

### **NOTA IMPORTANTE:**

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

**ININ/ Oficina Nacional de Normalización**

---

**NORMA CUBANA**

**NC**

ISO 10816-1: 2005  
(Publicada por la ISO, 1995)

---

**VIBRACIONES MECÁNICAS — EVALUACIÓN DE LAS  
VIBRACIONES EN LAS MÁQUINAS A TRAVÉS DE LA MEDICIÓN  
EN PARTES NO ROTATORIAS —PARTE 1: DIRECTRICES  
GENERALES  
(ISO 10816-1:1995, IDT)**

**Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by  
measurements on non-rotating parts — Part 1: General guidelines**

---

ICS: 17.160

1. Edición    Octubre 2005  
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana.  
Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048 Correo electrónico: nc@ncnorma.cu



Cuban National Bureau of Standards

## NC-ISO 10816-1: 2005

### Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

#### Esta Norma Cubana:

- Consta de seis partes amparadas por el título general: Vibraciones mecánicas - Evaluación de las vibraciones en las máquinas a través de la medición en partes no rotatorias.
  - Parte 1: Directrices generales
  - Parte 2: Conjuntos turbina de vapor-generator con potencias superiores a los 50 MW
  - Parte 3: Máquinas industriales con potencia nominal superior a 15 Kw. y velocidades nominales entre 120 r.p.m. y 15 000 r.p.m. medidas in situ
  - Parte 4: Turbinas de gas, excluyendo las de aviación
  - Parte 5: Máquinas en plantas de generación hidroeléctrica y de bombeo
  - Parte 6: Máquinas recíprocas con potencias superiores a 100 Kw.

#### Esta Parte 1:

- Ha sido adoptada con modificaciones por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 98, Vibraciones y Acústica integrado por las siguientes entidades.
  - Ministerio de Educación Superior
  - Ministerio de Salud Pública
  - Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente
  - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
  - Ministerio de la Industria Alimenticia; Ministerio del Azúcar
  - Ministerio de la Industria Sideromecánica y el Reciclaje
  - Ministerio del Turismo
- Es una adopción idéntica de la Norma Internacional ISO 10816-1: 1995, Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 1: General guidelines.
- Incluye los anexos A, B, C, D y E informativos.

### © NC, 2005

**Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:**

**Oficina Nacional de Normalización (NC)**

**Calle E No. 261, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba.**

**Impreso en Cuba**

## Introducción

Esta parte de la Norma Cubana NC-ISO 10816 es un documento básico que establece las directrices generales para la medición y evaluación de las vibraciones mecánicas en la maquinaria, medidas sobre las partes no rotatorias (y, cuando sea aplicable, sobre las no reciprocantes) de las máquinas, tales como son los alojamientos de los cojinetes. Las restantes partes de la NC-ISO 10816 proporcionan recomendaciones para las mediciones y los criterios de evaluación relacionados con tipos específicos de máquinas.

Para muchas máquinas, las mediciones realizadas sobre partes no rotatorias son suficientes para caracterizar adecuadamente sus condiciones de operación con respecto a la operación libre de problemas. Sin embargo, existen algunas máquinas, como las que contienen rotores flexibles, para las cuales las mediciones sobre las partes no rotatorias pueden no ser completamente adecuadas. En tales casos, puede ser necesario monitorar la máquina empleando mediciones sobre partes rotatorias y no rotatorias, o sólo empleando mediciones sobre partes rotatorias. Para tales máquinas, las directrices presentadas en esta parte de la NC-ISO 10816 se complementan con las dadas para la vibración en ejes en la NC-ISO 7919-1. Si los procedimientos establecidos por ambas normas son aplicables, generalmente se aplicará aquella que sea más restrictiva.

Las mediciones de las vibraciones pueden utilizarse para varios propósitos, incluyendo el monitoreo de la operación, los ensayos de aceptación y las investigaciones analíticas y de diagnóstico. Esta parte de la NC-ISO 10816 está diseñada para proporcionar directrices sólo en los casos del monitoreo de la operación y los ensayos de aceptación.

Se definen los tres principales parámetros de medición (desplazamiento, velocidad y aceleración) y se establecen sus limitaciones. La observancia de las directrices presentadas debe, en la mayoría de los casos, asegurar la realización satisfactoria del servicio.

## VIBRACIONES MECÁNICAS — EVALUACIÓN DE LAS VIBRACIONES EN LAS MÁQUINAS A TRAVÉS DE LA MEDICIÓN EN PARTES NO ROTATORIAS — PARTE 1: DIRECTRICES GENERALES

### 1 Objeto

Esta parte de la NC-ISO 10816 establece las condiciones generales y los procedimientos para la medición y evaluación de las vibraciones, empleando mediciones realizadas en partes no rotatorias y, donde sea aplicable, en partes no reciprocantes de las máquinas. Los criterios para la evaluación general se presentan en términos de la magnitud de la vibración y del cambio de la vibración, relativos al monitoreo de la operación y los ensayos de aceptación. Estos criterios han sido proporcionados atendiendo principalmente a la obtención de confiabilidad y larga operación de la máquina, a la vez que se minimizan los efectos adversos sobre el equipamiento asociado. También se presentan directrices para establecer los valores límites de operación.

Los criterios de evaluación están relacionados sólo con la vibración producida por la propia máquina y no con las vibraciones transmitidas a ella desde el exterior.

Esta parte de la NC-ISO 10816 no incluye ninguna consideración sobre las vibraciones torsionales.

Esta parte de la NC-ISO 10816 establece las condiciones generales y los procedimientos para la medición y evaluación de las vibraciones, empleando mediciones realizadas en partes no rotatorias y, donde sea aplicable, en partes no reciprocantes de las máquinas. Los criterios para la evaluación general se presentan en términos de la magnitud de la vibración y del cambio de la vibración, relativos al monitoreo de la operación y los ensayos de aceptación. Estos criterios han sido proporcionados atendiendo principalmente a la obtención de confiabilidad y larga operación de la máquina, a la vez que se minimizan los efectos adversos sobre el equipamiento asociado. También se presentan directrices para establecer los valores límites de operación.

Los criterios de evaluación están relacionados sólo con la vibración producida por la propia máquina y no con las vibraciones transmitidas a ella desde el exterior.

Esta parte de la NC-ISO 10816 no incluye ninguna consideración sobre las vibraciones torsionales.

### 2 Referencias normativas

Los documentos que se mencionan seguidamente son indispensables para la aplicación de esta Norma Cubana. Para las referencias fechadas, sólo se toma en consideración la edición citada. Para las no fechadas, se toma en cuenta la última edición del documento de referencia (incluyendo todas las enmiendas).

- NC-ISO 7919-1: 2004, Vibraciones mecánicas de máquinas no reciprocantes – Mediciones sobre ejes rotatorios y criterios de evaluación – Parte 1: Directrices generales.

### 3 Mediciones

Este apartado describe las mediciones, los procedimientos y las condiciones de operación recomendadas para evaluar la vibración de la máquina. Las directrices dadas permitirán la

evaluación de la vibración en correspondencia con los criterios y principios generales dados en el apartado 5.

### 3.1 Parámetros de medición

#### 3.1.1 Rango de frecuencias

La medición de las vibraciones deberá ser de banda ancha, de manera que el espectro de frecuencias de la máquina se cubra adecuadamente.

El rango de frecuencias dependerá del tipo de máquina que se va a considerar, por ejemplo, el rango de frecuencias necesario para evaluar la integridad de los elementos de un cojinete de rodamiento es conveniente que incluya frecuencias mayores que las que se requieren en máquinas con cojinetes de deslizamiento.

Las directrices para los rangos de frecuencias de la instrumentación para clases de máquinas en específico se dan en las correspondientes partes de la NC-ISO 10816.

**NOTA 1:** En el pasado, la severidad de la vibración estaba muchas veces relacionada con la velocidad de la vibración de banda ancha [mm/s (r.m.s.)] en el rango de 10 Hz a 1 000 Hz. Sin embargo, pueden aplicarse diferentes rangos de frecuencia y de parámetros de la vibración a medir para diferentes tipos de máquinas.

#### 3.1.2 Parámetro a medir

Para los propósitos de esta parte de la NC-ISO 10816, pueden utilizarse los siguientes parámetros:

- a) Desplazamiento de la vibración, medido en micrómetros [ $\mu\text{m}$ ].
- b) Velocidad de la vibración, medida en milímetros por segundo [mm/s].
- c) Aceleración de la vibración, medida en metros por segundo al cuadrado [ $\text{m/s}^2$ ].

El uso, aplicación y limitaciones de estos parámetros se discute más ampliamente en el apartado 5.

Generalmente, no existe una relación simple entre la aceleración, la velocidad y el desplazamiento de banda ancha, ni tampoco entre los valores pico, pico-pico, r.m.s. y promedio de la vibración. Las razones de que esto sea así se discuten brevemente en el Anexo A, el cual también define algunas relaciones precisas entre los parámetros anteriores cuando se conoce el contenido armónico de la forma de onda de la vibración.

Para evitar confusión y garantizar la correcta interpretación, es importante que en todos los casos se identifiquen claramente las unidades de la medición [por ejemplo,  $\mu\text{m}$  (p-p), mm/s (r.m.s.)].

#### 3.1.3 Magnitud de la vibración

El resultado de las mediciones realizadas con un instrumento que cumple con los requerimientos del apartado 4 es denominado magnitud de la vibración en una determinada posición y dirección de medición.

Cuando se evalúa la vibración de banda ancha en la maquinaria rotatoria, es una práctica habitual basada en la experiencia considerar el valor de la velocidad r.m.s. de la vibración, debido a que ésta puede estar relacionada con la energía de la vibración. Sin embargo, pueden preferirse otros parámetros tales como el desplazamiento o la aceleración y valores picos en lugar del valor r.m.s. En este caso, se requieren criterios alternativos que no necesariamente están relacionados con los criterios basados en los valores r.m.s.

#### **3.1.4 Severidad de la vibración**

Normalmente las mediciones se efectúan en varias posiciones de medición y en dos o tres direcciones de medición, con lo que se obtiene un conjunto de diferentes valores de la magnitud de la vibración. El valor máximo de la magnitud de banda ancha medida para unas condiciones de apoyo y de operación dadas, se define como severidad de la vibración.

Para la mayoría de los tipos de máquinas, un valor de la severidad de la vibración caracterizará el estado vibratorio de la máquina. Sin embargo, para algunas máquinas este enfoque puede ser inadecuado y entonces es conveniente que la severidad de la vibración sea evaluada independientemente para las posiciones de medición en un número de ubicaciones.

### **3.2 Posiciones de medición**

Es conveniente que las mediciones se realicen sobre los cojinetes, sobre el alojamiento que soporta al cojinete o sobre otras partes estructurales que respondan significativamente a las fuerzas dinámicas y caractericen la vibración global de la máquina. Las posiciones típicas para la medición son las que se muestran en las figuras de la 1 a la 5.

Para definir el comportamiento vibratorio en cada posición de medición, es necesario realizar mediciones en tres direcciones mutuamente perpendiculares. El complemento detallado de las mediciones representadas en las figuras de la 1 a la 5, generalmente es requerido sólo para ensayos de aceptación. Los requerimientos para el monitoreo de la operación usualmente se satisfacen realizando una o dos mediciones en las direcciones radiales (por ejemplo, normalmente en las direcciones horizontal y/o vertical). Esto puede ser complementado con una medición en la dirección axial. Esta última normalmente es de gran significado en las posiciones de los cojinetes de empuje donde se transmiten las fuerzas dinámicas axiales.

Las recomendaciones para los tipos específicos de máquinas se dan en las partes adicionales de la NC-ISO 10816.

### **3.3 Estructura soporte de la máquina para ensayos de aceptación**

#### **3.3.1 Ensayos *in situ***

Cuando se llevan a cabo ensayos de aceptación *in situ*, la estructura soporte deberá ser la suministrada para la máquina. En este caso, es importante garantizar que todos los componentes principales de la máquina y la estructura estén instalados cuando se ejecute la ensayo.

Deberá notarse que sólo pueden realizarse comparaciones válidas de la vibración para máquinas del mismo tipo, pero con diferentes fundamentos, si los fundamentos en cuestión tienen características dinámicas similares.

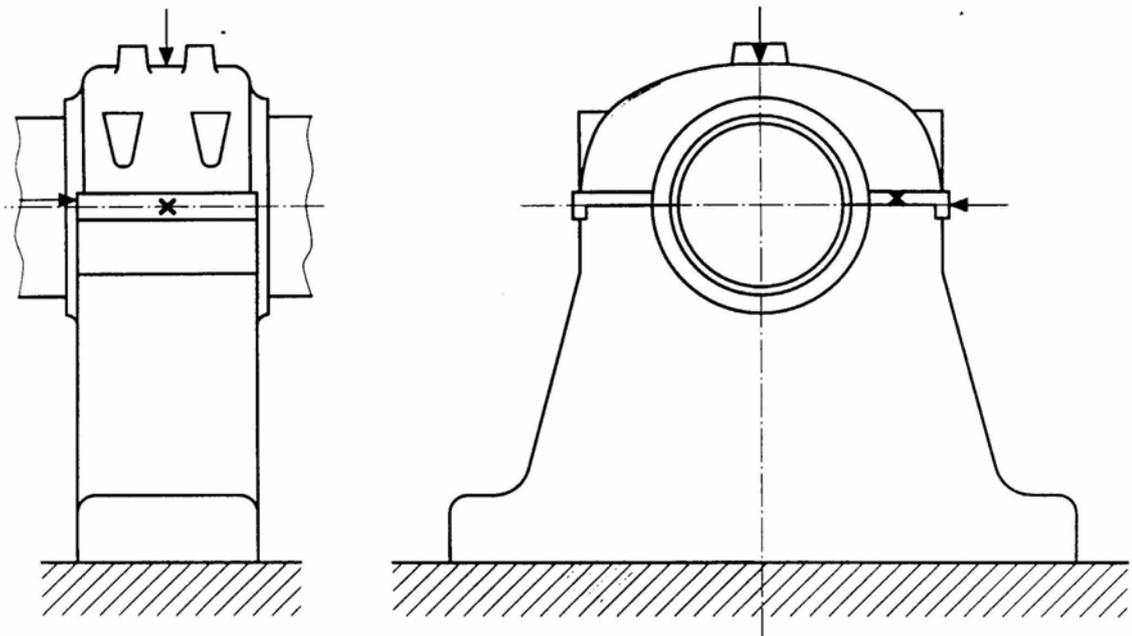


Figura 1 — Puntos de medición para el pedestal de un cojinete

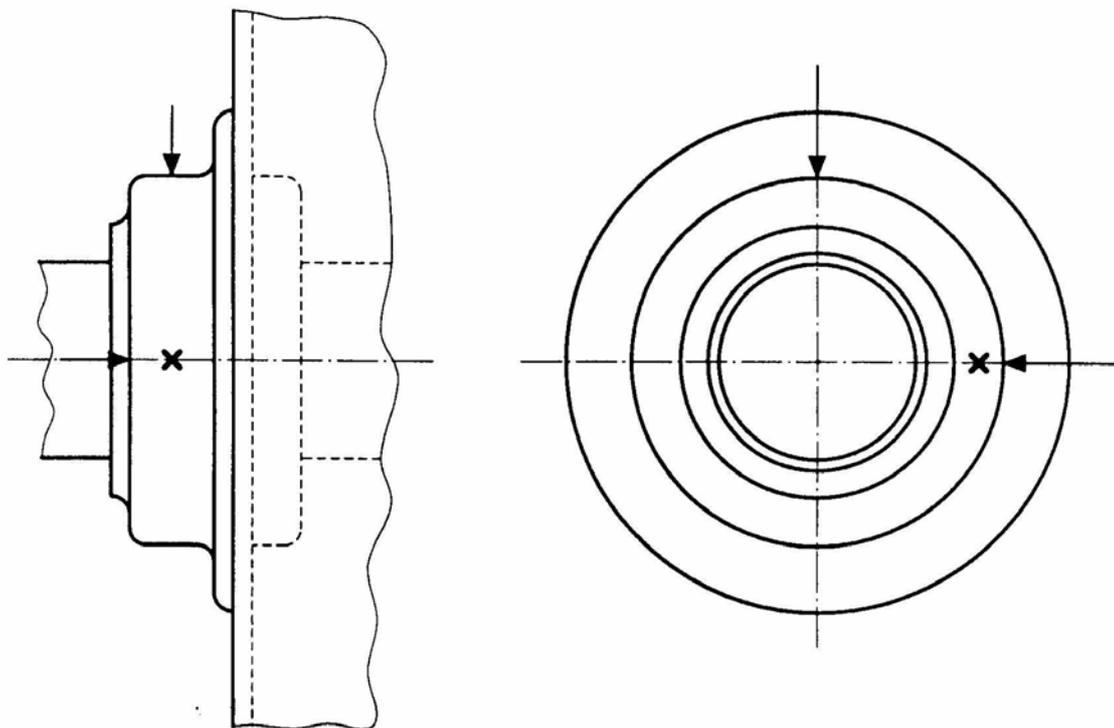


Figura 2 — Puntos de medición para el alojamiento de un cojinete

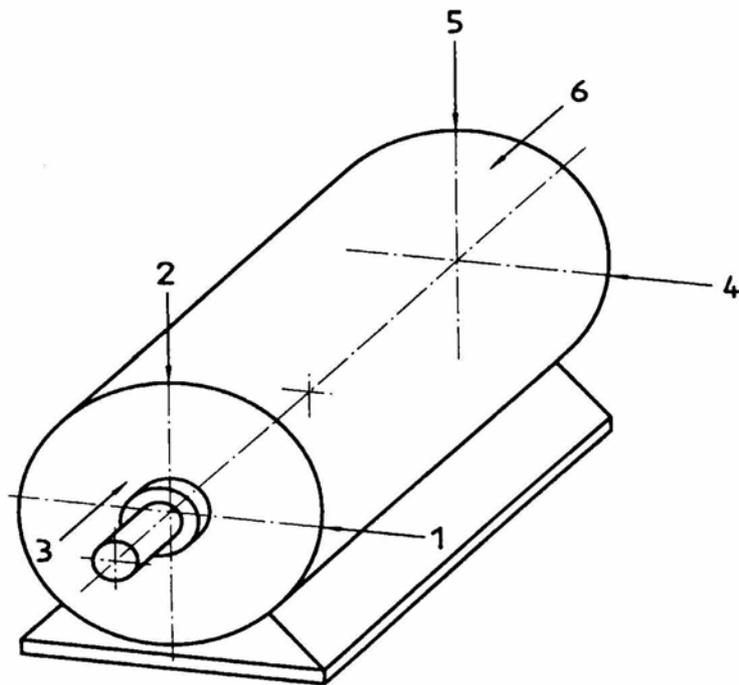


Figura 3 — Puntos de medición para máquinas eléctricas pequeñas

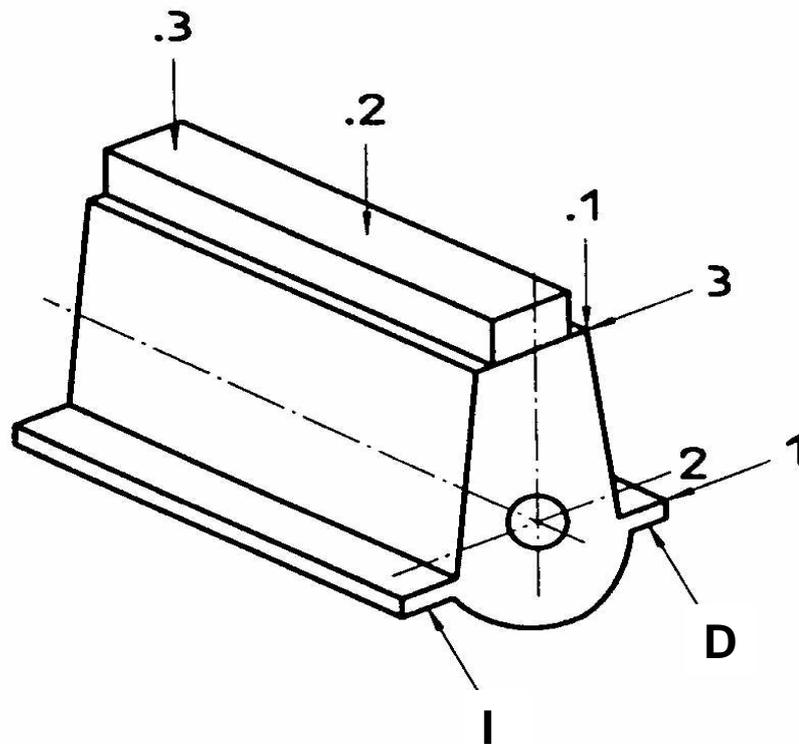


Figura 4 — Puntos de medición para máquinas reciprocantes

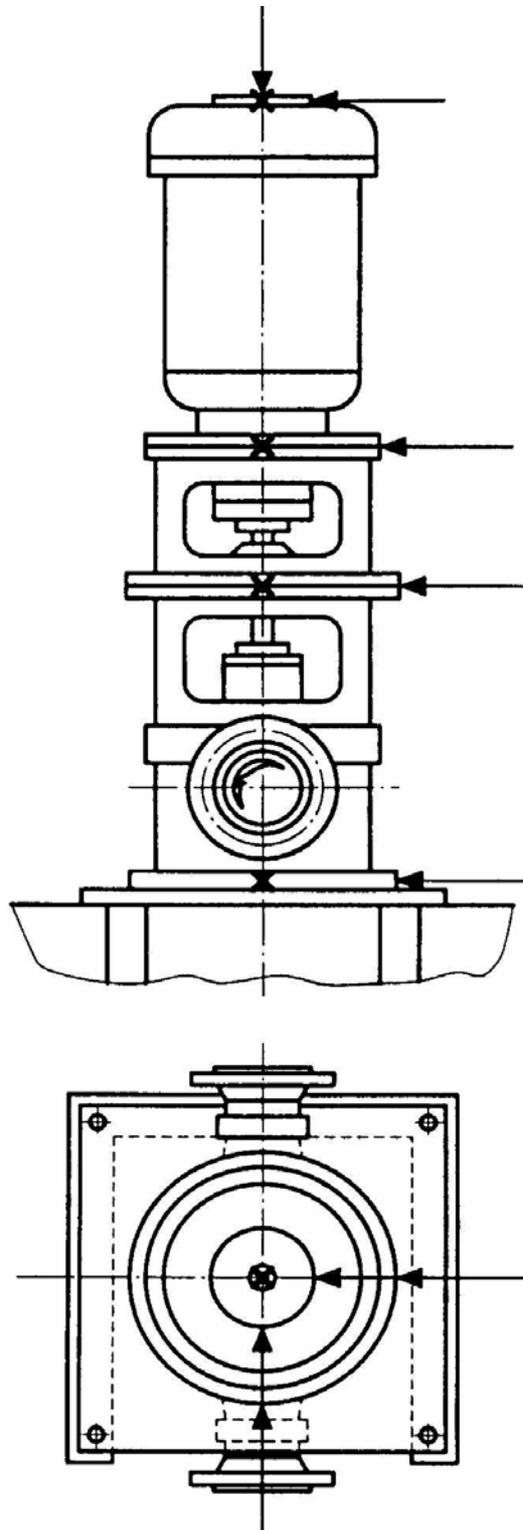


Figura 5 — Puntos de medición para el conjunto de una máquina vertical

### 3.3.2 En una instalación de ensayos

Existen muchas clases de máquinas para las que, por causas económicas o de otro tipo, los ensayos de aceptación se ejecutan en un banco de ensayos cuya estructura soporte tiene características diferentes de las del lugar de instalación. La estructura soporte puede afectar significativamente la vibración medida, por lo que es conveniente que en cada intento se garantice que las frecuencias naturales del conjunto a ensayar no coincidan con las frecuencias rotacionales de la máquina o con cualquiera de sus armónicas significativas.

El conjunto a ensayar normalmente satisfará estos requerimientos si la magnitud de la vibración, medida en las direcciones vertical y horizontal en las patas de la máquina o en la base de ésta cerca del soporte del cojinete o en las patas del estator, no excede el 50 % de la magnitud de la vibración medida en la misma dirección sobre el cojinete. Adicionalmente, el conjunto a ensayar no deberá causar un cambio sustancial en las principales frecuencias de resonancia.

Si se manifiesta una frecuencia de resonancia significativa del soporte durante el ensayo de aceptación y no puede ser eliminada, el ensayo de aceptación tendrá que ser realizado sobre la máquina completamente instalada *in situ*.

Para algunas clases de máquinas (por ejemplo, la maquinaria eléctrica pequeña), los ensayos de aceptación pueden realizarse cuando están soportadas por un sistema elástico. En este caso, todas las frecuencias modales de sólido rígido de la máquina sobre este sistema soporte deberán ser menores que la mitad de la menor frecuencia de excitación significativa de la máquina. Las condiciones apropiadas del soporte pueden lograrse montando la máquina sobre un sistema elástico plano o mediante la suspensión libre sobre un resorte blando.

### 3.4 Estructura soporte de la máquina para monitoreo de la operación

El monitoreo de la operación se realiza sobre máquinas completamente instaladas *in situ* (o sea, sobre su estructura soporte definitiva).

### 3.5 Condiciones de operación de la máquina

Las mediciones de las vibraciones deberán ser realizadas después de lograr las condiciones normales de operación acordadas. Las mediciones de las vibraciones que adicionalmente pueden realizarse bajo otras condiciones, no son aplicables para la evaluación en concordancia con el apartado 5.

### 3.6 Evaluación de la vibración ambiental

Si la magnitud de la vibración medida excede el límite recomendado puede entonces que sea necesario hacer mediciones de la vibración ambiental con la máquina detenida para asegurarse de que esta vibración ambiental no está haciendo una contribución significativa a la vibración observada. Donde sea posible, es conveniente adoptar medidas para reducir la magnitud de la vibración ambiental, si ésta es mayor que un tercio del límite recomendado.

## 4 Instrumentación

La instrumentación empleada deberá estar diseñada para operar satisfactoriamente en el entorno en el que se utilizará, por ejemplo, en lo referente a la temperatura, la humedad, etc. Se deberá prestar particular atención a asegurar que el transductor de vibraciones esté correctamente montado y que su presencia no afecte las características de la respuesta vibratoria de la máquina.

Actualmente son aceptables dos tipos de instrumentos de uso común empleados para monitorar vibraciones de banda ancha. Éstos son:

- a) Instrumentos que incorporan circuitos detectores de valores r.m.s. y muestran valores r.m.s.
- b) Instrumentos que incorporan circuitos detectores de valores r.m.s. o valores promedio, pero que pueden leer valores pico-pico o valores pico. Esta posibilidad está basada en la relación sinusoidal asumida entre los valores r.m.s., promedio, pico-pico y pico.

Si la evaluación de la vibración está basada en la medición de más de un parámetro (es decir, desplazamiento, velocidad o aceleración), la instrumentación empleada deberá ser capaz de caracterizar todos estos parámetros.

Es deseable que el sistema de medición tenga prevista la posibilidad de calibrar en línea la señal en el instrumento de lectura y que adicionalmente disponga de salidas aisladas que permitan análisis posteriores según se requiera.

## 5 Criterios de evaluación

### 5.1 Generalidades

Este apartado especifica los criterios y principios generales para la evaluación de la vibración de las máquinas. Los criterios de evaluación están dados para el monitoreo de la operación y para los ensayos de aceptación, se aplican sólo a la vibración producida por la propia máquina y no a la vibración transmitida desde el exterior. Para ciertas clases de máquinas, las directrices presentadas en esta parte de la NC-ISO 10816 se complementan con las dadas para la vibración en ejes en la NC-ISO 7919-1. Si los procedimientos establecidos por ambas normas son aplicables, generalmente se aplicará aquella que sea más restrictiva.

Los criterios específicos para diferentes clases y tipos de máquinas se darán en las correspondientes partes de la NC-ISO 10816.

### 5.2 Criterios

Se utilizan dos criterios de evaluación para evaluar la severidad de la vibración en varias clases de máquinas. Un criterio considera la magnitud de la vibración de banda ancha observada, en tanto el otro considera los cambios en la magnitud, independientemente de que aumente o disminuya.

### 5.3 Criterio I: magnitud de la vibración

Este criterio está relacionado con la definición de límites para la magnitud de la vibración absoluta consecuentes con las cargas dinámicas aceptables sobre los cojinetes y la transmisión de vibración aceptable a la estructura soporte y el fundamento. La máxima magnitud de la vibración

observada en cada cojinete o pedestal es evaluada contra cuatro zonas de evaluación establecidas a partir de la experiencia internacional. Esta magnitud máxima de la vibración medida se define como severidad de la vibración (ver 3.1.4).

### 5.3.1 Zonas de evaluación

Las siguientes zonas típicas de evaluación están definidas para permitir una evaluación cualitativa de la vibración sobre una máquina dada y para proporcionar directrices sobre las posibles acciones. Pueden aplicarse diferentes categorizaciones y número de zonas para tipos específicos de máquinas, los cuales están cubiertos por las partes adicionales de la NC-ISO 10816. En el Anexo B se presentan valores provisionales para las fronteras de las zonas.

**Zona A:** Las máquinas recién instaladas normalmente caerían dentro de esta zona.

**Zona B:** Las máquinas con vibración dentro de esta zona normalmente se consideran aceptables para largos períodos de operación sin restricciones.

**Zona C:** Las máquinas con vibración dentro de esta zona normalmente se consideran no satisfactorias para largos períodos de operación continua. Generalmente, la máquina puede ser operada durante un período limitado en esta condición hasta que aparezca una oportunidad adecuada para la acción correctiva.

**Zona D:** Los valores dentro de esta zona normalmente se consideran suficientemente severos como para causar daño a la máquina.

Los valores numéricos asignados a los límites de estas zonas no pretenden servir como especificaciones de aceptación, las cuales estarán sujetas a acuerdo entre el fabricante de la máquina y el cliente. Sin embargo, estos valores proporcionan directrices para evitar graves deficiencias o requerimientos poco realistas. En ciertos casos, pueden existir características específicas asociadas con una máquina en particular que requieran valores límites diferentes a los empleados para las zonas (mayores o menores). En tales casos, normalmente es necesario explicar las razones de esto y, en particular, confirmar que la máquina no se pondrá en peligro cuando se opere con valores de vibración mayores.

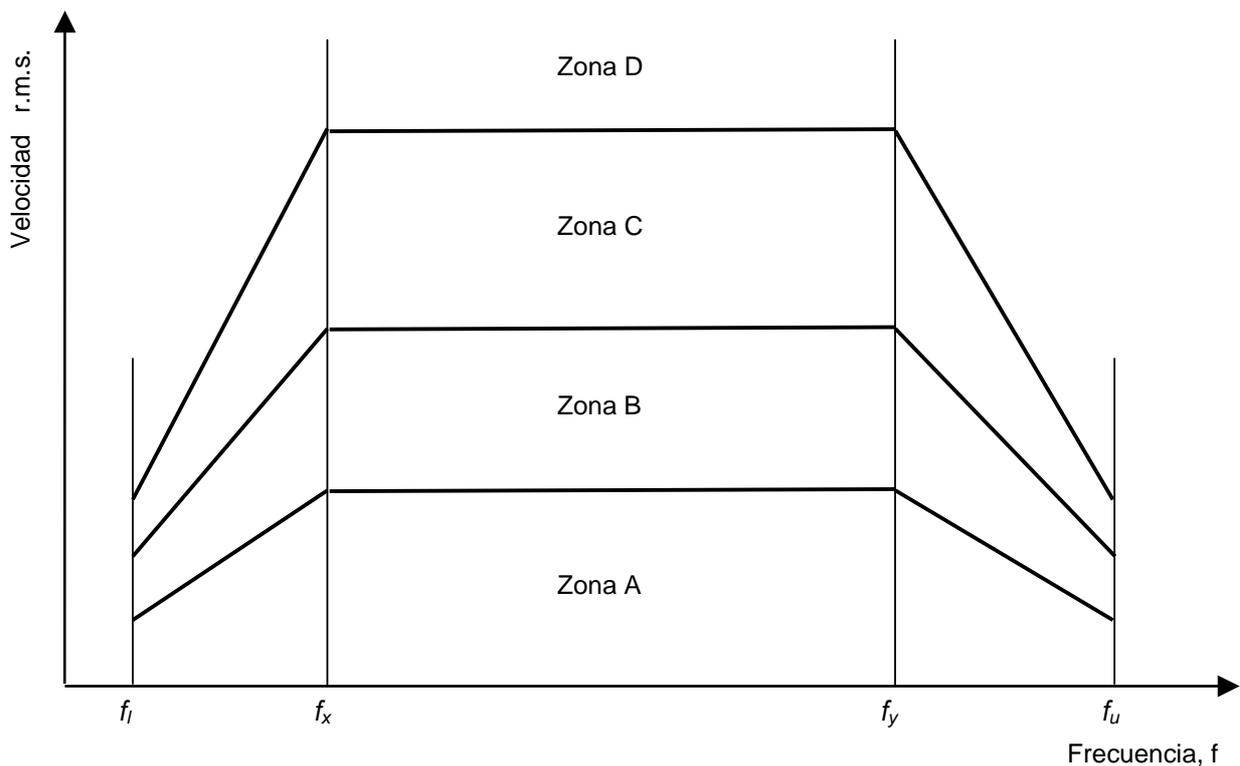
### 5.3.2 Límites de las zonas de evaluación

La vibración de una máquina en particular depende de su tamaño, de las características vibratorias de su cuerpo y de su base, así como de los propósitos para los que ha sido diseñada. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta los diferentes propósitos y circunstancias relacionadas cuando se especifiquen los rangos de medición de la vibración para diferentes tipos de máquinas. Para casi todas las máquinas, sin tener en cuenta el tipo de cojinete utilizado, las mediciones de la velocidad de la vibración r.m.s. de banda ancha sobre partes estructurales tales como los alojamientos de los cojinetes, caracterizarán adecuadamente las condiciones de operación de los ejes rotatorios con respecto a su operación libre de problemas.

En la mayoría de los casos, se ha visto que la velocidad de la vibración es suficiente para caracterizar la severidad de la vibración para un amplio rango de velocidades de operación de las máquinas. Sin embargo, se reconoce que el uso de un solo valor de velocidad, sin tener en cuenta la frecuencia, puede conducir a valores de desplazamiento inaceptablemente grandes. Esto es particularmente así para máquinas que operan a bajas velocidades cuando la componente a la

velocidad de rotación es dominante. Similarmente, los criterios de velocidad constante para máquinas con altas velocidades de operación, o con vibración a altas frecuencias generadas por partes componentes de la máquina pueden conducir a aceleraciones inaceptables. Consecuentemente, los criterios de aceptación basados en la velocidad tomarán la forma general que se muestra en la figura 6. En esta figura 6 se indican los límites de frecuencia superior  $f_u$  e inferior  $f_l$  y se muestra que por debajo de una frecuencia definida  $f_x$  y por encima de una frecuencia definida  $f_y$  la velocidad de la vibración permitida es una función de la frecuencia de la vibración (ver también el Anexo C). Sin embargo, para frecuencias de la vibración entre  $f_x$  y  $f_y$  se aplica un criterio de velocidad constante. Las velocidades r.m.s. referidas a esta región de velocidad constante se presentan en el Anexo B. La naturaleza precisa de los criterios de aceptación y los valores de  $f_u$ ,  $f_l$ ,  $f_x$  y  $f_y$  para los tipos específicos de máquinas serán dados en las partes adicionales de la NC-ISO 10816.

Para muchas máquinas, la vibración de banda ancha consta principalmente de una frecuencia componente, a menudo la frecuencia de rotación del eje. En este caso, la vibración permisible se obtiene en la figura 6 como la velocidad de la vibración correspondiente a esa frecuencia.



**Figura 6 — Forma general del criterio de aceptación de la velocidad de la vibración**

Para las máquinas menos comunes, donde puede existir energía vibratoria significativa más allá de los valores  $f_x$  y  $f_y$  de la figura 6, son posibles diferentes enfoques, ejemplos de los cuales son los siguientes:

- a) Además de la usual velocidad de banda ancha, puede medirse desplazamiento de banda ancha cuando exista energía significativa por debajo de  $f_x$ . En forma similar, puede medirse aceleración de banda ancha cuando haya energía significativa por encima de  $f_y$ . Es conveniente que el desplazamiento y la aceleración permisibles sean consecuentes con la velocidad correspondiente a las porciones inclinadas de la figura 6.
- b) La velocidad, el desplazamiento o la aceleración para cada componente significativa a lo largo del espectro de frecuencias, puede determinarse utilizando un analizador de frecuencias. La velocidad equivalente puede obtenerse empleando la ecuación (A.2) después de aplicar los factores de ponderación apropiados, consecuentes con la figura 6 para aquellas componentes cuyas frecuencias estén por debajo de  $f_x$  o por encima de  $f_y$ . Es conveniente entonces evaluar este valor con relación a la velocidad constante entre  $f_x$  y  $f_y$ . Es conveniente notar que, excepto para el caso en que la vibración de banda ancha contenga básicamente una componente dominante a cierta frecuencia, la comparación directa de las componentes del espectro de frecuencias con las curvas de la figura 6 produciría resultados engañosos.
- c) Se puede ejecutar una medición de banda ancha combinada que abarque el espectro completo empleando un instrumento que incorpore ponderaciones consecuentes con la configuración de la figura 6. Es conveniente entonces evaluar este valor con relación a la velocidad constante entre  $f_x$  y  $f_y$ .

Los criterios de evaluación para los tipos específicos de máquinas serán dados en las restantes partes de la NC-ISO 10816. El Anexo C proporciona directrices adicionales. Para ciertos tipos de máquinas, puede ser necesario definir otros criterios que van más allá de los descritos en la figura 6 (ver 5.6.3).

#### 5.4 Criterio II: Cambio en la magnitud de la vibración

Este criterio proporciona una evaluación del cambio en la magnitud de la vibración a partir de un valor de referencia previamente establecido. Puede ocurrir un incremento o un decremento significativo en la magnitud de la vibración que requiera de alguna acción aunque no se haya alcanzado la zona C del Criterio I. Tales cambios pueden ser instantáneos o progresivos en el tiempo y pueden indicar que ha ocurrido un daño o ser el aviso de un fallo inminente o de alguna otra irregularidad. El Criterio II se especifica sobre la base del cambio en la magnitud de la vibración de banda ancha que ocurre bajo condiciones de operación estacionarias.

Cuando se aplica el Criterio II, se comparan las mediciones de la vibración tomadas en la misma posición y orientación del transductor y aproximadamente bajo las mismas condiciones de operación de la máquina. Es conveniente investigar los cambios con respecto a las magnitudes normales de la vibración, de manera que pueda evitarse una situación peligrosa.

Los criterios para evaluar los cambios en la vibración de banda ancha para propósitos de monitoreo, se dan en las partes adicionales de la NC-ISO 10816. Sin embargo, es conveniente señalar que algunos cambios pueden no ser detectados a menos que se monitoreen las componentes por frecuencias (ver 5.6.1).

## 5.5 Límites de operación

Para largos períodos de operación, es una práctica común para algunos tipos de máquinas establecer límites vibratorios de operación. Estos límites toman la forma de ALARMAS y PARADAS.

**ALARMAS:** Para proporcionar un aviso de que se ha alcanzado un valor de vibración definido o ha ocurrido un cambio significativo, para el cual puede ser necesaria una acción correctiva. Si ocurre una situación de ALARMA, la operación puede continuar durante un período mientras se llevan a cabo las investigaciones para identificar la razón que ocasiona el cambio de la vibración y definir la acción correctiva.

**PARADAS:** Para especificar la magnitud de la vibración más allá de la cual la operación de la máquina puede ocasionar daño. Si se excede el valor de PARADA, es conveniente adoptar una acción inmediata para reducir la vibración o para detener la máquina.

Pueden especificarse diferentes límites de operación para las diferentes posiciones y direcciones de medición, atendiendo a las diferencias en las cargas dinámicas y en la rigidez del soporte.

Donde sea apropiado, se dan directrices para indicar criterios de ALARMA y PARADA para tipos específicos de máquinas en las partes adicionales de la NC-ISO 10816.

### 5.5.1 Establecimiento de ALARMAS

Los valores de ALARMA pueden variar considerablemente hacia arriba o hacia abajo, para diferentes máquinas. Los valores escogidos normalmente se establecerán con relación a un valor de referencia determinado a partir de la experiencia para la posición y dirección de medición de una máquina en particular.

Se recomienda que el valor de ALARMA debe ser mayor que el de referencia en una cantidad igual a una proporción del límite superior de la zona B. Si la referencia es baja, la ALARMA puede estar por debajo de la zona C. Las directrices para tipos específicos de máquinas se dan en las partes adicionales de la NC-ISO 10816.

Cuando no se haya establecido una referencia, por ejemplo para una máquina nueva, es conveniente basar el establecimiento inicial de la ALARMA en la experiencia con otras máquinas similares o adoptar valores admitidos. Después de un período de tiempo, se establecerá un valor de referencia para el estado estacionario, por lo que es conveniente ajustar la ALARMA establecida según corresponda.

Si la referencia para el estado estacionario cambia (por ejemplo, después de una revisión de la máquina), es conveniente ajustar el establecimiento de la ALARMA. Pueden existir diferentes valores de ALARMA para los diferentes cojinetes de la máquina, atendiendo a las diferencias en las cargas dinámicas y en la rigidez del soporte.

### 5.5.2 Establecimiento de PARADAS

Los valores de PARADA generalmente estarán relacionados con la integridad de la máquina y dependerán de las características específicas de diseño que han sido introducidas para que la

máquina pueda soportar las cargas dinámicas anormales. Por tanto, los valores utilizados generalmente serán los mismos para todas las máquinas con diseños similares y normalmente no estarán relacionados con los valores de referencia para el estado estacionario empleados para establecer las ALARMAS.

Sin embargo, pueden existir diferencias para las máquinas de diseño diferente y no es posible brindar directrices para valores absolutos de PARADA. En general, el valor de PARADA estará dentro de las zonas C o D.

## **5.6 Factores adicionales**

### **5.6.1 Frecuencias de la vibración y vectores**

La evaluación considerada en este documento básico está limitada a la vibración de banda ancha sin referencias a las componentes de frecuencia o fase. En la mayoría de los casos, esto resulta adecuado para los propósitos de los ensayos de aceptación y el monitoreo de la operación. Sin embargo, en algunos casos, para ciertos tipos de máquinas puede ser deseable el empleo de la información vectorial para la evaluación de la vibración.

El cambio en la información vectorial es particularmente útil para detectar y definir cambios en el estado dinámico de la máquina. En algunos casos, estos cambios no serían detectados con el empleo de mediciones de la vibración de banda ancha. Esto se demuestra en el Anexo D.

La especificación de los criterios para los cambios vectoriales está fuera del alcance de esta parte de la NC-ISO 10816.

### **5.6.2 Sensibilidad de la máquina a la vibración**

La vibración medida sobre una máquina en particular puede ser sensible a los cambios en las condiciones de operación estacionarias. En la mayoría de los casos, esto no es significativo. En otros casos, la sensibilidad a la vibración puede ser tal que aunque la magnitud de la vibración para una máquina en particular sea satisfactoria cuando se mide bajo ciertas condiciones de operación estacionarias, puede tornarse no satisfactoria si esas condiciones cambian.

Se recomienda que, en los casos donde el asunto en cuestión sea la sensibilidad de la máquina a la vibración, se logre algún acuerdo entre el cliente y el proveedor acerca de la necesidad y el alcance de algún ensayo o evaluación teórica.

### **5.6.3 Técnicas especiales para cojinetes de rodamiento**

Se continúan desarrollando otros enfoques alternativos a las mediciones de la vibración de banda ancha para evaluar la condición de los cojinetes de rodamiento. Este aspecto se discute más ampliamente en el Anexo E. La definición de los criterios de evaluación para tales métodos adicionales está fuera del alcance de esta parte de la NC-ISO 10816.

**Anexo A**  
(informativo)

**Relaciones para la forma de onda de la vibración**

Durante muchos años ha sido reconocido que, el empleo de la medición de la velocidad r.m.s. para caracterizar la respuesta vibratoria en un amplio rango de clasificaciones de máquinas, ha sido altamente satisfactorio y continúa siéndolo. Para formas de onda simple que contengan un número discreto de componentes armónicas con amplitud y fase conocidas y que no contengan vibración aleatoria o componentes de choque significativas, es posible, mediante el análisis de Fourier, relacionar varios parámetros fundamentales (por ejemplo, desplazamiento, velocidad o aceleración pico, r.m.s., promedio, etc.) empleando relaciones matemáticas determinadas rigurosamente. Estas relaciones han sido establecidas anteriormente y no es el propósito del presente anexo ocuparse de este aspecto. Sin embargo, más abajo se resume un conjunto de relaciones útiles.

A partir de los registros de la velocidad de la vibración medidos en el tiempo, el valor r.m.s. de la velocidad puede calcularse según:

$$v_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad \dots(A.1)$$

donde

$v(t)$  es la velocidad de la vibración en función del tiempo;

$v_{r.m.s.}$  es la correspondiente velocidad r.m.s.;

$T$  es el tiempo de muestreo, que es mayor que el período de cualquiera de las principales componentes de frecuencias que componen a  $v(t)$ .

Las magnitudes de la aceleración, la velocidad y el desplazamiento (respectivamente  $a_j$ ,  $v_j$ ,  $s_j$ ; siendo  $j= 1, 2, \dots, n$ ), pueden determinarse para diferentes frecuencias ( $f_1, f_2, \dots, f_n$ ) a partir del análisis de los espectros registrados.

Si los valores del desplazamiento pico-pico de la vibración  $s_1, s_2, \dots, s_n$  en micrómetros, o los valores de velocidad r.m.s.  $v_1, v_2, \dots, v_n$  en milímetros por segundo, o los valores de aceleración r.m.s.  $a_1, a_2, \dots, a_n$  en metros por segundo al cuadrado y las frecuencias  $f_1, f_2, \dots, f_n$  en Hertz, son conocidos, la velocidad r.m.s. asociada que caracteriza el movimiento está dada por:

$$\begin{aligned} v_{r.m.s.} &= \pi \times 10^{-3} \sqrt{\frac{1}{2} [(s_1 f_1)^2 + (s_2 f_2)^2 + \dots + (s_n f_n)^2]} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2} \\ &= \frac{10^3}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{a_1}{f_1}\right)^2 + \left(\frac{a_2}{f_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{a_n}{f_n}\right)^2} \quad \dots(A.2) \end{aligned}$$

**NOTA 2:** De acuerdo con la NC-ISO 2041, a la frecuencia  $f$  también se le puede denominar frecuencia cíclica  $f$ .

En el caso donde la vibración contenga sólo dos componentes de frecuencias significativas que dan latidos de valores r.m.s.  $v_{\min}$  y  $v_{\max}$ , entonces  $v_{r.m.s.}$  puede determinarse aproximadamente según la relación:

$$v_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{1}{2}(v_{\max}^2 + v_{\min}^2)} \quad \dots(A.3)$$

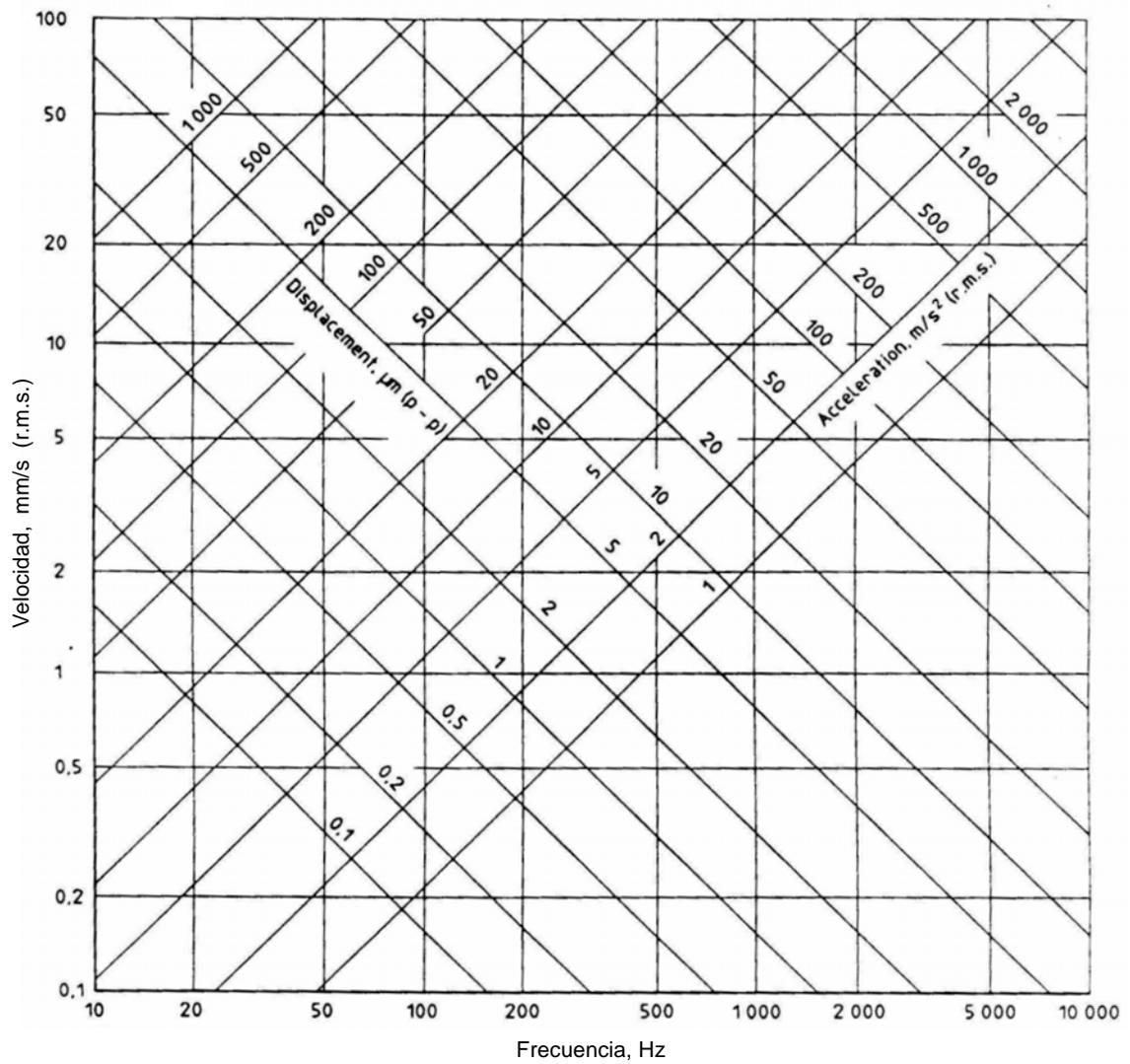
La operación de intercambio de valores de aceleración, velocidad o desplazamiento de la vibración puede lograrse sólo para componentes armónicas de una frecuencia utilizando, por ejemplo, la figura A.1. Si la velocidad de la vibración a una frecuencia es conocida, el desplazamiento pico-pico puede ser evaluado a partir de la relación:

$$s_i = \frac{450v_i}{f_i} \quad \dots(A.4)$$

donde

$s_i$  es el valor del desplazamiento pico-pico en micrómetros;

$v_i$  es el valor r.m.s. de la velocidad de la vibración en milímetros por segundo de la componente con frecuencia  $f_i$ , en Hertz.



**Figura A.1 — Relaciones entre aceleración, velocidad y desplazamiento para componentes armónicas de una frecuencia**

**Anexo B**  
(informativo)

**Criterios provisionales para la vibración de banda ancha  
en grupos específicos de máquinas**

Esta parte de la NC-ISO 10816 es un documento básico que establece las directrices generales para la medición y evaluación de las vibraciones mecánicas de las máquinas, medidas sobre partes no rotatorias. Se pretende que los criterios de evaluación para tipos de máquinas específicos se den en partes adicionales de la NC-ISO 10816. Sin embargo, sólo como un recurso a corto plazo, en la tabla B.1 se proporcionan criterios de evaluación limitados, hasta que las mencionadas partes estén disponibles. Los valores dados son para los límites superiores de las zonas de la A a la C respectivamente (ver 5.3.1), para las clases de máquinas que más abajo se definen. Por lo tanto, antes de usar estos valores es importante chequear que no han sido suplantados en las partes adicionales de la NC-ISO 10816. Este anexo será eliminado cuando dichas partes hayan sido publicadas.

La clasificación de las máquinas es como sigue:

**Clase I:** Partes individuales de motores y máquinas conectadas integralmente a la máquina en sus condiciones normales de operación (los motores eléctricos de hasta 15 kW son ejemplos típicos de máquinas en esta categoría).

**Clase II:** Máquinas de tamaño medio (típicamente, motores eléctricos con salida entre 15 kW y 75 kW) sin fundamentos especiales, máquinas o motores montados rígidamente (de hasta 300 kW) sobre fundamentos especiales.

**Clase III:** Grandes motores primarios y otras grandes máquinas con masas rotatorias montadas sobre fundamentos rígidos y pesados, que son relativamente rígidos en la dirección en la que se miden las vibraciones.

**Clase IV:** Grandes motores primarios y otras grandes máquinas con masas rotatorias montadas sobre fundamentos relativamente blandos en la dirección en la que se miden las vibraciones (por ejemplo, grupos turbogeneradores y turbinas de gas con salidas mayores de 10 MW).

**Tabla B1 — Límites de zonas típicos**

Velocidad de la vibración r.m.s. [mm/s]	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1				
11,2	D	D	D	D
18				
28				
45				

**Anexo C**  
(informativo)

**Directrices generales para la especificación de criterios**

Los criterios para la velocidad mostrados en la figura 6 pueden ser representados mediante la siguiente ecuación general:

$$v_{r.m.s.} = v_A \cdot G \cdot (f_z/f_x)^k \cdot (f_y/f_w)^m \quad \dots(C.1)$$

donde

$v_{r.m.s.}$  es la velocidad r.m.s. permitida en milímetros por segundo;

$v_A$  es la velocidad r.m.s. constante en milímetros por segundo, que se aplica entre  $f_x$  y  $f_y$  para la zona A;

$G$  es un factor que define los límites de la zona (por ejemplo, el límite de la zona A pudiera obtenerse tomando  $G = 1$ , el límite de la zona B tomando  $G = 2,56$  y el límite de la zona C tomando  $G = 6,4$ ); este factor puede ser una función de la velocidad de la máquina o de cualquier otro parámetro de operación relevante de la máquina (por ejemplo, carga, presión, flujo);

$f_x$  y  $f_y$  son las frecuencias definidas, en Hertz, entre las cuales se asume que se aplica un criterio de velocidad constante (ver 5.3.2)

$f_w = f_y$  para  $f \leq f_y$

$f_w = f$  para  $f > f_y$

$f_z = f$  para  $f < f_x$

$f_z = f_x$  para  $f \geq f_x$

$f$  es la frecuencia, en Hertz, para la cual se define  $v_{r.m.s.}$ ;

$k$  y  $m$  son constantes definidas para un grupo de máquinas dado.

Para grupos especiales de máquinas, pueden especificarse valores individuales de velocidad r.m.s. en lugar de curvas del tipo de las mostradas en la figura 6.

**NOTA 3:** Las frecuencias  $f_u$  y  $f_l$  que se muestran en la figura 6 son las frecuencias límites superior e inferior para mediciones de banda ancha.

**Anexo D**  
(informativo)  
**Análisis vectorial del cambio en la vibración**

**Introducción**

Los criterios de evaluación se definen en términos del valor normal estacionario de la vibración de banda ancha y de cualquier cambio que pueda ocurrir en la magnitud de estos valores estacionarios. El último criterio tiene limitaciones debido a que algunos cambios sólo pueden ser identificados mediante el análisis vectorial de las componentes a frecuencias dadas. El desarrollo de esta técnica para otras componentes de la vibración que no sean sincrónicas está aún en sus etapas iniciales, por lo que no se definen los criterios en esta parte de la NC-ISO 10816.

**D.1 Generalidades**

La señal vibratoria de banda ancha estacionaria medida en una máquina, es compleja por su naturaleza y está formada por un número de componentes a diferentes frecuencias. Cada una de estas componentes está definida por su frecuencia, su amplitud y su fase con respecto a algún valor conocido. El equipamiento convencional para el monitoreo de la vibración mide la magnitud global de la señal compleja y no diferencia entre las componentes a cada frecuencia. Sin embargo, el equipamiento de diagnóstico moderno es capaz de analizar la señal compleja de forma que puede identificar la amplitud y la fase de cada frecuencia componente. Esta información es de gran valor para el ingeniero en vibraciones, debido a que facilita el diagnóstico de las probables razones para el comportamiento vibratorio anormal.

Los cambios en las componentes a frecuencias dadas que pueden ser significativos, no necesariamente están reflejados de igual forma en la vibración de banda ancha y, por lo tanto, el criterio basado en los cambios de la magnitud de la vibración de banda ancha puede requerir sólo de mediciones suplementarias de fase.

**D.2 Importancia de los cambios vectoriales**

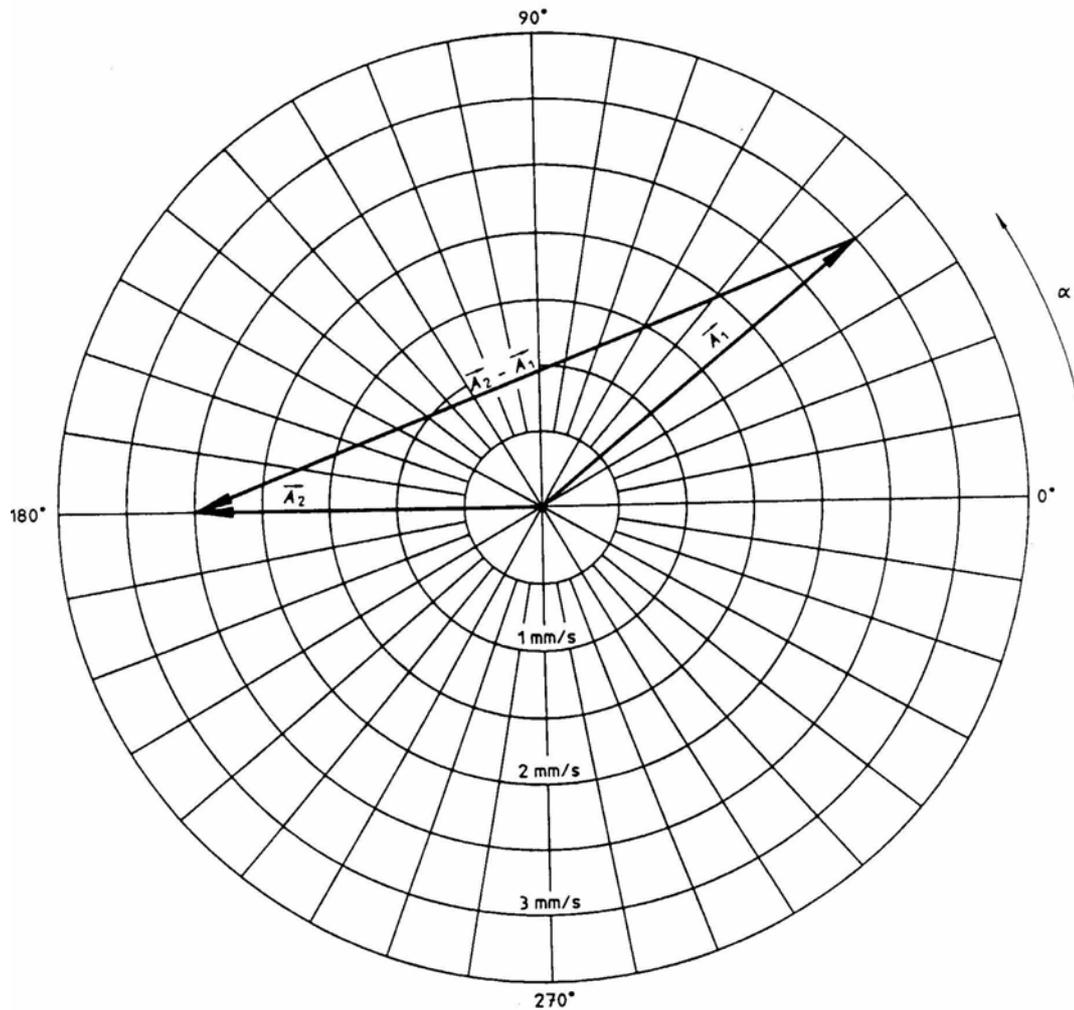
La figura D.1 es un diagrama polar que se usa para representar en forma vectorial la amplitud y la fase de una de las componentes de una señal vibratoria compleja.

El vector  $\vec{A}_1$  describe la condición vibratoria estacionaria inicial. Como ejemplo, en esta condición la magnitud de la vibración es 3 mm/s (r.m.s.) con un ángulo de fase de 40°. El vector  $\vec{A}_2$  describe la condición vibratoria estacionaria después que ha ocurrido algún cambio en la máquina. En el ejemplo, la magnitud de la vibración es ahora 2,5 mm/s (r.m.s.) con un ángulo de fase de 180°. Así pues, aunque la magnitud de la vibración ha decrecido en 0,5 mm/s, de 3 mm/s a 2,5 mm/s, el cambio real de la vibración está representado por el vector  $\vec{A}_2 - \vec{A}_1$ , el cual tiene una magnitud de 5,2 mm/s (r.m.s.). Esto es diez veces el valor que indica la comparación de las magnitudes de la vibración.

**D.3 Monitoreo de los cambios vectoriales**

El ejemplo dado en D.2 ilustra claramente la importancia de identificar el cambio vectorial en una señal vibratoria. Sin embargo, es necesario apreciar que, en general, la señal vibratoria de banda ancha está compuesta por un número de componentes a frecuencias dadas, cada una de las cuales puede registrar un cambio vectorial. Adicionalmente, un cambio inaceptable en una

componente a cierta frecuencia puede estar dentro de límites aceptables para una componente diferente. Consecuentemente, no es posible en este momento definir criterios para los cambios vectoriales en componentes que sean compatibles con el contexto de esta parte de la NC-ISO 10816, la cual está dirigida fundamentalmente al monitoreo de la vibración de banda ancha por parte de personas no especializadas en vibraciones.



Vector inicial en el estado estacionario	$\left  \vec{A}_1 \right  = 3 \text{ mm/s (r.m.s.)}, \alpha = 40^\circ$
Vector del estado estacionario después del cambio	$\left  \vec{A}_2 \right  = 2,5 \text{ mm/s (r.m.s.)}, \alpha = 180^\circ$
Cambio en la magnitud de la vibración	$\left  \vec{A}_2 \right  - \left  \vec{A}_1 \right  = -0,5 \text{ mm/s (r.m.s.)}$
Vector de cambio	$\left  \vec{A}_2 - \vec{A}_1 \right  = 5,2 \text{ mm/s (r.m.s.)}$

**Figura D.1 — Comparación entre el cambio vectorial y el cambio en magnitud para una componente a determinada frecuencia**

## **Anexo E** (informativo)

### **Medición especializada y técnicas de análisis para la detección de problemas en cojinetes de rodamiento**

#### **Introducción**

El empleo de una técnica de medición de banda ancha con datos de aceleración provenientes del alojamiento de un cojinete de rodamiento, tal como se describe en el texto principal de esta parte de la NC-ISO 10816, muchas veces proporciona suficiente información para dar una idea de las condiciones de operación de dicho cojinete de rodamiento, pero lo cierto es que esta técnica simple no tiene éxito en todos los casos. Pueden surgir errores en la evaluación si existen efectos de resonancias significativas en el cojinete de rodamiento o en su alojamiento dentro del rango de frecuencias de la medición, o se transmiten al cojinete de rodamiento señales vibratorias significativas provenientes de otras fuentes tales como la vibración proveniente de los engranajes.

Principalmente como resultado de las deficiencias anteriores, se han desarrollado equipos de medición alternativos y varias técnicas de análisis, las cuales en algunos casos pueden ser más adecuadas para identificar problemas en cojinetes de rodamiento. Sin embargo, ninguno de estos instrumentos y técnicas ha demostrado tener éxito en todas las situaciones. Por ejemplo, no todos los tipos de defectos en cojinetes de rodamiento pueden ser identificados por cualquiera de las técnicas y, mientras que una técnica puede ser perfectamente satisfactoria en la identificación de la mayoría de los problemas de los cojinetes de rodamiento en una máquina, puede ser totalmente inadecuada para otras instalaciones. En todos los casos, las características y los patrones generales de la vibración dependen principalmente del tipo específico de cojinete de rodamiento, de la estructura que lo soporta, de la instrumentación y del procesamiento de la señal. Todos estos fenómenos necesitan ser comprendidos cabalmente, pues de otro modo no se puede realizar una evaluación objetiva del cojinete de rodamiento.

La selección de técnicas adecuadas para aplicaciones específicas requiere de un conocimiento especializado tanto de la técnica, como de la maquinaria a la cual se le aplica.

Los apartados del E.1 al E.4 comentan brevemente algunos de los equipos de medición y técnicas de análisis disponibles, los cuales han demostrado tener algún éxito en aplicaciones seleccionadas. Sin embargo, no hay suficiente información disponible sobre los valores adecuados de los criterios de evaluación que permitan que en este momento algunas de estas técnicas se incorporen en Normas Cubanas.

#### **E.1 Análisis de datos sin procesar** (medición de nivel total de la vibración)

Se han hecho varios reclamos en apoyo a alternativas simples a la medición de aceleración r.m.s. de banda ancha, tomando la señal vibratoria sin procesar para revelar defectos en cojinetes de rodamiento. Estas alternativas son:

- a) Medición de valores de aceleración pico.
- b) Medición de la relación entre el valor de aceleración pico y el r.m.s. (factor de cresta).
- c) Cálculo del producto de la medición del valor de aceleración pico y el r.m.s.

## **E.2 Análisis por frecuencias**

Las componentes de una señal compleja a determinadas frecuencias pueden ser identificadas mediante el empleo de filtros o mediante el análisis de espectros. Si se dispone de datos suficientes sobre un cojinete de rodamiento en particular, se pueden calcular sus frecuencias características para varios defectos y se pueden comparar con las frecuencias componentes de la señal. Esto, por lo tanto, puede permitir no sólo el reconocimiento de que un cojinete de rodamiento tiene problemas, sino que también permite identificar la naturaleza del defecto.

Para dar mayor definición a las frecuencias relacionadas con los cojinetes de rodamiento en los casos en los que exista una elevada vibración de fondo, pueden aplicarse beneficiosamente técnicas de procesamiento tales como el promediado coherente, la reducción de ruido o la sustracción espectral. Otra técnica es el análisis de la envolvente que se genera por el rectificado y suavizado de señales de vibración filtradas con un filtro pasa alto (o con un filtro pasa banda en el rango de altas frecuencias). Así, se suprime la vibración de fondo de baja frecuencia y se incrementa significativamente la sensibilidad para pequeños pulsos repetidos.

Una variante útil del análisis espectral es considerar las bandas laterales (suma y diferencia de frecuencias) de las frecuencias características fundamentales del cojinete de rodamiento en lugar de las propias frecuencias características. Aunque se usa principalmente para detectar defectos en engranajes, el análisis por Cepstrum (definido como "el espectro de potencia del logaritmo del espectro de potencia") puede ser aplicado para identificar el efecto de las bandas laterales.

## **E.3 Técnicas de impulsos de choque**

En el mercado están disponibles instrumentos que se basan en el hecho de que los defectos en los cojinetes de rodamiento generan pulsos cortos, usualmente denominados impulsos de choque.

Debido a la agudeza de estos impulsos de choque, éstos contienen componentes a muy alta frecuencia. Los instrumentos detectan estas componentes de alta frecuencia y las procesan utilizando técnicas propias para formar un valor que puede estar relacionado con la condición del cojinete de rodamiento.

Una técnica alternativa es el análisis espectral de envolvente del impulso de choque.

## **E.4 Técnicas alternativas**

Existen varias técnicas disponibles que permiten revelar problemas en los cojinetes de rodamiento, independientemente de cualquier medición de vibración. Estas técnicas incluyen el análisis de ruido, la termografía y la ferrografía, pero ninguna ha sido exitosa en todos los casos y sólo son aplicables en algunas ocasiones.

**Bibliografia**

- [1] ISO 2954:1975, Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery – Requirements for instruments for measuring vibration severity.
- [2] ISO 7919-2: 1996, Mechanical vibration of non-reciprocating machines – Measurements on rotating shafts and evaluation criteria – Part 2: Large land-based steam turbine generator sets.
- [3] ISO 7919-3: 1996, Mechanical vibration of non-reciprocating machines – Measurements on rotating shafts and evaluation criteria – Part 3: Coupled industrial machines.
- [4] ISO 7919-4: 1996, Mechanical vibration of non-reciprocating machines – Measurements on rotating shafts and evaluation criteria – Part 4: Gas turbine sets.