



RESUMEN DE CURSOS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS AÑO 2009

CATEGORÍA I, ISO 18436-2

Fechas: Mayo 5, 6, 7 y 8
Horario: 08:30 - 12:30 horas
13:30 - 17:30 horas

Costo total (No Socios): \$ 2.400
Costo total (Socios **AAENDE**): \$ 2.208

[Más información página 2 de este documento](#)

CATEGORÍA II, ISO 18436-2

Fechas: Junio 30, Julio 1, 2 y 3
Horario: 08:30 - 12:30 horas
13:30 - 17:30 horas

Costo total (No Socios): \$2.650
Costo total (Socios **AAENDE**): \$2.438

[Más información página 7 de este documento](#)

CATEGORÍA III, ISO 18436-2

Fecha: Agosto 25, 26, 27 y 28
Horario: 08:30 - 12:30 horas
13:00 - 17:30 horas

Costo total (No Socios): \$ 2.800
Costo total (Socios **AAENDE**): \$ 2.576

[Más información página 12 de este documento](#)

CATEGORÍA IV, ISO 18436-2

Fecha: Octubre 26, 27, 28, 29 y 30
Horario: 08:30 - 12:30 horas
13:30 - 17:30 horas

Costo total (No Socios): \$ 3.400
Costo total (Socios **AAENDE**): \$ 3.128

[Más información página 17 de este documento](#)

Nota: Todos los Cursos se dictarán en el Centro Atómico Constituyentes, Buenos Aires, Argentina.



CURSO ANALISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS CATEGORÍA I, ISO 18436-2

Fechas: 5 al 8 de mayo de 2009

Duración: 32 horas (4 días)

Lugar: Centro Atómico Constituyentes, Buenos Aires, Argentina

Relator: Dr. Pedro Saavedra G.

Horario: 08:30 - 12:30 horas
13:30 - 17:30 horas

Costo total (No Socios): \$ 2.400 (Precio Final)

Costo total (Socios **AAENDE**): \$ 2.208 (Precio Final)

Inscripción e informes:

Angélica Straus

U.A. ENDE - Comisión Nacional de Energía Atómica

Centro Atómico Constituyentes

Avda. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín, Pcia. Buenos Aires - Argentina

Teléfono: +54 11 6772 7438 - FAX: +54 11 6772 7426

<http://www.cnea.gov.ar/cac/ende> E-mail: straus@cnea.gov.ar

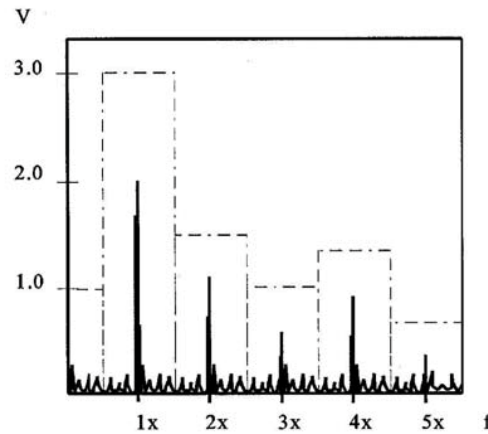
Notas:

1.1. El curso está limitado a un número de participantes. Por tal motivo se recomienda efectuar la inscripción con anticipación.

1.2. Los interesados en REPETIR el examen de certificación para las categorías I, II, III, IV; lo pueden hacer el día 8 de mayo (13:30hrs.), previa inscripción con 10 días de anticipación. Valor del examen \$ 240.-



ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS



CURSO ANÁLISIS DE VIBRACIONES, CATEGORÍA I, ISO 18436-2

Relator: Dr.-Ing. Pedro Saavedra G.

OBJETIVOS.

Este curso teórico-práctico está centrado en proveer un comprensivo conocimiento a sus participantes con el objeto que puedan obtener las siguientes capacidades:

- Evaluar la severidad vibratoria de algunas máquinas en base a las vibraciones medidas, utilizando normas internacionales.
- Aprender a detectar, antes que una falla costosa ocurra, problemas mecánicos y eléctricos comunes en máquinas rotatorias, utilizando el análisis espectral.
- Aprender a implementar un programa básico de mantenimiento predictivo

El curso, el libro de contenidos y el examen de certificación son genéricos a todos los equipos y programas de manejo de datos comerciales: CSI, SKF, IRD, DLI.

EXAMÉN DE CERTIFICACIÓN. Este curso incluye un examen escrito, sin apuntes y de dos horas de duración, para los participantes que quieran obtener un certificado de “**Analista de vibraciones Categoría I**”, sin apuntes y de dos horas de duración, de acuerdo a ISO 18436-2. Los postulantes que aprueben este examen se les reconoce que están certificados para realizar rutas de mediciones de vibraciones preestablecidas y diagnosticar a través del análisis espectral algunos problemas comunes en máquinas rotatorias.

PRERREQUISITOS. El participante al curso debe tener experiencia previa en el mantenimiento de algunos tipos de máquinas como ser: bombas centrífugas, ventiladores, cajas de engranajes, motores de inducción, transmisiones por correa. Si desea aprobar el examen, es conveniente tener alguna experiencia en la medición de vibraciones en máquinas.

CONTENIDOS.



1. **Introducción a los sistemas de mantenimiento.**

Mantenimiento reactivo, preventivo, predictivo, proactivo. Mantenimiento centrado o basado en confiabilidad. Como efectuar un adecuado balance entre los diferentes sistemas de mantenimiento.

2. **Conceptos básicos de vibraciones mecánicas.**

-¿Qué es la vibración mecánica y como puede ser usada para evaluar la condición mecánica de una máquina o estructura?.

-¿Qué es la forma de la vibración o de la onda en el tiempo?. Período y frecuencia. Amplitud o magnitud de la vibración : pico, pico a pico, RMS. Unidades de medición y conversión de unidades.

-Dominios tiempo y frecuencia. ¿Qué es el espectro de una vibración?

-Modelo masa – resorte, rigidez, frecuencias naturales, resonancias.

-Formas de ondas y espectros de vibraciones que generan las máquinas. Vibraciones periódicas y no periódicas.

3. **Adquisición de datos y procesamiento de la señal.**

-Composición de una cadena de medición.

-Tipo de transductores: de desplazamiento con y sin contacto, de velocidad, de aceleración. Diferentes tipos de acelerómetros: de uso general, de baja frecuencia, de altas frecuencias, de montaje permanente. Formas de montaje del sensor. Selección del sensor más adecuado a la aplicación.

-Recolector-analizador digital de datos. Modo analizador: ¿Cómo seleccionar rango de frecuencias, resolución en frecuencia, número de promedios?. Recolección de datos. Configuración de una base de datos. Evaluación de la línea base y tendencias.

4. **Evaluación de la severidad vibratoria en diferentes tipos de máquinas.**

- ¿Qué valor de la vibración es peligroso para una máquina o una estructura? ¿Qué significa un nivel vibratorio bueno, aceptable o inaceptable? ¿Se debe detener de inmediato la máquina o puede esperar a una fecha programada?.

-Aplicaciones de las normas internacionales ISO y VDI para evaluar severidad vibratoria en máquinas: ISO 2372, ISO 10816-3: Máquinas en general con velocidad de operación entre 2.5 y 250 (rev/s).

- ISO 7919: Máquinas rotatorias con mediciones en el eje.

5. **Análisis espectral o frecuencial para diagnosticar las fallas más comunes en máquinas rotatorias.**

-¿Cómo analizar un espectro vibratorio?. ¿Qué cosas buscar en él?. Componentes sincrónicas, armónicas, subarmónicas, no sincrónicas, bandas laterales.

-Desbalanceamiento de rotores

-Desalineamiento paralelo, angular y combinado.

-Distorsión de la carcasa. Causas más comunes que distorsionan la máquina.

-Resonancia.

-Vibraciones en correas: daño en las correas, desgaste de poleas, poleas desalineadas, resonancia de la correa, poleas excéntricas.

-Vibraciones generadas en turbomáquinas (bombas, ventiladores, compresores)



centrífugos); pulsaciones de presión normales y anormales, cavitación, turbulencias, desprendimiento (stall), desbalanceamiento hidráulico.

6. **Balanceamiento de rotores rígidos en un plano.**

- Rotores rígidos y flexibles. -ISO 1940; ANSI S2.19: Requerimiento de la calidad de balanceamiento de rotores rígidos.
- Determinación del número de planos requeridos en el balanceamiento y del desbalanceamiento residual permisible.
- Métodos de balanceamiento en terreno: Método de los coeficientes de influencia y método sin medición de fase de la vibración.
- Cuando es aceptable balancear un rotor que trabaja a alta velocidad en una máquina balanceadora a baja velocidad.

7. **Determinación de la condición mecánica de los rodamientos.**

- Determinación de las frecuencias indicativas de falla.
- Detección de daño en la jaula, pistas y elementos rodantes mediante el análisis espectral y el análisis de la energía de la aceleración en bandas espectrales a alta frecuencia.
- Detección de otros tipos de fallas: rodamiento suelto en su alojamiento, desgaste de pistas y elementos rodantes, paso de corriente eléctrica a través de él, daño del canastillo.

8. **Determinación de la condición mecánica de los engranajes.**

- Vibraciones normales en engranajes. Cálculo de las frecuencias de engrane.
- Detección de las fallas más comunes en ellos: Desgaste en los dientes, dientes rotos o descascarados, engranajes sueltos o montados excéntricos, engranajes con excesivo backlash, engranajes desalineados, engranajes con ejes flectados.

9. **Determinación de la condición mecánica de motores eléctricos de inducción.**

- Vibraciones normales en motores de inducción. Frecuencia de paso de las ranuras.
- Diagnóstico de problemas que se traspanan entre el personal mecánico y el eléctrico: excentricidad estática y excentricidad dinámica; incluyendo laminaciones y espiras en corto, barras y anillos extremos rotos o agrietadas, corrientes desbalanceadas.

10. **Análisis de casos históricos.** Los participantes analizan espectros tomados en máquinas reales para detectar, diagnosticar problemas vibratorios en algunos tipos de máquinas.

METODOLOGÍA.

Las clases teóricas se realizarán con exposición oral, con ayuda de transparencias y se le proporcionará a cada participante un libro de los contenidos del curso y un conjunto de ejercicios que los participantes desarrollarán durante el curso. Los ejemplos analizados son casos históricos tomados en máquinas reales.

ORIENTADO A.

Profesionales y técnicos mecánicos, eléctricos e instrumentistas relacionados con mantenimiento de máquinas, ingeniería y solución de problemas vibratorios.

RELATOR.

DR-ING. PEDRO SAAVEDRA GONZÁLEZ Ingeniero Civil Mecánico de la Universidad de Concepción, Doctor en ENSAM (Paris – Francia) en Ingeniería Mecánica con



especialización en vibraciones mecánicas. Es autor de varias publicaciones internacionales y numerosos curso en diagnóstico de fallas mediante análisis de vibraciones. Ha sido relator de Naciones Unidas. Consultor en diagnóstico de fallas durante los últimos 20 años de numerosas empresas: ENAP, PETROX, CODELCO Chuquicamata, Celulosa Arauco y Constitución, Forestal e Industrial Santa Fe, Empresa Eléctrica Colbún Machicura, Empresa Colombiana de Petróleo, CODELCO Andina, Papeles Bío Bío, Fábrica Celulosa Laja, CODELCO El Teniente, ASMAR Talcahuano, EDYCE, INFORSA, Compañía de Acero del Pacífico, Compañía Minera Disputada Las Condes, EDELMAG, Cementos Avellaneda Argentina, etc.



CURSO ANALISIS DE VIBRACIONES DE MAQUINAS CATEGORÍA II, ISO 18436-2

Fechas: Junio 30, julio 1, 2 y 3 de 2009

Duración: 32 horas (4 días)

Lugar: Centro Atómico Constituyentes.

Relator: Dr. Pedro Saavedra G.

Horario: 08:30 - 12:30 horas
13:30 - 17:30 horas

Costo total (No Socios): \$2.650.- (Precio Final)

Costo total (Socios **AAENDE**): \$2.438.- (Precio Final)

Inscripción e informes:

Angélica Straus

U.A. ENDE - Comisión Nacional de Energía Atómica

Centro Atómico Constituyentes

Avda. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín, Pcia. Buenos Aires - Argentina

Teléfono: +54 11 6772 7438 - FAX: +54 11 6772 7426

<http://www.cnea.gov.ar/cac/ende> E-mail: straus@cnea.gov.ar

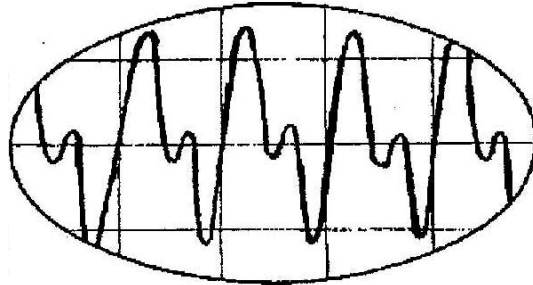
Notas:

1.1. El curso está limitado a un número de participantes. Por tal motivo se recomienda efectuar la inscripción con 5 días de anticipación.

1.2. Los interesados en REPETIR el examen de certificación para las categorías I, II, III, IV; lo pueden hacer el día 3 de julio (13:30hrs.), previa inscripción con 10 días de anticipación. Valor del examen \$240



ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS



CURSO ANÁLISIS DE VIBRACIONES, CATEGORÍA II, ISO 18436-2 Relator: Dr.Ing. Pedro Saavedra G.

OBJETIVO.

Este curso teórico-práctico está centrado fundamentalmente en capacitar a los participantes en la detección y diagnóstico de los problemas más comunes que se generan en una gran variedad de máquinas rotatorias, usando integralmente las capacidades de los analizadores de vibraciones comerciales de un canal (recolector de datos). El objetivo final es poder discriminar un problema específico de otros que presentan síntomas similares. El curso entrega además, conocimientos sobre el uso de todas las capacidades de un recolector de datos (analizador de vibraciones de un canal), fundamentos de dinámica vibratoria y de diferentes técnicas de diagnóstico. El curso, el libro de contenidos y el examen de certificación son genéricos a todos los equipos y programas de manejos de datos comerciales (CSI, SKF, IRD, DLI).

EXAMEN DE CERTIFICACIÓN. Este curso incluye un examen escrito, sin apuntes de dos horas de duración, para los participantes que quieran obtener un certificado de “**Analista de vibraciones categoría II**”, de acuerdo a ISO 18436-2. Los postulantes que aprueben este examen se les reconoce que están calificados para configurar mediciones con un analizador de un canal y para realizar análisis de vibraciones básicos de máquinas y componentes tales como ejes, rodamientos, engranajes, ventiladores, bombas centrífugas y motores de inducción.

PRERREQUISITOS.

Para aprobar el examen de certificación, Analista de vibraciones categoría II, es conveniente, aunque no es prerrequisito, haber aprobado el examen de Analista de Vibraciones categoría I. El candidato debe tener y proveer evidencia, de una experiencia en terreno de al menos un año y medio.

CONTENIDOS.

1.Principios de vibraciones mecánicas.

- Forma de onda y fase de la vibraciones. Formas de medir la fase de la vibración. ¿Cuándo utilizar desplazamiento, velocidad y aceleración?
- Calculo de la frecuencia natural en sistemas de un grado de libertad.
- Aplicación de la medición de frecuencias naturales para detectar algunos problemas en máquinas y estructuras.
- ¿Qué es amortiguamiento?. ¿Cómo se puede medir con un recolector de un canal?. ¿Cuándo es necesario agregar amortiguamiento?.
- Vibraciones forzadas. Funciones respuestas. Zonas resonantes.



- Criterios para determinar cuando rigidizar, flexibilizar, agregar masa o amortiguamiento a una estructura.

2. **Uso de Todas las Capacidades de un Recolector Analizador de Vibraciones de un Canal: CSI, SKF, DLI, Bently Nevada u otro.**

-Criterios para seleccionar los parámetros básicos en el análisis espectral: Número de líneas, rango de frecuencias, resolución en frecuencias, zoom, tipo de escala (lineal, logarítmica, decibeles). Importancia del ancho de banda en el análisis espectral.

-Como funciona un analizador digital. Forma de digitalizar la señal. Transformada discreta de Fourier. Análisis en tiempo real. Problemas y soluciones en el análisis digital: Aliasing, fugas laterales, efecto rendija.

- Selección del tipo de ventana a utilizar: Uniforme, Hanning o Flat Top.

- Formas de promediar espectros: Lineal, exponencial, "peak old".

- Como seleccionar el tipo y número de promedios.

-Formas de "trigger" (disparo). Modo "free-run". Usos.

-Efecto del proceso de traslapo (overlap). Selección del % de traslapo.

-Rango dinámico de un recolector de datos. Importancia del número de bits.

-Zoom real versus expansión de la escala de frecuencias. -Ensayos de impacto básicos para determinar frecuencias naturales.

3. **Técnicas del Análisis Vibratorio.**

Uso de las diferentes técnicas de un analizador de vibraciones de un canal (recolectores de datos) para diagnosticar problemas en máquinas vibratorias.

3.1. Análisis frecuencial. ¿Cómo analizar un espectro vibratorio?. ¿Qué buscar en él?. Order, armónicos, sub-armónicos, bandas laterales, vibraciones sincrónicas y no sincrónicas, modulaciones.

3.2. Análisis de la forma de la vibración en el tiempo. Como detectar modulaciones, pulsaciones, impactos, asimetrías, periodicidades. Problemas detectables en el dominio tiempo y ocultos en el análisis espectral. Problemas para los cuales el análisis en el dominio tiempo ayuda a confirmar el diagnóstico realizado con el análisis frecuencial.

3.3. Análisis de fase. Como interpretar la fase de la vibración. Como el análisis de fase permite diferenciar entre fallas que presentan el mismo espectro vibratorio.

3.4. Introducción al análisis de promedios sincrónicos en el tiempo. Definición. En qué consisten y para qué sirven. Instrumentación requerida. Uso para distinguir entre diferentes problemas en engranajes y para analizar vibraciones a la frecuencia del paso de álabes en turbomáquinas. Uso para separar vibraciones provenientes de diferentes ejes.

Análisis de modulaciones o análisis de los espectros de la envolvente. Que son y como son generados. Como son usados para detectar problemas en rodamientos, engranajes, lubricación y pulsaciones de presión en turbomáquinas. Como seleccionar el filtro a utilizar y los valores de alarma y peligro. Uso para detectar en forma incipiente algunos problemas en máquinas de baja velocidad. Características de los sensores requeridos.



3.5. Introducción al análisis de vibraciones en máquinas de baja velocidad. Como realizar el análisis. Características de los sensores requeridos. Ejemplos.

3.6. Análisis de la corriente eléctrica. Como realizar un análisis de la corriente eléctrica. Cartas de evaluación de su severidad. Aplicación en la detección de problemas eléctricos en motores de inducción: evaluación del estado de las barras y anillos extremos en motores de jaula de ardilla.

4. Monitoreo de la condición o estado de la máquina. Análisis de normas de severidad vibratoria.

-Monitoreo en línea y periódico. Monitoreo en tiempo real. Protección de máquinas. Diferentes tipos de alarma: valor global, bandas espectrales, envolvente del espectro. Tendencias. Selección de los valores de alarma. Evaluación del estado de la máquina.

-Análisis de normas ISO 10816-3 para evaluar la severidad vibratoria en máquinas rotatorias en general. Cuando medir y limitar el desplazamiento y/o la velocidad y/o la aceleración vibratoria. Especificación de valores de alarma y peligro para el desplazamiento, velocidad y aceleración vibratoria.

5. Análisis Integrado Para el Diagnóstico de Fallas. -Como combinar las técnicas precedentes para diagnosticar y diferenciar entre diferentes tipos de fallas en máquinas rotatorias. Ejemplos históricos de aplicaciones a:

-Problemas que pueden presentar espectros vibratorios similares (componentes a 1x, 2x y 3x rpm): Desbalanceamiento, desalineamiento de acoplamientos y de descansos, poleas excéntricas y/o desalineadas, ejes flectados, ejes agrietados, soldaduras mecánicas, cojinetes desgastados, carcasas distorsionadas, pata floja, rozamientos del rotor.

-Problemas en rodamientos. Fallas normales y anormales en rodamientos. Detección de defectos en pistas de rodadura y elementos rodantes, falta o exceso de lubricación, juegos internos inadecuados, giro de la cubeta en el eje o alojamiento. Evaluación de la severidad del daño y criterios para determinar cuando deberían ser reemplazados.

-Problemas en engranajes. Mediciones y análisis. Desgaste de dientes. Dientes rotos, backlash inadecuado, engranajes sueltos, excéntricos o desalineados. Problemas que crean frecuencias de engranes fraccionarias. Problemas de encuentro de dientes (hunting tooth).

-Vibraciones en turbomáquinas generadas por el flujo: Fuerzas hidráulicas e hidrodinámicas. Cavitación. Llenado incompleto del impulsor (Starvation). Recirculación. Turbulencias. Bombeo. Estrangulación. Impulsores desgastados o distorsionados. Pulsaciones de presión.

-Problemas eléctricos en motores de inducción. Problemas en el estator (Excentricidad estática, laminaciones en corto, carcasas distorsionadas). Rotores excéntricos, rotores fuera de su centro magnético, barras rotas, agrietadas o sueltas, curvatura inducida térmicamente, desbalance de fases, contactores sueltos, espiras o laminaciones en corto.

METODOLOGÍA.

Las clases teóricas se realizarán con exposición oral, con ayuda de transparencias y se le proporcionará a cada participante un libro de los contenidos del curso y un conjunto de ejercicios que los participantes desarrollarán durante el curso. Los ejemplos analizados son casos históricos tomados en máquinas reales.

ORIENTADO A.

Profesionales y técnicos mecánicos, eléctricos e instrumentistas relacionados con mantenimiento de máquinas y solución de problemas vibratorios.



RELATOR.

DR.-ING. PEDRO SAAVEDRA G.

Ingeniero Civil Mecánico de la Universidad de Concepción, Doctor en ENSAM (París, Francia) en Ingeniería Mecánica con especialización en vibraciones mecánicas. Es autor de varias publicaciones internacionales y numerosos cursos en diagnóstico de fallas mediante análisis de vibraciones. Ha sido relator de Naciones Unidas.

Consultor en diagnóstico de fallas durante los últimos 20 años de numerosas empresas: ENAP, PETROX, CODELCO -División Chuquicamata, Celulosa Arauco y Constitución, Forestal e Industrial Santa Fe, Empresa Eléctrica Colbún Machicura, Empresa Colombiana de Petróleo, CODELCO - División Andina, Papeles Bío Bío, Fábrica Celulosa Laja, CODELCO - División El Teniente, ASMAR-Talcahuano, EDYCE, INFORSA, Cía. Acero del Pacífico, Cía. Minera Disputada Las Condes, EDELMAG, etc.



CURSO ANALISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS CATEGORÍA III, ISO 18436-2

Fecha: Agosto 25, 26 , 27 y 28 de 2009

Duración: 32 horas (4 días)

Lugar: Centro Atómico Constituyentes, Bs. As. ARGENTINA

Relator: Dr. Pedro Saavedra G.

Horario: 08:30 - 12:30 horas
13:00 - 17:30 horas

Costo total (No Socios): \$ 2.800.- (Precio Final)

Costo total (Socios **AAENDE**): \$ 2.576.- (Precio Final)

Inscripción e informes:

Angélica Straus

U.A. ENDE - Comisión Nacional de Energía Atómica

Centro Atómico Constituyentes

Avda. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín, Pcia. Buenos Aires - Argentina

Teléfono: +54 11 6772 7438 - FAX: +54 11 6772 7426

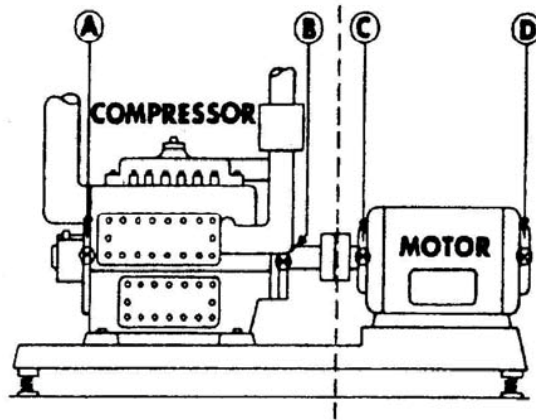
<http://www.cnea.gov.ar/cac/ende> E-mail: straus@cnea.gov.ar

Notas:

1. El curso está limitado a un número de participantes. Por tal motivo se recomienda efectuar la inscripción con anticipación. Los interesados en REPETIR el examen de certificación para las categorías I, II, III, IV; lo pueden hacer el día 28 de agosto. En horario de 13:30 hrs., previa inscripción con 10 días de anticipación. Valor del examen \$240.-



ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS



CURSO ANALISIS DE VIBRACIONES, CATEGORÍA III, ISO 18436-2

Relator: Dr.Ing. Pedro Saavedra G.

OBJETIVO.

Este curso teórico-práctico está centrado fundamentalmente en capacitar en profundidad a los participantes en el diagnóstico de la condición de cualquier tipo de máquinas. Con este objeto el curso entrega por un lado conocimientos avanzados de diferentes técnicas de diagnóstico y por otro lado entrega conocimientos sobre el funcionamiento de algunas máquinas rotatorias comunes, sus problemas que presentan y algunas soluciones tecnológicas actuales a ellos. Se entrega además, conocimientos sobre las capacidades de un analizador de vibraciones de varios canales en el diagnóstico de fallas en máquinas y una introducción a algunas técnicas usadas para reducir el nivel de vibraciones.

EXAMEN DE CERTIFICACIÓN.

La certificación es un examen escrito, sin apuntes, de cuatro horas de duración, adicional al curso para los participantes que quieran obtener un certificado de "Analista de vibraciones categoría III de acuerdo a ISO 18436-2". Los postulantes que aprueben este examen se les reconoce que están capacitados para realizar y analizar mediciones de vibraciones en máquinas utilizando integradamente las técnicas que traen los analizadores de vibraciones comerciales. Esto incluye estar capacitado para establecer programas de monitoreo de vibraciones, especificar niveles de vibraciones y criterios de aceptación para máquinas nuevas, entender y dirigir el uso de técnicas complementarias a las vibraciones (ultrasonido, análisis de aceite, termografía), y recomendar acciones correctivas básicas para disminuir el nivel de vibraciones de máquinas y estructuras.

PRERREQUISITOS.

Para aprobar el examen de certificación de analista de vibraciones categoría III es conveniente haber aprobado el examen de categoría II y tener experiencia práctica en estas



técnicas al menos de 3 años.



CONTENIDOS.

1 Conceptos de dinámica vibratoria.

-Sistemas de un grado de libertad. Ecuación del movimiento. Uso y significado del factor de amortiguamiento. Vibraciones libres y forzadas. Funciones respuestas. Sistemas equivalentes de un grado de libertad.

-Introducción a las vibraciones torsionales.

-Conceptos básicos de rotodinámica. Descansos hidrodinámicos.

-Vibraciones paramétricas: desalineamiento con acoplamientos flexibles, ejes agrietados “barring” en máquinas papeleras.

-Cálculo de frecuencias naturales de vibrar de rotores montados entre descanso y en voladizo.

2 Adquisición y procesamiento de señales.

-Vibraciones aleatorias y pseudoaleatorias. Densidad espectral de potencia. Explicación del ruido propio de los acelerómetros. Disminución de la amplitud en el espectro con mejor resolución en frecuencia.

-Analizadores de vibraciones de dos canales.

-Ventajas de un analizador de vibraciones de dos canales respecto al de un canal en el diagnóstico de fallas y en la corrección de problemas.

-Potencia de una señal vibratoria. V_{RMS} digital y analógico.

-Densidad espectral de potencia. -Medición de funciones respuestas. Excitadores (shakers) y martillos de impacto.

Transductores

de fuerza. Uso de las funciones de coherencia y las funciones de correlación en el diagnóstico de fallas. -Casos históricos de aplicaciones para detectar el origen del ruido y vibraciones.

3 Técnicas de diagnóstico avanzadas.

3.1 Análisis espectral avanzado. Como determinar las componentes espectrales que son normales en una máquina cualesquiera. Aplicación a rodamientos, bombas de lóbulos, motores Diesel, turbomáquinas con impulsores asimétricos, desalineamiento de acoplamientos flexibles.

3.2 Análisis avanzado de la forma de onda. ¿Cómo analizar una forma de onda o vibración?.

Problemas que son detectados en el análisis de la forma de onda y no son aparentes en el espectro. Análisis de la forma de onda por bandas de frecuencia. Integración analógica versus la integración digital.

3.3 Análisis de órbitas y de la posición del eje en el descanso. Instrumentación requerida.

Interpretación de diferentes tipos de órbitas. Interpretación de la posición del eje en el descanso. Aplicación al control del desgaste y de la inestabilidad en un descanso hidrodinámico. Ejemplos donde el análisis de órbitas presenta ventajas respecto a otros análisis: descansos precargados, rozamientos, resonancias.

3.4 Técnicas para determinar las frecuencias naturales de vibrar de máquinas y estructuras. -



Ensayos de golpe (bump test). Como determinar los parámetros de configuración del equipo. Errores frecuentemente cometidos.

-Uso del "peak-hold". Configuración del equipo -Análisis de vibraciones partidas y paradas de máquinas. Interpretación de las mediciones.

-Medición experimental de las funciones respuesta.

3.5 Análisis de vibraciones de máquinas de alta velocidad. Instrumentación requerida. Errores frecuentemente cometidos en el análisis de este tipo de máquinas. Ejemplo ilustrativo.

3.6 Introducción al análisis de la forma de deflexión. (Deflection Shape Analysis, ODS).

Definición del análisis de la forma de deflexión. Instrumentos y transductores requeridos.

Como ODS ayuda a detectar problemas que con las otras técnicas pueden pasar desapercibidos.

Casos históricos usando ODS.

3.7 Análisis de vibraciones en máquinas de muy baja velocidad. Instrumentación y técnicas

requeridas. Errores frecuentemente cometidos en el análisis espectral de las vibraciones en este tipo de máquinas. Ejemplos ilustrativos. Utilización de los análisis Peak-Vue y SST (Slow Speed Technologie) de CSI y análisis de la envolvente y ULS(Ultra Low Speed) de SKF.

Utilización de strain-gauges para analizar vibraciones en máquinas de muy baja velocidad (bajo 10cpm).

3.8 Introducción al Análisis de vibraciones en máquinas de velocidad variable. Seguimiento de ordenes (order tracking) y transformadas tiempo-frecuencia. Instrumentación requerida y alternativas que ofrece el mercado. Como computarizar estas mediciones. Ejemplos ilustrativos.

3.9 Normas de severidad vibratoria. Análisis en profundidad de las normas de severidad vibratoria en máquinas y estructuras.

4. Introducción a técnicas de reducción de vibraciones.

-Amortiguamiento como técnica para reducir las vibraciones. Diferentes formas de amortiguamiento. Cuando y como el amortiguamiento es efectivo para reducir las vibraciones. Casos históricos.

-Aislamiento de vibraciones y choques. Diferentes tipos de aisladores de vibraciones y como ellos funcionan. Como seleccionar un sistema aislador de vibraciones para evitar que se transmitan fuerzas dinámicas de una máquina a una estructura, o se transmitan vibraciones desde su base de sustentación a un instrumento, computador, o máquina. Ejemplos.

-Absorbedores de vibraciones. Como funcionan y cuando son efectivos. Ejemplos.

5. Análisis de vibraciones avanzado y principio de funcionamiento en diferentes tipos de máquinas. Diagnóstico de los problemas específicos que ellas presentan y sus soluciones. - Bombas centrífugas horizontales. Principios de funcionamiento. Fuerzas radiales y axiales sobre el rodete y formas de equilibrarlas. Operación a flujo reducido. Problemas de operación y sus síntomas: Cavitación, recirculación, "stall", desgaste, pulsaciones de presión. Problemas de origen hidráulico. Ejemplos históricos.

-Motores eléctricos de corriente continua. Rectificación de la corriente. Problemas y soluciones. Ejemplos históricos.

-Engranajes. Teoría de funcionamiento. Superficies conjugadas. Tipos y usos de engranajes. Principales fallas en los dientes: Picado, "scoring", ruptura, desgaste, lubricación. Corrección del perfil de los dientes para disminuir el desgaste. Otros tipos de problemas y sus soluciones. Ejemplos históricos. Normas de calidad y normas de aceptación (severidad vibratoria) para los



engranajes.

-Sistemas de transmisión de potencia. Funcionamiento y tipos de correas, cadenas, juntas universales. Efecto de la tensión y alineamiento, y desgaste de poleas. Frecuencias naturales en correas y como solucionar resonancias en ellas. Tipos de cadenas y vibraciones inherentes a su funcionamiento. Funcionamiento de juntas universales y vibraciones que generan: Vibraciones torsionales, inerciales, y por cupla secundaria.

- Otras máquinas. Molinos de barras y bolas, bombas verticales, compresores alternativos, agitadores, máquinas papeleras, motores Diesel, harneros vibratorios.

-Vibraciones generadas por un rotor con eje agrietado. Análisis espectral, análisis de la forma de onda, análisis de la fase de componentes, análisis de partidas/paradas. Sistemas comerciales utilizados para detectar el problema. Determinación de grietas analizando la variación de las frecuencias naturales. Ejemplos históricos.

METODOLOGÍA. Las clases teóricas se realizarán con exposición oral, con ayuda de transparencias y se le proporcionará a cada participante un libro de los contenidos del curso y un conjunto de ejercicios que los participantes desarrollarán durante el curso. Los ejemplos analizados son casos históricos tomados en máquinas reales.

ORIENTADO A.

Profesionales y técnicos mecánicos, eléctricos e instrumentistas relacionados con mantenimiento de máquinas y solución de problemas vibratorios.

RELATOR.

DR.-ING. PEDRO SAAVEDRA G. Ingeniero Civil Mecánico de la Universidad de Concepción, Doctor en ENSAM (París, Francia) en Ingeniería Mecánica con especialización en vibraciones mecánicas. Es autor de varias publicaciones internacionales y numerosos cursos en diagnóstico de fallas mediante análisis de vibraciones. Ha sido relator de Naciones Unidas. Consultor en diagnóstico de fallas durante los últimos 20 años de numerosas empresas: ENAP, PETROX, CODELCO - División Chuquicamata, Celulosa Arauco y Constitución, Forestal e Industrial Santa Fe, Empresa Eléctrica Colbún Machicura, Empresa Colombiana de Petróleo, CODELCO - División Andina, Papeles Bío Bío, Fábrica Celulosa Laja, CODELCO -División El Teniente, ASMAR -Talcahuano, EDYCE, INFORSA, Cía. Acero del Pacífico, Cía. Minera Disputada Las Condes, EDELMAG, etc.



CURSO ANALISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS CATEGORÍA IV, ISO 18436-2

Fecha: Octubre 26, 27, 28, 29 y 30 de 2009

Duración: 36 horas (4 1/2 días)

Lugar: Centro Atómico Constituyentes, Bs. As. ARGENTINA.

Relator: Dr. Pedro Saavedra G.

Horario: 08:30 - 12:30 horas
13:30 - 17:30 horas

Costo inscripción No Socios: \$ 3.400

Costo inscripción Socios **AAENDE**: \$ 3.128

Inscripción e informes:

Angélica Straus

U.A. ENDE - Comisión Nacional de Energía Atómica

Centro Atómico Constituyentes

Avda. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín, Pcia. Buenos Aires - Argentina

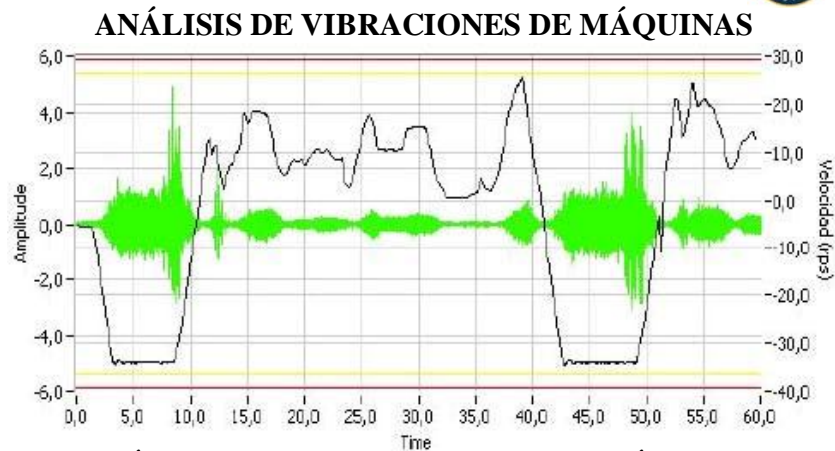
Teléfono: +54 11 6772 7438 - FAX: +54 11 6772 7426

<http://www.cnea.gov.ar/cac/ende> E-mail: straus@cnea.gov.ar

Notas:

1.1. El curso está limitado a un número de participantes. Por tal motivo se recomienda efectuar la inscripción con anticipación.

1.2. Los interesados en REPETIR el examen de certificación para las categorías I, II, III, IV; lo pueden hacer los días 30 de octubre (08:30hrs.), previa inscripción con 10 días de anticipación. Valor del examen \$ 260



CURSO ANÁLISIS DE VIBRACIONES, CATEGORÍA IV, ISO 18436-2

Relator: Dr. Ing.. Pedro Saavedra G.

OBJETIVO.

Este curso teórico-práctico está centrado fundamentalmente en capacitar en profundidad a los participantes en los fundamentos de la dinámica vibratoria, el procesamiento de la señal, las técnicas de diagnóstico modernas y las técnicas de reducción de vibraciones. Con este objeto el curso entrega por un lado conocimientos avanzados de técnicas de diagnóstico modernas y por otro lado entrega conocimientos sobre la dinámica del rotor y sobre el funcionamiento y monitoreo de algunas máquinas especiales.

EXAMEN DE CERTIFICACIÓN.

La certificación es un examen escrito, sin apuntes, de cuatro horas de duración, adicional al curso para los participantes que quieran obtener un certificado de “Analista de vibraciones categoría IV de acuerdo a ISO 18436-2”. Los postulantes que aprueben este examen se les reconoce que están capacitados para realizar y dirigir con un alto grado de confiabilidad todo tipo de mediciones y análisis de vibraciones en cualquier tipo de máquina y para proponer y cuantificar soluciones que disminuyan el nivel de vibraciones de máquinas y estructuras.

PRERREQUISITOS.

Para aprobar el examen de certificación de analista de vibraciones categoría IV es conveniente haber aprobado el examen de categoría III y tener experiencia práctica en estas técnicas al menos de 6 años.

CONTENIDOS.

Conceptos de dinámica vibratoria.

- Sistemas discretos de dos grados de libertad. Cálculo de frecuencias naturales y modos de vibrar de estructuras sencillas.
- Frecuencias naturales y modos de vibrar de sistemas rígidos con seis grados de libertad y de sistemas continuos simples.
- Inestabilidades y vibraciones autoexcitadas. Vibraciones autoexcitadas generadas en intercambiadores de calor y turbomáquinas. Desprendimiento de vórtices. Inestabilidades fluido-elásticas. Flutter
- Comparación del comportamiento dinámico de rotores con



comportamiento lineal y no-lineal.

-Vibraciones en redes de tuberías debido a excitaciones mecánicas, hidráulicas o aerodinámicas.

- Introducción a la dinámica rotor/descanso. Características del rotor y de los descansos. Tipos de descansos. Coeficientes de rigidez y amortiguamiento. Velocidades críticas. Efectos giroscópicos del rotor. Diagrama de Campbell. Giro del rotor hacia delante y hacia atrás.

2. Adquisición y procesamiento de datos en profundidad

-Diferentes sistemas de adquisición digital de datos. Conversión análogo/digital. FFT y transformada discreta de Fourier, TDF. Cálculo de la TDF. Diferentes tipos de ventanas de análisis y resolución en amplitud y frecuencia. Ancho de banda de análisis.

- Razón señal/ruido. Reducción de ruido. Transformada de Hilbert.

-Vibraciones aleatorias. Densidad espectral de potencias. Autoespectro. Espectros cruzados (cross spectrum). Funciones de correlación directa (autocorrelación) y cruzada (cross correlation).

Funciones de coherencia.

3. Técnicas de diagnóstico avanzadas vistas en profundidad.

3.1. Revisión en profundidad de algunas técnicas de análisis.

-Análisis espectral, análisis de la forma de ondas y de la diferencia de fase de componentes.

-Análisis de promedios sincrónicos en el tiempo. Análisis de órbitas. -Análisis de la autocorrelación, análisis del peak-vue, análisis de envolvente (o demodulación), análisis cepstrum.

-Análisis de órbitas, de la posición del eje en el descanso y del “full-spectrum en máquinas con descansos hidrodinámicos.

3.2 Análisis de vibraciones en la partida y parada de máquinas.

-Interpretación de gráficos de Bodé y Nyquist medidos en la partida/parada de una máquina.

Velocidades críticas, resonancias, antiresonancias, resonancias locales. Ejemplos de aplicación

-Interpretación de mediciones realizadas durante la partida y parada de una máquina con descansos hidrodinámicos. Diagramas de Bodé. Parte real/imaginaria. Diagrama polar. Análisis de la posición radial del eje.

- Diferentes tipos de inestabilidades inducidas por el fluido: “Oil Whirl” y “Oil Whip” en descansos y sellos. Otros tipos de inestabilidades.

3.3 Análisis ODS (Operating Deflection Shape). -Definiciones y terminología. -

Requerimientos de transductores, instrumentos y software. -Uso de un analizador de un solo canal y pulsos de referencia de fase. Número de puntos de medición requeridos.

-Forma de vibrar en operación con animación utilizando programas computacionales.

-Uso de un analizador de varios canales para realizar el análisis ODS.

-Ejemplos de aplicación.

3.4 Análisis modal experimental. -¿Qué es el análisis modal?. ¿Cuál es su utilidad?.

¿Cuáles son sus aplicaciones?. Instrumental, sensores y software requerido. -Tipos de FRF (rigidez, flexibilidad, movilidad mecánica, impedancia mecánica, masa efectiva, acelerancia) -Aplicación de las FRF para relacionar las vibraciones medidas en los

descansos de la máquina con las fuerzas dinámicas que actúan sobre ella. -Aplicación de las FRF para determinar experimentalmente los modos de vibrar de rotores y estructuras.

Determinación del amortiguamiento modal.



- Comparación entre el análisis modal experimental y el análisis ODS.
- Capacidades de algunos programas comerciales.
- Presentación de casos donde el análisis modal experimental fue la única técnica que permitió determinar, y reducir posteriormente, las altas vibraciones medidas en la máquina.

3.5 Análisis utilizando las Transformadas Tiempo Frecuencia, TTF.

-¿Qué son las TTF?. Transformadas lineales: “Short Time Fourier Transform”, Gabor, Wavelettes. Transformadas cuadráticas: Pseudo Vigner-Ville, ZAM. Comparación entre ellas.

- Programas comerciales existentes.

-¿Cómo seleccionar los parámetros de análisis?. Resolución en tiempo y frecuencia, número de puntos en el tiempo y número de líneas en frecuencia, tamaño y tipo de la ventana de análisis.

- Aplicaciones. Utilidad y limitaciones. Ejemplos.

3.6 Análisis de vibraciones en máquinas de carga y/o velocidad variable. -

Seguimiento de orders (Order tracking) 1x, 2x, 3x en la partida y/o parada de una máquina. Interpretación. Cuando es útil realizar este tipo de análisis.

-Espectro con seguimiento de orders. Sensores y equipamientos requeridos. Diferentes métodos de obtenerlo. Método utilizando hardware, método de remuestreo utilizando software, método híbrido. Aplicación a máquinas que mientras se realizan las mediciones cambian su velocidad: palas, camiones, perforadoras y máquinas de muy baja velocidad de rotación. Ejemplos.

- Transformadas Order Revolución. Instrumental requerido. Aplicación a máquinas que mientras se realizan las mediciones están variando su carga. Ejemplos.

4. Técnicas de reducción de vibraciones.

-Amortiguamiento de máquinas y estructuras. Cuando es necesario aumentar el amortiguamiento de una máquina y/o estructura. Formas de determinar el factor de amortiguamiento existente. Factor de amortiguamiento requerido por normas. Formas de amortiguar existentes. Amortiguamiento de vibraciones torsionales.

-Aislamiento de vibraciones y choques. Definición del aislamiento de vibraciones.

Características y tipos de aisladores comerciales. Diferencias entre aislamiento y amortiguamiento cálculo de aisladores para sistemas de un grado de libertad y varios grados de libertad. Que son fuerzas de choque. Aislamiento de choques. Cálculo de aisladores de choques. Ejemplos.

-Absorbedores de vibraciones. Como funcionan y cuando son efectivos. Diseño de un absorbedor para disminuir las vibraciones transversales en máquinas y estructuras (bases, fundaciones, cañerías). Analogía para disminuir las pulsaciones de presión en redes de tuberías. Ejemplos.

- Balanceamiento de rotores rígidos y flexibles. Balanceamiento de rotores rígidos en dos planos. Desbalanceamiento admisible por plano según ISO 1940. Cálculo del desbalanceamiento residual de un rotor después de balancearlo en terreno. Métodos y criterios para el balanceamiento de rotores flexibles de según ISO 11342. Rotores flexibles de clase 2 que pueden ser balanceados como rotores rígidos tomando cierto tipo de consideraciones. Ejemplos.



- Alineamiento de rotores. Características de diferentes tipos de acoplamientos. Criterios de desalineamiento permisible.

5. Análisis en profundidad de las normas de severidad de vibratoria en máquinas

6. Análisis de vibraciones de tipos especiales de máquinas (análisis teórico y casos históricos).

- Bombas y compresores de lóbulos y de tornillo.
- Motores Diesel y compresores alternativos.
- Vibraciones y pulsaciones de presión en cañerías.
- Harneros vibratorios.
- Turbinas hidráulicas.

METODOLOGIA. Las clases teóricas se realizarán con exposición oral, con ayuda de transparencias y se le proporcionará a cada participante un libro de los contenidos del curso y un conjunto de ejercicios que los participantes desarrollarán durante el curso. Los ejemplos analizados son casos históricos tomados en máquinas reales.

ORIENTADO A.

Profesionales y técnicos mecánicos, eléctricos e instrumentistas relacionados con mantenimiento de máquinas y solución de problemas vibratorios.

RELATOR.

DR.-ING. PEDRO SAAVEDRA G. Ingeniero Civil Mecánico de la Universidad de Concepción, Doctor en ENSAM (París, Francia) en Ingeniería Mecánica con especialización en vibraciones mecánicas. Es autor de varias publicaciones internacionales y numerosos cursos en diagnóstico de fallas mediante análisis de vibraciones. Ha sido relator de Naciones Unidas. Consultor en diagnóstico de fallas durante los últimos 20 años de numerosas empresas: ENAP, PETROX, CODELCO División Chuquicamata, Celulosa Arauco y Constitución, Forestal e Industrial Santa Fe, Empresa Eléctrica Colbún Machicura, Empresa Colombiana de Petróleo, CODELCO -División Andina, Papeles Bío Bío, Fábrica Celulosa Laja, CODELCO - División El Teniente, ASMAR - Talcahuano, EDYCE, INFORSA, Cía. Acero del Pacífico, Cía. Minera Disputada Las Condes, EDELMAG, etc.



A N E X O ISO 18436-2

1. INTRODUCCIÓN.

ISO 18436-2 especifica los procedimientos para capacitar y certificar al personal que realiza monitoreo de condición, identifica fallas en máquinas y recomienda acciones correctivas.

Aquellas industrias que han aplicado estas técnicas de manera diligente y consistente, han tenido un retorno de la inversión que exceden en mucho sus expectativas. Sin embargo, la efectividad de estos programas dependen de las capacidades individuales de quienes realizan las mediciones y analizan los datos.

CERTIFICACIÓN.

Las personas que trabajan en análisis de vibraciones serán certificadas de acuerdo a ISO 18436-2, dependiendo de sus competencias, en una de las siguientes categorías:

CATEGORÍA I. Las personas que satisfacen esta categoría se les reconoce estar certificadas para realizar mediciones de vibraciones en máquinas con instrumentos de un canal y análisis de espectros preliminares en algunos tipos de máquinas.

CATEGORÍA II. Las personas que satisfacen esta categoría se les reconoce estar calificadas para realizar medición y análisis de vibraciones básicas en máquinas industriales de acuerdo a procedimientos establecidos.

CATEGORÍA III. Las personas que satisfacen esta categoría se les reconoce estar calificadas para realizar medición y análisis de vibraciones con instrumentos multicanales, seleccionar las técnicas de análisis más apropiadas y establecer programas de monitoreo de vibraciones.

CATEGORÍA IV. Las personas que satisfacen esta categoría se le reconoce estar calificadas para realizar y/o dirigir todo tipo de medición y análisis de vibraciones, recomendar acciones correctivas de uso común para reducir el nivel de vibraciones de máquinas y estructuras, e interpretar y evaluar normas y recomendación del fabricante para fijar niveles de aceptación y alarma.

2. VALIDEZ DE LA CERTIFICACIÓN. El período de validez de la certificación es de 6 años desde la fecha indicada en el certificado. Cerca del período final de validez la entidad certificadora puede renovar la certificación por una sola vez, por un nuevo período de similar duración con tal que la persona provea evidencia de una actividad de trabajo continuada satisfactoria en el tema sin interrupción significativa de tiempo. Si no se cumplen los criterios de renovación, las personas pueden optar a la recertificación siguiendo los procedimientos para los nuevos candidatos.

3. EQUIVALENCIA ENTRE LOS CURSOS ANTERIORES NIVELES I, II Y III Y LOS NUEVOS CATEGORÍAS I, II, III Y IV.

3.1 El nuevo Curso de Vibraciones Categoría I, es similar en contenidos al antiguo curso Nivel I, como se puede ver en la comparación de ambos. En el nuevo curso, se ha eliminado el balanceamiento en dos planos y el análisis de algunas normas de severidad vibratoria, temas que se ven con mayor profundidad en los nuevos cursos Categorías IV y III respectivamente. Por lo tanto, la certificación Nivel I es equivalente a la nueva categoría I. Se debe tener presente, como lo señalábamos en la carta enviada previamente, que la certificación de cada



categoría tiene una duración de 6 años.

3.2. El nuevo curso categoría II tiene como contenidos un 75% de los temas antiguamente vistos en el Nivel II. Se ha eliminado:

- i) las vibraciones paramétricas y algunos tópicos del procesamiento de la señal, temas que serán vistos en mayor profundidad en el curso nuevo Categoría IV,
- ii) las técnicas de ondas de alta frecuencia (SPM, Ultrasonido) y las técnicas complementarias a las vibraciones, que serán vistas en mayor profundidad en el curso nuevo Categoría III. La disminución de materias permite profundizar en otros temas y analizar más ejemplos. Esto permitirá preparar mejor a los participantes para un examen de certificación más extenso, el que se realiza sin apuntes.

Las personas que hayan aprobado la evaluación Nivel II y Nivel III antiguos, se les reconoce estar certificados en categoría II. Las personas que sólo hayan aprobado el nivel II antiguo podrán, si se sienten capacitados, rendir el examen (sin apuntes) que se realizará las dos últimas horas del día viernes en las fechas en que se dictan los cursos de categoría II. En todo caso, se recomienda seguir el curso categoría II, antes de dar el examen, pues habrá temas que seguramente los participantes han olvidado o necesitan profundizar.

3.3 El curso Categoría III, es diferente al curso Nivel III en un 50%. En el nuevo curso, por un lado se agrega una revisión más profunda de algunas técnicas de análisis de vibraciones y funcionamiento de máquinas, y por otro lado se disminuye a nivel de introducción los métodos comunes para reducir las vibraciones en máquinas y estructuras. El examen para la certificación de esta Categoría III, que exige ISO, es más extenso.

Los cursos Categorías III y IV no tienen equivalencia con los anteriores cursos dictados.

En los cursos nivel I, II y III se evaluaba y certificaba lo aprendido en el curso. En los cursos categorías I, II, III y IV, de acuerdo a esta nueva norma ISO se certifica competencias que debe tener la persona para ser certificada en alguna categoría

4. EXAMEN DE CALIFICACIÓN.

El candidato deberá responder un cierto número de preguntas (con libro cerrado) cubriendo los temas indicados en los contenidos de cada curso. Las preguntas serán de naturaleza práctica, aunque también tendrá conceptos y principios requeridos para realizar análisis de vibraciones en máquinas. Si se requiere realizar simples cálculos matemáticos con una calculadora, se le proveerá al participante un resumen de fórmulas.

Los exámenes para las categorías I, II y III, tendrán una duración de dos horas y se realizarán una vez finalizado el curso. El examen para la categoría IV será optativo de tres horas de duración y se realizará el día siguiente de finalizado el curso.

El porcentaje requerido para aprobar el examen de certificación es de un 75%. Las personas que no aprueben el examen tendrán certificado de asistencia al curso y podrán volver a rendirlo en fechas posteriores pagando el valor del examen.