



Normativa sobre Vibraciones



DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA MECÁNICA,
ENERGÉTICA
Y DE MATERIALES

TEMA 7 – NORMATIVA SOBRE VIBRACIONES



7.1 Introducción

Una buena norma debe representar una opinión consensuada de un número importante de usuarios, debe ser de fácil comprensión, fácil de usar y no contener ambigüedades. Toda norma debe de contener aquella información que permita comparar, con criterios consensuados, procedimientos habituales de medida y evaluación de datos. En este sentido, los objetivos a alcanzar por una norma pueden ser, entre otros:

- Establecer criterios para la clasificación del rendimiento de un equipo o material.
- Proporcionar una base para la comparación de las cualidades de mantenimiento de los componentes o piezas de un equipo del mismo tipo.
- Examinar un equipamiento o instalación cuyo funcionamiento continuado es preciso para asegurar la seguridad industrial o pública.
- Establecer una base a partir de la cual llevar a cabo la selección de equipos o materiales.
- Determinar procedimientos para la calibración de equipos.

Así, algunas normas establecen clasificaciones para los equipos indicando cómo han de llevarse a cabo las medidas y cómo han de analizarse los datos obtenidos; definiendo, del mismo modo, las condiciones de operación del equipo durante el procedimiento de ensayo.

En este capítulo, se va a hacer mención principalmente a la normativa relacionada con la vibración en máquinas y sus posibles clasificaciones. En general, no se van a introducir otros posibles campos como podrían ser:

- Normas para la calibración de transductores.
- Normas para el diseño de máquinas de ensayo por impacto.
- Normas asociadas a procedimientos de ensayo para la caracterización de materiales elastómeros empleados en dispositivos de aislamiento de vibraciones e impactos (normas de la ASTM – American Society for Testing and Materials).
- Normas para la evaluación, ensayo y uso de máquinas de equilibrado.
- Normas relativas a los métodos de ensayo y caracterización de materiales de protección para embalajes.
- Normas relativas a los efectos de los impactos y las vibraciones en el hombre.



7.2 Tipos de normas

Atendiendo al ámbito de desarrollo y de aplicación pueden distinguirse los siguientes tipos de normas:

- **Normas Internacionales (ISO – International Standards Organization).** Se consideran de máxima prioridad en transacciones internacionales, siendo en la práctica el punto de partida para valorar la severidad de vibraciones. El principal inconveniente que presentan dichas normas es su carácter general.
- **Normas Europeas (EN).** Dentro del ámbito de la Unión Europea, las normas o directrices europeas van constituyendo en los últimos años la referencia a la que adecuar las correspondientes Normas de carácter nacional. Así, es habitual que las mismas incorporen en su preámbulo una afirmación del tipo:

"Esta norma europea deberá recibir el carácter de norma nacional, bien por la publicación de un texto idéntico, bien por ratificación lo más tarde en enero de 1998 y las normas Internacionales en contradicción con ella deberán ser retiradas lo más tarde en enero de 1998".

- **Normas Nacionales (UNE).** Por ejemplo, la norma UNE 20-180-86, que se comentará posteriormente. Esta norma debería ser la más utilizada para determinar la severidad de la vibración en un determinado tipo de máquinas, aunque se considera más como recomendación que como mandato legal.
- **Recomendaciones y guías de los fabricantes.** Son recomendaciones de los fabricantes sobre los niveles de vibración permisibles por sus equipos. En la mayor parte de los casos, se limitan al área de la turbomaquinaria, aunque hay una gran tendencia a exigir este tipo de información al fabricante cada vez que se adquiere un equipo crítico.
- **Normas internas.** Resulta recomendable desarrollar normativas internas propias de vibraciones por ser las que mejor se adaptan a los equipos tipo de cada planta productiva. Esta es una de las tareas más difíciles dentro del Mantenimiento Predictivo, pero se ve recompensada a medio plazo por los excelentes resultados obtenidos.



7.3 Tipos de maquinaria

Desde el punto de vista de la medida y evaluación de la vibración, las máquinas pueden subdividirse básicamente en cuatro categorías:

- **Máquinas de movimiento alternativo con componentes tanto rotativos como alternativos** (motores diesel y ciertos tipos de bombas y compresores). En estos casos, la vibración se mide normalmente en la estructura principal de la máquina a bajas frecuencias.
- **Máquinas rotativas con rotores rígidos** (ciertos tipos de motores eléctricos, bombas monoetapa y bombas de baja velocidad). La vibración habitualmente se mide en la estructura principal de la máquina (tapas de cojinetes o soportes) donde los niveles de vibración resultan indicativos de las fuerzas de excitación generadas en el rotor como consecuencia de desequilibrios, rozamientos, deformaciones térmicas, vórtices y otros tipos de excitación.
- **Máquinas rotativas con rotores flexibles** (grandes generadores de turbina de vapor, bombas multietapa y compresores). La máquina puede vibrar de acuerdo con más de un modo de vibración según pasa por una o más de sus velocidades críticas hasta alcanzar la velocidad correspondiente al régimen de servicio. En este tipo de máquinas, la medida de la amplitud de vibración en un elemento de la estructura puede no ser indicativa del estado vibracional del rotor. Por ejemplo, un rotor flexible puede experimentar desplazamientos en vibración de gran amplitud que den lugar a un rápido fallo de la máquinas, aunque el nivel de vibración medido en la tapa del cojinete resulte ser muy pequeño. En estos caso, por tanto, puede resultar esencial medir directamente la vibración en el eje.
- **Máquinas rotativas con rotores semirígidos** (turbinas de vapor de baja presión, compresores de flujo axial y ventiladores). En este tipo de máquinas, el tipo de rotor flexible que les caracteriza permite que la medida de amplitud de vibración en la tapa del cojinete resulte indicativa de la vibración del eje.



7.4 Normas sobre la instrumentación y sistemas de medida

Estas normas se refieren a las características de los equipos y sistemas de medida y adquisición, analizadores de vibraciones y sensores, empleados en la medida y análisis de vibraciones. Engloban aspectos muy diversos como calibración, pruebas de seguridad, agitación y temperatura, etc. Al mismo tiempo, es importante destacar el hecho de como hay que cuidar particularmente el aspecto de los sensores, si se piensa utilizar el aparato en zonas potencialmente explosivas (es decir, en estos casos, tanto el aparato como el sensor han de ser intrínsecamente seguros). Algunas de las normas más habituales que suelen cumplir los aparatos y sensores de medida pueden ser las denominadas como: IEC, MIL y CISPR.

Entre las normas nacionales (UNE) que hacen referencia a estos aspectos, se pueden destacar las siguientes:

- **UNE 21 328 75 (1)** "*Características relativas a los transductores electromecánicos destinados a la medida de choques y vibraciones*".
- **UNE 21 328 75 (2)** "*Clases de captadores de vibraciones y elementos sensibles empleados en estos captadores*".
- **UNE 95 010 86** "*Vibraciones y choques, terminología*".

A su vez, entre las normas ISO cabe mencionar la **ISO 2954 "Vibración mecánica en maquinaria rotativa y alternativa – Requerimientos para los instrumentos de medida de la severidad de vibración"**.

No obstante, es importante constatar como un número importante de aparatos de medida de vibraciones no cumple, en general, ninguna norma internacional. En la mayor parte de los casos, se confía en el renombre de ciertas marcas como garantía suficiente. Sin embargo, el cumplimiento de las normas de aparatos puede ser punto de conflicto en los peritajes.



7.5 Normas y guías sobre la severidad de las vibraciones

A la hora de llevar a cabo una clasificación de la severidad de la vibración en una máquina, la variable del movimiento a considerar (desplazamiento, velocidad o aceleración de la vibración) depende del tipo de norma y del rango de frecuencias a analizar, amén de otros factores. Por ejemplo:

- El análisis del estado vibracional de una máquina en el rango de 10 a 1.000 Hz, se suele llevar a cabo a menudo en función de la velocidad de vibración, al resultar un parámetro prácticamente independiente de la frecuencia en este rango, lo que facilita el llevar a cabo una medida sencilla de la severidad de las vibraciones en una máquina.
- Cuando se trata de analizar un movimiento armónico simple, puede llevarse a cabo el estudio midiendo valores pico a pico, o valores rms, del desplazamiento en vibración. Sin embargo, para máquinas cuyo movimiento es más complejo, el uso de estos dos índices da lugar a resultados claramente diferentes debido al distinto peso aportado por los armónicos de más alta frecuencia.
- En máquinas rotativas con velocidad de giro dentro del rango de 600 a 12.000 RPM, el valor rms de las amplitudes de la velocidad de vibración suele corresponderse bastante bien con el nivel de severidad de la vibración. Así, la International Standards Organization (**ISO**) define como "**severidad de la vibración**" el mayor valor rms de la amplitud de velocidad de vibración obtenido en la banda de frecuencia 10 – 1.000 Hz y medido en unos puntos preestablecidos de la estructura (normalmente medidas triaxiales en la tapa de los cojinetes o en los soportes).

Por lo tanto, por regla general, las normas de severidad de vibraciones de maquinaria se basan en dos parámetros de la vibración: amplitud y frecuencia. A continuación, se van a comentar algunas de ellas y su aplicación a los diferentes tipos de maquinaria establecidos anteriormente.

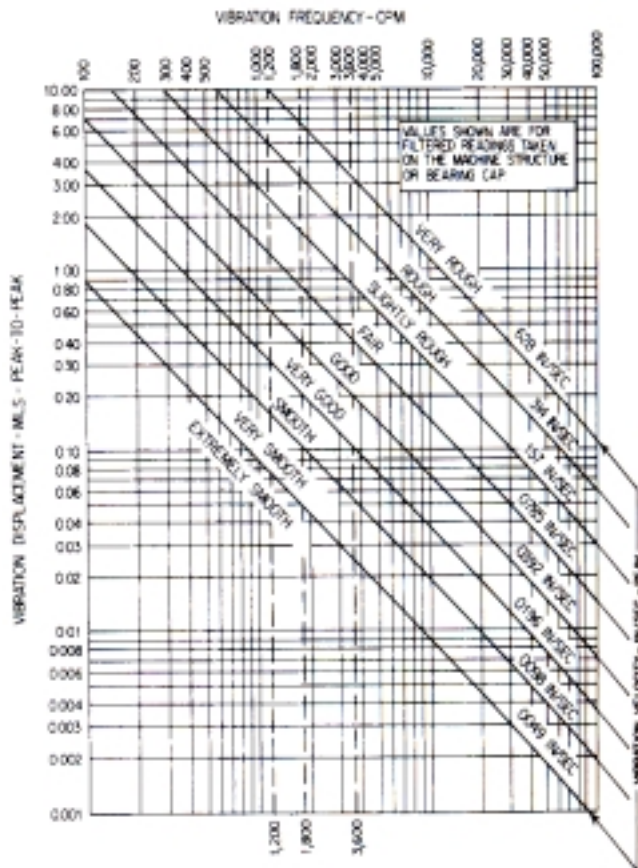


CARTA DE RATHBONE

Es la primera guía (no norma) de amplia aceptación en el ámbito industrial. Fue desarrollada en los años treinta y perfeccionada posteriormente. La Carta dispone de dos escalas logarítmicas: frecuencial en hercios (Hz) y amplitudes en desplazamiento (Pico), mediante las que se podrá determinar directamente la severidad de la vibración.

Las principales limitaciones de dicha carta son las siguientes:

- No tiene en cuenta el tipo de máquina, la potencia y la rigidez de los anclajes.
- La carta es aplicable solamente a los equipos rotativos y no a los alternativos o a otros sistemas industriales.



Carta Rathbone

- Cuanto mayor es la frecuencia, la amplitud de vibración en desplazamiento tiene que ser menor para que se conserve la misma severidad. Es decir, si un equipo vibra a 300 RPM con 100 micras P-P, la severidad es "buena", pero si la misma amplitud corresponde a una frecuencia de 4.000 CPM, entonces la severidad es "muy severa". La vibración a baja frecuencia es menos peligrosa, que la vibración a alta frecuencia, de ahí que las averías de engranajes y rodamientos, que se producen generalmente a alta frecuencia, sean muy peligrosas. Este es el motivo por el que las amplitudes de baja frecuencia se miden en desplazamientos y las de alta frecuencia, en velocidad o aceleración. La carta de Rathbone fue creada para máquinas de bajas RPM y hoy se considera obsoleta.



NORMAS ISO

La normalización internacional (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION) sobre la severidad de vibraciones de máquinas tiene una extensa gama de normas, entre las cuales pueden citarse:

- **ISO 2372-1974. “Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s. Bases para la especificación de estándares de evaluación”.**

Es aplicable a máquinas rotativas con rotores rígidos y a máquinas rotativas con rotores flexibles en los que la medida de vibración en la tapa del cojinete resulta indicativa del comportamiento vibracional de eje.

Sólo estudia vibración global, sin bandas de frecuencias.

Los datos que se requieren para su aplicación son el **nivel global de vibración en velocidad - valor eficaz RMS**, en un rango de frecuencia entre 10 y 1.000 Hz (severidad de la vibración, según ISO). Por ello, cuando se trabaja en mantenimiento predictivo haciendo análisis por bandas, puede resultar muy útil definir siempre una **banda ISO de 10 Hz a 1KHz**, de cara a tener una referencia para posibles informes o reclamaciones.

El análisis de este rango de frecuencias permite incluir, para estas velocidades de operación, las acusas más comunes de vibración en máquinas rotativas:

- Excitaciones de carácter asíncrono debidas a rozamientos.
- Desequilibrio del rotor.
- Excitaciones de carácter eléctrico y sus armónicos.
- Armónicos de excitaciones asíncronas del rotor.

De cara al establecimiento de la **severidad de vibración admisible**, se distinguen varias clases de máquinas rotativas:

- **CLASE I** – Componentes individuales, totalmente conectados al conjunto de la máquina en condiciones normales de operación. Por ejemplo, pequeños motores eléctricos hasta 15 Kw.
- **CLASE II** – Máquinas de tamaño medio. Por ejemplo, motores eléctricos de 15 a 75 Kw o hasta 300 Kw en motores con cimentación especial.
- **CLASE III** – Motores principales grandes, con cimentación rígida y pesada.
- **CLASE IV** - Motores principales grandes montados sobre cimentación blanda y ligera. Por ejemplo, Turbomaquinaria (equipos con RPM > velocidad crítica).



El criterio de severidad en vibración admisible para cada una de las CLASES de máquinas mencionadas, es el reflejado en la Tabla:

RMS velocity ranges of vibration severity		Vibration severity* for separate classes of machines			
mm/sec	in./sec	Class I	Class II	Class III	Class IV
0.28	0.01	A	A	A	A
0.45	0.02				
0.71	0.03	B	B	B	A
1.12	0.04				
1.8	0.07	C	C	C	B
2.8	0.11				
4.5	0.18	D	D	D	C
7.1	0.28				
11.2	0.44	D	D	D	D
18	0.71				
28	1.10				
45	1.77				

* The letters A, B, C, and D represent machine vibration quality grades, ranging from good (A) to unacceptable (D).

Como puede observarse en la tabla, la **severidad de vibración** se divide en cuatro rangos: A-Buena, B-Satisfactoria, C-Insatisfactoria o D-Inaceptable. Para utilizar la norma **ISO 2372**, basta con clasificar la máquina en estudio dentro de la clase correspondiente y, una vez obtenido el valor global (RMS) de vibración entre 600 y 60.000 CPM, localizar en la tabla la zona en la que se encuentra. La clasificación de la máquina se llevará a cabo en base a una serie de consideraciones:

- El tipo y tamaño de la máquina.
- El tipo de servicio que la misma va a proporcionar o proporciona.
- El sistema de soporte de la máquina.
- El efecto de la vibración en la máquina sobre el entorno de la misma (instrumentación, equipos adyacentes, personas, ...)

En general, se suele considerar que la severidad de vibración de la máquina se mantiene invariable si presenta siempre el mismo valor RMS de amplitud de velocidad de vibración en el rango de frecuencias 10 – 1.000 Hz.

- **ISO 3945. “Medida y evaluación de la severidad de vibración en grandes máquinas rotativas, in situ; velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s”:**

Esta norma, como su mismo título indica, permite clasificar la severidad de vibración de grandes máquinas rotativas “in situ”, para velocidades de operación también entre 600 y 1.200 RPM, mediante la Tabla de la página siguiente. Se aplica a los grandes motores principales, Clases III y IV definidas arriba.



rms velocity vibration severity		Support classification	
mm/sec	in./sec	Rigid supports	Flexible supports
0.46	0.018	Good	Good
0.71	0.028		
1.12	0.044		
1.8	0.071	Satisfactory	Satisfactory
2.8	0.11		
4.6	0.18	Unsatisfactory	Unsatisfactory
7.1	0.28		
11.2	0.44	Unacceptable	Unacceptable
18.0	0.71		
28.0	1.10		
46.0	1.80		
71.0	2.80		

En este caso, la clasificación de la severidad de vibración depende de las características de flexibilidad o rigidez del sistema soporte que presenta la máquina:

- Se dice que los soportes son flexibles si la frecuencia fundamental de la máquina sobre dichos soportes es menor que la principal frecuencia de excitación.
 - Los soportes se dicen rígidos si la frecuencia fundamental de la máquina sobre los mismos es menor que la principal frecuencia de excitación.
- **ISO 10816. “Vibración mecánica. – Evaluación de la vibración en una máquina mediante medidas en partes no rotativas”.**

Es una normativa más reciente que las anteriores (de los 90). Recoge una serie de normas, incluidas en la Tabla siguiente, que describen los procedimientos para la evaluación de la vibración en máquinas en base a medidas realizadas en partes no rotativas de las mismas.

Standard	Guidelines for
Part 1 ^s	General procedures for various classes of machines, based on measurements made on nonrotating parts
Part 2 ^s	Land-based steam-turbine sets in excess of 50 megawatts
Part 3 ^s	Coupled industrial machines with nominal power above 30 kilowatts; speeds between 120 and 15,000 rpm
Part 4 ^s	Gas turbine-driven sets excluding aircraft derivative
Part 5 ^s	Hydraulic machines with nominal power above 1 megawatt; speeds between 120 and 1800 rpm

Cada una de las partes de esta norma proporciona un estándar individual para una serie de máquinas y define información específica y criterios aplicables únicamente a esas máquinas.



El criterio general relaciona el monitorizado en condiciones de operación y el ensayo de aceptación de la máquina; y se expresa tanto en términos de magnitud de vibración como de variación en dicha magnitud. Es decir, no hace referencia sólo a valores absolutos, sino también a valores relativos, a variaciones y tendencias.

No sólo habla de velocidad, sino también de aceleración y desplazamiento.

- **ISO 7919. “Vibración mecánica de máquinas no alternativas – Medidas en ejes rotativos y evaluación”**

Una máquina rotativa que tiene una carcasa relativamente rígida y/o pesada en comparación con su masa rotativa, a menudo puede llegar a considerarse como que tiene un eje rotor flexible.

En tal caso, las condiciones de vibración han de ser evaluadas con un mayor grado de sensibilidad si las medidas son llevadas a cabo sobre los elementos rotativos y no sobre los componentes estáticos de la máquina.

Para este tipo de máquinas resulta preferible aplicar la normativa recogida en la serie de normas englobada por esta ISO 7919 y que se reflejan en la Tabla siguiente, antes que considerar la ISO 2372 o la ISO 3945. Estas dos últimas pueden no caracterizar adecuadamente las condiciones de funcionamiento de la máquina; aunque la realización de las medidas de acuerdo con lo establecido en estas dos normas sí pueden resultar útiles.

Standard	Guidelines for
Part 1 ⁹	General procedures for various classes of machines
Part 2 ¹⁰	Large land-based steam, turbine-generating sets
Part 3 ¹¹	Coupled industrial machines with fluid bearings
Part 4 ¹²	Industrial gas turbines with power outputs greater than 3 megawatts
Part 5 ¹³	Hydraulic machine sets with fluid-film bearings with power outputs above 1 megawatt

- **ISO 10817-1. “Sistemas de medida de vibración en ejes rotativos, Parte 1: Señal relativa y absoluta de la vibración radial de ejes rotativos”.**

En el caso de motores eléctricos y generadores, las normas de la **ISO**, la **ANSI** (American National Standards Institute) la **NEMA** (National Electrical Manufacturers Association) y la **API** (American Petroleum Institute) establecer una serie de criterios de clasificación para los niveles de vibración admisibles en motores eléctricos.

Estos sistemas de clasificación no son iguales en todos los casos. Algunos están basados en el desplazamiento en vibración del eje PICO a PICO, mientras que otros utilizan bien el valor RMS o el valor PICO de la amplitud de vibración en



velocidad medida sobre la estructura (sobre los alojamientos de los cojinetes o los soportes), como es el caso de esta norma ISO 10817-1.

En cualquier caso, en cada norma se especifica las condiciones de ensayo y el procedimiento a seguir, incluido el montaje para el soporte de la máquina, la instrumentación y el método de ensayo.

- **ISO 2373. “Vibración mecánica en cierta maquinaria eléctrica rotativa con alturas de eje entre 80 y 400 mm – Medida y evaluación de la severidad de vibración”.**

Esta norma constituye una adaptación especial de la ISO 2372 para motores eléctricos, y se aplica a motores de corriente alterna trifásica y a motores de corriente continua con alturas de eje (distancia vertical entre la base del motor y la línea central del eje) entre 80 y 400 mm.

En este caso, el criterio de severidad de vibración (el mismo que el de la ISO 2372) se toma en términos del valor RMS de amplitud de vibración en velocidad, en el rango de 10 a 1.000 Hz, cuando la medida se lleva a cabo con una instrumentación que cumple los requerimientos establecidos por la ISO 2954.

Las medidas se realizan con la máquina suspendida libre (por ejemplo, suspendida o montada sobre un soporte elástico de muelles o material elastomérico). El motor opera a la frecuencia nominal (para los motores AC) y a su velocidad nominal. Cuando se trata de máquinas que disponen de varias velocidades o velocidades variables, los ensayos son llevados a cabo a diferentes velocidades de operación.

Salvo que se diga lo contrario, las medidas de la severidad de vibración deben de realizarse sin carga de operación y a la temperatura alcanzada por el motor después de un periodo suficiente de operación en situación de no carga.

La tabla siguiente establece los límites recomendados de la severidad en vibración para varios tamaños de motor.

Quality grade	Speed, rpm	Velocity amplitude (maximum rms values) for the following shaft heights h , in mm*					
		80 < h < 132		132 < h < 225		225 < h < 400	
		mm/s	in./sec	mm/s	in./sec	mm/s	in./sec
N (normal)	600 to 3,600	1.8	0.071	2.8	0.110	4.5	0.177
R (reduced)	600 to 1,800	0.71	0.028	1.12	0.044	1.8	0.071
	>1,800 to 3,600	1.12	0.044	1.8	0.071	2.8	0.110
S (special)	600 to 1,800	0.45	0.018	0.71	0.028	1.12	0.044
	>1,800 to 3,600	0.71	0.028	1.12	0.044	1.8	0.071

* A single set of values, such as those applicable to the 132- to 225-mm shaft height, may be used if shown by experience to be required. The shaft height is the vertical distance from the base of the motor to the centerline of the shaft.



DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA MECÁNICA,
ENERGÉTICA
Y DE MATERIALES

TEMA 7 – NORMATIVA SOBRE VIBRACIONES



7.6 Normativa de carácter nacional

Además de las normas internacionales mencionadas en el apartado anterior, hay que volver a recordar la existencia de normas españolas como la **UNE 20-180-86** "*Vibraciones Mecánicas de determinadas Máquinas Eléctricas Rotativas de Altura de Eje Igual o Superior a 56 mm*", basada en la norma **ISO 2372**, antes comentada.

En aquellos casos en los que se dispongan de sistemas de motorizado en continuo de maquinaria rotativa con sensores de proximidad (sin contacto), es conveniente consultar también otras normas como la **API** (Americam Petroleum Institute), en particular la norma **API 670** y la norma **VDI 2056**.

También hay que hacer obligada mención a toda aquella normativa que está surgiendo en los últimos años en base a la obligada adecuación de carácter nacional de las sucesivas Normas y Directivas Europeas que van siendo desarrolladas por el **Comité Europeo de Normalización (CEN)**; ya que, de acuerdo con las Reglas internas del **CEN**, los siguientes países están obligados a adoptar estas normas europeas: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

Se recogen a continuación de forma resumida algunos de los aspectos más importantes de tres recientes normas UNE surgidas de las normas europeas elaboradas por el **Comité Técnico CEN/TC 231 "Vibraciones y choques mecánicos"**, cuya Secretaría desempeña DIN y por el **Comité Técnico AEN/CTN 81 "Prevención y Medios de Protección Personal y Colectiva en el Trabajo"**, cuya Secretaría desempeña AMYS-INSHT:

- **UNE-EN 12096** (1997). Vibraciones mecánicas. Declaración y verificación de los valores de Emisión vibratoria.
- **UNE-EN 1299** (1997). Vibraciones y choques mecánicos. Aislamiento de las vibraciones de las máquinas. Información para la aplicación del aislamiento en la fuente.
- **UNE-CR 1030-1** (1995). Vibraciones mano-brazo. Directrices para la reducción de los riesgos por vibraciones. Parte 1: Métodos de ingeniería para el diseño de máquinas.



UNE-EN 12096

Los descriptores que encabezan esta norma son: Máquina, seguridad, vibración, medida, intensidad vibratoria, valor máximo, verificación, análisis estadístico, ergonomía, cuerpo humano. Constituye la versión española de la Norma Europea aprobada por CEN el 03-07-1997 y lleva por título: **Vibraciones mecánicas. Declaración y verificación de los valores de emisión vibratoria.**

En la **INTRODUCCIÓN** a la norma, se destaca el hecho de como los usuarios, diseñadores, constructores y autoridades tienen la necesidad de tener información sobre la emisión de vibraciones generadas por las máquinas, por ejemplo para cumplir con las obligaciones descritas en las Directivas Europeas 89/392/CEE y 91/368/CEE sobre máquinas. Esta información es necesaria para comparar las emisiones de vibraciones de diferentes productos y para evaluar las vibraciones frente a los requisitos de vibraciones.

Para que los valores de emisión de vibraciones sean útiles, son necesarios métodos uniformes que permitan conseguir los **OBJETIVOS** siguientes:

- La medida de los valores de vibración.
- La determinación del valor declarado de emisión de vibración.
- La presentación del valor declarado de emisión de vibración.
- La verificación del valor declarado de emisión de vibración.

En este sentido, esta norma establece los requisitos para la declaración y la verificación de los valores de emisión de vibraciones:

- Proporciona indicaciones sobre la declaración de los valores de emisión de vibración.
- Describe la información sobre las vibraciones y el producto a incluir en los documentos técnicos suministrados por el fabricante a los usuarios.
- Especifica el método para verificar los valores declarados de emisión de vibraciones, establecidos por el fabricante.

Los valores a utilizar para la declaración de emisión de vibraciones son valores eficaces (rms) de aceleración ponderada, medidos, preferentemente, según un código de ensayo de vibraciones. Los métodos estadísticos utilizados para la declaración y la verificación son equivalentes a los dados en acústica (Norma EN 27574).

La norma incorpora, a su vez, disposiciones de **OTRAS REGLAMENTACIONES**.

- **ENV 25349** - Vibraciones mecánicas. Directrices para la medida y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. (ISO 5349: 1986)



- **ENV 28041** - Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida. (ISO 8041:1990 + corrigendum 1:1993)
- **ISO 2631-1** - Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo completo. Parte 1: Requisitos generales.

Para los fines de la norma se aplican una serie de **DEFINICIONES** agrupadas en dos categorías: definiciones generales y definiciones ligadas a las vibraciones.

- Definiciones generales:

Máquina: Conjunto de piezas u órganos unidos entre ellos, de los cuales uno por lo menos habrá de ser móvil y, en su caso, de órganos de accionamiento, circuitos de mando y de potencia, etc., asociados de forma solidaria para una aplicación determinada, en particular para la transformación, tratamiento, desplazamiento y acondicionamiento de un material. También se considerará como máquina a un conjunto de máquinas que, para llegar a un mismo resultado, están dispuestas y accionadas para funcionar solidariamente.

Familia de máquinas: Máquinas de tipo o diseño similar, destinadas a cumplir las mismas funciones.

Conjunto (lote) de máquinas: Grupo de máquinas de una misma familia destinadas a cumplir la misma función, producido en cantidad, fabricado según las mismas especificaciones técnicas y caracterizado por el mismo valor declarado de emisión de vibraciones. El lote puede ser, bien una producción en serie completa, o bien una de sus fracciones.

Modo de funcionamiento: Condición bajo la cual la máquina cumple la función para la que ha sido concebida, pudiendo ser simulada artificialmente, como se especifica en una norma correspondiente.

Código de ensayo de vibraciones: Norma relativa a una familia, subfamilia o tipo específico de máquinas. Proporciona toda la información necesaria para efectuar de una manera eficaz la determinación de las características de emisión de vibraciones, precisa para la declaración y la verificación según esta norma europea. Asegura la compatibilidad y permite la comparación de los resultados del ensayo.

- Definiciones ligadas a las vibraciones:

Aceleración: Valor eficaz (rms) de la aceleración de la vibración.

Aceleración ponderada mano-brazo, $a_{h,w}$: Aceleración en el punto de medida determinada por medidas utilizando un filtro de ponderación conforme a la Norma ENV 25349. Se expresa en m/s^2 .



Aceleración ponderada de cuerpo completo, a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} y a_w : Aceleración en el punto de medida determinada por medidas utilizando filtros de ponderación conformes a las Normas ENV 28041 e ISO 2631-1. Se expresa en m/s^2 .

Valor medio de emisión de vibraciones, a : Valor que representa el valor medido de emisión de vibraciones de una sola máquina o el valor medio obtenido de una muestra razonablemente grande de un lote de máquinas. Se expresa en m/s^2 . El valor medido de emisión de vibraciones no se redondea.

Incertidumbre, K : Valor que representa la incertidumbre de la medida del valor medido de emisión de vibraciones, a , y también, en el caso de lotes, las variaciones en la producción de las máquinas. Se expresa en m/s^2 .

Valor declarado de emisión de vibraciones, a y K : Valor medido de emisión de vibraciones, a , y su incertidumbre asociada, K . La suma de a y K indica el límite por debajo del que se encuentra el valor de vibraciones de una sola máquina y/o una amplia proporción especificada de valores de vibraciones de un lote de máquinas, cuando éstas son nuevas.

Declaración de emisión de vibraciones: Información sobre la emisión de vibraciones generadas por una máquina, dada por el fabricante o el suministrador en los documentos técnicos o en cualquier otro documento, relativa a los valores de emisión de vibraciones. La declaración de emisión de vibraciones se presenta como un valor con dos números.

La **DECLARACIÓN DEL VALOR DE EMISIÓN DE VIBRACIONES**, a y K , de las máquinas es responsabilidad única del fabricante. Los valores declarados de emisión de vibraciones de una máquina debe determinarse según el modo de funcionamiento descrito en el código de ensayo de vibraciones correspondiente. En ausencia de código de ensayo de vibraciones, se deberá utilizar el modo de funcionamiento más representativo.

En el caso de que los datos requeridos para la determinación de K no estén disponibles en otras normas aplicables a la máquina en particular, puede utilizarse como directriz para estimar la incertidumbre K la tabla siguiente.

Valor medido, a		Incertidumbre, K
Vibraciones mano-brazo	Vibraciones cuerpo completo	
$2.5 m/s^2 < a \leq 5 m/s^2$	$0.5 m/s^2 < a \leq 1 m/s^2$	0.5 a
$a > 5 m/s^2$	$a > 1 m/s^2$	0.4 a

Las **DIRECTRICES PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DECLARATIVOS DE EMISIÓN DE VIBRACIONES** de máquinas permiten que los valores declarados puedan verificarse conforme a los procedimientos establecidos en la norma. En este sentido, los valores de emisión de vibraciones, a , se miden para cada modo de funcionamiento especificado en el código de ensayo de vibraciones para cada tipo de



máquina, o, si no existe tal código, el modo de funcionamiento seleccionado a partir del método básico, por ejemplo de las Normas EN 28662-1 ó EN 1033 para las vibraciones mano-brazo o de la Norma EN 1032 para las vibraciones de cuerpo completo.

El fabricante declara el valor de emisión de vibraciones, **a** y **K** de una sola máquina o el de una producción en serie de máquinas, basado en las medidas y en el conocimiento de la precisión con que pueden efectuarse las medidas. Para una producción en serie de máquinas, el fabricante debería tener en cuenta la desviación típica de producción.

▪ **Determinación del valor declarado de emisión de vibraciones para una sola máquina:**

Se determina el valor declarado de emisión de vibraciones, **a** y **K**, para una máquina a partir del valor medido de emisión de vibraciones, **a**, y con la relación siguiente:

- **a** es el valor medido de emisión de vibraciones para la máquina
- $K = 1.65\sigma_R$

donde σ_R es la desviación típica de reproducibilidad como se especifica en el código de ensayo de vibraciones. Si no hay código de ensayo de vibraciones o si el código de ensayo de vibraciones no especifica σ_R , entonces se utiliza como estimación:

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_{op}^2 + \sigma_{rec}^2}$$

donde σ_{rec} y σ_{op} son las desviaciones típicas de los valores registrados a partir del mismo operador y de los diferentes operadores, respectivamente.

▪ **Determinación del valor declarado de emisión de vibraciones para un lote de máquinas:**

Se determina el valor declarado de emisión de vibraciones, **a** y **K** para el lote de máquinas, donde **a** es la estimación del valor medio y **K** es igual a 1,5 veces la desviación típica total:

$$K = 1.5\sigma_t$$

Este valor de **K** se basa en la Norma EN 27574-4 y resulta de aceptar un riesgo de rechazo del 5% para una muestra de tres máquinas.

La desviación típica total se compone de la desviación típica de reproducibilidad (σ_R) y de la desviación típica de producción (σ_p). La primera viene dada por el código de ensayo de vibraciones correspondiente. La determinación de la desviación típica de producción debe efectuarse por el fabricante, en función de su experiencia de la variación de producción, o bien puede estimarse, cuando se dispone de una muestra razonablemente grande de tres o más máquinas:



$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}$$

donde "a_i" es el valor medido de emisión de vibraciones de cada máquina en la muestra y " \bar{a} " es el valor medio de la muestra.

A partir de aquí, se calcula la desviación típica total, σ_t :

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_p^2}$$

A partir de aquí, y de acuerdo con lo establecido en esta norma europea, la **PRESENTACIÓN DE LOS VALORES DECLARADOS DE EMISIÓN DE VIBRACIONES** de máquinas que deben darse en los documentos técnicos contiene la información siguiente:

- La identificación del producto con suficiente detalle como para determinar la aplicabilidad de los valores declarados de emisión de vibraciones.
- Las palabras "Valor declarado de emisión de vibraciones en conformidad a la Norma EN 12096" seguido del valor de emisión de vibraciones **a**, y de la incertidumbre, **K**, ambos expresados en m/s², para el modo de funcionamiento descrito en el código de ensayo de vibraciones correspondiente.

La magnitud del valor medido de emisión de vibraciones, **a**, se expresa en m/s² y se presenta con dos cifras y media significativas para los números que comienzan por 1 (por ejemplo 1,20 m/s², 1,45 m/s²); para los otros, es suficiente con dos cifras significativas (por ejemplo 0,9 m/s², 8,9 m/s²).

La magnitud de la incertidumbre, **K**, debe representar el mismo número de decimales que **a**. Se recogen a continuación dos ejemplos de cómo llevar a cabo la declaración de emisión de vibraciones:

- Declaración cuando existe un código de ensayo de vibraciones específico (por ejemplo para los martillos buriladores)

Número del modelo de la máquina, condiciones de funcionamiento y otra información que identifique	
Tipo 990, Modelo 12-UH, 0.6 MPa	
Valor declarado de emisión de vibraciones conforme a la Norma EN 12096	
Valor medido de emisión de vibraciones a	8.0 m/s ²
Incertidumbre K	2.3 m/s ²
Valores determinados conforme a la Norma EN 28662-2	

- Declaración cuando no existe un código de ensayo de vibraciones específico.



Nº del modelo de la máquina, condiciones de funcionamiento y otra información que identifique Tipo 991, Modelo 14-UF, 0.6 MPa
Valor declarado de emisión de vibraciones conforme a la Norma EN 12096 Valor medido de emisión de vibraciones a 3.4 m/s ² Incertidumbre K 1.7 m/s ² Especificación del modo de funcionamiento utilizado: (Por ejemplo: valores determinados cuando la máquina ha sido utilizada para eliminar restos de la soldadura con la ayuda de un útil insertado Z normalizado).

Por otro lado, la **VERIFICACIÓN DE LOS VALORES DECLARADOS DE EMISIÓN DE VIBRACIONES** puede requerirse por dos razones diferentes:

- Verificar el valor declarado de una máquina particular.
- Verificar el valor declarado de un lote o producción en serie de máquinas.

La verificación debe efectuarse por medio de las medidas de las vibraciones según el mismo código de ensayo de vibraciones o por el método básico de medida, y bajo el mismo modo de funcionamiento de la máquina al que se refieren los valores declarados de emisión de vibraciones. Los procedimientos descritos a continuación deben utilizarse para una verificación en condiciones de reproducibilidad (cuando las medidas pueden repetirse con resultados similares en el laboratorio de control y cuando no hay desviaciones sistemáticas entre el laboratorio de ensayo y los laboratorios que ensayan el mismo objeto). Cuando la declaración contiene un solo valor, pueden utilizarse las directrices descritas anteriormente para estimar la incertidumbre, **K**.

- **Verificación para una sola máquina:**

Si se evalúa una sola máquina, el valor declarado de emisión de vibraciones se verifica cuando el valor resultante de emisión de vibraciones resultante es \leq el declarado por el fabricante **+K** (este procedimiento es conforme con el que se describe en la Norma EN 27574-2 para ruido).

- **Verificación para un lote de máquinas:**

Este procedimiento debe utilizarse para verificar el valor declarado de emisión de vibraciones para un lote (o una producción en serie) de máquinas cuando está disponible más de una máquina del lote. En concreto, es necesario un tamaño de muestra de hasta tres máquinas (el procedimiento es conforme con el que se describe en la Norma EN 27574-4 para ruido).

Se determinan los valores **A**, **B** y **C** del valor declarado a partir de **a** y **K**, según:

$$A = a + 0.20K \quad B = a + 1.13K \quad C = a + 0.65K$$



Se mide una máquina elegida aleatoriamente en el lote. El valor resultante de las vibraciones a_1 , se compara con los valores **A** y **B**.

- si $a_1 \leq A$, el valor declarado se verifica para el lote,
- si $a_1 > B$, el valor declarado no se verifica para el lote; el lote se rechaza,
- si $A < a_1 \leq B$, se miden dos máquinas más, elegidas aleatoriamente del lote.

El valor medio de los tres valores resultantes de vibraciones, a_3 , se compara con **C**:

- si $a_3 \leq C$, el valor declarado se verifica para el lote,
- si $a_3 > C$, el valor declarado no se verifica para el lote, el lote se rechaza.

Sin embargo, las máquinas individuales de este lote, sobre las que se han hecho las medidas, se verifican como para una sola máquina cuando cumplen los requisitos del apartado anterior (verificación para una sola máquina).

NOTA - Las constantes utilizadas para la determinación de **A**, **B** y **C** se obtienen a partir del procedimiento de verificación del valor declarado según se describe en los métodos estadísticos para la verificación de niveles de potencia acústica utilizando el método del muestreo doble dado en la norma EN 275764-4.

Posteriormente, la norma UNE-EN 12096 incluye una serie de **ANEXOS** de carácter informativo dedicados a recoger específicamente: definiciones de términos estadísticos, directrices para la declaración de los valores de emisión de vibraciones (ya resumidas anteriormente), ejemplos de declaraciones de emisiones de vibraciones (ídem), directrices para la verificación cuando el valor de emisión de las vibraciones se declara sin la incertidumbre, **K** (ídem) y **BIBLIOGRAFÍA**:

- **EN 1032** - Vibraciones mecánicas. Ensayo de maquinaria móvil a fin de determinar los valores de emisión de vibraciones de cuerpo completo. Generalidades.
- **EN 1033** - Vibraciones mano-brazo. Medida en laboratorio de las vibraciones en la superficie de las empuñaduras de las máquinas guiadas manualmente. Generalidades.
- **EN 27574-2** - Acústica. Métodos estadísticos para la determinación y la verificación de los valores de emisión acústica establecidos para maquinaria y equipos. Parte 2: Métodos para valores establecidos para máquinas individuales. **(ISO 7574-2:1985)**
- **EN 27574-4** - Acústica. Métodos estadísticos para la determinación y la verificación de los valores de emisión acústica establecidos para las máquinas y equipos. Parte 4: Métodos para valores establecidos para lotes de máquinas. **(ISO 7574-4: 1985)**
- **EN 28662-1** - Herramientas mecánicas portátiles de mano. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 1: Generalidades. **(ISO 8662-1:1988)**



- **EN 28662-2** - Herramientas a motor portátiles. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 2: Martillos buriladores y remachadores. (ISO 8662-2: 1992)

La norma concluye con un **ANEXO NACIONAL** en el que se informa de como las normas europeas EN citadas al hablar de “Otras reglamentaciones” y en el anexo de “Bibliografía”, están admitidas como UNE en las fechas que se indican en la tabla siguiente:

Norma EN	Título	Norma UNE
ENV 25349:1992	Vibraciones mecánicas. Directrices para la medida y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano.	UNE-ENV 25349:1996
ENV 28041:1993	Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida.	UNE-ENV 28041:1994
EN 1033:1995	Vibraciones mano-brazo. Medida en laboratorio de las vibraciones en la superficie de las empuñaduras de las máquinas guiadas manualmente. Generalidades.	UNE-EN 1033:1996
EN 27574-2:1988	Acústica. Métodos estadísticos para la determinación y la verificación de los valores de emisión acústica establecidos para maquinaria y equipos. Parte 2: Métodos establecidos para máquinas individuales.	UNE 74105-2:1991
EN 27574-4:1988	Acústica. Métodos estadísticos para la determinación y la verificación de los valores de emisión acústica establecidos para las máquinas y equipos. Parte 4_ métodos para valores establecidos para lotes de máquinas.	UNE 74105-4:1992
EN 28662-1:1992	Herramientas mecánicas portátiles de mano. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 1: generalidades.	UNE-EN 28662-1:1994
EN 28662-2:1994	Herramientas a motor portátiles. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 2: martillos buriladores y martillos remachadores.	UNE-EN 28662-2:1996

UNE-EN 1299

Los descriptores que encabezan esta norma son: Vibración, choque mecánico, aislamiento, aislador de vibraciones, máquina, información, dato, especificación, categoría de calidad, relación cliente-proveedor. Constituye la versión española de la Norma Europea aprobada por el CEN el 29-12-1996 y lleva por título: **Vibraciones y choques mecánicos. Aislamiento de las vibraciones de las máquinas. Información para la aplicación del aislamiento en la fuente.**

Recuerda la **INTRODUCCIÓN** de la norma que el aislamiento de las vibraciones es una medida que permite bien reducir significativamente cualquier transmisión de fuerzas periódicas, aleatorias o de choques entre una máquina y las estructuras de su alrededor, o bien proteger a las personas y máquinas, instrumentos, edificios sensibles de las



vibraciones transmitidas por sus alrededores. En ambos casos, el uso de aisladores crea un sistema masa-muelle cuya respuesta dinámica está influenciada por las características de la fuente de vibraciones, las características dinámicas de la máquina, la estructura en la que está montada y las características de los elementos elásticos y de amortiguamiento.

Con objeto de responder a los requisitos de protección contra vibraciones, la optimización del sistema requiere un conocimiento detallado de todos los factores que influyen en el diseño y en la aplicación eficaz del aislamiento de las vibraciones para una máquina o instalación determinada. Dentro de este contexto, es de primordial importancia el intercambio de información entre el fabricante de la máquina, el suministrador del aislamiento y el usuario.

El **OBJETIVO** de esta norma es proporcionar directrices para asegurar que los fabricantes de las máquinas ofrecen una adecuada información sobre la aplicación del aislamiento vibratorio, con el fin de reducir los riesgos derivados de las vibraciones generadas por sus máquinas. Estas directrices igualmente aseguran que los usuarios proporcionan a los fabricantes de máquinas o, cuando sea necesario, a los suministradores del sistema de aislamiento una información suficiente sobre sus aplicaciones para seleccionar y diseñar de forma óptima el aislamiento vibratorio.

En cuanto a su **CAMPO DE APLICACIÓN**, la norma sólo se refiere al aislamiento de la fuente y, aunque se aplica principalmente a máquinas nuevas, puede también aplicarse a la instalación de máquinas usadas estando dirigida a los fabricantes e instaladores de una máquina como una guía para definir los parámetros necesarios en la selección e instalación del sistema de aislamiento vibratorio a utilizar con la máquina. Puede también ser aplicada por usuarios de máquinas ya instaladas que usen o deseen usar un sistema de aislamiento para solucionar un problema de vibraciones causado por la máquina.

En cualquier caso, no debe considerarse esta norma como un manual para el diseño o instalación de un sistema de aislamiento.

La norma incorpora también disposiciones de **OTRAS REGLAMENTACIONES**:

- **ISO 2041:1990** - Vibraciones y choques. Vocabulario.
- **ISO 7626-1 :1986** - Vibraciones y choques. Determinación experimental de la movilidad mecánica. Parte I.- Definiciones básicas y transductores.

El **OBJETIVO DEL AISLAMIENTO DE LA FUENTE** es proteger la estructura de alrededor de las vibraciones, actuando sobre la instalación de la misma fuente. Un sistema de aislamiento de la fuente puede ser necesario:

- Para la seguridad de los operarios de las máquinas vibrantes.
- Para la seguridad de las personas próximas a las máquinas vibrantes.



- Para la seguridad de las estructuras o edificios donde están los equipos vibrantes.
- Para la seguridad de las personas que se encuentran en los edificios susceptibles de estar sometidos a una intensa excitación vibratoria.
- Cuando se sobrepasan los valores límites de las vibraciones legislados.

Además de las medidas de diseño que permiten reducir los efectos de las vibraciones, debe utilizarse un sistema de aislamiento de la fuente. No obstante, en cuanto a la **APLICABILIDAD DEL AISLAMIENTO DE LAS VIBRACIONES**, ha de tenerse siempre en cuenta que este sistema no debe sustituir a tales medidas. Puede aplicarse:

- Cuando se diseñan o instalan las máquinas vibrantes.
- Cuando se diseñan o modifican los edificios donde están las máquinas vibrantes.

Es necesario realizar un análisis previo del fenómeno vibratorio y de las vibraciones de fondo del entorno. Es importante registrar la variación de las vibraciones en función del tiempo y analizar las frecuencias características durante un tiempo suficiente del ciclo de trabajo de la máquina. El análisis de la respuesta en frecuencia de las estructuras que transmiten y reciben las vibraciones facilitará la elección óptima de las estructuras y evitará la coincidencia entre las frecuencias dominantes de la fuente y las frecuencias propias de estas estructuras.

Deben determinarse las vibraciones de fondo del entorno con el fin de conocer el nivel de vibración intrínseco por debajo del cual normalmente no es necesario ningún aislamiento. Las medidas deben hacerse en condiciones ambientales representativas de la localización de la máquina. Las medidas y el análisis deben ayudar a comprender el origen del problema y a proporcionar, en la medida de lo posible, indicaciones sobre las posibles soluciones. Las medidas se deberían realizar conforme a una norma adecuada, y ésta debería ser identificada.

Con el fin de seleccionar aisladores adecuados e instalar correctamente el aislamiento de la fuente, es necesario un intercambio de información entre el fabricante de la máquina, el suministrador del aislador y el usuario de la máquina. En este sentido, la norma recoge en uno de sus capítulos la **INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO PARA UNA MÁQUINA**. Si el fabricante de la máquina resulta ser también el suministrador del sistema de aislamiento, puede que no toda la información contenida en dicho capítulo sea aplicable; sin embargo, alguna de esta información puede seguir siendo útil cuando se reemplacen algunos de los elementos de la máquina y deberían formar parte del manual de instrucciones.

En este sentido, la selección del sistema de aislamiento deberá considerar no sólo las características estáticas de la máquina sino también sus características dinámicas y las características dinámicas de la estructura de su alrededor (y de otras fuentes).



Información que debe suministrar el fabricante de la máquina

El fabricante debe proporcionar al usuario el máximo de la siguiente información para garantizar una correcta instalación; recurriendo, si es necesario, al suministrador de aislamiento vibratorio. Habrá de proporcionarse información relativa a la máquina y al aislamiento. Por lo que se refiere a los **DATOS FÍSICOS DE LA MÁQUINA** han incluirse:

- **Un plano de la máquina** que incluya:
 - La configuración y la instalación de la máquina y, si es conveniente, la fundación intermedia indicada por el fabricante de la misma.
 - Las dimensiones globales.
 - El peso total, la localización del centro de gravedad y la inercia rotacional.
 - Especificaciones relativas al tamaño de los pernos de anclaje y a las conexiones especiales que sirvan para fijar la máquina. Debe indicarse en el plano, las localizaciones de las fijaciones, taladros roscados, tolerancias y cualquier consideración particular del material.
 - La identificación y dirección de los tres ejes ortogonales con origen en el centro de gravedad de la máquina a aislar, colocada según la orientación elegida.
 - La orientación normal de la máquina con respecto a la vertical. Debe indicarse la dirección de los choques y vibraciones principales y los posibles puntos de montaje de la estructura. Estos puntos frecuentemente determinan el sistema de aislamiento en relación con la orientación, centro de gravedad, etc.
- **Excitación de la vibración.** Para asegurar una instalación y utilización segura de la máquina, debe describirse la excitación en vibración que genera, caracterizada por la fuerza y pares de excitación en función de la frecuencia o del tiempo:
 - Fuerzas y pares inherentes en función de la frecuencia de rotación.
 - Fuerzas y pares residuales en función de la frecuencia de rotación después del equilibrado.
 - Fuerzas y pares originados por las masas alternativas.
 - Acoplamientos del par de reacción.
 - Amplitudes y/o frecuencias del fenómeno de variaciones de presión del gas.
 - Frecuencias de los fenómenos aerodinámicos (por ejemplo en ventiladores).
 - Fuerzas y frecuencias electromagnéticas asociadas con las máquinas rotativas eléctricas o los transformadores.



- **Especificaciones particulares.** Las características particulares de los equipos deben figurar en la descripción de la máquina y en los planos. Entre tales especificaciones particulares están:
 - Las conexiones eléctricas, conductos, canalizaciones o tuberías que puedan modificar la respuesta mecánica del sistema de montaje (tipo, tamaño, rigidez...).
 - Las fuerzas y los momentos aplicados externamente.
 - Las zonas de acceso requeridas.
 - La tolerancia mínima necesaria para la circulación del aire de refrigeración. Debe indicarse en el plano cualquier gradiente de temperatura que podría afectar al funcionamiento del aislador y debe darse el rango de temperatura esperado.
 - Cuando sea necesario, la tolerancia máxima entre el equipo y la fundación.
- **Características eléctricas.** Deben figurar en el plano, en forma de nota, las disposiciones previstas para la puesta a tierra y sus especificaciones aplicables.
- **Especificaciones particulares para la estabilidad mecánica.** Deben darse las especificaciones particulares para la estabilidad mecánica. Por ejemplo, es necesario prestar especial atención a los equipos que posean un centro de gravedad elevado o variable y que estén soportados por aisladores colocados debajo del centro de gravedad o que estén sometidos a empujes laterales no compensados.

Por otro lado, será preciso también incluir la información correspondiente a los **DATOS FÍSICOS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO**, donde cabe diferenciar:

- **Datos de carácter general.** El suministrador del sistema de aislamiento debe proporcionar información detallada de las características del mismo: el tipo de sistema, sus materiales, su peso, sus características de nivelación, la rigidez estática de los aisladores, el peso máximo y mínimo (Newtons) en las condiciones de funcionamiento de la máquina, las dimensiones y localización del aislamiento (por ejemplo un dibujo) y el envejecimiento de los aisladores debido a la carga y al tiempo.
- **Comportamiento dinámico.** El suministrador debe describir el comportamiento dinámico longitudinal y rotacional del sistema de aislamiento, en términos de rigidez dinámica. Deben describirse las condiciones ambientales y el valor de la carga bajo las cuales fueron obtenidos los datos de deformación bajo carga y deben darse las tolerancias. Sin embargo, cuando sea necesario, como alternativa, el suministrador puede describir el comportamiento dinámico mediante las características de



transmisibilidad medidas bajo una configuración de ensayo descrita de forma detallada.

El comportamiento dinámico puede relacionarse con las variaciones de los siguientes parámetros de entrada: frecuencia de resonancia en función de la carga, amplitud, temperatura y amortiguamiento.

En cualquier caso, el suministrador debe describir la eficacia del aislamiento en las tres direcciones principales, indicando las frecuencias aplicables.

- **Durabilidad.** El suministrador debe dar información sobre la durabilidad o mejor sobre el cambio de características físicas como:
 - El límite de duración asociado con las deformaciones y choques repetidos.
 - Cuando sea necesario, los datos de elongación (deformación permanente) y cómo se han obtenido.
 - Los efectos del paso del tiempo debido a un almacenamiento en determinados ambientes, teniendo en cuenta las temperaturas máxima y mínima.
- **Condiciones ambientales.** El suministrador debe proporcionar la siguiente información de los aisladores con el fin de asegurar una utilización correcta:
 - Los límites de temperatura superior e inferior a partir de los cuales el aislador sometido a cargas nominales no ejercerá adecuadamente su función ó sufrirá modificaciones permanentes de sus características.
 - La capacidad del aislador para resistir la corrosión o el deterioro causado por factores como humedad, agua, niebla salina, hongos, ozono, aceites, combustibles, vapores corrosivos, sol, etc.
 - La capacidad para funcionar en condiciones adversas, por ejemplo en una atmósfera cargada de arena o polvo.
 - El ambiente de almacenamiento aceptable.
- **Datos de mantenimiento.** El suministrador debe dar detalles sobre los requisitos de mantenimiento, inspección periódica y servicio.

Información que debe solicitar el fabricante de la máquina al usuario

- **Información técnica sobre la estructura periférica a la máquina.** Debe hacerse una breve descripción para que haya una buena comprensión de las características técnicas de las ubicaciones propuestas. Esta información debería incluir:
 - El tipo de estructura sobre la que debe montarse la máquina (barco, edificio de estructura metálica, edificio de estructura de hormigón, central eléctrica, etc.)



- La localización en la estructura (sala de máquinas, cubierta principal, techo, etc.).
- Los datos de la estructura soporte (naturaleza del suelo, carga permisible de suelo, nivel de la capa freática, frecuencias naturales y movilidad de la estructura soporte, etc.).
- La eficacia del aislamiento o los criterios de aceptación del usuario (el vecindario, por ejemplo un área residencial o áreas industriales, el tipo de máquinas vecinas, por ejemplo máquinas de ensayo, punzonadoras, etc.)
- **Situación de las vibraciones y choques de la estructura periférica.** Antes de instalar la máquina debe describirse la situación de las vibraciones y choques de la estructura periférica en los tres ejes del espacio en base a la amplitud de vibración (desplazamiento, velocidad o aceleración), las frecuencias correspondientes y la duración durante la cual se produjeron. Es necesario el registro en función del tiempo, el análisis espectral y otros parámetros descriptivos.
- **Ambiente climático.** Cuando sea necesario, el usuario debe suministrar la siguiente información sobre el ambiente climático: los límites de temperatura superior e inferior, la humedad, la presencia de agua, arena o polvo, niebla salina, ozono, aceites, disolventes, radiación, etc.

Para terminar, la norma establece una serie de **DIRECTRICES PARA LA VALIDACIÓN DE LA EFICACIA DEL AISLAMIENTO**. Normalmente, el suministrador de máquinas aisladas o de sistemas de aislamiento debe probar la eficacia del aislamiento vibratorio en la estructura de alrededor de la máquina. Esta eficacia debe evaluarse de acuerdo a un método experimental y contractual. Cuando se trata de máquinas fabricadas en serie, tal evaluación debe realizarse bajo condiciones de instalación normalizadas. En este caso, el fabricante debe proporcionar información sobre las condiciones de instalación usadas para la evaluación. Si es posible:

- Debe efectuarse la medida y evaluación de las vibraciones antes de la instalación, como se indicaba anteriormente. Debe hacerse en las posiciones contractuales y en las condiciones ambientales previstas para la futura máquina.
- Debe informarse de las posiciones y de los resultados de la medida.
- Deben comunicarse los valores aceptables al suministrador de la máquina (o al suministrador de la máquina-aislador).
- Deben ser contractuales los valores límites aceptados por el suministrador.
- Después de la instalación, deben efectuarse las medidas en las condiciones y posiciones contractuales de acuerdo al método de medida especificado y al tratamiento y análisis de los resultados definidos.



- Deben compararse los valores medidos con los valores límites contractuales.

En el caso de tratarse de una corrección de una situación ya existente, las medidas se llevan a cabo en las mismas condiciones señaladas arriba para las posiciones determinadas. Estas posiciones deberían ser las correspondientes a los individuos que se encuentran molestos (posición del operador o del trabajador, piso de las oficinas, inmuebles vecinos, etc.). También, como en el caso anterior, deberían definirse contractualmente los valores límites aceptables entre el usuario y el suministrador. Por último, después de realizada la corrección, deberían realizarse las medidas como se describe arriba y comparar los nuevos resultados con los valores contractuales.

Posteriormente, la norma UNE-EN 1299 incluye dos **ANEXOS** de carácter informativo dedicados a recoger **ELEMENTOS PARA EL AISLAMIENTO DE LAS VIBRACIONES** y **BIBLIOGRAFÍA**.

Dentro del Anexo relativo a los **ELEMENTOS PARA EL AISLAMIENTO DE LAS VIBRACIONES**, se hace referencia a las características y uso de diferentes tipos de muelles y amortiguadores. Se parte de una serie de consideraciones de carácter genérico en las que se recuerda que los muelles se utilizan como soportes elásticos aislantes de las vibraciones y los choques de las máquinas; es decir, son elementos de construcción que se deforman, predominantemente, de forma elástica. Del mismo modo se señala como los muelles perfectos, en sentido estricto, en la práctica no pueden construirse ya que cada muelle presenta una cierta cantidad de masa y de amortiguamiento. Así, mientras que para el cálculo de las vibraciones en el rango de frecuencias de interés según esta norma puede despreciarse la masa del muelle, el amortiguamiento depende en gran parte del material del mismo.

Con tal motivo, se lleva a cabo una breve descripción de las características, campo de aplicación y comportamiento de:

- **Muelles elastoméricos:**

Por su deformabilidad elástica y su pequeño módulo de Young, los elastómeros son materiales apropiados para muelles. Comparados con los muelles metálicos, presentan un mayor amortiguamiento.

Las características como la rigidez y el amortiguamiento dependen de la selección del material básico y de los componentes de la mezcla de materiales, así como de la forma del muelle. También, están afectadas por condiciones ambientales como la temperatura. El envejecimiento a largo plazo depende en gran parte de la composición del material. El material tiene propiedades viscoelásticas.

En los muelles elastoméricos normalmente son distintas la rigidez estática y la rigidez dinámica, siendo mayor la dinámica que la estática. Sólo deberían calcularse las frecuencias naturales del sistema aislado a partir de la rigidez dinámica. Cuando



se utilizan los muelles elastoméricos, pueden obtenerse frecuencias naturales verticales de 6 Hz a 20 Hz.

En general, la curva de deformación bajo carga de los muelles no es lineal, pero en la práctica puede linealizarse para la carga de servicio.

Los siguientes factores juegan un papel importante en la capacidad de carga y en la durabilidad de los muelles elastoméricos: el material y la mezcla de materiales, el diseño del muelle, la carga estática, la carga dinámica, la amplitud de las vibraciones y la frecuencia del sistema vibrante.

Gracias a su diseño flexible, su fijación a piezas metálicas y a las numerosas combinaciones de posibles materiales, pueden adaptarse estos muelles a un amplio rango de aplicaciones. También pueden utilizarse los muelles elastoméricos como elementos separados, en múltiples placas o mallas.

El diseño preciso de los muelles elastoméricos se determina mediante el tipo de carga (fuerzas de compresión, fuerzas de cortadura, momentos de torsión, momentos de flexión, o combinación de estos factores). Para cargas de compresión grandes y distribuidas, se utilizan habitualmente los muelles elastoméricos en forma de placas o mallas. Normalmente, para estas aplicaciones, las frecuencias naturales verticales son superiores a 12 Hz.

- **Muelles metálicos:**

Los muelles metálicos no son sensibles a las grandes diferencias de temperatura y son resistentes a la mayoría de las sustancias orgánicas.

Para el aislamiento de las vibraciones de las máquinas, se utilizan preferentemente los muelles metálicos hechos de aceros de muelles y se presentan en forma de hilos, placas y varillas especialmente previstas para éste propósito. En los muelles de acero no hay diferencia entre la rigidez estática y dinámica. Según el tipo y diseño del muelle, la curva de deformación bajo carga puede ser lineal, ascendente o descendente. Cuando se utilizan muelles metálicos, pueden obtenerse frecuencias naturales verticales de 1.5 a 8 Hz. Los muelles de acero son capaces de almacenar grandes energías de deformación con importantes amplitudes de flexión. Sus características elásticas no varían con el tiempo.

El muelle helicoidal de compresión es el muelle metálico generalmente utilizado para el aislamiento vibratorio de las máquinas. Debido a sus características de deformación en gran parte lineales (curva de deformación bajo carga) y a la amplia selección de niveles de rigidez disponibles, para todos los ejes, éste tipo de muelle es particularmente útil para su uso en las fijaciones elásticas de la mayoría de las máquinas. Si se elige las dimensiones del muelle, es posible hacer variar, en un



amplio rango, el coeficiente de elasticidad transversal u horizontal de un muelle helicoidal de compresión respecto al coeficiente de elasticidad vertical.

- **Muelles neumáticos:**

Un muelle neumático está en principio constituido de un volumen lleno de gas con paredes elásticas. Cuando la carga varía, el muelle se deforma al nivel de las paredes elásticas, lo que provoca un cambio de volumen y, por tanto, un cambio de presión. Esto se aplica tanto a los pistones de los cilindros como a los diferentes sistemas de fuelles propuestos por los fabricantes. Las características de deformación de los muelles neumáticos dependen del equilibrio entre la carga externa y la diferencia de presión entre la presión interna y externa (por ejemplo la atmósfera) multiplicado por la superficie útil.

- **Amortiguadores:**

Los amortiguadores se utilizan para limitar los movimientos de los sistemas soportados elásticamente cuando están sometidos a resonancias, en el caso de excitaciones periódicas, de choques o de excitaciones aleatorias. Se montan en paralelo con los muelles y transforman la energía mecánica en calor.

Se dividen en amortiguadores que utilizan el amortiguamiento entre los cuerpos rígidos (amortiguadores por fricción) y amortiguadores que utilizan el intercambio energético en medio líquido (amortiguadores líquidos) o gaseoso. Las características de fuerza-velocidad pueden hacerse independientes de la velocidad, ascendentes, lineales o descendentes. Cuando se utilizan amortiguadores por fricción, debe prestarse atención al riesgo de problemas de ruido transmitido por la estructura.

Los amortiguadores de líquido viscoso son los principales tipos de amortiguadores utilizados en combinación con los muelles para el aislamiento de las vibraciones de las máquinas. Los amortiguadores viscosos son particularmente adecuados para grandes amplitudes de vibración de bajas a medias frecuencias. Se componen de una envoltura, un medio amortiguador y un pistón. El pistón inmerso en el medio amortiguador puede moverse en todas las direcciones (vertical y horizontal) hasta un límite impuesto por la envoltura del amortiguador. Por tanto, el amortiguador es capaz de reducir las vibraciones en los seis grados de libertad.

- **Combinación de muelles y amortiguadores:**

Es necesario que el amortiguamiento juegue un papel importante en el sistema de aislamiento vibratorio, bien en forma de material de amortiguamiento o bien como amortiguadores integrados:



- En todos los casos donde es necesario evitar un aumento de la amplitud de la vibración cuando se pasa por las frecuencias de resonancia.
- Para la mayoría de las máquinas rotativas cuyas condiciones de funcionamiento son susceptibles de generar fuerzas de desequilibrado.
- Para el amortiguamiento de momentos de torsión transitorios inducidos por cortocircuito en las máquinas eléctricas.
- Para la estabilización de máquinas y de sistemas que, por razones técnicas o económicas, tienen que montarse de forma resiliente sobre cimentaciones de masa inadecuada.
- Para asegurar una disminución rápida de las vibraciones inducidas por choques.

▪ **Aisladores activos de vibración:**

Esta norma trata sólo sistemas pasivos de aislamiento vibratorio (muelles y amortiguadores). En casos especiales, puede ser posible reducir la vibración mediante absorbedores dinámicos o amortiguadores activos de masas sintonizadas.

En cuanto al **ANEXO de BIBLIOGRAFÍA**, dos son las referencias:

- **prEN 1032** - Vibraciones mecánicas. Ensayo de maquinaria móvil con el objeto de determinar la intensidad vibratoria transmitida al conjunto del cuerpo. Generalidades.
- **ISO 2017:1982** - Vibraciones y choques. Aisladores. Disposiciones para la especificación de las características.

UNE–CR 1030-1

Constituye la versión española del Informe CR 1030-1 preparado por el CEN/TC 231 "Vibraciones y choques mecánicos", Grupo de Trabajo 2 "Vibraciones mano-brazo" y aprobado el 05-04-1995 y que lleva por título: **Vibraciones mano-brazo. Directrices para la reducción de los riesgos por vibraciones. Parte 1: Métodos de ingeniería para el diseño de máquinas.**

En la **INTRODUCCIÓN** a la norma, se comienza recordando el hecho de como el uso habitual y prolongado de las máquinas que transmiten vibraciones a la mano puede causar trastornos de los miembros superiores. Los efectos de la vibración dependen de:

- Su frecuencia, dirección, intensidad, magnitud y del tiempo de exposición y acoplamiento del sistema mano-brazo a la máquina.



- La posición mano-brazo causada por el diseño de la empuñadura y de la tarea de trabajo.
- Las fuerzas ejercidas por el operador, tales como las fuerzas de agarre, empuje y sujeción, y por las habilidades y experiencia práctica del operador.
- La exposición al frío, que puede influir sobre los síntomas vasculares causados por la vibración transmitida a la mano.

La limitación de la vibración en el diseño es una de las medidas que la norma EN 292-2 sugiere que deberían considerar los diseñadores y fabricantes de máquinas como parte de una estrategia para conseguir la seguridad en el diseño de máquinas de conformidad con la legislación europea. Dicha reducción de la vibración en el diseño de las máquinas puede contribuir de una manera importante a la protección efectiva de las personas en el trabajo contra los efectos adversos de la vibración. Sin embargo, en situaciones prácticas, puede ser necesaria una combinación de medidas de ingeniería, de gestión, de protección individual e higiénicas (leyes, directivas, etc.).

Las directrices recogidas en esta norma sólo tratan los métodos de ingeniería y están dirigidas, en particular, a los diseñadores y fabricantes de máquinas que transmiten vibraciones a las manos dejando a otros la tarea de definir las directrices específicas sobre gestión, protección individual o higiénicas (véase CR 1030-2 en el subapartado siguiente).

Por lo que a las medidas a tomar en ingeniería de cara a reducir la vibración en el propio diseño de las máquinas, cabe señalar que el origen de la vibración en las mismas puede encontrarse en:

- Las fuerzas de naturaleza variable generadas por la forma intermitente, impulsiva o cíclica en que son diseñadas las máquinas para trabajar, así como por desequilibrios y/o por impactos en engranajes, rodamientos y otros mecanismos.
- La falta de equilibrio en una herramienta incorporada: el desequilibrio de la muela es un factor que determina los valores de vibración de una amoladora portátil.
- La interacción entre el operador, máquina y material a trabajar: los choques o impulsos de un cincel neumático, cuando golpea la superficie que está siendo cincelada se transmiten al cuerpo de la herramienta.
- La interacción entre la pieza y la máquina. En el caso de máquinas, como amoladoras de columna o pulidoras, en las que la pieza de trabajo se sujeta o guía manualmente durante el trabajo, dicha interacción es susceptible de llegar a ser la principal fuente de vibración. La transmisión a través de la pieza es el principal camino por el que la vibración llega a las manos del operador.

Los parámetros anteriores deberían tenerse en cuenta por los diseñadores, fabricantes y suministradores de equipos de trabajo, quienes están obligados a asegurar que sus



diseños y productos satisfacen los requisitos de seguridad; en particular, para diseñar maquinaria de modo que los riesgos derivados de las vibraciones producidas por las máquinas se reduzcan al nivel más bajo posible, teniendo en cuenta el progreso técnico y la disponibilidad de medios para reducir las vibraciones, en particular en la fuente.

Para reducir la transmisión de la vibración al usuario, es esencial prestar atención no sólo a la magnitud de la vibración, sino también al acoplamiento de la máquina al sistema mano-brazo y al tiempo de exposición, ya que los tres parámetros pueden estar influenciados por medidas técnicas: el acoplamiento puede estar influenciado por un diseño ergonómico, el tiempo de exposición puede reducirse incrementando el rendimiento de la máquina.

En cuanto al **OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN**, las directrices de esta norma presentan los posibles medios para reducir en el diseño de la máquina el riesgo por vibraciones mano-brazo asociado a herramientas portátiles, guiadas manualmente, y otras máquinas, a fin de proporcionar ayuda profesional técnica a los diseñadores y fabricantes de máquinas. El documento cubre cuatro aspectos principales de la reducción de los efectos de la exposición a los riesgos derivados de la vibración de las máquinas:

- Reducción de la magnitud de la vibración en la fuente.
- Reducción de la transmisión de la vibración desde la fuente a las empuñaduras de la máquina y otras superficies en contacto con las manos.
- Reducción de la transmisión de la vibración desde los agarres o empuñaduras de la máquina al sistema mano-brazo del operador por medidas de diseño ergonómico.
- Diseño térmico para optimizar la temperatura de la mano.

En cualquier caso, estas directrices no pretenden dar soluciones universales o detalladas, sino medios técnicos que puedan usarse para resolver problemas.

El informe incorpora también disposiciones de **OTRAS REGLAMENTACIONES**:

- **EN 563** - Seguridad de las máquinas. Temperatura de superficies accesibles. Datos ergonómicos para establecer los valores de las temperaturas límites de las superficies calientes.
- **prEN 894-3** - Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de visualizadores y órganos de accionamiento. Parte 3: Órganos de accionamiento.

Como se ha señalado anteriormente al hacer referencia al objeto y campo de aplicación de la norma, el primero de los aspectos considerados en la misma es la **REDUCCIÓN DE LA MAGNITUD DE LA VIBRACIÓN EN LA FUENTE**. En este sentido, las máquinas que no necesitan la emisión de vibración para el desarrollo de las tareas, deberían diseñarse de tal manera que se eliminen o reduzcan las fuerzas variables que generan las vibraciones, para prevenir la amplificación de la vibración y amortiguar o reducir la vibración residual.



No obstante, siempre se deberá tener cuidado con las medidas adoptadas para que no incrementen significativamente el peso de las máquinas portátiles, de tal manera que esto conduzca a otros resultados negativos:

- Un mayor peso de la máquina conduce a mayores fuerzas de agarre y transporte causando una mayor intensidad de transmisión de la vibración y provocando una mayor carga vibratoria.
- Un mayor peso de la máquina conduce a una mayor carga muscular.
- No debería verse afectada la facilidad con que la máquina pueda controlarse y guiarse.

Desde esta perspectiva, varias son las posibles alternativas que a la hora de reducir la magnitud de vibración pueden plantearse:

- **Reducción de la vibración por modificación de los principios técnicos de funcionamiento:**

En algunos casos, puede conseguirse una reducción de la vibración, tiempo de exposición y fuerzas de operación mediante la modificación del principio técnico de funcionamiento de la máquina.

Un ejemplo típico es el caso de un martillo rotativo pequeño. Tiene un mecanismo de martillo neumático y perfora el hormigón más rápidamente, produce menores vibraciones y requiere menores fuerzas de avance y agarre que una taladradora de percusión con un mecanismo percutor tipo leva.

- **Reducción de la vibración por un mejor equilibrado:**

Una fuente común de fuerzas variables es el desequilibrado que puede deberse a:

- El principio de funcionamiento utilizado (por ejemplo las fuerzas generadas en motores alternativos como resultado del movimiento del cigüeñal y de la biela).
- Las tolerancias de fabricación y/o errores residuales en la fabricación de piezas rotativas (por ejemplo excentricidad en el montaje de un volante sobre un eje y/o no uniformidad en la forma, composición o estructura).

Cuando las fuerzas son inherentes al diseño pueden reducirse a veces por el uso de diseños intrínsecamente mejor equilibrados (por ejemplo, en el caso de motores de combustión interna por el uso de diseños multicilindros mejor que por el diseño de un único cilindro, o por el uso de motores rotativos mejor que alternativos).

También, puede ser posible minimizar las fuerzas variables modificando la masa y/o velocidad o aceleración de los componentes que generan el desequilibrado; siempre que una reducción de la velocidad o de la aceleración no reduzca el



rendimiento de la máquina de tal manera que el incremento del tiempo de exposición anule la reducción de la intensidad de la vibración. Puede también ser válida la incorporación de contrapesos.

Cuando las fuerzas son el resultado de tolerancias de fabricación o errores residuales en la fabricación (tolerancias de desequilibrados residuales, de forma o de dimensiones del orificio de montaje), puede ser posible reducirlas especificando menores tolerancias de fabricación (es decir, un producto de mejor calidad).

▪ **Reducción de la vibración por la introducción de fuerzas reactivas:**

Cuando se utilizan fuerzas de trabajo variables de baja frecuencia en máquinas guiadas con la mano, sus efectos sobre los usuarios pueden a veces reducirse significativamente por masas de contramovimiento. El diseño podría también incorporar un sistema de resorte para absorber las ondas de choque reflejadas producidas por cada impacto.

▪ **Reducción de la vibración por el uso de mecanismos o materiales alternativos:**

Muchos de los mecanismos utilizados en las máquinas generan fuerzas variables y en consecuencia vibraciones (por ejemplo, imprecisión en engranajes y rodamientos). A menudo estas fuerzas pueden eliminarse o reducirse mediante:

- El uso de mecanismos alternativos (por ejemplo, transmisión por correas en lugar de por engranajes o cadenas).
- Mejores versiones de un mecanismo particular (por ejemplo, engranajes helicoidales en lugar de rectos).
- La especificación de componentes de mayor precisión (es decir, componentes de alta calidad con una tolerancia más estrecha).

En algunas aplicaciones, puede ser posible reducir las fuerzas de choque y de impacto mediante la incorporación de elementos de caucho, o plástico resistente, o materiales similares (por ejemplo engranajes de resina aglomerada).

▪ **Reducción de la vibración por la eliminación de los efectos de resonancia:**

Diversos elementos de una máquina pueden entrar en resonancia si la frecuencia o frecuencias de las fuerzas variables generadas por el uso de la misma está próxima a una frecuencia natural de vibración de la máquina o de sus elementos. En ausencia de cualquier medio de absorción de la energía vibratoria, ello puede producir una amplificación considerable de la vibración si tiene lugar la resonancia.

Cuando sea posible, los diseñadores deberían evitar la resonancia dentro del rango normal de velocidad de la máquina mediante una adecuada elección e instalación



de elementos y masas resilientes, una apropiada selección de rodamientos, una cuidadosa selección de frecuencias de engrane y otras medidas.

Si los efectos de la resonancia no pueden evitarse, puede ser necesario incorporar dispositivos de amortiguamiento viscoelásticos, hidráulicos, por aire, fricción o alguna otra forma de absorción de la energía de la vibración y así limitar la intensidad de la vibración resonante. Los absorbedores de vibración sintonizados o no pueden también usarse para reducir el efecto de resonancia.

El segundo de los aspectos considerados al hacer referencia al objeto y campo de aplicación de la norma, es la **REDUCCIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE LA VIBRACIÓN**. De forma genérica, puede afirmarse que la vibración puede reducirse mediante la introducción de técnicas aislantes de las vibraciones (masas, resortes y otros elementos resilientes) en los trayectos entre las fuentes de vibración y las empuñaduras u otras superficies en contacto con las manos. En este sentido, debe prestarse una atención especial cuando haya que asegurar un aislamiento efectivo sobre el intervalo completo de frecuencias de interés.

- **Reducción de la vibración por el uso de empuñaduras suspendidas:**

Para conseguir una sustancial reducción en la vibración por el uso de empuñaduras suspendidas, se necesita elegir cuidadosamente las características dinámicas de las empuñaduras en función de las características de vibración de la máquina a la que están fijadas.

En el momento actual, puede obtenerse un buen aislamiento a frecuencias superiores a 100 Hz, pero el comportamiento a bajas frecuencias puede ser peor y las magnitudes de la vibración global pueden ser mayores sobre la empuñadura suspendida que sobre una rígida (a algunas frecuencias las empuñaduras suspendidas pueden amplificar la vibración).

El diseño de estas empuñaduras es fruto de un compromiso puesto que empuñaduras suficientemente bien suspendidas destinadas a atenuar la vibración a muy bajas frecuencias pueden hacer que la máquina presente dificultades para usarse con precisión. Puede ser necesario entonces aumentar la rigidez de una empuñadura suspendida fuera del valor ideal, con la consecuencia de alguna reducción en la eficacia del aislamiento.

Algunos de estos problemas pueden solucionarse incrementando la masa de la empuñadura y reduciendo la de la fuente. Por ejemplo, la vibración a la que están expuestos los usuarios de sierras de cadena se ha reducido considerablemente en algunas máquinas mediante la incorporación a las empuñaduras del tanque de combustible y usando un sistema de montaje resiliente para aislar el conjunto del motor y de la hoja de la sierra.



- **Uso de materiales resilientes:**

Los nuevos materiales resilientes pueden ser útiles como revestimientos de las empuñaduras y otras superficies vibrantes en contacto con las manos. La forma, dimensiones (espesor) y condiciones de uso (precarga) deben ser cuidadosamente elegidas para cumplir los requisitos dinámicos. Restricciones ergonómicas (tamaño de la empuñadura, etc.) pueden limitar la aplicación de este objetivo. En la mayoría de las situaciones prácticas, estos materiales son sólo susceptibles de ser eficaces en rangos de frecuencia por encima de 200 Hz.

El tercero de los aspectos considerados al hablar del objeto y campo de aplicación de la norma, es la **OPTIMIZACIÓN DE LA POSTURA Y MINIMIZACIÓN DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE O TRAVÉS DE LA MANO**. En este sentido, el peso de una herramienta portátil, la posición del brazo del usuario, las fuerzas requeridas para controlarla o guiarla y cualquier otra fuerza que pueda ejercerse, pueden afectar la transmisión de la vibración hacia la mano del usuario y, en consecuencia, al riesgo de que los usuarios desarrollen daños causados por la vibración. Desde esta perspectiva, varias son las consideraciones que pueden realizarse:

- Las máquinas, particularmente las portátiles, deberían diseñarse de tal manera que se minimicen las fuerzas en la mano del usuario. Una forma de hacerlo sería diseñar la máquina de modo que se facilite su uso mediante la utilización de dispositivos auxiliares tales como una empuñadura de apoyo para las amoladoras, equilibradores, dispositivos de reacción (para máquinas rotativas) o pie soporte (por ejemplo, los utilizados con ciertas perforadoras).
- Las dimensiones, textura de la superficie y forma de la máquina portátil, y en particular de las empuñaduras u otras superficies que deban asirse cuando se use la máquina, deberían optimizarse para minimizar la tensión física impuesta al operador. Así, cuando sea posible, las empuñaduras u otras superficies en contacto con las manos deberían tener una forma y presentar un ángulo (por ejemplo, las taladradoras) tal que la posición de la muñeca del operador respecto al antebrazo no este flexionada en condiciones normales de uso.
- La posición de la empuñadura debería elegirse de forma tal que cualquier fuerza pueda ser transmitida por las manos del operador a las empuñaduras de la máquina, controles u otras superficies, sin crear torsión en las muñecas (por ejemplo, empuñaduras de pistola usadas en taladradoras y empuñaduras ajustables en amoladoras).
- La forma de las empuñaduras puede presentar una protuberancia apropiada y/o las empuñaduras pueden revestirse con un material de textura adecuada para evitar que las manos del operador se deslicen por la empuñadura.



- En cualquier caso, las dimensiones de la empuñadura y, en particular, el diámetro de las empuñaduras circulares deberían ser conformes a la norma EN 894-3.

Por último, el cuarto de los aspectos considerados al hablar del objeto y campo de aplicación de la norma, hace referencia al **DISEÑO PARA OPTIMIZAR LA TEMPERATURA DE LA MANO**. Así, ha de tenerse en cuenta que:

- Las máquinas portátiles neumáticas deberían diseñarse para asegurar que el aire frío no incide sobre las manos de los usuarios y que el flujo de aire interno no enfríe excesivamente las empuñaduras u otras superficies en contacto directo con la mano.
- Habrían de considerarse las empuñaduras calentadas para máquinas portátiles o guiadas con la mano principalmente utilizadas en ambientes con baja temperatura (por ejemplo sierras de cadena).
- Los materiales de las empuñaduras no calentadas y otras superficies en contacto con las manos deberían seleccionarse para minimizar la pérdida de calor de las manos del usuario. Si en el uso, la empuñadura es susceptible de estar más fría que la mano del operador el material de la empuñadura debería tener una conductividad térmica baja. Por el contrario, si la empuñadura es susceptible de estar más caliente que la mano del operador, puede ser mejor elegir un material con una alta conductividad térmica (véase la Norma EN 563).

La norma incluye un **ANEXO** informativo que recoge la **BIBLIOGRAFÍA** relacionada con la misma, tanto a nivel de reglamentaciones como de publicaciones al respecto:

- **CR 1030-2** - Vibraciones mano-brazo. Directrices para la reducción de los riesgos de la vibración. Parte 2: Medidas de gestión en el puesto de trabajo.
- **CR (X)¹** - Vibraciones mecánicas. Guía para los efectos sobre la salud de las vibraciones sobre el cuerpo humano.
- **EN 292-2** - Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos. Principios generales para el diseño. Parte 2: Principios y especificaciones técnicas.
- **prEN 894-1** - Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de visualizadores y órganos de accionamiento. Parte 1: Interacciones entre el hombre con los visualizadores y órganos de accionamiento.
- **prEN 1033** - Vibraciones mano-brazo. Medida en laboratorio de las vibraciones en la superficie de las empuñaduras de las máquinas guiadas manualmente. Generalidades.

¹ En preparación



- **EN 28662-1** - Herramientas mecánicas portátiles de mano. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 1: Generalidades.
- **EN ISO 13753** - Vibraciones y choques mecánicos. Vibraciones mano-brazo. Método para la medida de la transmisibilidad de la vibración de materiales resilientes cuando son llevados por el sistema mano-brazo (**ISO 13753**)².
- Anderson, E.R: Design and testing of a vibration attenuating handle. International Journal of Industrial Ergonomics, 6(1990), pag 119-125, Elsevier.
- Bitsch, J.; Roue; Jacques, J.; Poirot, R.: Fouloirs pneumatiques à manche allongé. Étude de la réduction des vibrations et du bruit, cahiers de notes documentaires n° 144, 1984.
- Bullinger H.J.; Muntzinger W.F.; Luster P.: Numeric simulation of hand-transmitted vibrations. Trends in Ergonomics/Human Factors VI, Elsevier, 1989.
- Christ E. et coll.: Les vibrations au poste de travail (AISS brochure). Publié par le Comité international pour la Recherche de l'AISS, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 30, rue Olivier-Noyer, F-75680 Paris Cedex 14, 1989.
- Cronjäger L.: Reduzierung der Lärm-und Vibrationsbelastung Beim Arbeiten mit elektrischen Bohr-und Schlaghämmern. Rapport de BMFT, Universität de Dortmund, Institut für Spanende Fertigung, 1983.
- Dupuis H.: Wirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System, Literaturanalyse. Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, 1982.
- Dupuis H.; Hartung E.; Christ E.; Konietzko H.: Mechanische Schwingungen, Kenntnisstand über Beanspruchung, Belastung, Minderung und Richtwerte. Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, 1988.
- Eckert R.; Bullinger H.J.; Bauer W.: Low vibration tools. Effect and reduction of vibrations in motor-moving machines. Proceedings of the second International Conference on Machine Dynamics and Engineering Applications (ICMDEA), 23-25 octobre 1992, RP Chine.
- Lange W.: Kleine ergonomische Datensammlung. Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Publié par TÜV Rheinland Köln, 1985.
- Lindquist B.; Ahlberg E.; Skogsberg L.: Ergonomic tools in our time. Une publication know-how d'Atlas Copco, éditée par T. R. Tryck, Stoccholm, 1986.

² En preparación



- Naslund V.: Design problems in the reduction of vibration in chain saws. Rapport sur une conférence au sujet des aspects médicaux, techniques et juridiques des vibrations main-bras qui a eu lieu à l'Université de Dundee, 1972, édité par Taylor W., publié pour British Acoustical Society par Academic Press, London 1974, p. 61-70.
- Roure L.; Ho M.T. et coll.: Les vibrations industrielles. Édition INRS ED 656, 3^e édition, juin 1986.
- Salvendy G. (éd.): Handbook of human factors. John Wiley and sons, New York, 1987.

La norma concluye con un **ANEXO NACIONAL** en el que se informa de como las normas europeas EN citadas al hablar de "Otras reglamentaciones" y en el anexo de "Bibliografía", están admitidas como UNE en las fechas que se indican en la tabla siguiente:

Norma EN	Título	Norma UNE
EN 563	Seguridad de las máquinas. Temperatura de superficies accesibles. Datos ergonómicos para establecer los valores de las temperaturas límites de las superficies calientes.	UNE-EN 563:1996
CR 1030-2	Vibraciones mano-brazo. Directrices para la reducción de los riesgos de las vibraciones. Parte 2: Medidas de gestión en el puesto de trabajo.	UNE-CR 1030-2:1997
EN 292-2	Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos. Principios generales para el diseño. Parte 2: Principios y especificaciones técnicas.	UNE-EN 292-2:1993
prEN 1033	Vibraciones mano-brazo. Medida en laboratorio de las vibraciones en la superficie de las empuñaduras de las máquinas guiadas manualmente. Generalidades	UNE-EN 1033:1996
EN 28662-1	Herramientas mecánicas portátiles de mano. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 1: Generalidades.	UNE-EN 28662-1:1994