48 Barra de herramientas	48
Figura 49 Bases de datos	48
Figura 50 Configuración USB de los equipos	49
Figura 51 Menú de inicio del analizador	50
Figura 52 Punto de medición de la ruta	50
Figura 53 Menú alternativo de la ruta.....	51
Figura 54 Navegación de rutas para la transferencia de datos	52
Figura 55 Pantalla de verificación de la conexión.....	52
Figura 56 Selección de rutas para transferencia de datos	53
Figura 57 Transferencia de datos	53
Figura 58 Transferencia de datos en el software	54
Figura 59 Diagnóstico de gráficos	54
Figura 60 Opciones de visualización de datos	55
Figura 61 Base de datos de la ruta "Críticos NOVIDESA"	56
Figura 62 Puntos de lectura del equipo GP-140A.....	56
Figura 63 Configuración de lectura del punto de medición	57
Figura 64 Opciones de visualización de datos del punto de lectura	58
Figura 65 Gráfica de tendencias, espectro y forma de onda.....	59
Figura 66 Bomba de recirculado GP-130A	62
Figura 67 Medida 1MV	63
Figura 68 Medida 1MH y 1PV	63
Figura 69 Medida 1MA	63
Figura 70 Medida 2MH y 2PV	63
Figura 71 Medida 2MV	63
Figura 72 Medida 2MA	64
Figura 73 Medida 3BH y 3PV	64
Figura 74 Medida 3BV	64
Figura 75 Medida 3BA	64
Figura 76 Medida 4BV	65
Figura 77 Medida 4BH y 4PV	65
Figura 78 Medida 4BA	65
Figura 79 Medida 1MH y 1PV	66
Figura 80 Medida 1MV	66
Figura 81 Medida 1MA	66
Figura 82 Medida 2MH y 2PV	67
Figura 83 Medida 2MV	67
Figura 84 Medida 2MA	67
Figura 85 Medida 3RH y 3PV	67
Figura 86 Medida 3RV	67
Figura 87 Medida 3RA.....	68

Figura 88 Medida 4RV	68
Figura 89 Medida 4RH y 4PV	68
Figura 90 Medida 4RA	68
Figura 91 Medida 5AA	69
Figura 92 Medida 5AR, 5PV y 5AD	69
Figura 93 Medida 6AA	69
Figura 94 Medida 6AR, 6PV y 6AD	69
Figura 95 Medida 7AA	70
Figura 96 Medida 7AR, 7PV y 7AD	70
Figura 97 Gráfica de tendencias en el punto 1MH	71
Figura 98 Espectro de 3BH del 23 de abril del 2024	72
Figura 99 Espectro de 3BH del 2 de julio del 2024	72
Figura 100 Espectro de 3BA del 23 de abril del 2024	72
Figura 101 Espectro de 3BA del 2 de julio del 2024	73
Figura 102 Espectro 1MV del 25 de abril del 2024	73
Figura 103 Espectro 1MA del 25 de abril del 2024	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Especificaciones del equipo CSI2130	85
Anexo 2 Hoja de datos del sensor AC192	86
Anexo 3 Hoja de datos del sensor AC135	87
Anexo 4 Fragmento de las tablas de Charlotte	88
Anexo 5 Fragmento de la NOM-017-STPS-2008	89
Anexo 6 Orden de trabajo de mantenimiento preventivo	90
Anexo 7 Orden de trabajo de mantenimiento correctivo	91

I.- RESUMEN

El proyecto de gestión de mejora del mantenimiento predictivo para la planta de NOVIDESA es importante ya que involucra técnicas no invasivas dentro de los equipos basados en máquinas rotatorias, logrando recabar información útil.

El objetivo de la aplicación de este tipo mantenimiento es optimizar la vida útil de los equipos; establecer planes preventivos en máquinas basadas en movimiento rotativo como motores, bombas y reductores para que las frecuencias de tiempo sean precisas con el objetivo de evitar el paro en la operación, mejorar inventarios considerando la importancia y uso de piezas, mejor administración de recursos humanos, etc.; con esto se logra establecer procesos de calidad dentro del departamento.

En este caso, se abordará el análisis de vibraciones a máquinas rotativas, siendo esta técnica una de las más usadas dando como resultado algunos diagnósticos a los equipos con problemas en elementos rotativos, desalineación, desbalance, daños eléctricos, etc. de manera temprana antes de que se llegue a un estado crítico dejándolos completamente fuera de operación.

II.- GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.- Introducción

Dentro de gran parte de la industria, los sistemas basados en máquina de movimiento rotativo son esenciales. En cuanto a la industria petroquímica, este tipo de sistemas es empleado en la transmisión de materia prima en grandes cantidades y volúmenes; por lo tanto, debe de tenerse en cuenta la implementación de distintos tipos de mantenimiento según la necesidad. El objetivo de este proyecto es la aplicación de técnicas de mantenimiento centrado en confiabilidad para establecer diagnósticos a los distintos equipos, basando su grado de importancia en la criticidad de estos; mediante estos análisis se tomarán acciones para alargar la vida útil de las máquinas y optimizar los procesos de mantenimiento.

La técnica a utilizar es la toma de medidas de vibraciones por medio de un velocímetro, tomando valores que pueden ser imperceptibles con el tacto, logrando diagnosticar de manera temprana problemas que estén presentando los equipos, interviniendo antes de que se llegue a un estado crítico. Esta práctica supone una gran ventaja donde se evoluciona al mantenimiento predictivo, pasando con planes de mantenimiento preventivo, y así evitando llegar al mantenimiento correctivo. [1]

El sistema de adquisición de vibraciones está compuesto por el sensor velocímetro, un equipo de procesamiento de señales (el cual tiene cargada información sobre las mediciones tomadas, datos de los equipos en rutas establecidas, configuraciones a los puntos de medición) y software de visualización al cual se le transmiten las mediciones para establecer tendencias y procesamiento de valores para formar espectros basados en la transformada rápida de Fourier.

En este reporte se abordará a detalle conceptos relacionados al mantenimiento predictivo, técnicas mediante procesos no destructivos para establecer comportamientos y estado de los equipos, ventajas presentes en estos tipos de análisis y como repercuten de manera positiva en la calidad del departamento de

mantenimiento, diagnósticos de equipos mediante el estudio de datos adquiridos en la toma de vibraciones y acciones a implementar para una óptimo funcionamiento.

2.-Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo

Novidesa inició en 1979 con la fundación de Poliestireno y Derivados, S.A. de C.V. (POLIDES), empresa creada en coinversión de Grupo IDESA con el gobierno federal para producir poliestireno cristal (GPPS) e impacto (HIPS). En 1987 el Grupo adquirió la totalidad de la participación accionaria de POLIDES y fue en 1994 cuando incursionó en la producción de poliestireno expansible (EPS) con tecnología propia. En 2005 la planta de sistemas constructivos inició operaciones con el nombre de Novidesa usando equipos de tecnología europea y, para mejorar la tecnología de elaboración de EPS, creó una alianza con la empresa canadiense Nova Chemicals. A partir de 2007 se consolidó entonces la tecnología híbrida propia de IDESA con apoyo de Nova. Posteriormente NOVIDESA y POLIDES se fusionaron para crear Novidesa, S.A. de C.V., cuyo enfoque actual es la fabricación de poliestireno expansible y sistemas de construcción en la Unidad Industrial Tlaxcala.

Se ha desarrollado una familia de productos de moldeo continuo y alma metálica, ligeros, resistentes y aislantes térmicos y acústicos, enfocados en la seguridad y durabilidad.

Siendo parte de grupo IDESA, es compromiso de todos cumplir con los requisitos de las partes interesadas con soluciones, servicios y productos hechos bien a la primera y en todo momento, aplicando un enfoque de creatividad, innovación y mejora continua en todos sus procesos, en apoyo a la dirección estratégica de la compañía.

Misión:

Proporcionar los mejores productos y servicios para el desarrollo de diversos sectores industriales en beneficio de la sociedad.

Visión:

Ser líderes en la producción, almacenamiento y distribución de productos y soluciones integrales que sean sustentables, vanguardistas y soportadas por el mejor talento.

Valores:

- Fin de la pobreza.
- Salud y bienestar.
- Educación de calidad.
- Igualdad de género.
- Trabajo decente y crecimiento económico.
- Reducción de las desigualdades

Ubicación:

Km. 154 Carretera México-Veracruz vía Texcoco, S/N, Fracc. Tochac, 90460 Xaloztoc, Tlax.

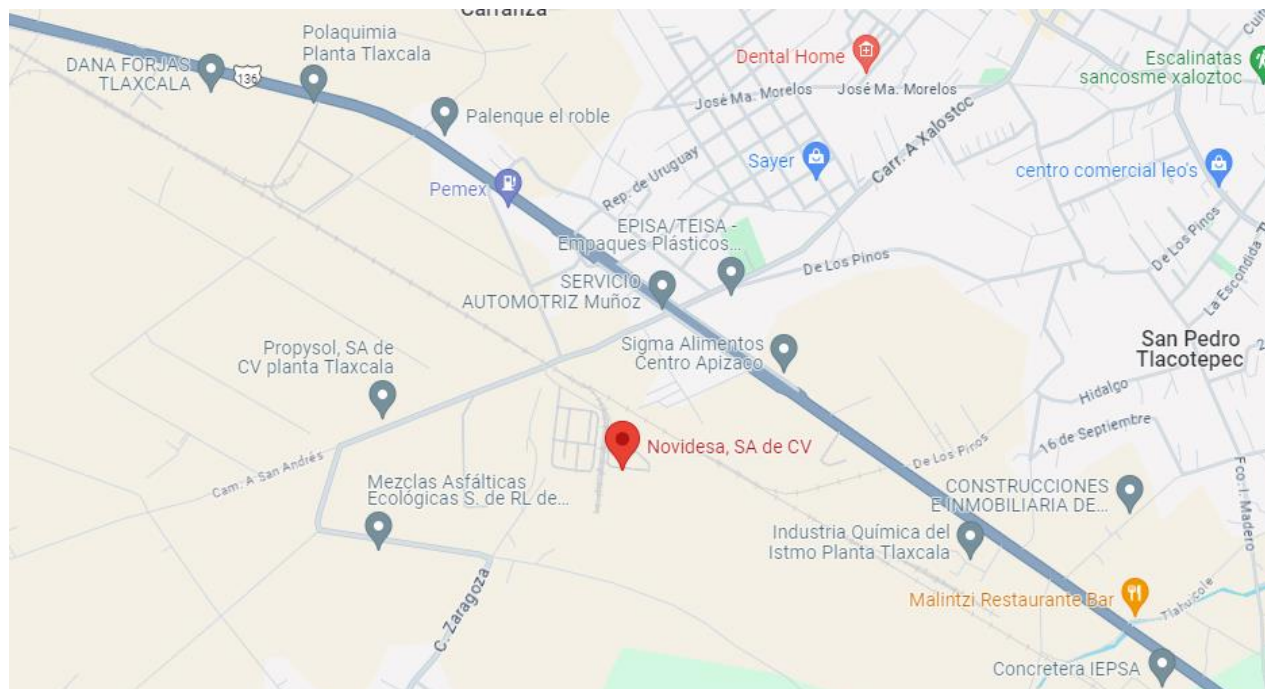


Figura 1 Ubicación de la planta Novidesa

3.- Problemas para resolver

Como lo menciona el maestro Felipe Díaz del Castillo en su estudio de vibraciones mecánicas; la vibración es un intercambio de energía cinética sobre cuerpos con rigidez y masa finitas, el cual surge de una entrada de energía dependiente del tiempo, y puede llegar a ser producido por las siguientes razones [4]:

- Desequilibrio en máquinas rotatorias.
- Entrada de energía acústica.
- Circulación de fluidos o masas.
- Energía electromagnética.

Sea cualquiera la causa de la vibración, su reducción es necesaria debido a muchas razones, entre las cuales se tienen:

- La excesiva vibración puede limitar la velocidad de procesamiento.
- La vibración es responsable de la pobre calidad de los productos elaborados por máquinas-herramientas.
- La vibración de maquinarias puede resultar en radiación de ruido.
- La vibración puede alcanzar a otros instrumentos de precisión de otras fuentes, y causar fallas de funcionamiento.

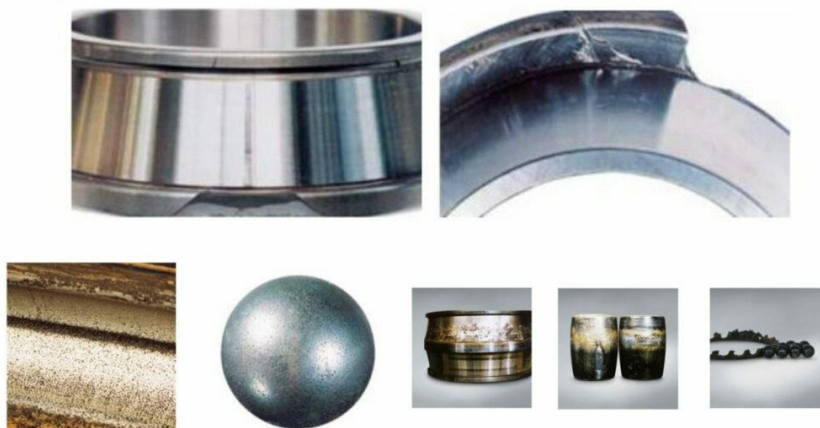


Figura 2 Daños en rodamientos de máquinas rotativas

La medición de la vibración, juega un papel muy importante en el desarrollo de técnicas para mitigarla o reducirla, y en el establecimiento de límites en los niveles de ruido de la maquinaria existente en una instalación industrial. Aproximadamente el 50% de las averías en máquinas rotativas se deben a desalineaciones en los ejes. Las máquinas mal alineadas generan cargas y vibraciones adicionales, causando daños prematuros en rodamientos, obturaciones y acoplamientos, también aumenta el consumo de energía. Gracias a los avances de la electrónica, actualmente se tienen instrumentos de medición altamente sofisticados que permiten cuantificar la vibración de manera precisa, a través de diversos principios. Es por esto que es muy importante, un buen entendimiento de los transductores empleados para la medición de vibración, y su interfaz con los sofisticados equipos de instrumentación y de adquisición de datos.

Hoy en día, uno de los puntos importantes a considerar en el buen funcionamiento de los procesos industriales está basado entre otras cosas en reglas, procedimientos o metodologías de mantenimiento, en especial uno conocido como mantenimiento predictivo ya que permite saber el estado actual y futuro de una maquinaria o de sus elementos; el análisis de vibraciones de maquinaria es una de las metodologías ampliamente usadas en el mantenimiento de maquinaria, de tal manera que el estudio de las vibraciones mecánicas se ha convertido en algo esencial para gran parte de los participantes involucrados en el mantenimiento ya que les permite comprender, analizar y proponer soluciones sobre diversas problemáticas relacionada con procesos industriales.

4.- Objetivos

4.1.- Objetivo general

- Desarrollar las actividades que se llevan a cabo dentro del departamento de mantenimiento centrado a la confiabilidad en la planta industrial de NOVIDESA utilizando técnicas de mantenimiento predictivo aplicadas a máquinas rotativas.

4.2.- Objetivos específicos

- Comprender los distintos procesos que se realizan dentro del departamento de mantenimiento que se encuentra dividido en eléctrico, instrumentista y mecánico.
- Analizar conceptos básicos presentes dentro del mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo.
- Realizar un análisis de los equipos que están presentes en las áreas de la empresa para saber su funcionamiento y como se aplican técnicas de mantenimiento.
- Conocer los instrumentos electrónicos con los cuales se obtienen datos que funcionan para plantear soluciones aplicadas al mantenimiento preventivo.
- Examinar estándares establecidos de la toma de vibraciones, es decir; diagnósticos y tendencias generales que han sido determinados por teóricos e instituciones especializados en el mantenimiento predictivo.
- Aplicar las correcciones mediante el análisis de tendencias arrojadas por los equipos de medición:

5.- Justificación

El desarrollo de actividades de mantenimiento predictivo dentro de la empresa NOVIDESA S.A. de C.V. representa un gran número de ventajas y beneficios los cuales son muy importantes, por ejemplo: conocer el estado actual de los equipos, mejoras al sistema de almacén y refacciones, prolongar la vida útil de los equipos, administración eficiente de recursos humanos.

Debido a estas ventajas se ha tomado la decisión de llevar a cabo las actividades que anteriormente hacía el departamento de mantenimiento centrado en confiabilidad. Dentro de estas actividades se encuentra la toma y análisis de valores de vibraciones las cuales son recolectadas con un equipo especializado; de esta manera se busca optimizar el diagnóstico de los distintos tipos de problemas que presentan equipos rotativos, los cuales son una parte importante en los procesos de la planta industrial.

El anticiparse a problemas diagnosticados por medio del análisis de vibraciones en equipos de baja y alta criticidad es una gran ventaja para el ahorro en general de recursos y también un avance significativo al cumplimiento de normas de seguridad industrial.

6.- Limitaciones

Las limitaciones del proyecto sobre la implementación de mantenimiento predictivo en la industria en general pueden incluir:

- Preparación del personal involucrado: este tipo de técnicas sobre la recolección de datos para establecer un diagnóstico a los equipos requiere de conocimientos técnicos los cuales son necesarios definir de manera adecuada para llegar a cabo correctamente.
- Equipos de alto costo: los equipos que llevan a cabo el procesamiento de señales suelen ser muy costosos, por lo tanto, requieren un manejo especial para lograr sacar provecho completamente de las técnicas de recolección de datos.
- Análisis complicado: a pesar de que existan guías y estándares establecidos para el análisis de las señales, las medias encontradas en la práctica suelen involucrar muchos elementos a la vez, resultado en un análisis complejo de diagnosticar.
- Impedimento en la realización de toma de medidas: los equipos a los cuales se les toma medida de vibraciones requieren estar en operación, dificultando realizar la actividad debido a que no existe un patrón específico de arranque de las máquinas.

III.- MARCO TEÓRICO

7.- El mantenimiento y su evolución

Las técnicas de mantenimiento de máquinas cambiaron mucho y han evolucionado los últimos 15 años y es necesario el análisis de ese desarrollo. [2]

La meta más importante de cualquier programa de mantenimiento es la eliminación de los paros de la maquinaria. Una eliminación completa de las averías no es posible en la práctica.

El segundo propósito del mantenimiento es de poder anticipar y planificar con precisión los requerimientos de las máquinas. Las reparaciones a los sistemas mecánicos se pueden planificar de manera ideal durante los paros programados de la planta.

El tercer propósito es de incrementar la disponibilidad para la producción de la planta, por medio de la reducción importante de la posibilidad de algún paro durante el funcionamiento de la planta, y de mantener la capacidad operacional del sistema a través de la reducción del tiempo de inactividad de las máquinas críticas.

En resumen, el objetivo del departamento de mantenimiento en una empresa es el de asegurar la disponibilidad de las máquinas que necesita la empresa para su diaria operación y hacer rendir al máximo los recursos de que dispone, sean estos las mismas máquinas, los repuestos o el personal de mantenimiento.

Existen tres tipos de mantenimiento, el primero era el de “funcionar hasta fallar”, en donde la máquina funcionaba hasta que una falla venía a interrumpir el servicio, obviamente una política costosa. La mayor parte del costo está representada por la impredecibilidad del estado de la máquina, que causa paros indeterminados de la planta y costos muy elevados en inventarios y horas extras del personal de mantenimiento.

Después llegó la idea del mantenimiento periódico preventivo, en donde las máquinas son desarmadas y reacondicionadas según programas regulares. La teoría es que, si se reacondicionan las máquinas antes de que se termine su duración de vida esperada, no presentarán fallas en servicio, pero aquí también

existen altos costos y muchas veces se interviene a máquinas en buen estado, lo que implica un desperdicio de recursos.

En los últimos diez años, el mantenimiento predictivo se hizo muy popular. Esto es el mantenimiento en que solamente se va a intervenir en una máquina cuando se sabe que presenta una falla. No se interfiere con máquinas que no han sido diagnosticadas e identificados sus problemas.

La técnica está basada en el hecho que la mayoría de las partes de la máquina darán un tipo de aviso antes de que fallen. Para percibir los síntomas con que la máquina nos está advirtiendo requiere varias pruebas no destructivas, tal como análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, análisis de vibraciones y medición de temperaturas.

Considerando esto, se ha dado un gran salto en el mantenimiento, comprendiendo una gran evolución en cuanto a las técnicas, procesos e industrias a las que se implementan. Lo más destacable es el mantenimiento predictivo, ya que presenta resultados muy ventajosos en la detección de errores antes de que estos se presenten, pruebas no destructivas con los equipos en operación, evitación de paros en las máquinas debido a mantenimientos preventivos o fallas, etc.

7.1.- Mantenimiento predictivo

El siguiente paso en la tecnología de mantenimiento fue la llegada del mantenimiento predictivo, basado en la determinación del estado de la máquina en operación. [2]

La técnica está basada en el hecho que la mayoría de las partes de la máquina darán un tipo de aviso antes de que fallen. Para percibir los síntomas con que la máquina advierte de estas fallas se requiere de varias pruebas no destructivas, tal como ferrografías, análisis de desgaste, medición de vibraciones, termografías, analisis de espesores, etc.

El uso de estas técnicas, para determinar el estado de la máquina dará como resultado un mantenimiento mucho más eficiente, en comparación con los tipos de mantenimiento planteados anteriormente.

El mantenimiento predictivo permite que la gerencia de la planta tenga el control de las máquinas y de los programas de mantenimiento y no al revés. En una planta donde se usa el mantenimiento predictivo el estado general de las máquinas está conocido en cualquier momento y una planificación más precisa será posible.

Los principales éxitos del mantenimiento predictivo en la gran mayoría de las plantas industriales, han sido los significativos ahorros que ha logrado, al evitar paradas de planta por fallas imprevistas en las máquinas principales en las líneas de producción, luego su área de responsabilidad se ha extendido a los demás equipos de la planta industrial, eliminándose paulatinamente el mantenimiento preventivo en la mayoría de los equipos rotativos y ejecutándose los mantenimientos para solucionar fallas específicas que presenta cada máquina en particular.

De esta manera, se establece un diagrama sobre el ciclo de realización del mantenimiento predictivo (Figura 3), esto con ayuda de la toma de decisiones basada en límites establecidos por tendencias antes medidas e historiales.

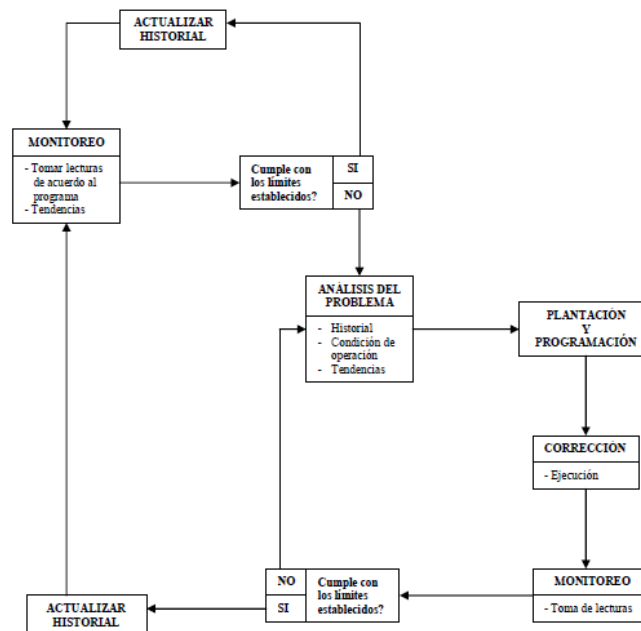


Figura 3 Ciclo del mantenimiento predictivo

7.1.1.- Pruebas no destructivas

Las pruebas no destructivas son herramientas fundamentales y esenciales para el control de calidad de materiales de ingeniería, procesos de manufactura, confiabilidad de productos en servicio y mantenimiento de sistemas, cuya falla prematura puede ser costosa o desastrosa. Así como la mayoría de procedimientos complejos, no pueden ser definidos en pocas palabras, por cual se definen como: “El empleo de propiedades físicas o químicas de materiales, para la evaluación indirecta de materiales sin dañar su utilidad futura” [3]

Dentro de los antecedentes históricos de las pruebas no destructivas se encuentran las siguientes fechas, las cuales están relacionadas a descubrimientos, avances, y aplicaciones:

- 1868: Primer intento de trabajar con los campos magnéticos.
- 1879: Hughes establece un campo de prueba.
- 1879: Hughes estudia las corrientes Eddy.
- 1895: Roentgen estudia el tubo de rayos catódicos.
- 1895: Roentgen descubre los rayos “X”.
- 1896: Becquerel descubre los rayos “Gamma”.
- 1900: Inicio de los líquidos penetrantes en FFCC.
- 1911: ASTM establece el comité de la técnica de MT.
- 1928: Uso industrial de los campos magnéticos.
- 1930: Theodore Zuschlag patenta las corrientes Eddy.
- 1931: Primer sistema industrial de corrientes de Eddy instalado.
- 1941: Aparecen los líquidos fluorescentes.
- 1945: Dr. Floy Firestone trabaja con ultrasonido.
- 1947: Dr. Elmer Sperry aplica el UT en la industria

8.- Técnicas del mantenimiento predictivo

8.1.- Análisis de vibraciones

Esta técnica de mantenimiento predictivo se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus vibraciones. [5]

Todas las máquinas presentan ciertos niveles de vibración, aunque se encuentren operando correctamente, sin embargo, cuando se presenta alguna anomalía, estos niveles normales de vibración se ven alterados indicando la necesidad de una revisión del equipo. Para que este método tenga validez, es indispensable conocer ciertos datos de la máquina como lo son: su velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, el número de alabes, palas, etc. También es muy importante determinar los puntos de las máquinas en donde se tomarán las mediciones y el equipo analizador más adecuado para la realización del estudio.

Para realizar la toma de medidas se requiere un analizador de vibraciones como se puede observar en la Figura 4, el cual es un equipo especializado que muestra en su pantalla el espectro de la vibración y la medida de algunos de sus parámetros.



Figura 4 Analizador de vibraciones

Las vibraciones pueden analizarse midiendo su amplitud o descomponiéndolas de acuerdo a su frecuencia, así cuando la amplitud de la vibración sobrepasa los límites permisibles o cuando el espectro de vibración varía a través del tiempo, significa que algo malo está sucediendo y que el equipo debe ser revisado.

Los problemas que se pueden detectar por medio de esta técnica, son [6]:

- Desalineamiento
- Desbalance
- Resonancia
- Solturas mecánicas
- Rodamientos dañados
- Problemas en bombas
- Anormalidades en engranes
- Problemas eléctricos asociados con motores
- Problemas de bandas

8.2.- Análisis de aceite

El monitoreo de los aceites es una de las herramientas más valiosas que el ingeniero de mantenimiento tiene a su disposición con la finalidad de alcanzar la vida útil de los equipos mecánicos. Las diferentes técnicas para el monitoreo periódico de los aceites usados como el análisis físico-químico, la espectrofotometría por emisión atómica, el conteo de partículas y la ferrografía permiten evaluar el estado del aceite para su cambio oportuno y el grado de desgaste de los diferentes mecanismos del equipo, el cual si es anormal permitirá implementar correctivos que eviten la parada no programada o en caso contrario trabajar con confiabilidad y cuantificar la vida real de servicio del equipo que debe estar de acuerdo con lo especificado por el fabricante. Los resultados finales se reflejarán en una reducción significativa de los costos de mantenimiento. [7]

La técnica de análisis de aceites permite cuantificar el grado de contaminación y/o degradación del aceite por medio de una serie de pruebas que se llevan a cabo en

laboratorios especializados sobre una muestra tomada de la máquina cuando está operando o cuando acaba de detenerse. [8]

El grado de contaminación del aceite está relacionado con la presencia de partículas de desgaste y de sustancias extrañas, por tal razón es un buen indicador del estado en que se encuentra la máquina. El grado de degradación del aceite sirve para determinar su estado mismo porque representa la pérdida en la capacidad de lubricar producida por una alteración de sus propiedades y la de sus aditivos.

La contaminación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación de:

- Partículas metálicas de desgaste
- Combustible
- Agua
- Materias carbonosas
- Insolubles

La degradación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación las siguientes propiedades:

- Viscosidad
- Detergencia
- Basicidad
- Constante Dieléctrica

8.3.- Termografías

La termografía es una herramienta basada en el estudio de la temperatura de los equipos e instalaciones de una empresa sin interrumpir su ciclo de producción [8]. Los problemas en los equipos, generalmente se evidencian por una alteración de su temperatura, por tal razón, en los manuales, sus fabricantes especifican el rango normal de temperatura de operación y esta información es empleada por el personal de mantenimiento como referencia para detectar cuando se está presentando algo anormal. Para realizar un análisis de temperatura, es necesario establecer una

rutina programada de medición y recolección de información que permita detectar cuando dicha magnitud ha variado.

Para llevar a cabo este tipo de técnica, se requiere de equipo especializado, como lo es una cámara térmica, la cual es un equipo que mide la radiación térmica de los cuerpos y la convierte en una imagen visible de varios colores los cuales están establecidos por su temperatura. Generalmente, estas cámaras manejan longitudes de onda entre $8\mu\text{m}$ y $15\mu\text{m}$. En la Figura 5 se muestra una cámara termográfica utilizada para determinar el comportamiento de la temperatura en un motorreductor empleado en un proceso de manufactura.



Figura 5 Cámara Termográfica

8.4.- Análisis de ultrasonido

La detección de ultrasonido es una técnica empleada en el mantenimiento industrial basada en el estudio de las ondas sonoras de alta frecuencia que se producen en los equipos cuando algo anormal está sucediendo. [9]

Esta herramienta está fundamentada en el hecho de que las fuerzas de rozamiento, las descargas eléctricas y las pérdidas de presión o vacío en las plantas, generan ondas sonoras de alta frecuencia, corta longitud y rápida pérdida de energía lo cual

permite localizar con exactitud los problemas en los equipos antes de que se produzcan fallas que interrumpan el desarrollo normal de la planta de producción.

Para detectar el ultrasonido, se utiliza un instrumento llamado detector de ultrasonidos el cual está diseñado para capturar ondas ultrasónicas y convertirlas en señales con frecuencias dentro del rango de audición humana. Este dispositivo cuenta con la tecnología necesaria para que una vez convertidas las ondas de ultrasonido puedan escucharse a través de audífonos o visualizarse en un display por medio de un aumento de su intensidad como puede apreciarse en la Figura 6.



Figura 6 Detectores ultrasónicos

9.- Medición de vibraciones

La vibración se puede comprender como los cambios alternativos que experimenta un cuerpo [10]; de este modo, sus puntos oscilen sincrónicamente en torno a sus posiciones de equilibrio, sin que el campo cambie de lugar.

La medición de la vibración se puede definir como el estudio de las oscilaciones mecánicas de un sistema dinámico. Las mediciones de vibración deben ser hechas con la finalidad de producir los datos necesarios, para realizar significativas conclusiones del sistema bajo prueba. Estos datos pueden ser usados para minimizar o eliminar la vibración, y por tanto eliminar el ruido resultante. En algunas aplicaciones, el ruido no es el parámetro a controlar, sino la calidad del producto obtenido por el sistema.

Un sistema de medición y procesamiento de señales de vibración por computadora típico, está formado por:

- Los transductores de vibraciones (Acelerómetros, LVDTs, Sonatas de Corriente Eddy) los cuales son los encargados de transformar las vibraciones en señales eléctricas.
- Un sistema de acondicionamiento de señal, el cual se encarga de recoger las diferentes señales, amplificarlas y llevarlas a los niveles de tensión aceptados por el sistema de adquisición de datos.
- La tarjeta de adquisición de datos, la cual 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.



Figura 7 Sistema de un analizador de vibraciones

9.1.- Características de la medición de vibraciones

Dentro de las características más importantes de la vibración se encuentran: frecuencia, desplazamiento, velocidad, aceleración, spike energy (energía de impulsos). [10]

La frecuencia es una característica simple y significativa dentro del análisis de vibraciones. Se define como el número de ciclos completos en un periodo de tiempo. La unidad característica es cpm (ciclos por minuto). Existe una relación muy

importante entre la frecuencia y la velocidad angular de los elementos rotativos. La correspondencia entre cpm y rpm (ciclos por minuto-revoluciones por minuto) identificará el problema y la pieza responsable de la vibración. Esta relación es debido a que las fuerzas cambian de dirección y amplitud de acuerdo a la velocidad de giro. Los diferentes problemas son detectados por las frecuencias iguales a la velocidad de giro o bien múltiplos suyos. Cada tipo de problema muestra una frecuencia de vibración distinta.

La amplitud de la vibración indica la importancia y gravedad del problema, esta característica da una idea de la condición de la máquina. Se podrá medir la amplitud de desplazamiento, velocidad o aceleración. La velocidad de vibración tiene en cuenta el desplazamiento y la frecuencia, es por tanto un indicador directo de la severidad de la vibración; esta es indicada de una forma más precisa midiendo la velocidad, aceleración o desplazamiento según el intervalo de frecuencias entre la que tiene lugar, así para bajas frecuencias, por debajo de las 600 cpm, se toman medidas de desplazamiento. En el intervalo entre 600 a 60000 cpm se mide velocidad, y para altas frecuencias, mayores a 60000 se toman aceleraciones.

La velocidad es otra característica importante en la vibración, gráficamente se puede ver en la figura 8.

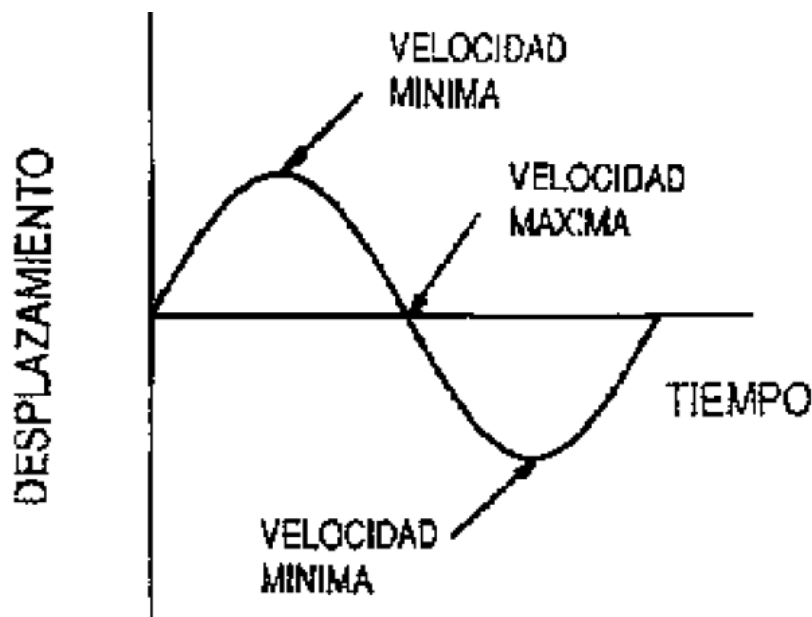


Figura 8 Gráfica de la velocidad en un objeto que vibra

Se mide la velocidad de pico mayor de todo el recorrido que realiza el elemento al vibrar. La unidad es mm/s (o su equivalente a milésimas de pulgada sobre segundo). El cambio de esta característica trae consigo un cambio de aceleración. La velocidad tiene una relación directa con la severidad de vibración, por este motivo es el único parámetro que siempre se mide. Las vibraciones que tienen lugar entre 600 y 60000 cpm se analizan teniendo en cuenta el valor de la velocidad.

La aceleración está relacionada con la fuerza que provoca la vibración, algunas de ellas se producen a altas frecuencias, aunque velocidad y desplazamiento sean pequeños, en la figura 9 se puede observar la aceleración de la vibración.

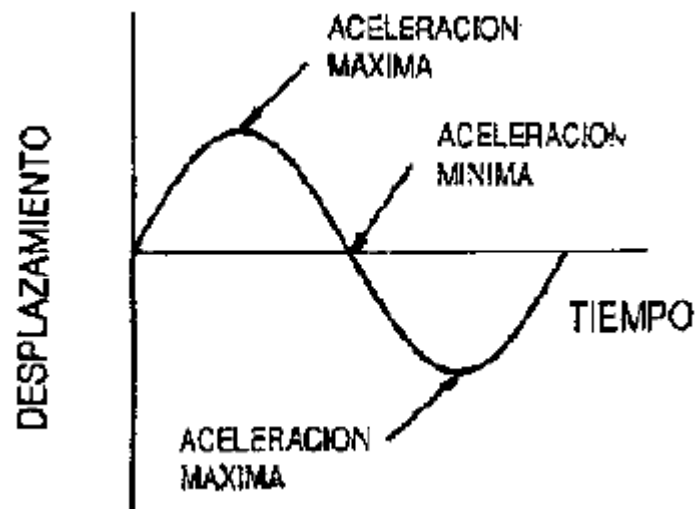


Figura 9 Gráfica de la aceleración de la vibración

El spike energy (energía de impulsos) proporciona información importante a la hora de analizar vibraciones. Este parámetro mide los impulsos de energía de vibración de breve duración y, por lo tanto, de alta frecuencia. Pueden ser impulsos debido a defectos en la superficie de elementos de rodamientos o engranajes, rozamiento, impacto, contacto entre metal-metal en máquinas rotativas, fugas de vapor o de aire a alta presión, cavitación debida a turbulencia en fluidos, etc. Sin este parámetro es muy difícil detectar engranes o rodamientos defectuosos. Con esta medida se encuentran rápidamente las vibraciones a altas frecuencias provocadas por esos defectos. El valor spike energy es básicamente una medida de aceleración, pero tiene como unidad g-SE.

10.- Elementos relacionados en la toma de vibraciones

El análisis de vibraciones es una técnica aplicada a activos los cuales, por su naturaleza de funcionamiento, generan movimientos periódicos; siendo estos principalmente maquinas rotativas con mecanismos de transmisión de movimiento.

Antes de realizar mediciones en campo es necesario conocer los equipos; si no se tiene noción sobre el funcionamiento, se puede incurrir en errores de medición, puntos incorrectos, valores erróneos, etc.

10.1.- Rodamientos

Los rodamientos soportan y guían elementos giratorios u oscilantes de las máquinas, por ejemplo, árboles, ejes o ruedas, y transfieren las cargas entre los componentes de la máquina. Ofrecen gran precisión y baja fricción y, por lo tanto, admiten velocidades de giro elevadas al tiempo que reducen el ruido, el calor, el consumo de energía y el desgaste. Los rodamientos son elementos rentables e intercambiables de las máquinas, que normalmente corresponden a los estándares de dimensiones nacionales o internacionales. [12]

10.1.1.- Rodamiento radial

Los rodamientos pueden transmitir cargas en una dirección radial y, en muchos casos, hay una combinación tanto de cargas radiales como axiales en la transmisión del movimiento. Ambos diseños están disponibles como rodamientos de bolas o como rodamientos de rodillos. La elección del diseño de los rodamientos depende de cada aplicación. [13]

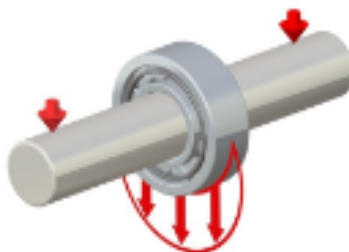


Figura 10 Rodamiento Radial

10.1.2.- Partes de un rodamiento

El rodamiento está formado por dos cilindros concéntricos que están separados mediante una corona de rodillos o de bolas que giran libremente [14]. Así, los componentes básicos se pueden enlistar de la siguiente manera:

- Dos anillos o discos con caminos de rodadura.
- Elementos de rodadura en forma de rodillos o de bolas.
- Una jaula (estructura que mantiene separados los elementos de la rodadura y las guías).

Anillos:

El rodamiento está conformado por un anillo interior y un anillo exterior. Generalmente, están fabricados a partir de una aleación especial de acero al cromo de gran pureza. Este material brinda, por tanto, dureza y pureza, factores imprescindibles para obtener un elevado índice de carga y prolongada vida útil.

Las superficies por las cuales se deslizan los rodamientos deben estar endurecidas, rectificadas y pulidas. En ocasiones, se pueden encontrar rodamientos fabricados con cerámica o plásticos. Probablemente, esto pueda ser útil en ciertos ámbitos, pero se debe considerar que tales materiales no soportan temperaturas extremadamente altas como lo hace el acero.



Figura 11 Anillo interior (derecha) y anillo exterior (izquierda)

Elementos de rodadura:

Los elementos de rodadura pueden ser bolas o cilíndricos (rodillos o agujas). También suelen estar fabricados con una aleación de acero al cromo de gran pureza y utilizarse materiales especiales tales como la cerámica y los plásticos. Los elementos de rodadura corren sobre los caminos formados en los anillos o en los discos; se mantienen separados y guiados mediante la jaula.



Figura 12 Elementos de rodadura

Jaula:

La jaula es el elemento que mantiene las rodaduras separadas y guiadas. Pueden estar fabricadas con acero, latón o plástico. El método de fabricación también se diferencia, pues la técnica de mecanizado se emplea para las jaulas de metal; mientras que, las jaulas prensadas se realizan a partir de láminas de acero. Por su parte, las jaulas de plástico se realizan a partir de plástico sólido o se moldean por medio de inyección.

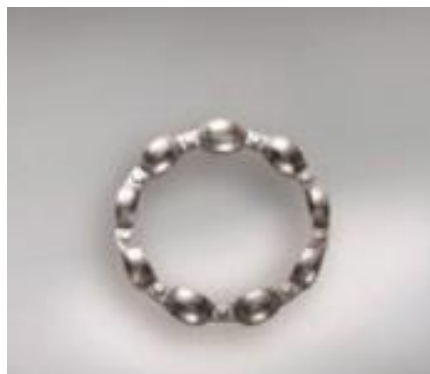


Figura 13 Jaula de rodamiento

10.2.- Motores trifásicos

Un motor eléctrico trifásico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica mediante el uso de tres corrientes eléctricas alternas. Esta disposición trifásica asegura un suministro constante y uniforme de corriente al motor, lo que da como resultado un funcionamiento más eficaz y menos vibraciones en comparación con los motores monofásicos. [15]

El principio de funcionamiento de esta máquina se basa en el campo magnético giratorio que se crea cuando las tres corrientes eléctricas alternas fluyen por las bobinas del motor. Esta interacción produce fuerzas que hacen girar el rotor del motor, generando así un movimiento mecánico.

Este tipo de máquinas rotativas son clave para la mayoría de procesos que requieran la transmisión de un movimiento mecánico; como, por ejemplo, bombas que transportan fluidos y sólidos, reductores de velocidad para procesos de alto torque, elementos móviles para procesos físicos de separación o mezclado, etc. La figura 14 muestra la forma básica de un motor bobinado trifásico.



Figura 14 Motor trifásico

10.2.1.- Partes de motores trifásicos

El motor trifásico se puede dividir en tres partes concretas, siendo estas el rotor, el estator y los escudos o carcasas. (S&P, 2019)

Estator:

El estator es la parte fija y opera como la base del motor. Esta parte está constituida por una carcasa en la que se fijan una corona de chapas de hierro al silicio o acero al silicio, en las que están presentes unas ranuras (figura 15). En estas ranuras es dónde se presentan, al tratarse de un motor trifásico, encontramos tres bobinas y tres circuitos diferentes. En cada circuito hay tantas bobinas como polos tiene el motor.

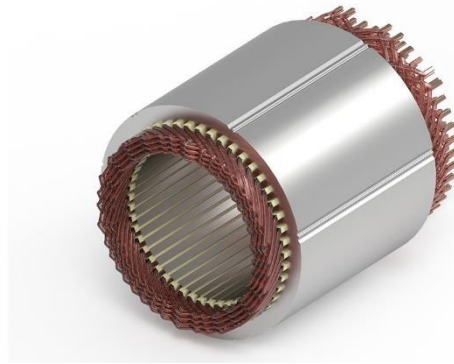


Figura 15 Estator de un motor

Rotor:

El rotor está rodeado por un bobinado aislado similar al del estator (figura 16). Los devanados de fase del rotor se conducen a través de tres anillos colectores montados en el eje del rotor. El devanado del rotor no está conectado a ninguna fuente de alimentación.

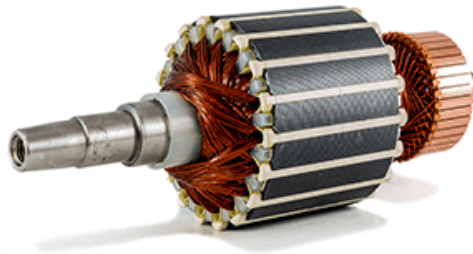


Figura 16 Rotor de un motor

Los anillos colectores y las escobillas tienen la función de conectar el rotor con las resistencias variables externas, que tienen la finalidad de aumentar la resistencia del rotor durante su puesta en marcha. Además, las resistencias variables permiten controlar la corriente en el rotor y la velocidad del motor. Al alcanzar su velocidad normal, los devanados se cortocircuitan y entonces, el funcionamiento se vuelve similar al de un rotor de jaula. Por estas razones, el motor tiene un elevado conjugado de arranque y una baja corriente de arranque. [16]

Escudos/Carcasa:

En último lugar están los escudos o carcasa que constituyen, la parte exterior del motor trifásico, generalmente producidos en aluminio o hierro colado. Están diseñados de tal forma que contienen unas cavidades para acoger los componentes esenciales en el interior. Sobre unos cojinetes descansa el eje del rotor. Además, los escudos deben estar perfectamente ajustados para evitar que existan distorsiones en el giro del rotor, tales como vibraciones y/o ruido. (S&P, 2019)



Figura 17 Escudo y carcasa de motor

10.2.2.- Funcionamiento de un motor

El estator está compuesto por una estructura que conforma electroimanes y por eso esta parte también se denomina inductor. El bobinado en tres fases, al recibir una corriente eléctrica, genera un campo magnético que a su vez “induce” corriente en

las barras del rotor. Su funcionamiento está basado en el principio de inducción mutua de Faraday. (S&P, 2019)

Ese campo magnético se genera precisamente por la aplicación de una corriente alterna de tres fases. La electricidad de corriente alterna cuenta con una onda que cambia de negativo a positivo muchas veces por segundo. Se trata de una onda llamada “onda sinusoidal”. Esa corriente alterna se compone de tres fases, que están desfasadas 120° una respecto de la otra. Volviendo al motor trifásico, es la acción de estas tres ondas simultáneas la que genera un flujo magnético que induce corriente en las barras del rotor creando un par motor que pone en movimiento al rotor, o lo que es lo mismo, que hace que el rotor gire.

10.3.- Bombas centrífugas

Una bomba centrífuga es un equipo mecánico que sirve para mover un fluido de un lugar a otro, aplicando energía al fluido por medio de una fuente de movimiento (motor), haciendo rotar a un impelente (rueda con paletas) que se encuentra dentro del cuerpo de la bomba (voluta) y que está en contacto con el fluido, provocando que éste se mueva en una dirección; este proceso se puede ver en la figura 18. La bomba centrífuga aprovecha el movimiento de rotación desarrollado por el motor y lo transmite al impulsor dentro de la bomba. Dicho impulsor, girando a gran velocidad, proyecta hacia afuera el agua que llega desde el centro de la bomba, haciendo que se fugue perpendicularmente a la periferia de la misma, esto es debido a las fuerzas centrífugas. [17]

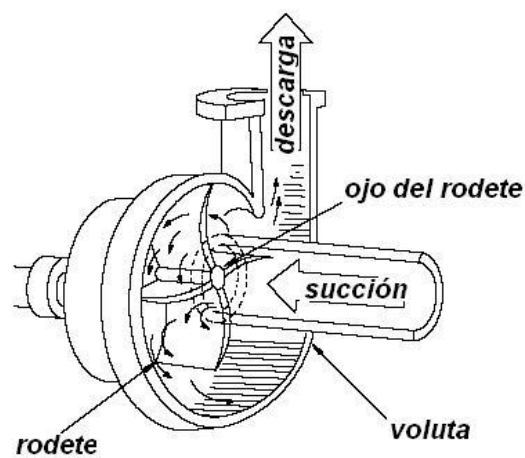


Figura 18 Funcionamiento de una bomba centrífuga

10.3.1.- Partes de una bomba centrífuga

Impulsor:

El impulsor es el corazón de una bomba centrífuga. Se encuentra dentro de la carcasa de la bomba y está conectado al eje. Su función principal es aumentar la velocidad del líquido, lo que crea una fuerza centrífuga. Los impulsores vienen en varias formas y tamaños, y su diseño influye en la eficiencia y el rendimiento de la bomba. Esta diversidad de impulsores los hace valiosos en industrias tan variadas como la petroquímica o la manipulación de aguas residuales. [18]



Figura 19 Impulsor de una bomba

Carcasa:

La carcasa rodea el impulsor y el líquido bombeado. Tiene una forma específica que guía el flujo del líquido a medida que sale del impulsor. La geometría de la carcasa es crucial para la eficiencia de la bomba y puede ser de tipo voluta o difusor, dependiendo de la aplicación en sectores industriales. [18]



Figura 20 Carcasa de una bomba

Eje:

El eje conecta el motor a la bomba y transmite la energía desde el motor al impulsor. Debe ser resistente y estar bien alineado para garantizar un funcionamiento sin problemas de la bomba. Los sellos y cojinetes se utilizan para soportar y sellar el eje en aplicaciones críticas como la criogenia. [18]

Sello mecánico:

El sello de eje es una parte vital para prevenir fugas de líquido desde el interior de la bomba hacia el exterior. Se encuentra en la interfaz entre el eje y la carcasa. Los sellos de eje pueden ser de diferentes tipos, como sellos mecánicos o sellos de empaquetadura, y son esenciales en industrias como la pasta papel. La elección del sello de eje depende de la aplicación y el tipo de líquido que se maneje. [18]

10.4.- Reductores de velocidad

Un reductor se requiere para convertir el par y velocidad de un motor eléctrico para que cumpla con los requisitos técnicos de una aplicación de accionamiento. En función del diseño, tamaño, y número de etapas, el reductor transforma la velocidad del motor en mayor o menor medida. La relación de velocidad resultante "i" entre la velocidad de entrada y la velocidad de salida es por tanto una de las características más importantes de un reductor. La potencia de un reductor y las cargas que puede

soportar depende de su par máximo, medido en la unidad de medida newton metro [Nm]. [19]

10.4.1.- Tipos de reductores de velocidad

Los diferentes tipos de reductores de velocidad según su tipo de movimiento son: [20]

- Reductores de ejes paralelos: el eje de entrada y el eje de salida están posicionados en una dirección, lo que permite que la potencia sea transmitida en línea recta. Son reductores para motor eléctrico, de diseño compacto y con una alta resistencia a las fuerzas radiales.



Figura 21 Reductor de eje paralelo

- Reductores de grupo cónico: el eje de entrada y el eje de salida están perpendiculares el uno al otro. Una de las mayores ventajas de este tipo de reductor es que ofrece un alto índice de reducción con pocas etapas.

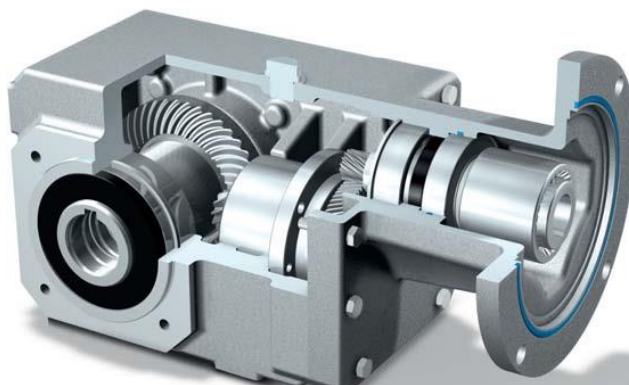


Figura 22 Reductor de grupo cónico

- Reductores planetarios: la transmisión de la potencia es coaxial, es decir, la velocidad del eje de entrada (llamado sol) se transmite a un engranaje anular (llamado anillo exterior) y es transformada por tres o más ruedas planetarias.

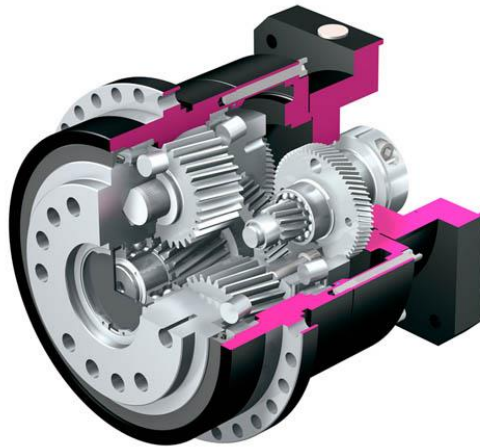


Figura 23 Reductor planetario

11.- Equipo para la toma de vibraciones

El análisis de vibraciones es un proceso que requiere múltiples elementos para llevarse a cabo; estos se complementan los unos a los otros y necesitan usarse de manera correcta para sacar el mayor provecho a la toma de datos.

11.1.- Analizador de vibraciones

El analizador de vibraciones modelo 213, marca CSI Technologies, reduce el tiempo de adquisición de datos entre un 20% a 50%, debido a que permite inspeccionar más equipos críticos de forma más rápida y precisa. Este analizador ofrece una amplia gama de herramientas disponibles en cualquier momento de la toma de datos, y gracias a la tecnología patentada por CSI en el proceso de las señales y el PeakVue, ofrece una indicación más temprana y más confiable en la detección de problemas de la maquinaria que puedan convertirse en posibles averías. [21]

Estos desperfectos se señalan por medio de una bandera durante la colección de datos estándar, y las herramientas automatizadas a bordo del análisis le permiten recoger todos los datos adicionales requeridos para hacer un diagnóstico en el sitio de la máquina.



Figura 24 Analizador de vibraciones CSI 2130

10.2.- Software de análisis de datos

El software AMS Machinery Manager es desarrollado por Emerson que se centra en gestionar el mantenimiento predictivo y las condiciones que se presentan en distintos tipos de maquinaria. La figura 25 muestra los datos de la versión del software.

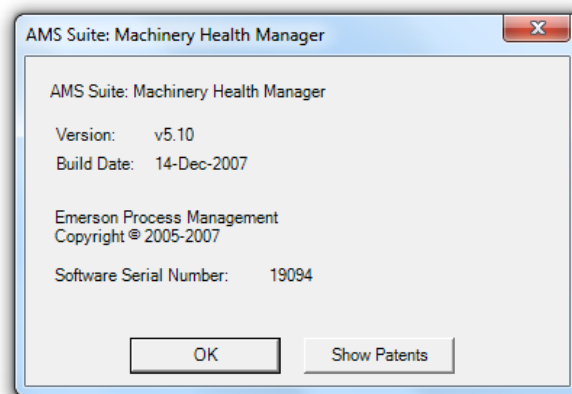


Figura 25 Versión del software AMS Machinery Health Manager

10.3.- Sensores acelerómetros

Los elementos que se encargan de transmitir las señales físicas de la vibración al equipo CSI 2130 son los sensores acelerómetros; estos son fabricados en base a una configuración que depende de distintas aplicaciones específicas. En este caso, se abordará sobre los acelerómetros piezoeléctricos.

Este es un dispositivo que mide la vibración o la aceleración del movimiento de una estructura. La fuerza generada por la vibración o el cambio en el movimiento (aceleración) hace que la masa "comprima" el material piezoeléctrico, generando una carga eléctrica que es proporcional a la fuerza ejercida sobre él. [2]

El elemento activo del acelerómetro es un cristal piezoeléctrico pegado a una masa conocida. Un lado del cristal está conectado a un poste rígido en la base del sensor. En el otro lado se encuentra adjunto un material llamado masa sísmica. Cuando el acelerómetro se encuentra sometido a vibración, se genera una fuerza, la cual actúa sobre el elemento piezoeléctrico. Esta fuerza es igual al producto de la aceleración por la masa sísmica. Debido al efecto piezoeléctrico, se genera una salida de carga proporcional a la fuerza aplicada. Puesto que la masa sísmica es constante, la señal de salida de carga es proporcional a la aceleración de la masa. Sobre un amplio rango de frecuencia tanto la base del sensor como la masa sísmica tienen la misma magnitud de aceleración, allí el sensor mide la aceleración del objeto bajo prueba. [10]

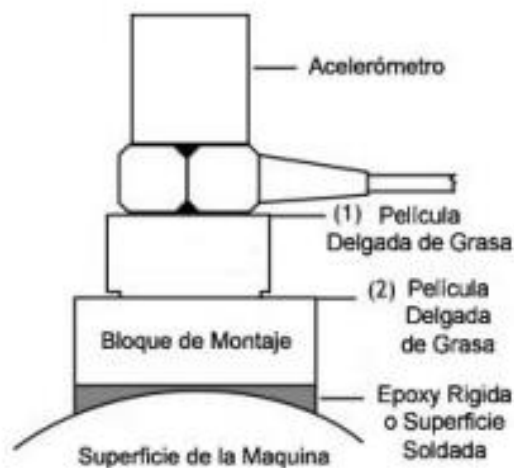


Figura 26 Acelerómetro piezoeléctrico

10.3.1.- Acelerómetro AC192

La figura 27 muestra una foto del acelerómetro AC192 marca CTC junto con su cable de conexión al equipo para la toma de datos de vibraciones. Tiene una sensibilidad de 100 mV/g con una respuesta a la frecuencia de 24 a 780,000 CPM (0.4 a 13,000 Hz) ; un rango de temperatura de -50° a 121°C y ruido en las señales muy bajo, al igual que gran inmunidad a radio frecuencias que pueden afectar las lecturas. [23]



Figura 27 Acelerómetro AC195

10.3.2.- Acelerómetro AC135

En la figura 28 se muestra el acelerómetro AC135 marca CTC, Tiene una sensibilidad de 500 mV/g, una respuesta a la frecuencia de 12 a 180,000 CPM (0.2 a 3000 Hz). AL igual que el acelerómetro anterior, tienen un rango de temperatura de -50° a 121°C. [23]



Figura 28 Acelerómetro AC135

10.4.- Procesamiento de señales

La señal de vibración que se obtiene desde un transductor o sensor se le denomina forma de onda, siendo esta graficada en el dominio del tiempo. En este caso, la amplitud trazada versus el tiempo. Aunque la mayoría de los problemas de vibración de las máquinas se detectan mediante el análisis del espectro, algunos tipos se ven más fácilmente en forma de onda.

Por otro lado, cuando la forma de onda se somete al análisis del espectro, el resultado final es una gráfica con la amplitud de la onda de vibración en el dominio de la frecuencia. La mayor parte del análisis en profundidad de las vibraciones en máquinas se realiza en el dominio de la frecuencia o utilizando el análisis del espectro.

La transformada rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés) es un algoritmo utilizado para calcular un espectro a partir de una forma de onda temporal. En otras

palabras, es un cálculo destinado a descomponer una señal de vibración de una máquina en todas sus frecuencias de rotación o de movimiento para cada uno de sus componentes. La FFT convierte una señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

Todas estas técnicas de análisis de vibraciones ayudan a identificar tres parámetros principales: aceleración, velocidad (RMS) y desplazamiento. Cada uno de estos parámetros enfatiza ciertos rangos de frecuencia y pueden ser analizados juntos para diagnosticar problemas. [24]

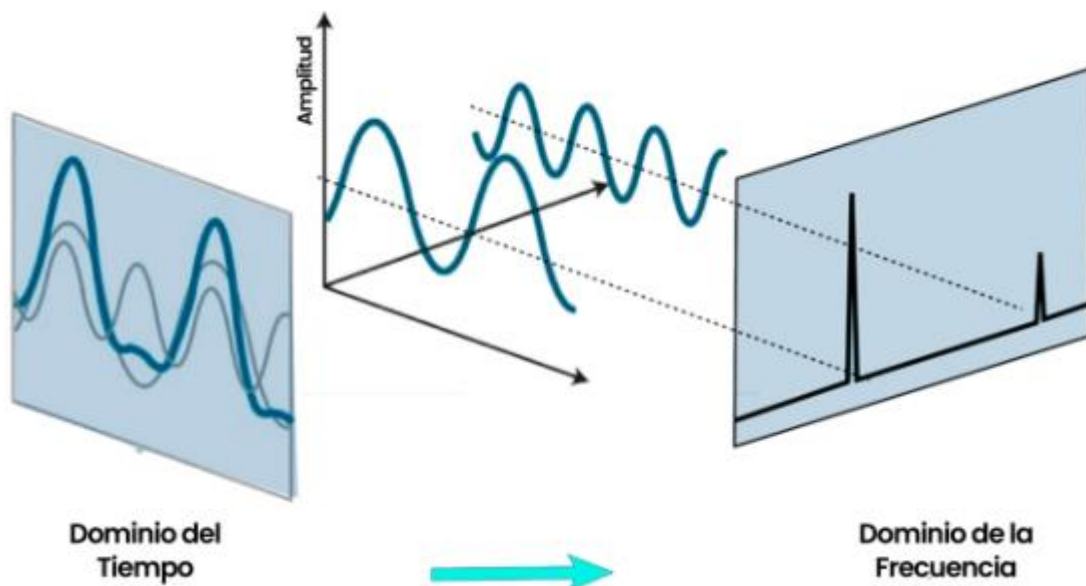


Figura 29 Funcionamiento de la FFT

11.-Estandares para el diagnóstico de resultados

11.1.- Norma ISO 10816

La norma ISO 10816 es un conjunto de estándares que define los niveles permisibles de vibración para diferentes tipos de maquinaria industrial. Estos estándares son utilizados para evaluar la condición de la maquinaria y determinar si es necesario realizar acciones de mantenimiento o reparación para evitar fallos mayores. [25]

Es de vital importancia en la evaluación de la maquinaria, ya que permite determinar si los niveles de vibración están dentro de los límites aceptables. La vibración excesiva puede ser indicativo de problemas en el funcionamiento de la máquina, como desequilibrios, desalineaciones, holguras o desgastes. Al utilizar esta norma, se pueden identificar posibles fallas antes de que se produzcan daños importantes o incluso fallos catastróficos.

Se aplica mediante la medición y análisis de la vibración de la maquinaria. Para ello, se utilizan diferentes parámetros y criterios establecidos en la norma. Estos parámetros incluyen la velocidad de vibración, el desplazamiento y la aceleración, entre otros. También se tienen en cuenta factores como el tipo de máquina, su tamaño y su ubicación.

La norma ISO 10816 es un estándar esencial en la evaluación de la vibración de la maquinaria industrial. Su aplicación permite identificar posibles problemas y tomar medidas preventivas antes de que se produzcan daños mayores. Al utilizar esta norma, se garantiza un funcionamiento seguro y eficiente de la maquinaria, contribuyendo así a la productividad y seguridad en los entornos industriales.

La figura 30 muestra la tabla de severidad de distintos tipos de máquinas rotativas en base a valores tomados en el análisis de vibraciones.

								Velocidad Vibración 10 - 1000 Hz $n > 600$ 1/min (2 - 1000 Hz $n > 120$ 1/min)	v r.m.s. mm/s	v r.m.s. inch/s
									11	0.433
									7.1	0.280
									4.5	0.177
									3.5	0.138
									2.8	0.110
									2.3	0.091
									1.4	0.055
									0.71	0.028
rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	Fundación		
Bombas > 15 kW radial, axial, diagonal				Máquinas medianas 15 kW < P ≤ 300 kW		Máquinas Grandes 300 kW < P < 50 MW		Tipo de Máquina		
Acople directo		Eje intermedio / Poleas.		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H				
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo		
								Puesta en operación recientemente.		
								Operación para largo plazo.		
								Operación para corto plazo		
								Vibración causando daños		

Figura 30 Tabla de severidad Norma ISO 10816

11.2.- Tablas de Charlotte

La Carta Ilustrada de Diagnóstico de Vibración fue creada por el grupo analítico de Charlotte, formado en 1974, y se encarga de la sofisticación de estudios y pruebas en el área de análisis de vibración, control de ruido, y los programas de mantenimiento predictivo.

Este grupo ha desarrollado una serie de análisis de vibraciones y seminarios de mantenimiento predictivo que se está enseñando en lugares de todo el mundo y permite tener una referencia de posibles causas de falla en los rodamientos de un sistema. [26]

Los problemas que se pueden diagnosticar con las tablas de Charlotte mediante el análisis de los espectros medidos son:

- Desequilibrio
- Desalineación
- Rotor excéntrico

- Ejes flexionados
- Resonancia
- Holguras
- Rozamientos
- Daños en rodamientos
- Fuerzas hidráulicas y aerodinámicas
- Problemas de engranes
- Problemas en motores
- Problemas en poleas y correas
- Etc.

IV.- DESARROLLO

12.- Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

12.1.- Uso del equipo CSI 2130

La descripción del uso del equipo de análisis de vibraciones se establece en el instructivo de trabajo 731 (ITAC-731) de grupo IDESA Unidad Industrial Tlaxcala. Dentro de este documento deben de seguir los siguientes puntos para la toma de datos de manera correcta:

Como primera condición, hay que colocar el arnés que sujeta el equipo para transportarlo de manera sencilla; una vez realizado esto, se localiza el botón de encendido y apagado indicado en la figura 31 para comenzar con el proceso.



Figura 31 Botón de encendido del equipo CSI2130

La figura 32 muestra la pantalla de inicio del equipo, en el caso de que no se muestre se debe de presionar el botón "HOME para después acceder al menú de rutas indicado con la tecla F8.



Figura 32 Menú de inicio

A continuación, en la figura 33 se muestra la ventana de recolección de datos, donde se tiene que seleccionar la ruta a seguir, para entrar a estas opciones se presiona la tecla de ALT para posteriormente entrar a “Administrador de ruta” con F9.



Figura 33 Ingreso al administrador de ruta

Con los botones F8 y F8 nos desplazaremos por las distintas rutas; en este caso solo se centrará la toma de medidas de los equipos en “Críticos Novidesa”. Para continuar se debe de presionar la tecla F2 para activar la ruta seleccionada como se muestra en la figura 34.



Figura 34 Localización de rutas

La pantalla se actualizará para mostrar los equipos y sus respectivos puntos de medición disponibles; por lo tanto, con las teclas de navegación indicadas en la

figura 35 se debe de buscar los equipos a los cuales se debe de tomar mediciones. Una vez encontrado el equipo correspondiente se toma la medida ubicando en la posición correcta el sensor con relación a la máquina (las cuales se explican en el siguiente apartado) y presionando el botón ENTER (indicado en el recuadro rojo).



Figura 35 Navegación de equipos

12.2.- Puntos de medida

Para realizar la toma de medidas, hay que tener en cuenta distintas consideraciones en cuanto a que sensor se debe de utilizar y que posición en relación al rodamiento tiene que estar sujeto. El equipo de vibraciones CSI 2031 tiene configurado los puntos disponibles para cada equipo que se basan en el curso “Análisis de vibraciones I” impartido por TPPMI el 4 de abril de 2011.

Cabe destacar que cada punto es diferente debido al diagnóstico de problemas singulares específicos de los elementos del equipo: por lo tanto, es de suma importancia la repetitividad de las lecturas.

12.2.1.- Puntos de lectura para elementos de velocidad alta

Para realizar la toma de lecturas en equipos con velocidad alta, se tiene que utilizar el sensor acelerómetro AC192 con resolución de 100mV, del cual se habló anteriormente; con esto se llevan a cabo rangos de medidas altos por las velocidades de las máquinas.

También se debe de verificar que el valor de RPM que se encuentra configurado en el analizador coincida con el valor indicado en la placa. Una vez validado esto, se procede a tomar las medidas con los siguientes puntos señalados (en las siguientes imágenes se toma de ejemplo una ranura de rodamiento vacía que se encuentra en una bomba centrífuga).

Lectura horizontal:

Esta primera medida de tipo radial con respecto a la ubicación más cercana al rodamiento se realiza en la posición indicada en las imágenes 36 y 37.

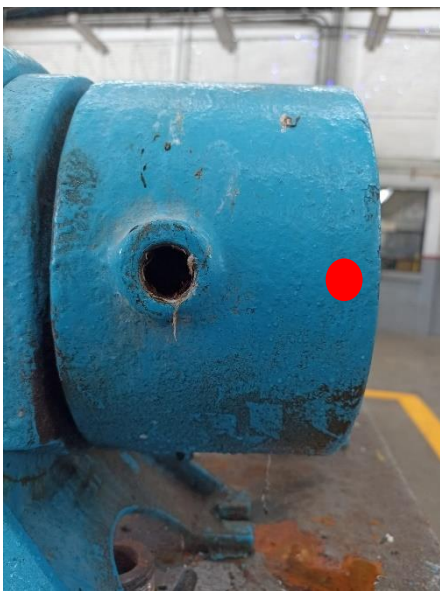


Figura 37 Vista lateral de posicionamiento del sensor en lectura horizontal



Figura 36 Vista frontal de posicionamiento del sensor en lectura horizontal

Lectura peak vue:

Esta lectura se realiza en la misma posición donde se tomó la medida anterior; es decir, posición horizontal; a pesar de esto puede ser tomada en cualquier posición radial, solo hay que mantener la repetibilidad e las lecturas.

Lectura vertical:

Lectura que se cataloga como la segunda medida radial con respecto al rodamiento, el sensor debe de ubicarse como se muestra en la representación de la figura 38 y 39; la posición se considera a 45° respecto a la lectura horizontal, de esta manera se considera la fuerza de gravedad que actúa sobre el rodamiento.



Figura 39 Vista lateral de posicionamiento del sensor en lectura vertical



Figura 38 Vista frontal de posicionamiento del sensor en lectura vertical

Lectura axial:

Este tipo de lectura se realiza como su nombre lo indica, colocando el sensor de manera que se forme una línea paralela con respecto a la flecha donde está ubicado el rodamiento; de esta manera se logra la posición representada en las imágenes 40 y 41.

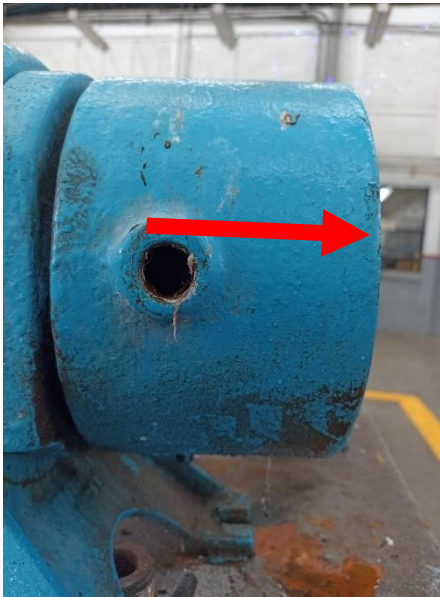


Figura 40 Vista lateral de posicionamiento del sensor en lectura axial



Figura 41 Vista frontal de posicionamiento del sensor en lectura axial

12.2.2.- Puntos de lectura para elementos de baja velocidad

Al igual que lo expuesto anteriormente, se deben de tener consideraciones para la toma de medidas en máquinas cuya característica principal es la baja velocidad (siendo estos por ejemplo elementos dentro de reductores). Para este caso se utiliza el sensor velocímetro AC135 con resolución de 500Mv; al tener más resolución es posible analizar rangos de medida con más detalle.

Lectura radial:

En cuanto a máquinas de baja velocidad, solo se tomará una medida de tipo radial, como se muestra en la representación de las imágenes 42 y 43.

Lectura peak vue:

Cabe destacar que este tipo de lectura sigue el mismo fundamento de los elementos de alta velocidad, tomándose en el mismo punto que la medida radial.

Lectura de desplazamiento:

El punto de lectura será el mismo que los dos anteriores; aunque la principal característica es que la medida tardará más en comparación a las anteriores, ya que se toman medidas que no son de velocidad.

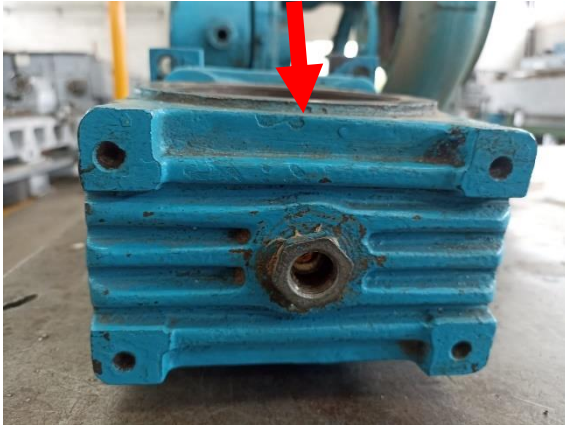


Figura 42 Vista lateral del posicionamiento del sensor en lectura radial



Figura 43 Vista frontal del posicionamiento del sensor en lectura radial

Lectura axial:

Este punto se ve representado en las figuras 44 y 45, cumpliendo con el requisito de tener un eje en paralelo con respecto a la ubicación central del elemento rodante.



Figura 45 Vista lateral del posicionamiento del sensor en lectura axial



Figura 44 Vista frontal del posicionamiento del sensor en lectura axial

12.3.-Uso del software

El software de análisis de vibraciones se encuentra en un equipo de cómputo específico para esta función; como se puede observar en la figura 46, el escritorio de este equipo cuenta con un acceso directo a AMS Machinery Manager.



Figura 46 Ubicación del software AMS Machinery Manager

Al abrir el acceso directo nos encontraremos con la pantalla de inicio del programa (figura 47) donde se nos presentarán varias opciones las cuales se explicarán más a detalle adelante.

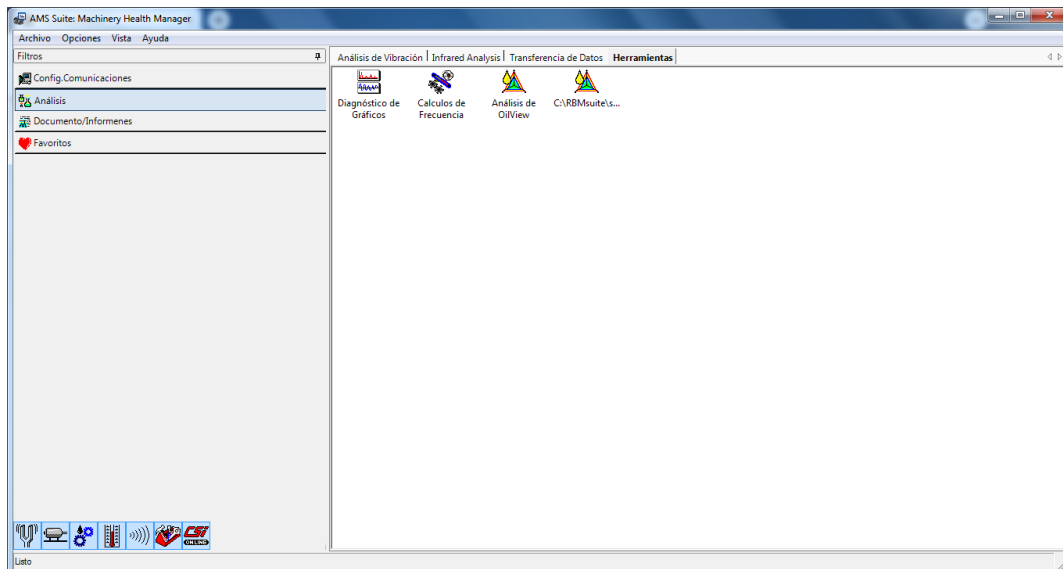


Figura 47 Pantalla de inicio de AMS Machinery Manager

12.3.1.- Descarga de datos

Un antecedente muy importante que se debe comprender antes de las funciones de análisis de vibraciones en el software y que también se describe en el ITAC-731 es la descarga de mediciones tomadas con equipo CSI 2130 a la base de datos del AMS Machinery Manager, el cual es un proceso sencillo que se realiza por medio de una conexión USB integrada en los dispositivos.

Como primer paso, se debe de iniciar el software como se mencionó en el apartado anterior, una vez estando en la pantalla de inicio de debe de acceder al apartado de “Transferencia de datos” ubicado en la barra de herramientas que se encuentra en la parte superior de la pantalla como se indica en la figura 48.

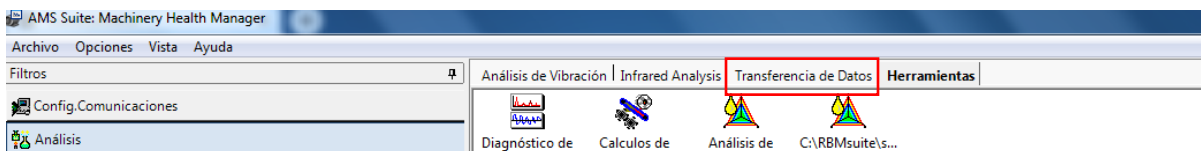


Figura 48 Barra de herramientas

En esa opción se desplegarán las bases de datos que ya existen (parte izquierda de la pantalla de la figura 49), en este caso, todos los datos recopilados estarán en “NOVI.rbm”. Para continuar con la transferencia de datos primero hay que configurar el equipo de cómputo, seleccionando el equipo CSI 2130 (indicado con el recuadro rojo) para después continuar a la conexión USB.

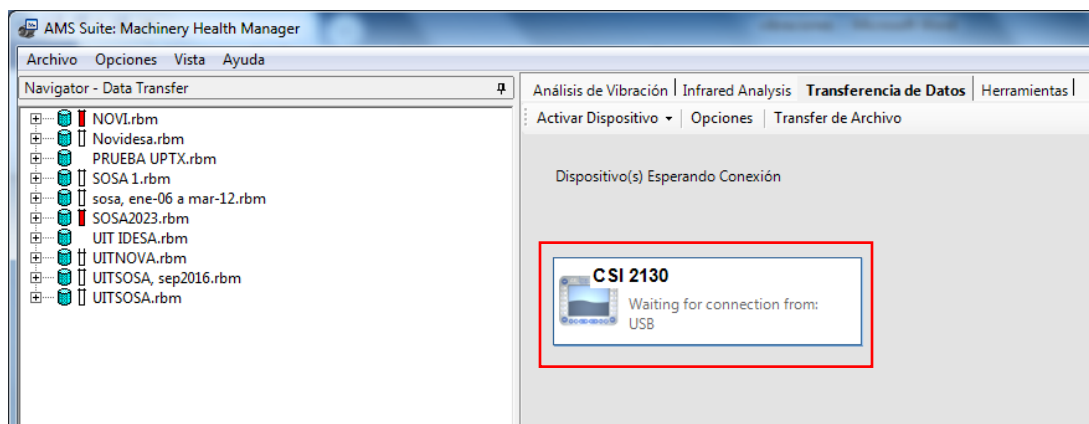
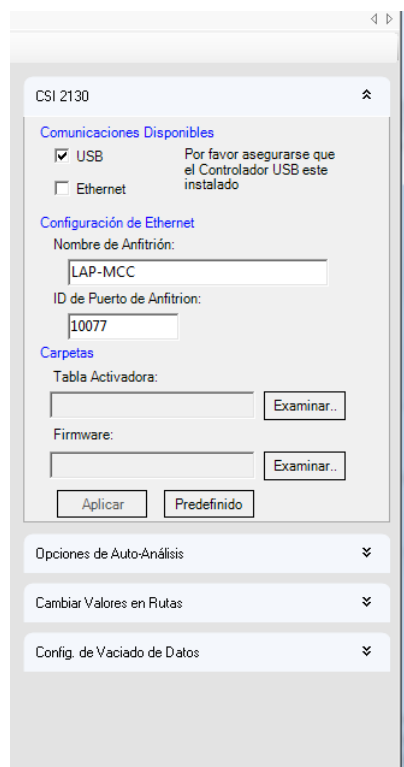


Figura 49 Bases de datos

Al elegir el equipo de vibraciones se despliegan las opciones mostradas en la figura 50, en este paso solamente se debe de seleccionar la opción de predefinido para posteriormente dar clic izquierdo en aplicar; de esta manera se configura el software para posteriormente configurar el equipo CSI 2130.



The screenshot shows a software configuration window titled "CSI 2130". It contains several sections: "Comunicaciones Disponibles" with checkboxes for "USB" (checked) and "Ethernet"; "Configuración de Ethernet" with input fields for "Nombre de Anfitrión" (containing "LAP-MCC") and "ID de Puerto de Anfitrión" (containing "10077"); and "Carpetas" with input fields for "Tabla Activadora" and "Firmware", each with an "Examinar.." button. At the bottom of the main section are "Aplicar" and "Predefinido" buttons. Below this section are three expandable menu items: "Opciones de Auto-Análisis", "Cambiar Valores en Rutas", and "Config. de Vaciado de Datos".

Figura 50 Configuración USB de los equipos

Al encender el equipo, se debe de seleccionar el símbolo de "home" para que se muestre la pantalla de la figura 51, la cual es el menú de inicio del analizador. El siguiente paso es seleccionar el botón F8 para poder ir a la ruta que se está siguiendo.



Figura 51 Menú de inicio del analizador

Una vez entrando a la ruta, se mostrará el equipo y el punto en el cual se detuvo la anterior medición como se observa en la figura 52.

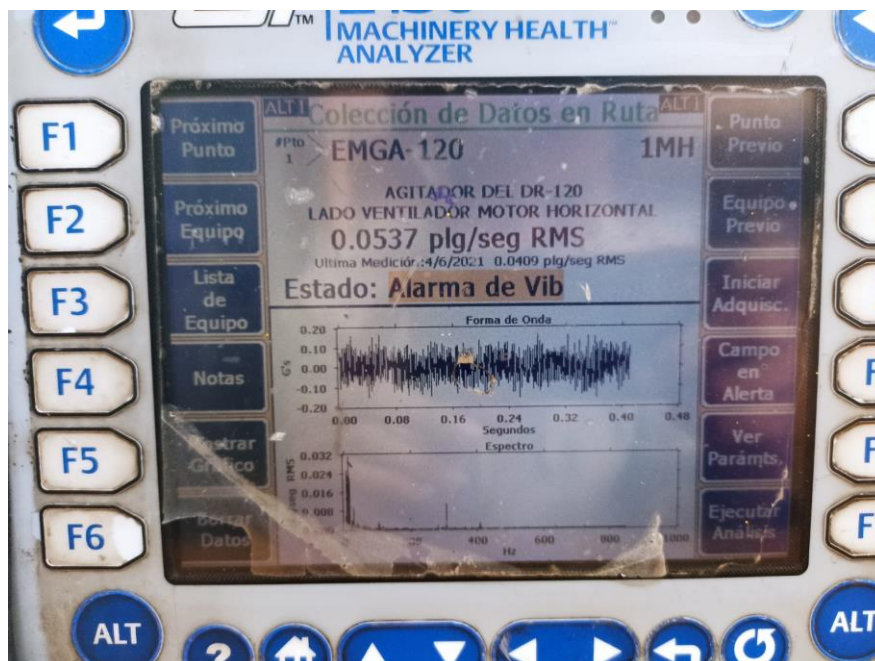


Figura 52 Punto de medición de la ruta

Para continuar, presionando el botón “ALT” aparecerán las opciones alternativas representadas en la figura 53 que son aplicables en ese menú, en este caso para proceder con la transferencia de datos se encuentra la “Admin de ruta” el cual se debe de seleccionar.

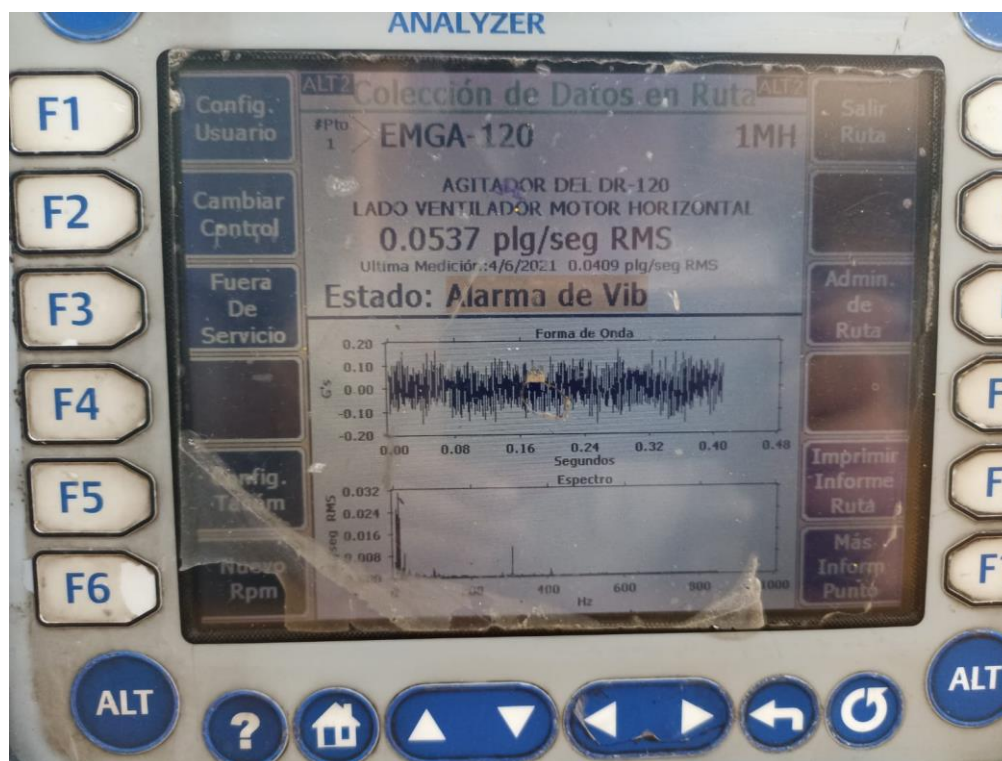


Figura 53 Menú alternativo de la ruta

La siguiente pantalla (figura 54) muestra todas las rutas que se encuentran en la base de datos, siendo “CRIT NOVIDESA1” donde estarán las mediciones tomadas. En esta pantalla se presiona “Conecta Para Transfer.” para posteriormente conectar por medio de un cable USB de tipo B en el puerto del equipo CSI 2130 a un puerto de la computadora.

La siguiente pantalla del analizador, que se observa en la figura 55, mostrará en el equipo que la conexión se ha realizado con éxito, por lo tanto, se debe de establecer “Vaciar Datos” para continuar con el proceso.

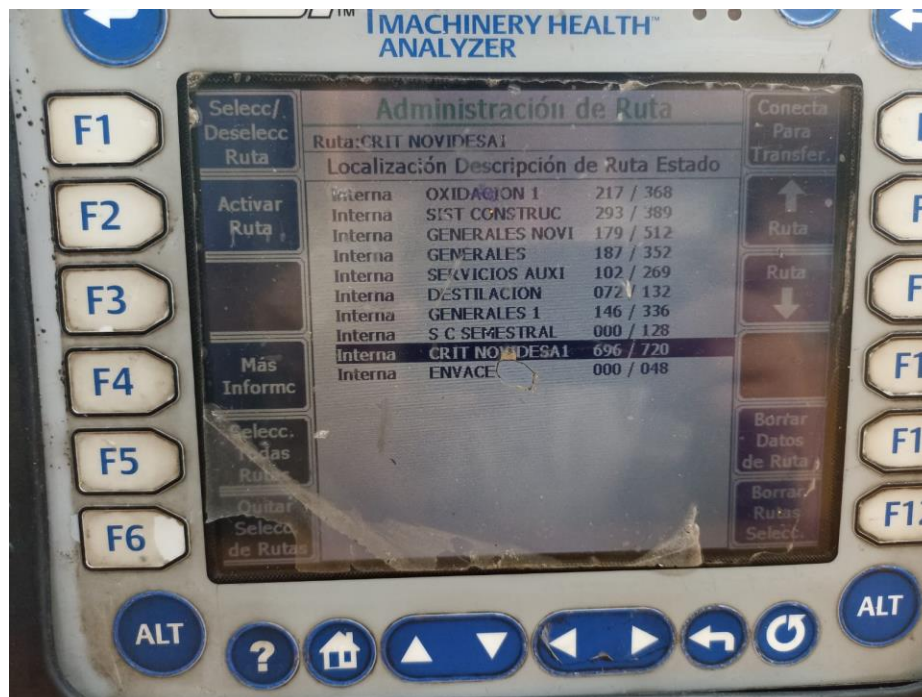


Figura 54 Navegación de rutas para la transferencia de datos

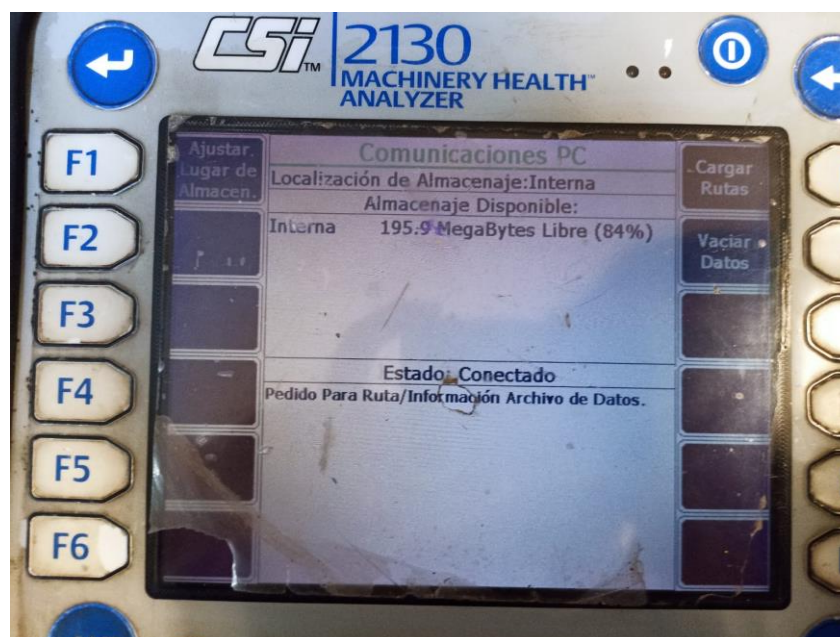


Figura 55 Pantalla de verificación de la conexión

El siguiente menú de la figura 56 aparecen las rutas antes mencionadas, para asegurar que ningún dato antes tomado se pierda, se seleccionan todas con el botón F3, para después presionar F7 e iniciar el vaciado de datos.

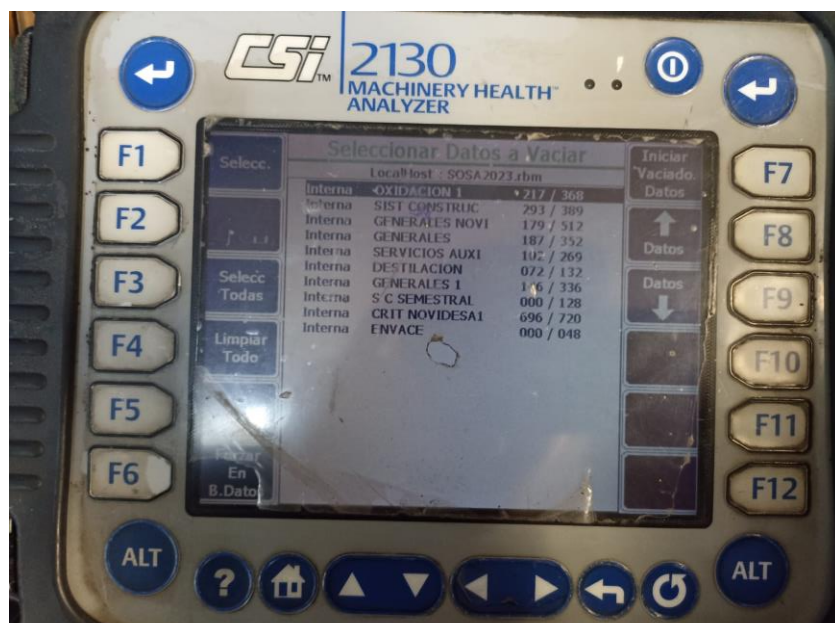


Figura 56 Selección de rutas para transferencia de datos

Si toda la configuración del equipo CSI 2130 fue correcta, la pantalla que indica la barra proceso del vaciado de datos de todas las rutas aparecerá como en la figura 57, ahora solo se espera que se termine la descarga.

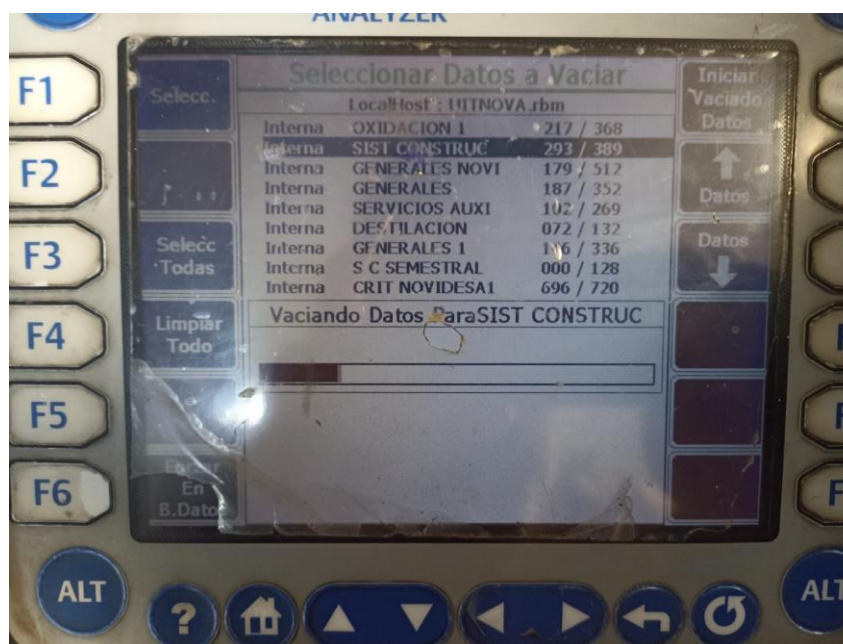


Figura 57 Transferencia de datos

Mientras que el equipo analizador muestra el proceso, la computadora actualizará la ventana del software a la mostrada en la figura 58, donde también se mostrará en el panel de notificaciones (parte inferior izquierda) el proceso de transferencia de datos.

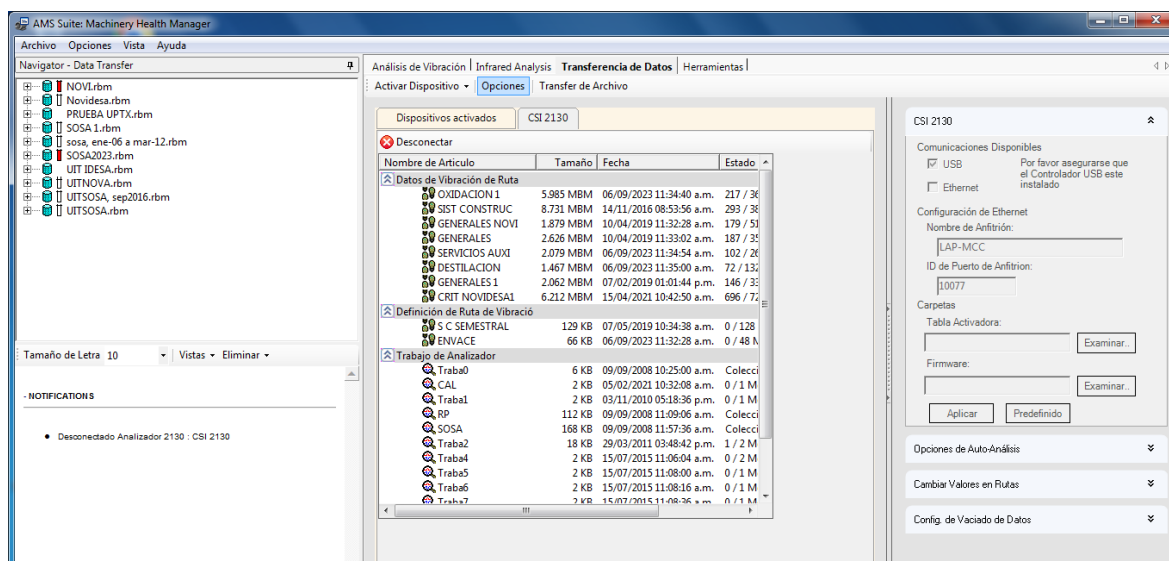


Figura 58 Transferencia de datos en el software

12.3.2.- Localización de datos en la ruta de análisis

Una vez comprendido el proceso de transferencia de datos del equipo CSI 2130 al software de análisis, se procede la búsqueda de los datos tomados. Al entrar a la pantalla de inicio del programa AMS Machinery Health Manager se encuentra la opción a escoger, la cual es “Diagnóstico de Gráficos” dentro de la pestaña “Herramientas” como se indica en la figura 59.

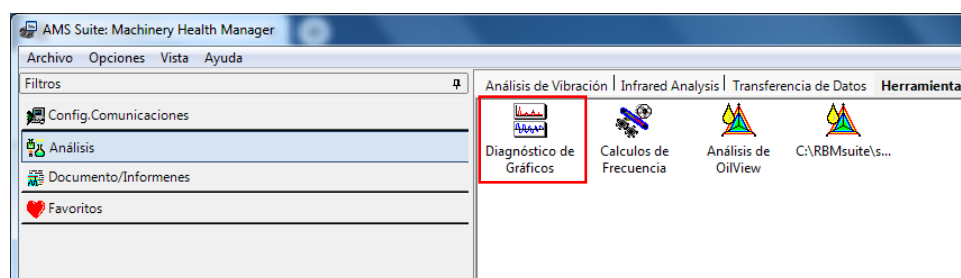


Figura 59 Diagnóstico de gráficos

La pantalla de la figura 60 es el menú del análisis de las bases de datos donde se encuentran las medidas tomadas. Se tiene la opción de observar los espectros, formas de ondas o tendencias, tanto de manera múltiple como de manera singular. En este caso, “estado máquina” dentro de “ver tendencias” es la opción por la cual se opta porque tiene una gama de análisis más amplia y sencilla, pudiendo ver medidas previamente tomadas.

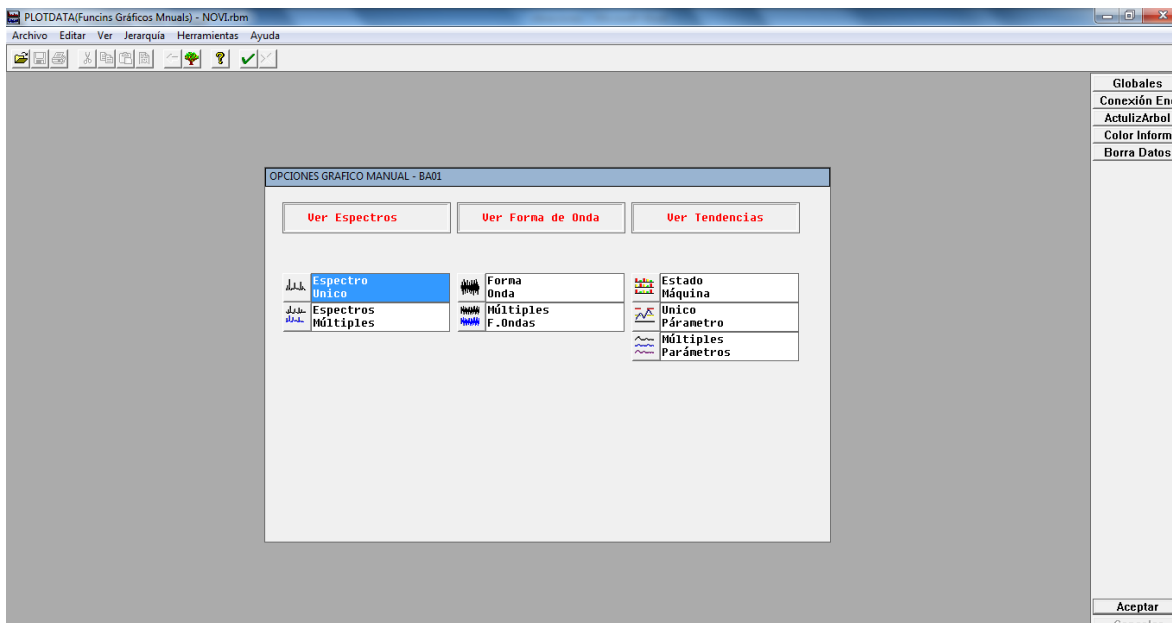


Figura 60 Opciones de visualización de datos

La base de datos “NOVI” se muestra en la figura 61; como se mencionó antes, “Críticos Novidesa” es la ruta donde se encuentran los equipos de alta importancia de la planta (bombas, motores y reductores por mencionar algunos); que interactúan dentro del proceso central de reacción y cuyo fallo puede significar un paro de planta, tiempos muertos en la producción, riesgos a la seguridad, entre otros riesgos y peligros.

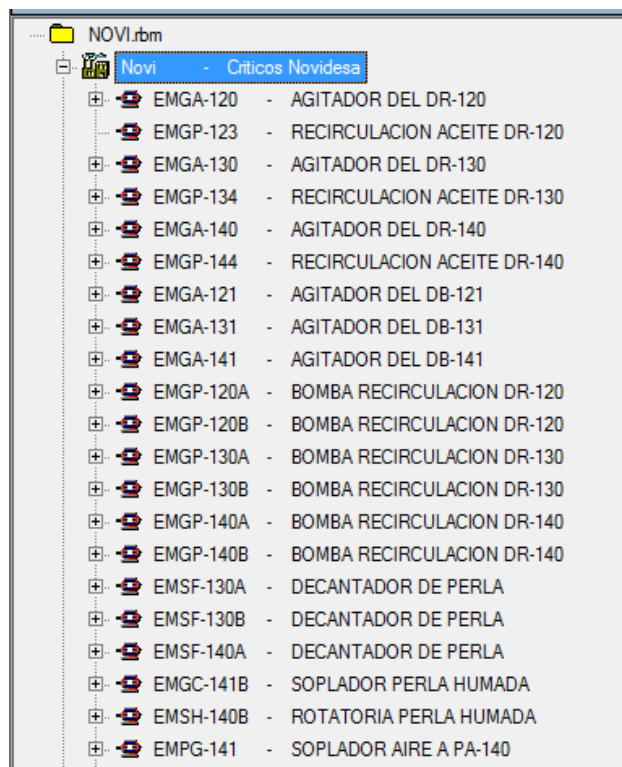


Figura 61 Base de datos de la ruta "Críticos NOVIDESA"

Al seleccionar un equipo en específico, se nos desplegará la lista de puntos de medida disponible para el conjunto completo, en la figura 62 se observa en el ejemplo que al seleccionar la bomba con el tag "GP-140A" (bomba recirculación DR-140) se actualiza la parte derecha a los sitios de lectura; estos se comprenden por 4 puntos para cada rodamiento, dando un total de 4 medias horizontales, 4 peak vue, 4 verticales y 4 axiales.

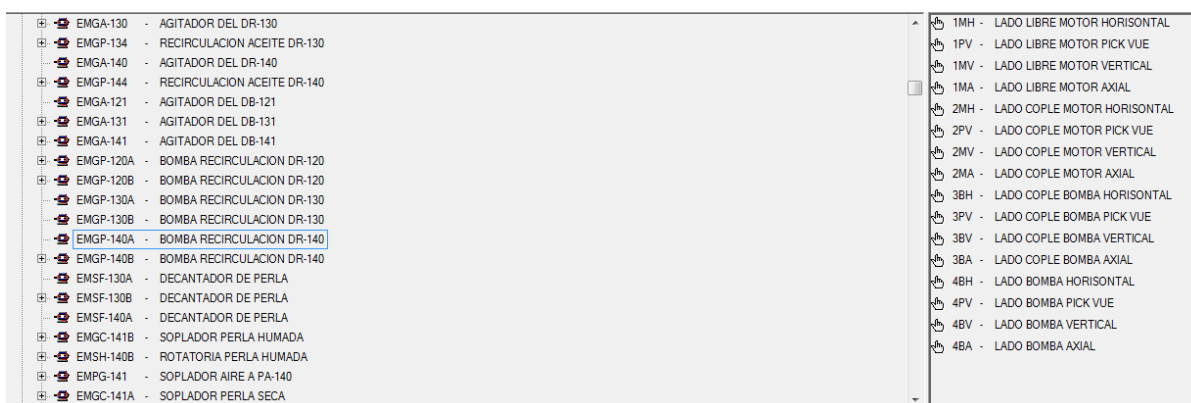


Figura 62 Puntos de lectura del equipo GP-140A

Cabe destacar que no todos los equipos tienen la misma cantidad, denominación o localización de puntos de medida como se abordará en el apartado de toma de lecturas. Esta nomenclatura depende de muchos factores, entre ellos el tipo de equipo mecánico y su velocidad, la cantidad de rodamientos, tipo de soporte, etc.

Siguiendo con el ejemplo, se selecciona el punto 1MH de la bomba para mostrar la figura 63, donde aparecen configuraciones que se no se modificaran para no afectar la lectura de los datos; para continuar se elige aceptar en la parte inferior derecha de la pantalla.

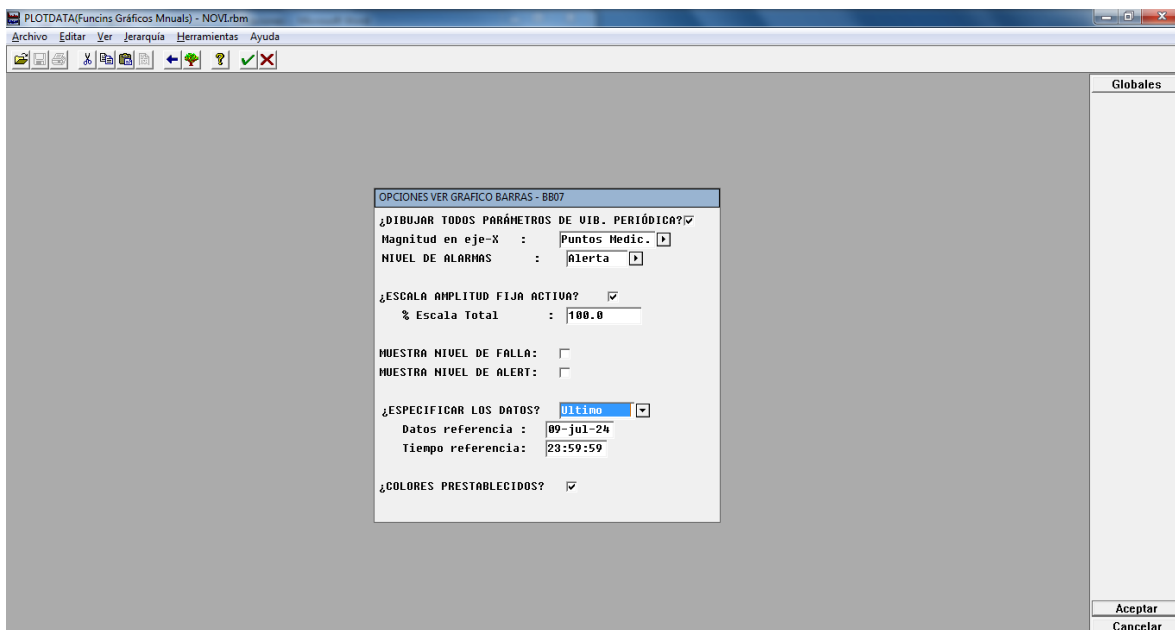


Figura 63 Configuración de lectura del punto de medición

El programa mostrará los datos indicados en la figura 64, en este punto hay que centrarse solamente en los valores globales, ya que estos son los datos en un estándar que facilita el análisis de las medidas tomadas; para acceder a estos es necesario dar doble clic a la barra del fondo de las opciones que se nos presentan.

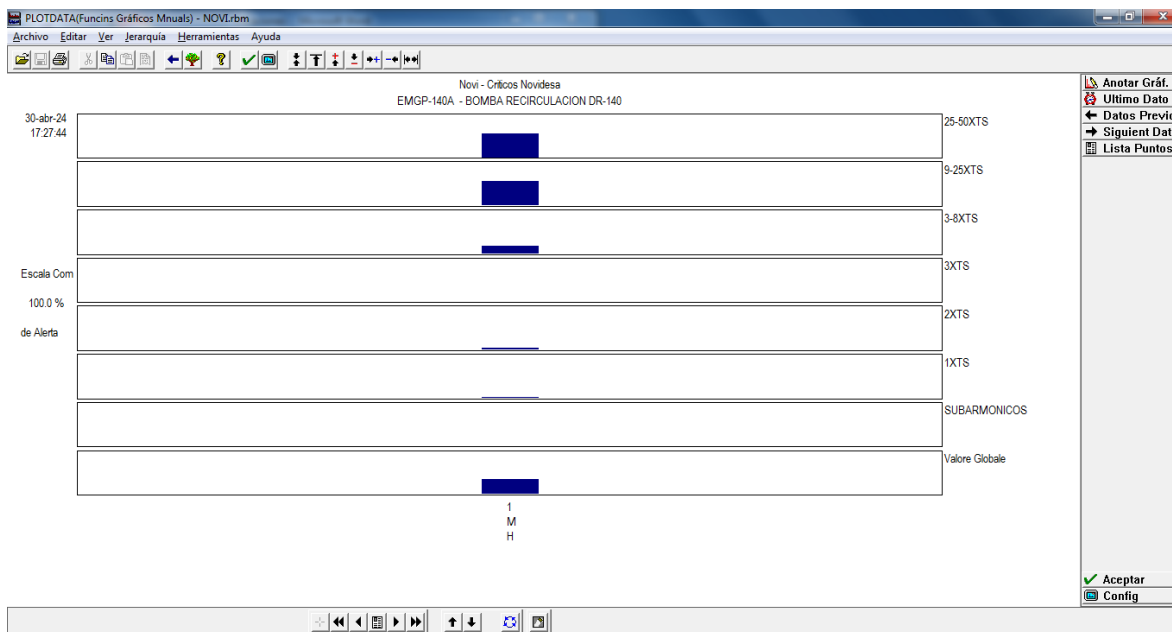


Figura 64 Opciones de visualización de datos del punto de lectura

La figura 65 muestra los gráficos que hay que analizar. El primero es la tendencia de los valores globales que dan como resultado la toma de mediciones; la información que se encuentra aquí es la fecha en la cual se tomó la lectura (estando en el eje de las abscisas) y el valor que dio como resultado en PI/Seg (estando en el eje de las ordenadas).

El segundo gráfico es el espectro que da resultado en la medición; que como se dijo antes, indica la relación de los elementos del sistema y el daño que estos presentan. Teniendo en cuenta que el equipo que se está tomando como ejemplo es de alta velocidad, el eje de las ordenadas muestra la amplitud del espectro en magnitudes de velocidad (PI/Seg); mientras que el eje de las abscisas indica la frecuencia del espectro en kilo ciclos por minuto (kCPM).

El tercer gráfico se caracteriza por ser la forma de onda de la medición tomada; es decir, todos los componentes vibrantes en conjunto resultando una vibración compleja. Como en las gráficas anteriores, el eje de las ordenadas muestra las magnitudes de manera sinodal en PI/Seg; por lo tanto, la forma de onda se encuentra en relación al tiempo presente en el eje de las abscisas.

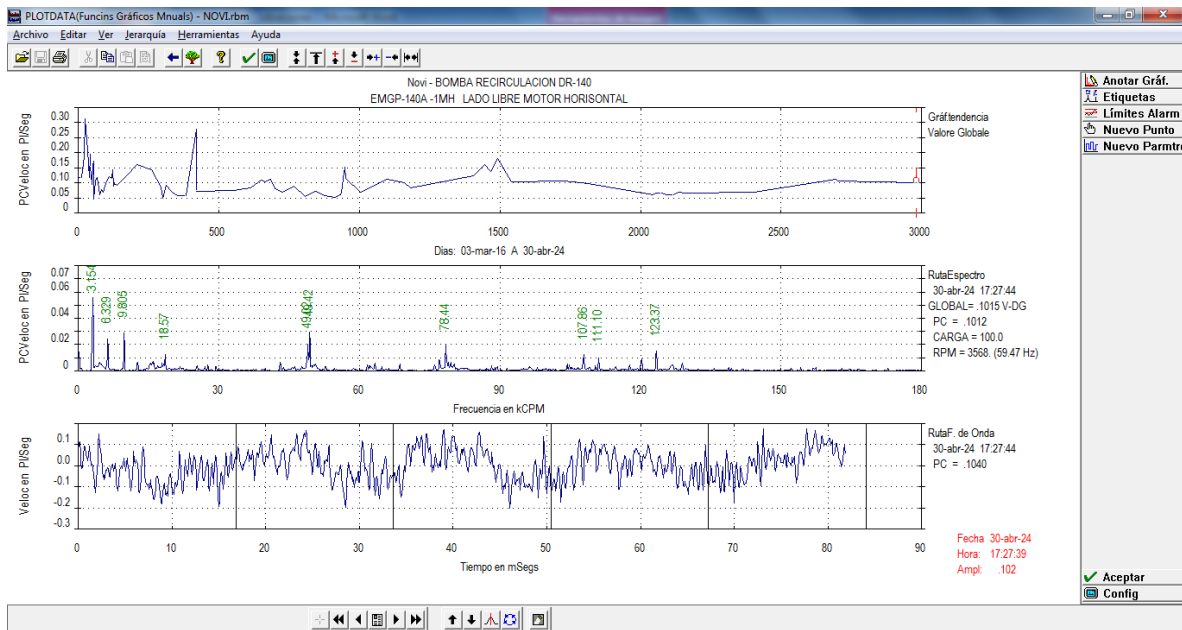


Figura 65 Gráfica de tendencias, espectro y forma de onda

12.4.- Descripción de la ruta

Dentro de la planta de NOVIDESA existen muchos tipos de máquinas rotativas que interactúan en el proceso a los cuales se les realiza un análisis de vibraciones; como se mencionó antes, existe una ruta donde se encuentran los equipos de alta criticidad en el equipo CSI 2130 y en el software AMS Machinery Health; este diagnóstico de importancia fue establecido previamente teniendo en cuenta ciertos factores, por ejemplo:

- Disponibilidad de refacciones
- Función desempeñada en el proceso
- Existencia de repuestos
- Posibilidad de paro de planta en caso de fallo
- Importancia en la cadena jerárquica del proceso
- Etc.

Teniendo esto en cuenta, es importante realizar un análisis detallado de vibraciones a los equipos que cuentan con una criticidad alta. Estos activos se pueden organizar en la siguiente lista junto con sus los tags correspondientes, estando ordenados de

mayor a menor importancia por su implicación en el proceso. Cabe destacar que la ruta contiene equipos fuera de operación, así que solo se hará mención de elementos operando actualmente. Cabe destacar que, toda la información de estos equipos (nombres, familias, tags, ubicaciones, planes e historiales de mantenimiento, entre otros datos) se encuentra en el software ERP INFOREAM.

- 3 agitadores de reactores (GA-120, GA-130, GA-140)
- 3 agitadores de lavadores (GA-121, GA-131, GA 141)
- 1 decantador (SF-140)
- 1 soplador de aire al secador (PG-141)
- 2 bombas de recirculado para enfriamiento al reactor 120 (GP-120A, GP-120B)
- 2 bombas de recirculado para enfriamiento al reactor 130 (GP-130A, GP-130B)
- 2 bombas de recirculado para enfriamiento al reactor 130 (GP-140A, GP-140B)
- 1 soplador de perla húmeda (GC-141B)
- 1 rotatoria de perla húmeda (SH-140B)
- 1 soplador de perla seca (GC-141A)
- 1 rotatoria de perla húmeda (SH-140A)
- 3 mezcladoras de perla (GA-301, GA-302, GA-303)
- 1 rotatoria de brazo de mezclado (GA-401A)
- 1 rotatoria de hélice de mezclado (GA-401B)
- 2 ventiladores de calderas (GV-601D, GV-8011)
- 2 bombas de agua a tratamiento, torres y servicios (GP-603A, GP-603B)
- 2 bombas de servicios a planta (GP-606A, GP-606B)
- 5 bombas de enfriamiento a reactores (GP-607A, GP-607B, GP-630A, GP-630B, GP-630C)
- 1 ventilador a torre de enfriamiento (GA-630)
- 3 compresores de aire (GC-601A, GC-601B, GC-803)
- 1 máquina de troquelado (SC-801)

13- Toma de medidas

A continuación, se muestra el registro de la toma de datos de distintos equipos de la ruta críticos NOVIDESA. Un punto importante es que las medidas de vibraciones deben de ser tomadas con el equipo operando en condiciones en las que funciona normalmente y teniendo en cuenta la NOM-017-STPS-2008; debido a esto, al difícil acceso y disponibilidad de los activos, no fue posible llevar a cabo el análisis de la ruta completa de equipos críticos.

13.1.- Consideraciones de mediciones en bombas

Los sistemas de bombeo de la planta se caracterizan por ser muy similares unos a los otros; por lo tanto, las consideraciones en la toma de lecturas suelen ser casi las mismas. Como se mencionó en el ejemplo ubicado en el apartado de “localización de datos en la ruta de análisis” los sistemas de bombeo al estar compuestos por un motor y una bomba, tienen 4 rodamientos y 16 puntos de lectura, los cuales son enlistados a continuación:

- 1MH: Lado libre motor horizontal
- 1PV: Lado libre motor peak vue
- 1MV: Lado libre motor vertical
- 1MA: Lado libre motor axial
- 2MH: Lado cople motor horizontal
- 2PV: Lado cople motor peak vue
- 2MV: Lado cople motor vertical
- 2MA: Lado cople motor axial
- 3BH: Lado cople bomba horizontal
- 3PV: Lado cople bomba peak vue
- 3BV: Lado cople bomba vertical
- 3BA: Lado cople bomba axial
- 4BH: Lado bomba horizontal
- 4PV: Lado bomba peak vue
- 4BV: Lado bomba vertical
- 4BA: Lado bomba axial

13.1.1.- Bombas de recirculado

Las bombas de recirculado a reactores son elementos importantes dentro del proceso. Estas consisten de un motor de 3600 RPM acoplados a bombas centrifugas, de esta manera se transfiere agua a sistemas de enfriamiento en los reactores para controlar la temperatura durante el proceso. Son de suma importancia y es por eso que existen dos para cada reactor. En el caso de que ambos sistemas fallen en el proceso, se corre el peligro de tener presiones altas; resultando en un gran riesgo de seguridad.

13.1.2.- Bomba de recirculado GP-130A

Las medidas que se realizaron a este equipo fueron en las fechas 23 de abril del 2024 y 2 de julio del 2024.



Figura 66 Bomba de recirculado GP-130A

Toma de medidas

Lado libre motor:



Figura 68 Medida 1MH y 1PV



Figura 67 Medida 1MV



Figura 69 Medida 1MA

Lado cople motor:



Figura 70 Medida 2MH y 2PV



Figura 71 Medida 2MV



Figura 72 Medida 2MA

Lado cople bomba:



Figura 73 Medida 3BH y 3PV



Figura 74 Medida 3BV

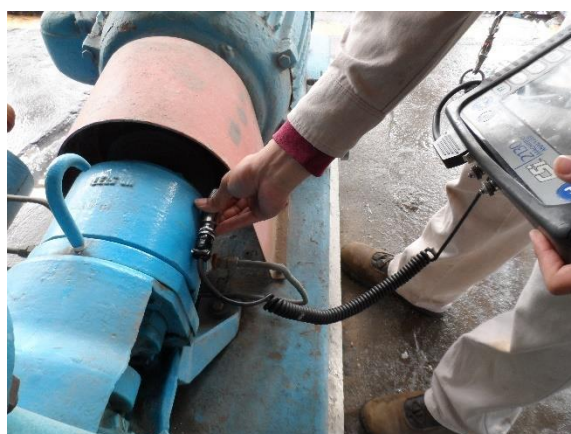


Figura 75 Medida 3BA

Lado bomba:



Figura 77 Medida 4BH y 4PV



Figura 76 Medida 4BV



Figura 78 Medida 4BA

Otras bombas medidas:

- Bomba de recirculado GP-140A (30 de abril)
- Bomba de recirculado GP-140B (9 de mayo y 2 de julio)
- Bomba de agua a tratamiento, torres y servicios GP-603B (30 de abril)
- Bomba de servicios a planta GP-606A (30 de abril y 14 de junio)
- Bomba de servicios a planta GP-606B (2 de julio)
- Bomba de enfriamiento a reactor 130 GP-630A (25 de abril y 2 de julio)
- Bomba de enfriamiento a reactor 140 GP-630C (30 de abril y 2 de julio)

13.2.- Agitador del lavador GA-121

La función de este agitador es mover de manera rotacional una flecha con aspas para llevar a cabo el proceso de lavado de perla. Este equipo está conformado por un motor de 1780 RPM acoplado a un sistema de reductor compuesto por bandas que transfieren el movimiento a un tornillo sin fin para después lograr el movimiento angular por medio de una corona; que al final cuenta con 75 RPM.

Toma de medidas

La toma de medidas se realizó el 25 de abril de 2024. Este equipo está compuesto por 7 puntos de medición al tener múltiples elementos rotativos; siendo 4 de alta velocidad (los cuales se localizan en el motor), mientras que los 3 restantes son de baja velocidad (localizados en el sistema de reducción).

Lado ventilador motor:



Figura 79 Medida 1MH y 1PV



Figura 80 Medida 1MV



Figura 81 Medida 1MA

Lado cople motor:



Figura 82 Medida 2MH y 2PV



Figura 83 Medida 2MV



Figura 84 Medida 2MA

Lado polea reductor:



Figura 85 Medida 3RH y 3PV



Figura 86 Medida 3RV

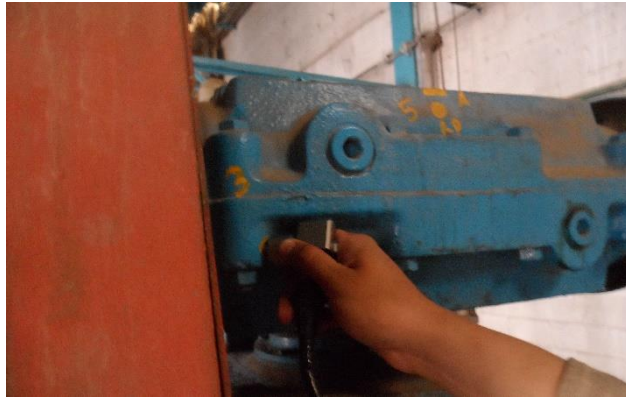


Figura 87 Medida 3RA

Lado libre reductor:



Figura 89 Medida 4RH y 4PV



Figura 88 Medida 4RV



Figura 90 Medida 4RA

Lado libre agitador:



Figura 92 Medida 5AR, 5PV y 5AD



Figura 91 Medida 5AA

Lado cople agitador:



Figura 94 Medida 6AR, 6PV y 6AD



Figura 93 Medida 6AA

Lado base agitador:



Figura 96 Medida 7AR, 7PV y 7AD



Figura 95 Medida 7AA

Toma de medidas a otros elementos reductores:

- Agitador del tanque lavador DB-141 (25 abril)
- Mezclador de perla GA-302 (2 de julio)

V.- RESULTADOS

14.- Análisis de resultados

Una vez realizada las medidas a los equipos y descargada la información al software de análisis, se tiene que comparar los datos obtenidos con información referente encontrada en las distintas normativas y tendencias. Dentro de todos los datos arrojados se pueden observar los siguientes problemas puntuales encontrados en los siguientes equipos.

14.1.- Análisis a bomba GP-130B

La figura 97 muestra la gráfica de tendencias de valores globales del punto de medición horizontal del lado cople de la bomba. Se puede observar que las mediciones representan un valor considerablemente alto en comparación a los valores más bajos que se han registrado. A pesar de esto, el equipo tiene valores aceptables, pero pueden elevarse si no se atienden los problemas analizados que se encuentran a continuación.

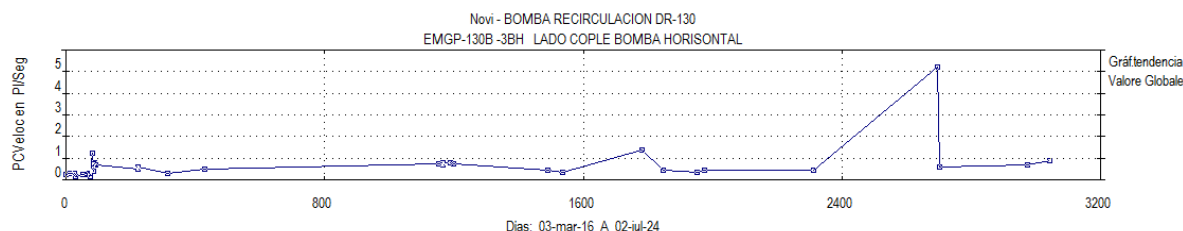


Figura 97 Gráfica de tendencias en el punto 1MH

En la figura 98 se muestra el espectro que se obtuvo en la medición del 23 de abril del 2024, el cual tiene un valor global de 0.7073. El pico en el primer cuadro rojo indica la frecuencia de giro del motor, la cual se encuentra en 3600 RPM (llamada la frecuencia fundamental, o 1x). El segundo recuadro rojo indica 2x, es decir, el doble de la frecuencia fundamental; se puede observar que existe un pico (con un valor ligeramente superior a 0.3). También se puede observar un efecto llamado “piso de pasto” en el intermedio de estas frecuencias.

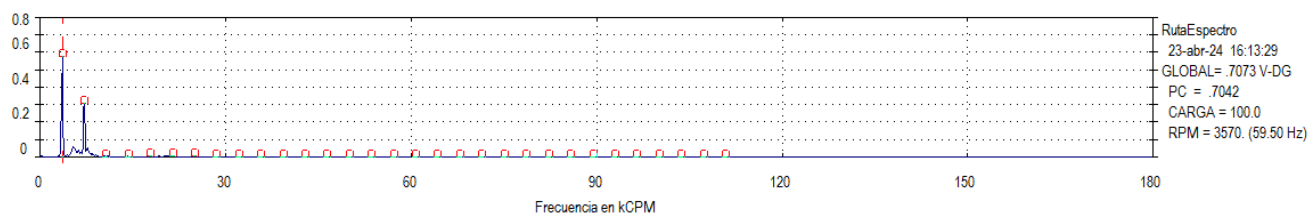


Figura 98 Espectro de 3BH del 23 de abril del 2024

En la figura 99 se observa el espectro del mismo punto tomado el día 2 de julio del 2024. Se nota que el valor global aumentó a 0.8818 y que se aumentó el pico en 2x hasta un aproximadamente 0.5. En comparación al espectro del 23 de abril del 2024, se puede deducir que los problemas están aumentando considerablemente; que, al apoyarse con los estudios de Charlotte, estos pueden ser los inicios de una desalineación en el eje; en este caso se destaca en la medida horizontal del cople en la bomba por la carga que está llevando a cabo el equipo.

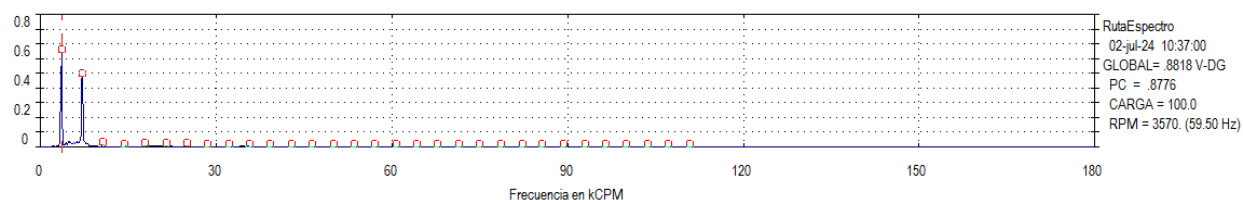


Figura 99 Espectro de 3BH del 2 de julio del 2024

En la medida axial del mismo punto se nota más el desarrollo de esta desalineación, que según el análisis de Charlotte puede ser un problema de desalineación en rodamientos. En la figura 100 (medida del 23 de abril del 2024) la frecuencia 2x no supera a la fundamental del equipo, mientras que en la figura 101 (medida del 2 de julio del 2024) la frecuencia 2x ha superado la frecuencia de 3600 revoluciones por aproximadamente 0.05 de la medida del valor global.

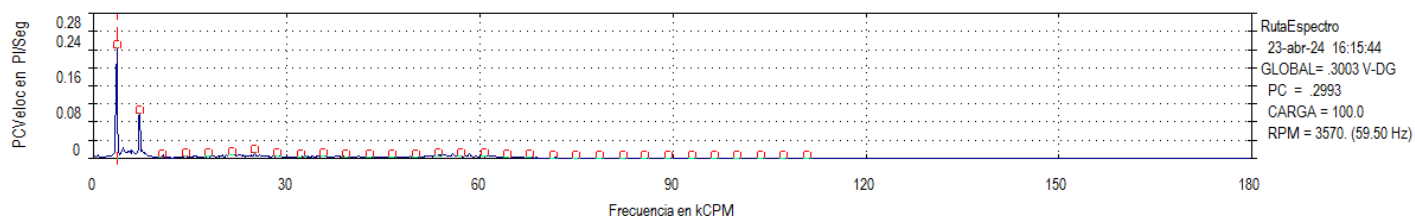


Figura 100 Espectro de 3BA del 23 de abril del 2024

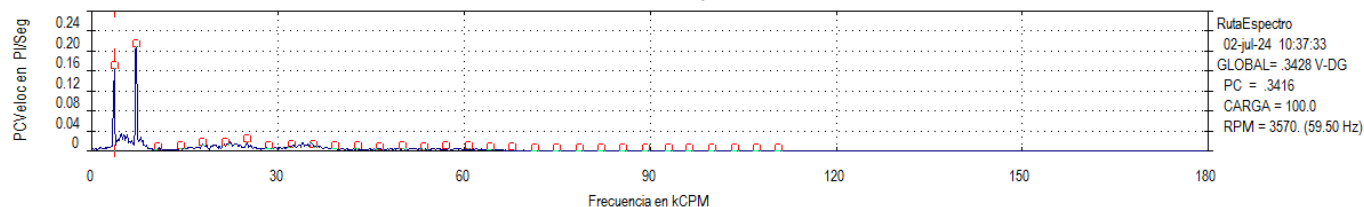


Figura 101 Espectro de 3BA del 2 de julio del 2024

14.2.- Análisis al agitador del GA-121

El espectro mostrado en la figura 102 corresponde al punto 1MV en la medida tomada el 25 de abril del 2024, se muestra la frecuencia fundamental de 1780 RPM en el primer recuadro de rojo. Estableciendo esto, se puede observar que existen sub armónicas (frecuencias menores a 1x) muy amplias, esto puede indicar problemas de desbalance muy notables en la medida vertical por efectos de la gravedad.

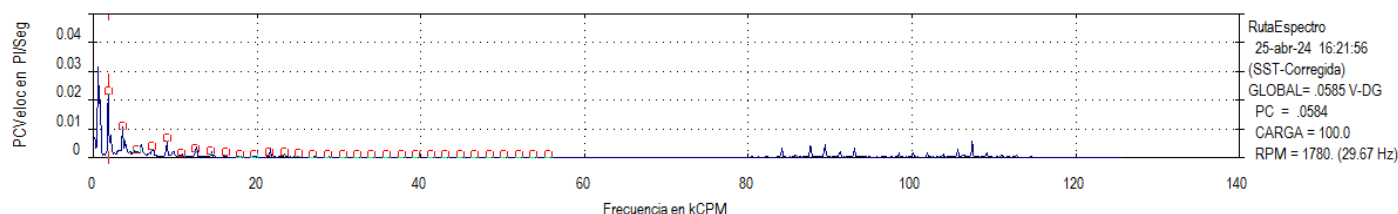


Figura 102 Espectro 1MV del 25 de abril del 2024

Aunado al problema presentado en las sub armónicas, el espectro de la medida 1MA también presenta señales de un inicio de desbalanceo de rodamientos por la amplitud de la frecuencia 2x en el espectro axial; como se observa en la figura 103.

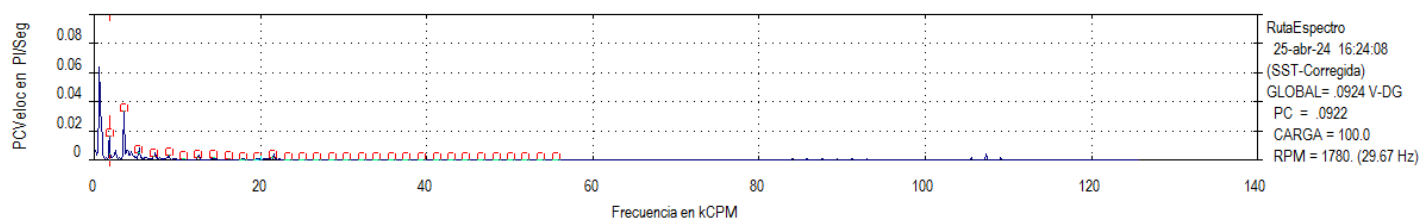


Figura 103 Espectro 1MA del 25 de abril del 2024

VI.- Conclusión

15.-Conclusiones del proyecto

El desarrollo del proyecto de gestión de mejora del mantenimiento predictivo dentro de NOVIDESA S.A. de C.V. en la Unidad Industrial Tlaxcala representa una gran ventaja debido al uso de técnicas para realizar diagnósticos que no son posibles de hacer a simple vista o con herramientas tradicionales. De esta manera, el departamento de mantenimiento puede adelantarse a eventos críticos con los pronósticos que son arrojados gracias a los datos presentes en las condiciones de operación de los equipos y máquinas rotativas.

Con el seguimiento de estas actividades, se pueden reducir los periodos de mantenimiento preventivo, diagnosticar los principios de problemas en los elementos de los equipos para disponer de refacciones de manera rápida, evitar paros en el proceso principal de la planta, etc.

Uno de los logros más importantes de este proyecto es la transmisión del conocimiento técnico y práctico para las personas que están interesadas en la implementación de técnicas del mantenimiento predictivo para continuar con los diagnósticos y elaborar tendencias con un conjunto de datos más consistente.

15.1.- Recomendaciones

- Apoyo de otras técnicas: Para complementar los análisis de mantenimiento predictivo, se podría hacer uso de otras técnicas que complementen las medidas de vibraciones; por ejemplo, análisis de espesores, termografías, análisis de aceite, etc.
- Seguimiento constante de las actividades: Este tipo de actividades requiere un seguimiento el cual podría ser mejorado, ya que se necesita tener mediciones actualizadas de los equipos para realizar un diagnóstico preciso.
- Transmisión de conocimiento al personal: Los equipos de análisis de vibraciones requieren de un conocimiento técnico el cual puede ser transferido a los operadores del departamento de mantenimiento; de esta manera ellos pueden dar seguimiento a los análisis.
- Identificación de puntos de lectura: Marcar en la posición correcta los puntos de lectura que se encuentran en los equipos para cumplir con el criterio de repetibilidad que se debe de seguir con el fin de tener diagnósticos correctos.
- Añadir las actividades a los mantenimientos preventivos: Se podrían complementar los planes de mantenimiento preventivo con las actividades del mantenimiento predictivo para obtener un seguimiento más cerrado y periódico.

15.2.- Experiencia personal profesional

- Acercamiento a un entorno industrial: Tener un entorno industrial real donde se lleva a cabo un proceso de fabricación es importante para la formación de un ingeniero, de esta manera se comprenden los elementos que interactúan entre sí.
- Trabajo en equipo: Llevar a cabo tareas con ayuda de gente especializada es de gran ayuda para comprender los procesos que se llevan a cabo dentro y fuera del departamento de mantenimiento.
- Habilidades en la administración: Un aspecto importante desarrollado es la noción de la administración de tareas, ya que estas no se pueden realizar de manera eficiente si no son planeadas, registradas, administradas y archivadas.
- Conocimiento técnico y práctico: El conocimiento aprendido de manera técnica y teórica debe de ser complementado con práctica; de esta forma, se obtiene un refuerzo en conjunto.
- Toma de decisiones: Este ámbito forma parte en la vida profesional y personal, ya que se debe de tener un campo de visión amplio para ser eficiente al aplicarlo en un medio laboral.
- Percepción de la seguridad industrial: Se tuvo un acercamiento a las distintas normativas de seguridad que existen en un ámbito laboral enfocado en la industria, así como su cumplimiento en pro de un lugar de trabajo seguro.

VII.- Fuentes de información

16.- Bibliografía

- [1] H. Guzmán López, “ANÁLISIS DE VIBRACIONES Categoría II”, en Querétaro, México, 24 de junio de 2013. IMMP.
- [2] León Cedeño, “Análisis de vibraciones mecánicas como base para la ejecución de un plan de mantenimiento predictivo”, Proyecto previo a la obtención del título, Esc. Politec. Del Ejercito, Sangolquí, 2006.
- [3] GE Inspection Technologies, “Inspección Ultrasónica Nivel 1”, 27 de enero de 2007, Programa de entrenamiento en PND, México.
- [4] F. Díaz del Castillo Rodríguez, *Vibraciones mecánicas*. Cuautitlán Izcalli: Fac. Estud. Super. Cuautitlan, 2011.
- [5] W. Olarte, M. Botero y B. Cañón, “Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria”, *Sci. Tech.*, vol. 2, n.º 45, pp. 223–226, 2010.
- [6] G. Trujillo. “Integrando el Análisis de Aceite con el Análisis de Vibración”. Reliability. Accedido el 15 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/integrando-el-analisis-de-aceite-con-el-analisis-de-vibracion>
- [7] P. R. Albarracín Aguillón, *Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz*, 2ª ed. Medellín: Ing. Lubricacion S. A. S., 1993.
- [8] W. Olarte, M. Botero y B. Cañón, “Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo”, *Sci. Tech.*, vol. 2, n.º 48, pp. 253–256, 2011.
- [9] W. Olarte y M. Botero, “La detección de ultrasonido: una técnica empleada en el mantenimiento predictivo”, *Sci. Tech.*, vol. 17, n.º 47, pp. 230–233, 2011.
- [10] D. A. Pernia Márquez, “Introducción a la medición de vibración”, Artículo de Postgrado, Fac. Ing. Univ. Andes, Mérida, 2004.
- [11] F. Torres, G. Rabanaque y J. Royo, “Análisis de vibraciones e interpretación de datos”, DIDYF Universidad de Zaragoza.
- [12] “Rodamientos”. SKF. Accedido el 17 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.skf.com/mx/products/rolling-bearings>

- [13] “What is a Bearing?” NSK. Accedido el 22 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.nskeurope.es/es/bearings/products/what-s-a-bearing.html>
- [14] G. Torres. “Rodamientos: tipos y componentes”. Urany. Accedido el 24 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://urany.net/blog/rodamientos-tipos-y-componentes>
- [15] Promelsa. “¿Qué es un motor eléctrico trifásico y cuáles son sus aplicaciones?” PROMELSA. Accedido el 25 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.promelsa.com.pe/blog/post/que-es-motor-electrico-trifasico.html#:~:text=Los%20motores%20el%C3%A9ctricos%20trif%C3%A1sicos%20son,en%20el%20proceso%20de%20fabricaci%C3%B3n.>
- [16] “Motor de inducción”. Nishi. Accedido el 26 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: <https://nishi.com.br/es/maquinas-electricas/motor-de-induccion/>
- [17] “¿Qué es una bomba centrífuga y cómo funciona? – Fesmex”. Fesmex. Accedido el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.fesmex.com.mx/article/que-es-una-bomba-centrifuga/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw1qO0BhDwARIsANfnkv8CmAPF4Rlb6ASwVbB3nIWkENKyegGsfU_pglioreiWs-0z_76yijkaAqOGEALw_wcB
- [18] “Partes de una Bomba Centrífuga”. Asimer Group. Accedido el 2 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.asimergroup.com/partes-de-una-bomba-centrifuga-un-desglose-detallado/>
- [19] “Reductores”. Sew Eurodrive. Accedido el 5 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.sew-eurodrive.es/productos/reductores/getriebe.html>
- [20] “Reductores y motorreductores”. AyJ Transmisiones y Equipos. Accedido el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.ajtransmisiones.com/blog/reductores-motorreductores-definicion-aplicaciones-tipos>

- [21] “Analizador de vibraciones 2130 CSI Technologies”. Manufactura Latam. Accedido el 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.manufactura-latam.com/es/noticias/analizador-de-vibraciones-2130-csitechnologies-para-inspeccionar-equipos-criticos-de-forma>
- [22] “Acelerómetro”. Omega engineering. Accedido el 14 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://es.omega.com/prodinfo/acelerometro.html>
- [23] “AC192-M12A - Acelerómetro compacto by CTC”. DirectIndustry. Accedido el 15 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.directindustry.es/prod/ctc/product-4560674-2539199.html>
- [24] “¿Cómo funciona el análisis de vibraciones?” TRACTIAN. Accedido el 16 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://traction.com/es/blog/analisis-de-vibraciones-e-interpretacion-de-datos>
- [25] *Estándares de vibración para evaluar la maquinaria*, ISO 10816, Normas ISO. Accedido el 17 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://normasiso.org/norma-iso-10816/>
- [26] C. Vergara y M. A. Pacheco Terán. “Mantenimiento centrado en confiabilidad basado en técnicas predictivas: vibración, termografía y medición de parámetros eléctricos; para las máquinas e instalaciones eléctricas presentes en los activos y servicios de Cotecmar”. Repositorio UTB. Accedido el 22 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/839#page=1>

16.1.- Bibliografía de imágenes

- [1] Alianza automotriz. (2022). *Falla de rodamiento*. [Imagen]. Obtenido de <https://alianzaautomotriz.com/marcas-y-productos-falla-de-rodamiento/>
- [2] Cedeño, I. L. (2006). *Proceso del mantenimiento predictivo*. [Imagen]. Sangolquí, Facultad de ingeniería mecánica .
- [3] Interempresas. Analizadores de Vibraciones [Imagen]. Hofmann Servitec, S.A. Obtenido de <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/ResenyaProducto.asp?R=51332>
- [4] Botero A., M. Olarte C., W., & Cañón Zabaleta, B. (2011). Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo [Imagen]. *Scientia Et Technica*, 2(48), 253–256. Obtenido de <https://doi.org/10.22517/23447214.1303>
- [5] Olarte, W., & Botero, M. (2011). *Detectores de ultrasónicos*. [Imagen]. *Scientia et technica*, 17(47), 230-233.
- [6] Pernia-Márquez, D. (2004). *Sistema de analizador de vibraciones*. [Imagen]. Facultad de Ingenieria. Universidad de los Andes. Venezuela.
- [7] Torres, F., Royo, J., Rabanaque, G. *Gráfica de la velocidad en un objeto que gira*. [Imagen]. DIDYF Universidad de Zaragoza.
- [8] Torres, F., Royo, J., Rabanaque, G. *Gráfica de la aceleración en un objeto que gira*. [Imagen]. DIDYF Universidad de Zaragoza.
- [9] Motion & Control NSK. (2024). *Rodamiento radial*. [Imagen]. Obtenido de <https://www.nskeurope.es/es/bearings/products/what-s-a-bearing.html>
- [10] Torres, G. (2021). *Anillo interior (derecha) y anillo exterior (izquierda)* [Imagen]. Urany. Obtenido de <https://urany.net/blog/rodamientos-tipos-y-componentes>
- [11] Torres, G. (2021). *Elementos de rodadura* [Imagen]. Obtenido de Urany. <https://urany.net/blog/rodamientos-tipos-y-componentes>
- [12] Torres, G. (2021). *Jaula de rodamiento* [Imagen]. Urany. Obtenido de <https://urany.net/blog/rodamientos-tipos-y-componentes>

- [13] MCB. (s.f). *Motor trifásico*. [Imagen]. MCB. Obtenido de <https://www.mcb.com.mx/lo-que-debes-saber-sobre-los-motores-electricos-de-tipo-trifasico/>
- [14] Marposs. (s.f). *Estator de un motor*. [Imagen]. Marposs. Obtenido de <https://www.marposs.com/spa/application/stator>
- [15] Nichese. (s.f.). *Rotor de un motor*. [Imagen]. Nichese Obtenido de <https://www.nichese.com/motor.html>
- [16] Full Mecánica. (2014). *Funcionamiento de una bomba centrífuga*. Full Mecánica. Obtenido de <https://www.fullmecanica.com/definiciones/b/1677-bombas-centrifugas>
- [17] Asimer Group. (s.f.) *Impulsor de una bomba*. [Imagen]. Asimer Group. Obtenido de <https://www.asimergroup.com/partes-de-una-bomba-centrifuga-un-desglose-detallado/>
- [18] Asimer Group. (s.f.) *Carcasa de una bomba*. [Imagen]. Asimer Group. Obtenido de <https://www.asimergroup.com/partes-de-una-bomba-centrifuga-un-desglose-detallado/>
- [19] Roydisa. (s.f.). *Reductor de eje paralelo*. [Imagen]. Nord drive systems. Obtenido de <https://www.roydisa.es/archivos/productos/motoreductores-de-ejes-paralelos-nord>
- [20] Izaro. (2010). *Reductor de grupo cónico*. [Imagen]. Brotomatic, Obtenido de <https://www.izaro.com/reductores-compactos-conicos-inoxidables/c-1292945747/>
- [21] Brotomatic. (s.f.). *Reducto planetario*. [Imagen], Brotomatic. Obtenido de <https://www.brotomatic.es/reductor-planetario-precision7/58/sistemas-mecanicos/reductores-planetarios-precision/reductores-planetarios-coaxiales/producto>
- [22] Manufactura Latam. (2013). *Analizador de vibraciones CSI 2130*. [Imagen]. Obtenido de <https://www.manufactura-latam.com/es/noticias/analizador-de-vibraciones-2130-csitechnologies-para-inspeccionar-equipos-criticos-de-forma>

- [23] TRACTIAN. (s. f.). *Funcionamiento de la FFT*. [Imagen]. Obtenido de <https://traction.com/es/blog/analisis-de-vibraciones-e-interpretacion-de-datos>
- [24] DSP ANALYTIC. (s. f.) *Tabla de severidad Norma ISO 10816*. [Imagen]
Obtenido de <https://dspanalytic.com/vibraciones/tabla-iso-10816-3/>

17.- Glosario

- **Mantenimiento:** Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etcétera, puedan seguir funcionando adecuadamente.
- **Petroquímica:** Son aquellos líquidos o gases que se obtienen del procesamiento del Gas Natural o de la refinación del Petróleo y su transformación, que se utilizan habitualmente como materia prima para la industria.
- **Vibraciones mecánicas:** Movimiento de un cuerpo sólido alrededor de una posición de equilibrio, sin que se produzca desplazamiento "neto" del mismo.
- **Velocímetro:** Sensor que es capaz de medir la velocidad producida por los objetos.
- **Procesos no destructivos:** Proceso de inspección, prueba o evaluación de materiales, componentes o ensamblajes para detectar discontinuidades o diferencias en las características sin destruir la capacidad de servicio de la pieza o sistema.
- **Poliestireno expandido:** Material plástico espumado compuesto en un 98% de aire, muy ligero y a la vez resistente, que además ofrece excelentes propiedades como aislante térmico y aislante acústico.
- **Desequilibrio mecánico:** Distribución desigual de la masa alrededor de un eje de rotación.
- **Desalineación mecánica:** Falta de coincidencia espacial de los ejes geométricos correspondientes a dos ejes de transmisión acoplados.
- **Rodamientos:** Denominación que se le da a un elemento rotativo, que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este sistema que sirve de apoyo y facilita su funcionamiento.
- **Transductor:** Dispositivo que convierte una señal de un tipo de energía en otra.
- **Tendencias:** Método de análisis que consiste en observar el comportamiento de un elemento en la misma o diferentes condiciones.

- Criticidad: Indicador que se usa para determinar el grado de importancia de uno o varios activos para un determinado proceso de producción.
- Procesamiento de señales: Convertir o transformar datos de una manera que se permita ver cosas en ellos que no son posibles a través de la observación directa.
- Ferrografías: Tipo especializado de análisis de aceite utilizado para estudiar partículas de desgaste en componentes de maquinaria a través de análisis de contaminantes en aceites lubricantes.
- Paro de planta: proceso en el que se detiene temporalmente toda o parte de la producción de una instalación industrial o fábrica, para llevar a cabo tareas de mantenimiento, reparación, inspección, ajustes o mejoras en el equipo, maquinaria, sistemas o instalaciones.
- Corrientes de Eddy: Prueba no destructiva utilizada para detectar anomalías y defectos a nivel superficial y subsuperficial en materiales conductores.
- Basicidad: Cualidad de una sustancia de ser una base (no un ácido).
- Acondicionamiento de señal: Proceso de adquisición de datos que se lleva a cabo mediante un instrumento llamado acondicionador de señal. Ese instrumento convierte un tipo de señal eléctrica o mecánica (señal de entrada) en otro (señal de salida).
- Tag: Denominación a un objeto en base a una taxonomía establecida.
- Software ERP: conjunto de aplicaciones o módulos integrados para gestionar los procesos de negocio centrales de una empresa, incluyendo finanzas y contabilidad, cadena de suministro, RR. HH., procurement, ventas, gestión de inventario y más.

18.- Anexos



Complex data from vibration signals is condensed into machinery health information and presented in an easy-to-understand bar graph format. Details are available at the push of a button.

Routine data and corrective maintenance jobs can be uploaded to AMS Suite: Machinery Health Manager for analysis and reporting. AMS Machinery Manager integrates data from multiple technologies, including vibration and oil analysis, thermography, and alignment and balancing into a single database. Alerts generated by AMS Machinery Manager can be exported automatically to AMS Suite: Asset Performance Management where they are combined with alerts from other plant assets to provide a unified view of your plant's health. These predictive diagnostics power PlantWeb® by enabling plant personnel to improve plant availability and reliability.

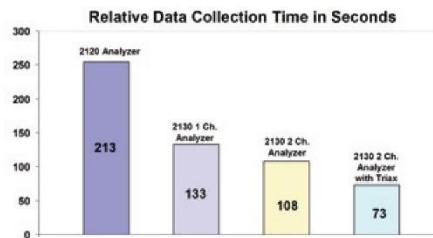
Monitor More Machines in Less Time

As shown below, data collection time is reduced by as much as 60% compared to the CSI 2120, and even more when compared to other instruments. Faster data collection translates into more machines monitored and more time dedicated to machinery analysis.

Portable and Durable

The durability of this unit makes it ideal for field work in a wide variety of industrial applications.

- Large Color Display: backlit VGA display for use anywhere.
- Small and Lightweight: easily carried on long routes
- In-Field Reports: color-coded alarm report for each point.
- Industrial Design: IP 65 rated with optional safety rating.



Increase Productivity with the Dual-Channel Option

The CSI 2130 is available with either one or two channels for vibration analysis. The dual-channel option not only enables advanced analysis options, but also brings significant efficiency improvements. Emerson's patented dual-channel data collection technique slashes measurement time by an additional 20% to 45%. This increase in productivity translates into a complete return on investment within the first year.

Easy Operation

The CSI 2130 requires only minimal training for effective operation. In addition to collecting data, the CSI 2130 converts data into actionable information about machinery health. For example, it can automatically distinguish between an imbalance and a bearing fault. The user is instantly notified about the nature of developing faults at the time of measurement, so that you can focus your attention on critical machine issues immediately.

Embedded Intelligence

The ability to perform additional diagnostic tests at the machine site transforms simple data collection into an effective machinery health program. In today's demanding work environment, it is difficult to find the time to acquire advanced analysis skills. Embedded diagnostics enable even a novice user to conduct sophisticated tests with the touch of a button. The bottom line impact is that users can quickly harness the full power of the CSI 2130 in the field, immediately impacting your bottom line.

AC192 Series

Compact Multipurpose Accelerometer, Top Exit 2 Pin Connector, 100 mV/g, $\pm 10\%$



VIBRATION ANALYSIS HARDWARE



Product Features

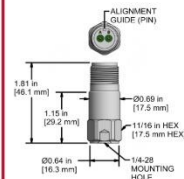
High Performance in an Affordable, Compact Sensor

Very Low Noise and Superior RF Immunity

- ▶ 100 mV/g Sensitivity, $\pm 10\%$
 $\pm 80g$ Dynamic Range
- ▶ Standard 2 Pin MIL Connection or Integral Cable. Note: Integral Cable Options are Only for Permanent Monitoring Applications
- ▶ -6N Integral Cable Option Features Food-Safe, FDA-Compliant 21 CFR 177.1330 Polyolefin Heat Shrink

AC192-1D 2 Pin Connector

Connector	Polarity
Pin	(+)
A	Signal/Power
B	(-) Common



Stock Product

AC192-2D CB103 Integral Cable

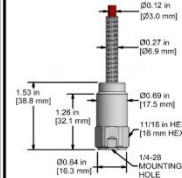
Conductor	Polarity
Red	(+) Signal/Power
Black	(-) Common
Shield	Cable Drain Wire



Built To Order

AC192-3D CB206 Armored Integral Cable

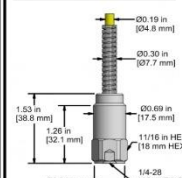
Conductor	Polarity
Red	(+) Signal/Power
Black	(-) Common
Shield	Cable Drain Wire



Built To Order

AC192-6D CB411 Heavy Duty Armored Integral Cable

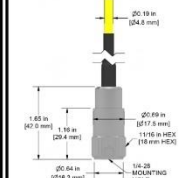
Conductor	Polarity
Red	(+) Signal/Power
Black	(-) Common
Shield	Cable Drain Wire



Built To Order

AC192-6N CB111 Integral Cable

Conductor	Polarity
Red	(+) Signal/Power
Black	(-) Common
Shield	Cable Drain Wire



Built To Order

Specifications	Standard	Metric	Specifications	Standard	Metric
Part Number	AC192	M/ or M8/AC192	Environmental		
Sensitivity ($\pm 10\%$)	100 mV/g		Operating Temperature Range	-58 to 250 °F	-50 to 121 °C
Frequency Response ($\pm 3dB$)	24-780,000 CPM	0.4-13000 Hz	Maximum Shock Protection	5000 g, Peak	
Frequency Response ($\pm 10\%$)	60-540,000 CPM	1.0-9000 Hz	Electromagnetic Sensitivity	CE	
Dynamic Range	$\pm 80 g$, peak *Vsource $\geq 22V$, 12Vbias		Sealing	Welded, Hermetic	
Electrical			Submersible Depth	200 ft.	60 m
Settling Time	< 2 Seconds		SIL Rating	SIL 2	
Voltage Source (IEPE)	18-30 VDC		Physical		
Constant Current Excitation	2-10 mA		Sensing Element	PZT Ceramic	
Spectral Noise @ 10 Hz	8 $\mu g/\sqrt{Hz}$		Sensing Structure	Shear Mode	
Spectral Noise @ 100 Hz	4 $\mu g/\sqrt{Hz}$		Weight	1.8 oz	51 grams
Spectral Noise @ 1000 Hz	2 $\mu g/\sqrt{Hz}$		Case Material	316L Stainless Steel	
Output Impedance	$< 100 \Omega$		Mounting Thread	1/4-28 Blind Tapped Hole	
Bias Output Voltage	10-14 VDC		Connector (Non-Integral)	2 Pin MIL-C-5015	
Case Isolation	$> 10^8 \Omega$		Resonant Frequency	1,560,000 CPM	26000 Hz
			Mounting Torque	2 to 5 ft. lbs.	2.7 to 6.8 Nm
			Mounting Hardware Supplied	1/4-28 Stud	M6x1 or M8x1.25 Adapter Stud
			Calibration Certificate	CA10	

Typical Frequency Response



Backed by our Unconditional Lifetime Warranty & Free Annual Recalibration Service

www.ctconline.com | sales@ctconline.com | 585-924-5900

Anexo 2 Hoja de datos del sensor AC192

AC135 Series

Backed by our Unconditional Lifetime Warranty

Low Frequency Accelerometer, Top Exit Connector/Cable, 500 mV/g

Actual
Product
Size Shown



Product Features

**Low Frequency/
Slow Speed Sensor**

0,2 - 3000 Hz (12 - 180,000 CPM)

- 500 mV/g Sensitivity, $\pm 10\%$ Sensitivity
- Standard 2 Pin MIL Connection
- ± 10 g, Peak Dynamic Range

SECTION 1 - VIBRATION SENSORS
Accelerometers

AC135-1A 2 Pin Connector

Connector Pin	Polarity
A	(+) Signal/Power
B	(-) Common



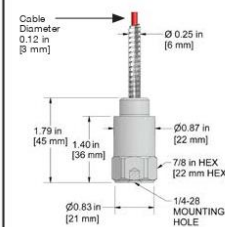
AC135-2C Integral Cable

Conductor	Polarity
Red	(+) Signal/Power
Black	(-) Common
Shield	Cable Drain Wire



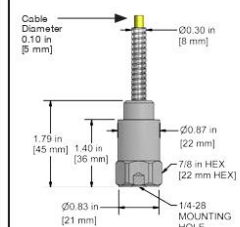
AC135-3C Armored Integral Cable

Conductor	Polarity
Red	(+) Signal/Power
Black	(-) Common
Shield	Cable Drain Wire



AC135-6C Heavy Duty Armored Integral Cable

Conductor	Polarity
Red	(+) Signal/Power
Black	(-) Common
Shield	Cable Drain Wire



Specifications	Standard	Metric
Part Number	AC135	M/AC135
Sensitivity ($\pm 10\%$)	500 mV/g	
Frequency Response ($\pm 3\text{dB}$)	12-180,000 CPM	0,2-3000 Hz
Frequency Response ($\pm 10\%$)	36-90,000 CPM	0,6-1500 Hz
Dynamic Range	± 10 g, peak	
Electrical		
Setting Time	5 Seconds	
Voltage Source (IEPE)	18-30 VDC	
Constant Current Excitation	2-10 mA	
Spectral Noise @ 10 Hz	1.7 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	
Spectral Noise @ 100 Hz	0.2 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	
Spectral Noise @ 1000 Hz	0.12 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	
Output Impedance	<100 ohm	
Bias Output Voltage	10-14 VDC	
Case Isolation	>10 ⁹ ohm	

Specifications	Standard	Metric
Environmental		
Temperature Range	-58 to 250°F	-50 to 121°C
Electromagnetic Sensitivity	CE	
Sealing	IP68	
Submersible Depth (AC135-2C/3C)	200 ft.	60 m
Physical		
Sensing Element	PZT Ceramic	
Sensing Structure	Shear Mode	
Weight	3.4 oz	95 grams
Case Material	316L Stainless Steel	
Mounting	1/4-28	
Connector (non-integral)	2 Pin MIL-C-5015	
Resonant Frequency	960,000 CPM	16000 Hz
Mounting Torque	2 to 5 ft. lbs.	2,7 to 6,8 Nm
Mounting Hardware	1/4-28 Stud	M6x1 Adapter Stud
Calibration Certificate	CA10	

Ordering Information

Standard	AC135-1A (1/4-28 Stud)	AC135-2C - / (1/4-28 Stud)	AC135-3C - / (1/4-28 Stud)	AC135-6C - / (1/4-28 Stud)
	Stock Product	Build To Order	Build To Order	Build To Order
	(length in feet) (termination)	(length in feet) (termination)	(maximum armor length 100 ft.) (cable length in feet) (termination)	(maximum armor length 20 ft.) (cable length in feet) (termination)
Metric	M/AC135-1A (M6x1 Adapter Stud)	M/AC135-2C - / (M6x1 Adapter Stud)	M/AC135-3C - / (M6x1 Adapter Stud)	M/AC135-6C - / (M6x1 Adapter Stud)
	Stock Product	Build To Order	Build To Order	Build To Order
	(length in meters) (termination)	(length in meters) (termination)	(maximum armor length 30 m) (cable length in meters) (termination)	(maximum armor length 6 m) (cable length in meters) (termination)

Cable Termination Options: E F L Z

INTERTECHNOLOGY
INC.

19 Waterman Ave, Toronto, Ont. M4B1Y2

Ph#416-445-5500 Fax#416-445-1170

Toll Free: 1-800-465-1600

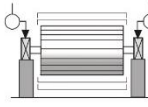
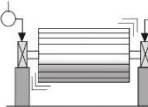
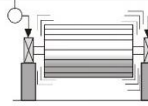
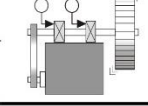
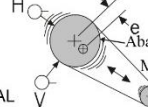
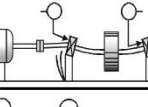
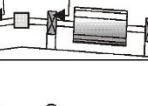
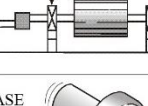
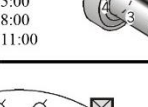
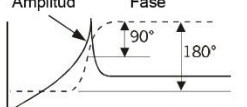
Email: sales@intertechnology.com

Website: www.intertechnology.com



Anexo 3 Hoja de datos del sensor AC135

LISTA ILUSTRADA DE DIAGNÓSTICO DE VIBRACIONES

FUENTE DEL PROBLEMA	ESPECTRO TÍPICO	RELACIÓN DE FASE	OBSERVACIONES
DESEQUILIBRIO DE MASA			
A. DESEQUILIBRIO ESTATICO	1X RADIAL		El Desequilibrio Estático estará en fase y fijo. La amplitud debida al desequilibrio se elevará al cuadrado de la velocidad de giro debajo de la primer frecuencia crítica del rotor (un incremento de velocidad de 3X = vibración más alta en 9X). 1X RPM siempre está presente y por lo general domina al espectro. Se puede corregir al colocar únicamente un peso de corrección de equilibrio en un plano en el centro de gravedad (CG) del Rotor. Debe existir una diferencia de fase de 0° aprox. entre los horizontales OB e IB, así como entre los verticales OB e IB. Además, por lo general existe una diferencia de fase de 90° aprox. entre las lecturas horizontales y verticales en cada apoyo de rotor desequilibrado ($\pm 30^\circ$).
B. DESEQUILIBRIO TIPO PAR	1X RADIAL		El Desequilibrio Tipo Par origina un movimiento fuera de fase de 180° en el mismo eje. 1X RPM siempre se presenta y por lo general domina al espectro. La amplitud varía con el cuadrado de la velocidad en incremento debajo de la primera velocidad crítica del rotor. Puede causar una alta vibración axial así como radial. Para su corrección se requiere colocar pesos de equilibrio en por lo menos 2 planos. Observe que debe existir una diferencia de fase de 180° aprox. entre los horizontales OB e IB, así como entre los verticales OB e IB. Además, por lo general existe una diferencia de fase de 90° aprox. entre las lecturas horizontales y verticales en cada apoyo ($\pm 30^\circ$).
C. DESEQUILIBRIO DINÁMICO	1X RADIAL		El Desequilibrio Dinámico es el más común y es una combinación de desequilibrio de estático y de par. 1X RPM domina el espectro, y realmente requiere una corrección de 2 planos. Aquí, la diferencia de fase radial entre los apoyos internos y externos puede abarcar un rango de 0° a 180°. Sin embargo, la diferencia en fase de los apoyos horizontales será similar a la diferencia entre las fases verticales ($\pm 30^\circ$). Así mismo, en caso de que predomine el desequilibrio, una diferencia de fase de 90° aprox. resultará entre las lecturas horizontal y vertical de cada apoyo ($\pm 40^\circ$).
D. DESEQUILIBRIO DE ROTORES EN CANTILIBRE	1X AXIAL & RADIAL		El Desequilibrio del Rotor En Cantilibre causa 1X RPM alto en ambas direcciones axial y radial. Las lecturas axiales tienden a estar en fase mientras que las lecturas radiales pueden ser inestables. Sin embargo, las diferencias de la fase horizontal coincidirán por lo general con las diferencias de fase vertical en el rotor desequilibrado ($\pm 30^\circ$). Estos rotores presentan desequilibrios estático y par. Por lo tanto, los pesos de corrección siempre tendrán que colocarse en 2 planos para contrarrestarlos.
ROTOR EXCÉNTRICO	1X ABANICO 1X MOTOR RADIAL		La excentricidad ocurre cuando el centro de rotación está fuera de la línea central geométrica de una patea, un engrane, un rodamiento, una armadura del motor, etc. La vibración mayor ocurre en 1X RPM del componente excéntrico en una dirección a través de las líneas centrales de los dos rotores. Las lecturas comparativas de fase horizontal y vertical por lo general difieren en 0° o en 180° (cada una de las cuales indica un movimiento rectilíneo). Con frecuencia, el intentar equilibrar los rotores excéntricos dará como resultado una reducción en la vibración en una dirección radial, pero incrementa la vibración en la otra dirección radial (dependiendo de la cantidad de excentricidad).
EJES FLEXIONADOS	1X AXIAL 2X		Los problemas relacionados ejes flexionados causan una vibración axial alta con diferencias de fase axial con tendencia hacia los 180° en el mismo componente de la máquina. La vibración dominante por lo general ocurre en 1X si la flexión está cerca del centro del eje, pero en 2X en caso de que la flexión esté cerca del acoplamiento. (Asegúrese de compensar las fases axiales en caso de que se haya invertido la dirección del sensor). Utilice indicadores de carátula para confirmar la flexión del eje.
DESALINEACIÓN			
A. DESALINEACIÓN ANGULAR	1X AXIAL 2X 3X		La Desalineación Angular se caracteriza por una vibración axial alta, 180° fuera de fase a través del acoplamiento. Tendrá una vibración axial alta tanto en 1X como en 2X RPM. Sin embargo, no es inusual que 1X, 2X ó 3X dominen. Estos síntomas también pueden indicar problemas de acoplamiento. Una desalineación angular severa puede presentar muchas armónicas de 1X RPM. A diferencia de la Holgura Mecánica del Tipo 3, estas armónicas múltiples no cuentan con un piso de ruido elevado en los espectros.
B. DESALINEACIÓN PARALELA	1X RADIAL 2X 3X		La Desalineación Paralela tiene características de vibración similares a la Desalineación Angular pero presenta una vibración radial alta que se aproxima a 180° fuera de fase a través del acoplamiento. Frecuentemente 2X es mayor que 1X, pero su altura relativa a 1X la impone el tipo de acoplamiento. Cuando la Desalineación Angular o Radial es severa, pueden generar picos de amplitud altos en armónicas mucho más altas (4X - 8X), o incluso toda una serie de armónicas de alta frecuencia similares en apariencia a la holgura mecánica. El tipo de acoplamiento y el material con frecuencia influyen enormemente en el espectro total cuando la desalineación es severa. Generalmente no presenta piso de ruido elevado.
C. RODAMIENTO DESALINEADO INCLINADO EN EL EJE	1X AXIAL 2X 3X		El Rodamiento Inclinado generará una vibración axial considerable. Causará un Movimiento Torcido con un cambio de fase de aprox. 180° entre la parte superior e inferior, izquierda y derecha de la caja que soporta el rodamiento. El tratar de alinear el acoplamiento o equilibrar el rotor no solucionará el problema. Por lo general se debe retirar el rodamiento e instalarse correctamente.
RESONANCIA			
			La resonancia ocurre cuando una Frecuencia de Oscilación Forzada coincide con la Frecuencia Natural del Sistema, y puede causar una drástica amplificación en la amplitud que puede resultar en una daño prematuro, o incluso catastrófico. Puede excitarse la frecuencia natural del rotor pero puede originarse frecuentemente en la base, en el cimiento, en la caja de engranes o incluso en las correas (bandas) de poleas. Si un rotor se encuentra en resonancia o cerca de ella, puede ser casi imposible que se pueda lograr un equilibrado debido al cambio importante de fase que experimenta (90° en resonancia; casi 180° cuando pasa a través). Con frecuencia se requiere que la frecuencia natural cambie a una frecuencia más alta o más baja. Las frecuencias naturales generalmente no se alteran con cambios en velocidades de giro, lo cual facilita su identificación (con excepción de aquellos equipos con un cantilbre significativo).

DETERMINACIÓN DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

CLAVE Y REGIÓN ANATÓMICA	CLAVE Y EPP	TIPO DE RIESGO EN FUNCIÓN DE LA ACTIVIDAD DEL TRABAJADOR
1) Cabeza	A) Casco contra impacto B) Casco dieléctrico C) Capuchas	A) Golpeado por algo, que sea una posibilidad de riesgo continuo inherente a su actividad. B) Riesgo a una descarga eléctrica (considerar alto o bajo voltaje, los cascos son diferentes). C) Exposición a temperaturas bajas o exposición a partículas. Protección con una capucha que puede ir abajo del casco de protección personal.
2) Ojos y cara	A) Anteojos de protección B) Goggles C) Pantalla facial D) Careta para soldador E) Gafas para soldador	A) Riesgo de proyección de partículas o líquidos. En caso de estar expuesto a radiaciones, se utilizan anteojos de protección contra la radiación. B) Riesgo de exposición a vapores o humos que pudieran irritar los ojos o partículas mayores o a alta velocidad. C) Se utiliza también cuando se expone a la proyección de partículas en procesos tales como esmerilado o procesos similares; para proteger ojos y cara. D) Específico para procesos de soldadura eléctrica. E) Específico para procesos con soldadura autógena.
3) Oídos	A) Tapones auditivos B) Conchas acústicas	A) Protección contra riesgo de ruido; de acuerdo al máximo especificado en el producto o por el fabricante. B) Mismo caso del inciso A.
4) Aparato respiratorio	A) Respirador contra partículas B) Respirador contra gases y vapores C) Mascarilla desechable D) Equipo de respiración autónomo	En este tipo de productos es importante verificar las recomendaciones o especificaciones de protección del equipo, hecha por el fabricante del producto. A) Protección contra polvos o partículas en el medio ambiente laboral y que representan un riesgo a la salud del trabajador. B) Protección contra gases y vapores. Considerar que hay diferentes tipos de gases y vapores para los cuales aplican también diferentes tipos de respiradores, incluyendo para gases o vapores tóxicos. C) Mascarilla sencilla de protección contra polvos. D) Se utiliza cuando el trabajador entra a espacios confinados o cuando un respirador no proporciona la protección requerida.
5) Extremidades superiores	A) Guantes contra sustancias químicas B) Guantes dieléctricos C) Guantes contra temperaturas extremas D) Guantes E) Mangas	En este tipo de productos es importante verificar las recomendaciones o especificaciones de los diferentes guantes existentes en el mercado, hecha por el fabricante del producto. Su uso depende de los materiales o actividad a desarrollar. A) Riesgo por exposición o contacto con sustancias químicas corrosivas. B) Protección contra descargas eléctricas. Considerar que son diferentes guantes dependiendo de protección contra alta o baja tensión. C) Riesgo por exposición a temperaturas bajas o altas. D) Hay una gran variedad de guantes: tela, camaza, piel, pvc, látex, entre otros. Dependiendo del tipo de protección que se requiere, actividades expuestas a corte, vidrio, etc. E) Se utilizan cuando es necesario extender la protección de

CLAVE Y REGIÓN ANATÓMICA	CLAVE Y EPP	TIPO DE RIESGO EN FUNCIÓN DE LA ACTIVIDAD DEL TRABAJADOR
		los guantes hasta los brazos.
6) Tronco	A) Mandil contra altas temperaturas B) Mandil contra sustancias químicas C) Overall D) Bata E) Ropa contra sustancias peligrosas	A) Riesgo por exposición a altas temperaturas; cuando se puede tener contacto del cuerpo con algo que esté a alta temperatura. B) Riesgo por exposición a sustancias químicas corrosivas; cuando se puede tener contacto del cuerpo con este tipo de sustancias. C) Extensión de la protección en todo el cuerpo por posible exposición a sustancias o temperaturas. Considerar la facilidad de quitarse la ropa lo más pronto posible, cuando se trata de sustancias corrosivas. D) Protección generalmente usada en laboratorios u hospitales. E) Es un equipo de protección personal que protege cuerpo, cabeza, brazos, piernas pies, cubre y protege completamente el cuerpo humano ante la exposición a sustancias altamente tóxicas o corrosivas.
7) Extremidades inferiores	A) Calzado ocupacional B) Calzado contra impactos C) Calzado conductivo D) Calzado dieléctrico E) Calzado contra sustancias químicas F) Polainas G) Botas impermeables	A) Proteger a la persona contra golpes, machacamientos, resbalones, etc. B) Protección mayor que la del inciso anterior contra golpes, que pueden representar un riesgo permanente en función de la actividad desarrollada. C) Protección del trabajador cuando es necesario que se elimine la electricidad estática del trabajador; generalmente usadas en áreas de trabajo con manejo de sustancias explosivas. D) Protección contra descargas eléctricas. E) Protección de los pies cuando hay posibilidad de tener contacto con algunas sustancias químicas. Considerar especificación del fabricante. F) Extensión de la protección que pudiera tenerse con los zapatos exclusivamente. G) Generalmente utilizadas cuando se trabaja en áreas húmedas.
8) Otros	A) Equipo de protección contra caídas de altura B) Equipo para brigadista contra incendio	A) Específico para proteger a trabajadores que desarrollen sus actividades en alturas y entrada a espacios confinados. B) Específico para proteger a los brigadistas contra altas temperaturas y fuego. Hay equipo adicional en función de las actividades rescate a realizar.

Anexo 5 Fragmento de la NOM-017-STPS-2008

UNIDAD INDUSTRIAL TLAXCALA
Orden de Trabajo Preventiva



No. Folio	638739	Fecha de programación	11/FEB/2024
	MP Cuatrimestral Mantenimiento Preventivo	Fecha de término programada	11/FEB/2024
Fecha de Elaboración	17/OCT/2023	Estado	Cierre Final

OT principal	MTTO-POLIDESA	Tipo de OT	PM
Departamento	Mantenimiento POLIDESA	Ocupación	ELÉCTRICO
Centro de Costo	3020004	Criticidad del equipo	A
Plan de Mantto.	REACCION POLIDESA EPS UIT-ELE-MOTCRIT4M MP Cuatrimestral Mantenimiento Preventivo motores de proceso	Asignado a	Firma
		Responsable Mto.	Firma
		Autorizado por	Firma
		Recibido por	Firma

Equipo	MGP-130B EMGP-130B REACCION EPS P-POLIDESA IDESA-UIT	MOTOR DE LA BOMBA DE AGUA DE RECIRCULADO MOTO BOMBA B DE AGUA DE RECIRCULADO EQUIPOS GENERALES INSTALADOS EN EL ÁREA DE REACCION SISTEMA POLIESTIRENO EXPANSIBLE PLANTA POLIESTIRENO Y DERIVADOS IDESA UNIDAD INDUSTRIAL TLAXCALA
---------------	---	--

Horas registradas					

Empleado/Personal	Fecha	Hora de comienzo	Hora de finalización	Tiempo total	Tipo de horas

Lista de Instrucciones					
Plan de tareas	UIT-ELE-MOTCRIT4M	0	Orden de trabajo	638739	Actividad
					10
Tareas Cuatrimestrales Mantenimiento predictivo motores de proceso ATENDER ACTIVIDADES DE ACUERDO A LOS PROCEDIMIENTOS PSP-2023 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL, SU CONTROL, USO GENERAL Y ESPECÍFICO, PSP-3069 SEGURIDAD EN EL MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, PSP-4028 CANDADEO ELÉCTRICO Y PSP- 2028 AUTORIZACIÓN PARA TRABAJOS PELIGROSOS, SI APLICA. 1.- VERIFICAR OPERACIÓN DE VENTILADOR ADECUADA. 2.- VERIFICAR APRIETE DE TORNILLERÍA DE LA BASE DEL MOTOR. 3.- REAPRIETE TERMINALES DE FUERZA EN CAJA DE CONEXIONES, EQUIPO FUERA DE OP. 4.- VERIFICAR ESTADO DE LA TIERRA FÍSICA Y SU CONEXIÓN. 5.- EFECTUAR LIMPIEZA A EQUIPO Y BASE. 6.- SELLADO ADECUADO EN CAJA DE CONEXIONES, ESTACION DE BOTONES, TUBERÍAS CONDUIT Y CONDULETS. 7.- PRUEBA DE ESTACIÓN DE BOTONES, EQUIPO FUERA DE OP. VERIF. 8.- VERIFICAR ESTADO DE CONTACTORES Y REAPRIETE DE CONEXS. DE ARRANCADOR, FUERA DE OP. 9.- REVISAR EDO. DE ELEMENTOS TÉRMICOS Y FUSIBLES DE CONTROL, EQUIPO FUERA DE OP. 10.- PRUEBA DE OPERACIÓN DE ARRANCADOR, EQUIPO FUERA DE OP. 11.- GIRAR EQUIPOS FUERA DE SERVICIO 450°, INCLUIR LOS DE REPUESTO DE PLANTA. 12.- EFECTUAR ORDEN Y LIMPIEZA DEL ÁREA DONDE SE TRABAJO. 13.- ANOTAR EN REPORTE CUALQUIER ANOMALÍA OBSERVADA.					

Ruta

UNIDAD INDUSTRIAL TLAXCALA
Orden de Trabajo Proactiva



No. Folio	670130	Fecha de programación	15/JUL/2024		
Fecha de Elaboración	Cambio de bomba no manda flujo 15/JUL/2024	Fecha de término programada	15/JUL/2024		
		Estado	OT Generada		
OT principal		Tipo de OT	PRO		
Departamento	MTTO-POLIDESA Mantenimiento POLIDESA	Informado por	COSME-PARRA		
Centro de Costo	3020004	Criticidad del equipo	A		
	REACCION POLIDESA EPS	Asignado a	LUIS-CONTRERAS		
		Responsable Mtto.			
		Autorizado por			
		Recibido por			
Equipo	GP-130B EMGP-130B REACCION EPS P-POLIDESA IDES-UIT	BOMBA DE AGUA DE RECIRCULADO MOTO BOMBA B DE AGUA DE RECIRCULADO EQUIPOS GENERALES INSTALADOS EN EL ÁREA DE REACCION SISTEMA POLIESTIRENO EXPANSIBLE PLANTA POLIESTIRENO Y DERIVADOS IDES-UNIDAD INDUSTRIAL TLAXCALA			
Horas registradas					
Ocupación					
Empleado/Personal	Fecha	Hora de comienzo	Hora de finalización	Tiempo total	Tipo de horas
Comentarios de OT					
Lista de Instrucciones					
Ruta					
Observaciones:					