

## Temas 1, 2 y 5: Introducción a la estimación de $L_W$ y $L_p$ emisión

### Caracterización de fuentes sonoras

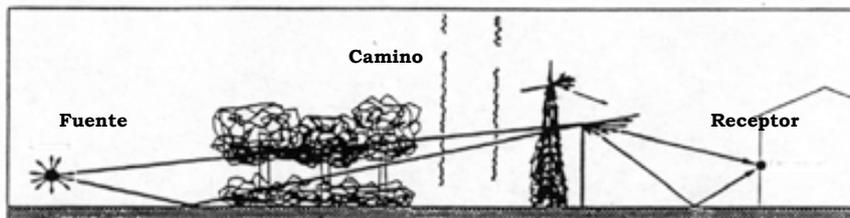
### Master de Ingeniería Acústica y Vibraciones

Marta Herráez Sánchez  
EII Valladolid  
herraez@eii.uva.es

## Índice

- Introducción: análisis del papel de la potencia sonora en un problema de control de ruido.
- Estimación de **potencia sonora**:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Normativa de la estimación de la Potencia:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Introducción al concepto del **nivel de presión de emisión**: directiva **2006/42/EC**.
- Normativa de la estimación del **nivel de presión de emisión**.
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Bibliografía.

## Introducción



→ Fuente sonora: Emisión. **Potencia acústica** y directividad

→ Camino: Transmisión

→ Receptor: Inmisión. Presión acústica.

La **presión acústica** no es la magnitud adecuada para describir cuantitativamente una fuente de ruido, ya que varía con la distancia a la fuente y con el **entorno acústico** en el que opera la misma.

## Fuente: emisión

→ Magnitudes que se utilizan para definir el proceso de **emisión sonora** de la fuente :

- ✓ **Potencia**: es una medida de la **energía acústica** total radiada por la fuente en todas direcciones. Normalmente, se utiliza el **nivel de potencia sonora** y se expresa en función de la frecuencia (en bandas de octavas o tercios de octava).
- ✓ **Directividad**: es una medida de la variación de su radiación con la **dirección** y, por lo tanto, es función de la posición angular alrededor del centro acústico de la fuente y de la frecuencia.

## Potencia sonora

→ **Potencia sonora:** medida de la energía acústica total radiada por una fuente en todas direcciones.

$$W = \int_S \vec{I} \cdot d\vec{S} = \int_S \vec{I} \cdot \vec{n} dS = \int_S I_n \cdot dS$$

- ✓ **W:** *Potencia Sonora* emitida (en Wattios)
- ✓  $\vec{I}$  : vector *Intensidad Sonora* (en W/m<sup>2</sup>)
- ✓  $d\vec{S}$ : elemento diferencial de superficie
- ✓ **S:** superficie que rodea la fuente (en m<sup>2</sup>)
- ✓  $I_n$ : componente normal del vector intensidad (a partir de ahora se denotará I)

M. Herráez

Master de Ingeniería Acústica y Vibraciones

5

## Potencia sonora

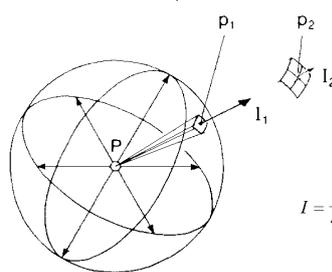
→ La Energía Sonora radiada por la fuente se va propagando a través de un área cada vez mayor, según la onda se aleja de la fuente, luego la intensidad cada vez es menor.

→ Seleccionando una **superficie S** que encierre la fuente, se puede estimar la potencia sonora radiada midiendo sobre ella la **componente normal de la intensidad sonora**.

→ Si la fuente es **omnidireccional** y la integración se realiza sobre una superficie esférica de radio r, la relación entre potencia e intensidad se simplifica:

$$I(r) = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Bajo condiciones de campo libre:



$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c}$$

M. Herráez

Master de Ingeniería Acústica y Vibraciones

6

## Potencia sonora: discretización

→ En general, la fuente es **direccional** y la intensidad no es la misma en todos los puntos de la superficie.

→ **Aproximación** para evaluar la integral: se divide la superficie en pequeñas áreas, cada una de tamaño, **de manera que la intensidad en cada una de ellas sea constante**.

$$W = \sum_i I_i S_i$$

- ✓  $I_i$ : componente normal de  $I$  sobre  $S_i$
- ✓  $S_i$ :  $i$ -ésimo elemento de área (en  $m^2$ )

→ Si todas y cada una de las subáreas tienen el mismo área, la expresión anterior se reduce a:

$$W = \bar{I} \cdot S$$

- ✓ **Intensidad Sonora Promedio (espacial sobre todo S)**

- ✓  $S = n \cdot S_i$

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i$$

M. Herráez

Master de Ingeniería Acústica y Vibraciones

7

## Nivel de Potencia sonora

→ Esta misma relación, expresada en forma logarítmica, toma la forma:

$$L_W = L_I + 10 \log \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad L_W = 10 \log \left( \frac{W}{W_{ref}} \right)$$

- ✓  $L_W$ : **Nivel de Potencia Sonora (en dBre  $10^{-12}W$ )**
- ✓  $L_I$ : **Nivel de Intensidad Sonora (en dBre  $10^{-12}W/m^2$ )**  $L_I = 10 \log \left( \frac{I}{I_{ref}} \right)$
- ✓  $S$ : **área total de la superficie de medida (en  $m^2$ )**
- ✓  $S_0 = 1m^2$

→ La expresión anterior es válida siempre que la **fente** no sea **altamente direccional**, en cuyo caso, hay que **elegir subáreas de distinta superficie**, aumentando la discretización en la zona donde más se emite, para que la aproximación de que  $I$  sea constante siga siendo cierta.

M. Herráez

Master de Ingeniería Acústica y Vibraciones

8

## Índice

- Introducción: análisis del papel de la **potencia sonora** en un problema de control de ruido.
- Estimación de **potencia sonora**:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Normativa de la estimación de la Potencia:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Introducción al concepto del **nivel de presión de emisión**: directiva **2006/42/EC**.
- Normativa de la estimación del **nivel de presión de emisión**.
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Bibliografía.

## Estimación de potencia sonora

- **Método de presión**:
  - ✓ Se mide **presión**.
  - ✓ Se **estima** la intensidad: este método sólo es aplicable en aquellas circunstancias en las que **se conoce la relación** entre presión e intensidad.
  - ✓ Se obtiene la **potencia** a través de una estimación de intensidad.
  - ✓ No hay libertad en la normativa a aplicar: dado un **entorno** y un **grado de precisión**, se utiliza **una** de las normas de la **serie 3740**.
- **Método de intensidad**:
  - ✓ Medida directa de la **intensidad** y obtención posterior de la **potencia**.
  - ✓ Normativa a aplicar **independiente del entorno**.
  - ✓ La **precisión** de la estimación se obtiene **a posteriori**.

## Estimación de $L_W$ : método de presión

→ Medida del **Nivel de presión sonora** en un entorno donde se conozca la relación entre presión e intensidad:

✓ Condiciones de **campo libre**:

× **Cámara anecoica**: recinto cuyas paredes están hechas de material altamente absorbente.

× **Cámara semianecoica**: recinto con suelo reflectante y paredes absorbentes.

✓ Condiciones de **campo difuso**:

× **Cámara reverberante**: recinto con paredes muy reflectantes, de manera que el campo reverberante se extiende a casi todo el volumen, salvo en las proximidades de la fuente.

## Estimación de $L_W$ : método de presión

→ **Campo libre**:

Cuando se trabaja en condiciones de campo libre, existe una **relación conocida entre  $I$  y  $p$**  en el **campo lejano** de la fuente:

$$I_{\text{rms}}(r) = \frac{p_{\text{rms}}^2}{\rho_0 c} \quad L_I = L_p - 0.16 \cong L_p$$

✓  $p_{\text{rms}}$ : valor cuadrático medio de la presión sonora (en Pa)

✓  $\rho_0 c$ : *Impedancia Característica* del aire (en  $\text{Ns/m}^3$ )

→ Sustituyendo en la expresión de la **potencia**:

$$W = \sum_i I_i \cdot S_i = \frac{1}{\rho_0 c} \sum_i p_i^2 S_i$$

$p_i$ :  $p_{\text{rms}}$  sobre cada  $S_i$

$S_i$ :  $i$ -ésimo elemento de área (en  $\text{m}^2$ )

## Estimación de $L_W$ : método de presión

tomando logaritmos:  $L_W$  Nivel de Potencia Sonora (en dBre $10^{-12}W$ )

$$L_W = 10 \log \left[ \sum_i S_i \cdot 10^{L_{pi}/10} \right] - 10 \log K$$

$L_{pi}$ : Nivel de Presión sobre el elemento  $i$ -ésimo (en dBre $20\mu Pa$ )

$$K = \rho c / 400$$

$10 \log K$  depende del medio y de los valores de referencia; para presión y temperatura ambiente es un término despreciable

→  $S_i$  son iguales

Nivel Medio de Presión Sonora

$$L_W = L_p + 10 \log \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad L_p = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_i \frac{p_i^2}{p_{ref}^2} \right] = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_i 10^{L_{pi}/10} \right]$$

M. Herráez

Master de Ingeniería Acústica y Vibraciones

13

## Estimación de $L_W$ : método de presión

→ Campo difuso:

- ✓ la Densidad de Energía Sonora es constante y es directamente proporcional a la presión, y por lo tanto, a la Potencia Sonora radiada por la fuente.
- ✓ El Nivel de Presión Sonora se acrecienta hasta que la Potencia Sonora total absorbida por las paredes es igual a la Potencia Sonora generada por la fuente.

La potencia sonora se determina midiendo la  $p_{rms}$  en el campo reverberante.

→ Dos métodos:

- ✓ **Método de comparación:** Se compara la  $p_{rms}$  de la fuente problema con la  $p_{rms}$  de una fuente cuya potencia sonora es conocida.
- ✓ **Método directo:** Se calcula directamente la potencia a partir de la  $p_{rms}$  producida por la fuente y las propiedades absorbentes de la cámara reverberante.

M. Herráez

Master de Ingeniería Acústica y Vibraciones

14

## Índice

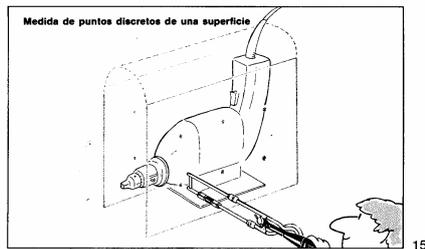
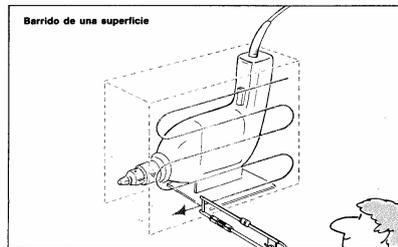
- Introducción: análisis del papel de la **potencia sonora** en un problema de control de ruido.
- Estimación de **potencia sonora**:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Normativa de la estimación de la Potencia:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Introducción al concepto del **nivel de presión de emisión**: directiva **2006/42/EC**.
- Normativa de la estimación del **nivel de presión de emisión**.
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Bibliografía.

## Estimación de $L_W$ : método de Intensidad

- Se realizan medidas directas de la intensidad: sin usar una relación aproximada entre presión e intensidad.
- Es necesario hacer una **discretización**: la aproximación de la superficie de integración  $S$  a los elementos  $S_i$  y en cada uno de ellos medir la componente normal del vector intensidad  $I_i$ .

$$W = \int_S \vec{I} \cdot d\vec{S} = \int_S I_n \cdot dS \quad W = \sum_i I_i S_i$$

## Estimación de $L_w$ : método de Intensidad



- La **discretización** en subáreas  $S_i$  se debe realizar de manera que la intensidad sobre toda ella sea prácticamente constante. (sobre todo en un **único punto**)
- Por ello, el valor  $I_i$  se puede de obtener de dos maneras:
  - ✓ haciendo un **barrido (scanning)** con la sonda de intensidad sobre la superficie.  
(promedio espacial y temporal)
  - ✓ haciendo una medida en un **único punto**, normalmente el centro geométrico.  
(promedio temporal)

M. Herráez

Master de Ingeniería Acústica y Vibraciones

17

## Comparación entre métodos

### PRESIÓN

- El valor de la potencia sonora se obtiene a partir de las **medidas de presión**.
- La intensidad se determina unívocamente a partir de la presión.
- Sólo válido para **campo libre y/o campo difuso**: se necesitan salas especiales (anecoica o reverberante).
- Limitaciones con el tamaño de la fuente.
- Superficie fijada por norma.

### INTENSIDAD

- Se realiza una **medida** directa de la **intensidad**.
- Las medidas se realizan en cualquier tipo de entorno.
- Mayor libertad:
  - ✓ La superficie envolvente puede tener la forma que se desee.
  - ✓ Las medidas se pueden llevar a cabo **a cualquier distancia de la fuente**.

M. Herráez

Master de Ingeniería Acústica y Vibraciones

18

## Comparación entre métodos

### PRESIÓN

→ En presencia de **ruido de fondo externo**, las medidas no son sensibles a la dirección de propagación, por tanto, no se puede distinguir la información proveniente del flujo de energía de entrada o de salida y se contabiliza todo.

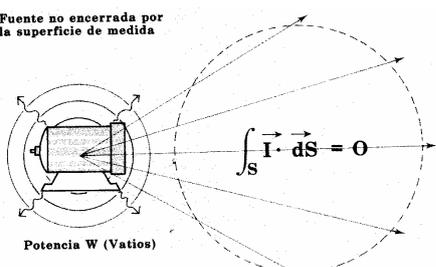
### INTENSIDAD

→ En presencia de **ruido de fondo**, se excluye la potencia sonora radiada por las fuentes situadas fuera de la superficie.

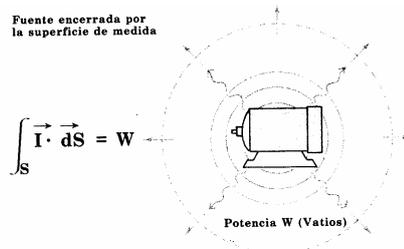
- ✓ Condición: unas con otras tengan ruido estacionario.
- ✓ Precaución: hemos de evitar la presencia de fuentes **con partes** absorbentes.

## Comparación entre métodos

Fuente no encerrada por la superficie de medida



Fuente encerrada por la superficie de medida



## Índice

- Introducción: análisis del papel de la **potencia sonora** en un problema de control de ruido.
- Estimación de **potencia sonora**:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- **Normativa** de la estimación de la Potencia:
  - ✓ **Método de presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Introducción al concepto del **nivel de presión de emisión**: **directiva 2006/42/EC**.
- Normativa de la estimación del **nivel de presión de emisión**.
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- **Bibliografía**.

## Normativa de la estimación de la potencia por el método de presión

- **UNE-EN ISO**
  - ✓ ISO (International Organization for Standardization)
  - ✓ EN Normativa Europea
  - ✓ UNE norma española
- La **serie UNE-EN ISO 3740**, presenta los **distintos métodos** para determinar los niveles de Potencia Sonora de fuentes de ruido.
- Para **seleccionar el método** de medida hay que tener en cuenta:
  - ✓ El tamaño de la fuente de ruido.
  - ✓ La movilidad de la fuente.
  - ✓ El entorno acústico disponible para las medidas.
  - ✓ El grado de precisión que se requiere para las medidas. Existen 3 grados:
    - × Clase 1: **Precisión**.
    - × Clase 2: **Ingeniería o Peritaje**.
    - × Clase 3: **Ensayo o Control**.

## Resumen de Normativa serie 3740

	reverberante	semianecoica	Anecoica	In situ
precisión	3741	3745	3745	
ingeniería	3743	3744		
control		3746		3747

→ **UNE-EN ISO 3740: 2001:** ver tablas 1, 2 y 3 y la tabla D-1 para la elección correcta de normas

## Bibliografía: normativa potencia por presión

- **UNE-EN ISO 3740: 2001** Acústica. Determinación de los niveles de **potencia acústica** de las fuentes de ruido. Guía para la utilización de las normas básicas. (ISO 3740:2000). Debe ser leída junto con **UNE-EN ISO 3740:2002 ERRATUM**
- **UNE-EN ISO 3741: 2010!! antes 2000** Acústica. Determinación de los niveles de **potencia acústica** de las fuentes de ruido a partir de la **presión acústica**. Métodos de **precisión** en cámaras **reverberantes**. (ISO 3741:1999).
- Antigua ISO-3742: ya no está vigente. Se unificó con la 3741 en la última versión del 2000.

## Bibliografía: normativa potencia por presión

- **UNE-EN ISO 3743:** Acústica. Determinación de los niveles de **potencia acústica** de fuentes de ruido. Métodos de **ingeniería** para fuentes pequeñas móviles en campos **reverberantes**.
  - ✓ **Parte 1: 2010!! antes 1996** Método de comparación en cámaras de ensayo de paredes duras. (ISO 3743-1:1994).
  - ✓ **Parte 2: 2010!! antes 1997** Métodos para cámaras de ensayo reverberantes especiales. (ISO 3743-2:1994).
- **UNE-EN ISO 3744: 2010!! antes 1996** Acústica. Determinación de los niveles de **potencia sonora** de fuentes de ruido utilizando **presión sonora**. Método de **ingeniería** para condiciones de campo **libre** sobre un plano reflectante. (ISO 3744:1994).

## Bibliografía: normativa potencia por presión

- **UNE-EN ISO 3745: 2010!! antes 2004** Acústica. Determinación de los niveles de **potencia acústica** de las fuentes de ruido a partir de la **presión acústica**. Métodos de **laboratorio** para cámaras **anechoicas** y **semianechoicas** (ISO 3745:2003)
- **UNE-EN ISO 3746: 2010!! antes 1996** Acústica. Determinación de los niveles de **potencia acústica** de fuentes de ruido a partir de la **presión sonora**. Método de **control** en una superficie de medida envolvente sobre un plano reflectante. (ISO 3746:1995 cor1.95).
- **UNE-EN ISO 3747: 2010!! antes 2001** Acústica. Determinación de los niveles de **potencia acústica** de fuentes de ruido a partir de la **presión acústica**. Método de **comparación in situ**. (ISO 3747:2000).

## Índice

- Introducción: análisis del papel de la potencia sonora en un problema de control de ruido.
- Estimación de **potencia sonora**:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- **Normativa** de la estimación de la Potencia:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ **Método de intensidad**.
- Introducción al concepto del **nivel de presión de emisión**: **directiva 2006/42/EC**.
- Normativa de la estimación del **nivel de presión de emisión**.
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- **Bibliografía**.

## Potencia por Intensidad

- Normativa **UNE EN ISO 9614** partes 1, 2 y 3.
  - ✓ Fuente de ruido estacionario.
  - ✓ En presencia de ruido de fondo estacionario.
- Dos métodos:
  - ✓ Barrido:
    - × **Grado precisión**: parte 3.
    - × **Grado ingeniería o control**: parte 2.
  - ✓ Puntos discretos:
    - × **Grado ingeniería o control**: parte 1.
- Errores en estimación de potencia:
  - ✓ Error por discretización de la superficie.
  - ✓ Error de instrumentación.

## Bibliografía: normativa potencia sonora

- **UNE-EN ISO 9614**: Acústica. Determinación de los niveles de **potencia acústica** emitidos por las fuentes de ruido por **intensidad** del sonido.
  - ✓ Parte 1: **2010** Medida en puntos discretos. (ISO 9614-1: 1993).
  - ✓ Parte 2: **1997** Medición por barrido. (ISO 9614-2: 1996).
  - ✓ Parte 3: **2010** Método de **precisión** para la medición por barrido (ISO 9614-3: 2002).

## Índice

- Introducción: análisis del papel de la **potencia sonora** en un problema de control de ruido.
- Estimación de **potencia sonora**:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Normativa de la estimación de la Potencia:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Introducción al concepto del nivel de presión de emisión: **directiva 2006/42/EC**.
- Normativa de la estimación del **nivel de presión de emisión**.
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Bibliografía.

## Directiva Europea de Maquinas 2006/42/EC

### → Directiva europea de Máquinas:

- ✓ Inicialmente era la **89/392/EC**.
- ✓ Posteriormente, la **98/37/EC**.
- ✓ Actualmente: **2006/42/EC** que ya está aprobada (publicada el 9 de junio del 2006) y que será de obligado cumplimiento a partir del 29 de diciembre de 2009.

### → Alude al nivel de presión de emisión:

- ✓ La "emisión" sonora es la que **caracteriza una fuente** de ruido, en condiciones de funcionamiento específicas, independientemente del tiempo de funcionamiento, así como del entorno y del local donde esté ubicada.
- ✓ La "inmisión" sonora significa el impacto del ruido en un puesto de trabajo determinado y depende de la distancia de este punto a las diversas fuentes de ruido así como del tiempo de inmisión y de las características del entorno y del local.

## Directiva Europea de Maquinas 2006/42/EC

→ La normativa reglamentaria de máquinas tiene como uno de los objetivos la **información del ruido de la máquina** (normativa de **emisión**) y no de la máquina en un lugar determinado. La medida de la inmisión sonora en el puesto de trabajo está prevista por el legislador en las normativas de inmisión (exposición).

→ ¿Por qué no informar solamente del **nivel de potencia acústica**?

Porque para medir el **nivel de potencia acústica** se necesita la realización de una serie de puntos de medida alrededor de la máquina y ello exige **medios instrumentales y procedimientos más complicados** que si se mide el nivel de presión de emisión.

Solamente se requiere medir el nivel de **potencia acústica** si el nivel de presión de emisión excede de determinado valor.

## Directiva Europea de Maquinas 2006/42/EC

- Es el fabricante quien tiene la **responsabilidad** de aplicar los principios de integración de la seguridad en el diseño y construcción de la máquina y de **certificar la conformidad de su producto** a dichos requisitos, de acuerdo con los procedimientos de certificación establecidos en dicha legislación.
- Las máquinas deberán ir provistas, antes de su comercialización, de la **marca «CE» de conformidad**, la cual:
  - ✓ materializará su conformidad con estas Directivas.
  - ✓ se compone de una sigla con un único grafismo: la sigla «CE».
- Los componentes de seguridad deberán ir provistos, antes de su comercialización, de la marca «CE» de conformidad.

## Directiva – Real Decreto - Normativa

- La **Directiva** determina los objetivos o **«requisitos esenciales» de seguridad y de salud** que debe cumplir la fabricación y comercialización de las máquinas y los componentes de seguridad.
- La directiva se traspone en **Reales Decretos**: El **Real Decreto** define los **requisitos esenciales RESS** con los que una máquina debe estar conforme, para que pueda ser legalmente comercializada y puesta en servicio en la Unión Europea
- En la **aplicación práctica**, la verificación del cumplimiento de los **requisitos esenciales de seguridad y de salud (R.E.S.S.)** en el diseño y fabricación del producto se realiza a través de las **normas técnicas, normas armonizadas europeas EN**. Indican la “manera de medir”, la metodología a seguir.
- Además, para determinados conjuntos de máquinas específicos, existen los llamados **Código de Ensayo**, en los que se precisa más concretamente la metodología.

## Reales Decretos

- **Real Decreto 1435/1992** de 27 de noviembre (B.O.E. nº 297, de 11 de diciembre de 1992) "Relativo a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas".
- **RD 56/1995** de 20 de enero, del Ministerio de la Presidencia (BOE nº 33 de 8/2/95).
- **R.D. 1644/2008** de 10 de octubre, *por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas*, traspone las exigencias de la **Directiva 2006/42/EC** al ámbito español, con vigencia desde el 29 de diciembre de 2009

## Reales Decretos

Estos **Reales Decretos** consideran el ruido como un peligro a tener en cuenta en la seguridad de las máquinas y, sobre este aspecto, se incluyen los dos **requisitos esenciales de seguridad y de salud (R.E.S.S.)** que se resumen así:

- ✓ **Reducción del Ruido:** Diseño y fabricación de máquinas más silenciosas teniendo en cuenta el progreso técnico y la disponibilidad de medios de reducción del ruido especialmente en su fuente. **(R.E.S.S. 1.5.8 del Anexo I).**
- ✓ **Información sobre el ruido aéreo emitido por la máquina.** **(R.E.S.S. 1.7.4.2. (u) del Anexo I).**

## RESS: Reducción del ruido

### Requisito esencial de seguridad y de salud 1.5.8. del Anexo I:

*"La máquina estará diseñada y fabricada para que los riesgos que resulten de la emisión del ruido aéreo se reduzcan al más bajo nivel posible, teniendo en cuenta el progreso técnico y la disponibilidad de medios de reducción del ruido, especialmente en su fuente."*

*"El nivel de ruido emitido podrá evaluarse tomando como referencia datos de emisión comparativos de máquinas similares".*

→ El Real Decreto **no fija valores límite** para el ruido producido por la máquina.

## RESS: Información sobre el ruido aéreo emitido por la máquina

### Requisito esencial de seguridad y de salud 1.7.4.2. (u) del Anexo I.

*"En el manual de Instrucciones se darán las siguientes instrucciones sobre el ruido aéreo emitido por la máquina....:*

- "a) Nivel de presión acústica de emisión continuo equivalente ponderado A en los puestos de trabajo, cuando supere los 70dBA; si este nivel fuera inferior o igual a 70dBA, deberá mencionarse.*
- b) El valor máximo de la presión acústica instantánea ponderada C, cuando supere los 63 Pa (130 dB con relación a 20 uPa).*
- c) El nivel de potencia acústica emitido por la máquina, si el nivel de presión acústica de emisión continuo equivalente ponderado A supera, en los puestos de trabajo, 80dBA...."*

*"Estos valores se medirán realmente en la máquina considerada o bien se establecerán a partir de mediciones efectuadas en una máquina técnicamente comparable y representativa de la máquina a fabricar."*

## RESS: Información sobre el ruido aéreo emitido por la máquina

Requisito esencial de seguridad y de salud 1.7.4.2. (u) del Anexo I.

*“Cuando la máquina sea de muy grandes dimensiones la indicación del nivel de potencia acústica podrá sustituirse por la indicación de los niveles de presión acústica continuos equivalentes en lugares especificados en torno a la máquina.*

*Quando no se apliquen las normas armonizadas, los datos acústicos se medirán utilizando el código de medición más apropiado, adaptado a la máquina.*

*El fabricante indicará las condiciones de funcionamiento de la máquina durante la medición, así como qué métodos se han utilizado para ésta.*

*Quando el o los puestos de trabajo no estén definidos o no puedan definirse, la medición del nivel de presión acústica se efectuará a 1 metro de la superficie de la máquina y a una altura de 1,60 metros por encima del suelo o de la plataforma de acceso. Se indicará la posición y el valor de la presión acústica máxima.”*

## RESS: Información sobre el ruido aéreo emitido por la máquina

Requisito esencial de seguridad y de salud 1.7.4.2. (u) del Anexo I.

- Obliga al fabricante a informar, en el manual de instrucciones de la máquina, sobre el ruido aéreo emitido por la misma.
- Esta información se denomina DECLARACIÓN del ruido e indicará los niveles de presión acústica en el puesto de trabajo y, según los casos, además, el nivel de potencia acústica de la máquina.
- A los fabricantes los responsabiliza frente al ruido de sus productos y además les permite incluir el factor "silencio" entre los criterios de calidad.

## Normas armonizadas europeas

- Resolución de 5 de Julio de 1999, ... Por la que se acuerda la publicación de la lista actualizada de normas armonizadas en el ámbito de RD 1435/1992....B.O.E. Nº 197 publicado el 18/8/1999.

### ISO 11200, 11201, 11202, 11203, 11204

Acústica. Ruido emitido por máquinas y equipos. Guía de utilización de las normas básicas para la determinación de los niveles de **presión acústica de emisión** en el puesto de trabajo y en otras posiciones especificadas.

### Series ISO 3740 e ISO 9614

Para determinación de **potencia sonora**.

## Códigos de ensayo: específicos de cada máquina

- **UNE-EN ISO 12001 (2010)** Acústica. Ruido emitido por máquinas y equipos. Reglas para la preparación y presentación de un código de ensayo de ruido. (ISO 12001:1996).
- **UNE-EN ISO 1680 (2001)** Acústica. Código de ensayo para la medición del ruido aéreo emitido por maquinas eléctricas rotativas. (ISO 1680:1999).
- **UNE 74165 (2004)** Acústica. Código de ensayo para la medida del ruido aéreo emitido por cortadoras de césped motorizadas, tractores para césped y jardines, segadoras profesionales y tractores para césped y jardines con ensamblajes para siega. (ISO 11095:1991)
- **UNE-EN ISO 22868 (2009)** Maquinaria forestal. Código de ensayo de ruido para máquinas portátiles con motor de combustión interna. Métodos de ingeniería (grado 2). (ISO 22868:2005)
- **UNE-EN 1501-4 (2008)** Vehículos para la recogida de residuos y sus dispositivos de elevación asociados. Requisitos generales y requisitos de seguridad. **Parte 4:** Código de ensayo de ruido para vehiculos para la recogida de residuos.

## Códigos de ensayo

- **UNE-EN 60745** Herramientas manuales eléctricas accionadas por motor eléctrico. Seguridad.
  - ✓ **Parte 1 (UNE-EN 60745-1 2007)**: Requisitos generales (IEC 60745-1:2006, modificada).
  - ✓ **Parte 2-i (2010)**: todo tipo de herramientas, por ejemplo:
    - ✗ **Parte 2-5**: Requisitos particulares para sierras circulares.
- **UNE-EN 60704** Aparatos electrodomésticos y análogos. Código de ensayo para la determinación del ruido acústico aéreo. (IEC 60704, modificada).
  - ✓ **Parte 1 (UNE-EN 60704-1 2010)**: Parte 1: Requisitos generales.
  - ✓ **Parte 2-i (UNE-EN 60704-2-1 2002)**: : Requisitos particulares para...
    - ✗ **Parte 2-1**: Requisitos particulares para aspiradores de polvo.
    - ✗ **Parte 2-3**: Requisitos particulares para los lavavajillas.
    - ✗ **Parte 2-6**: Requisitos particulares para secadoras de tipo tambor.
    - ✗ **Parte 2-9**: Requisitos particulares para aparatos eléctricos destinados al cuidado del cabello.
    - ✗ **Parte 2-10**: Requisitos particulares para cocinas, hornos y parrillas eléctricos, hornos microondas y cualquier combinación de estos.
  - ✓ **Parte 3 (UNE-EN 60704-3 2007)**: Procedimiento para determinar y verificar los valores de emisión de ruido declarados. (IEC 60704-3:2006).

## Directiva 2000/14/CE

- **2000/14/CE de 8 de mayo, sobre emisiones sonoras en el entorno debidas a las máquinas de uso al aire libre.**
- Traspuesta en el RD 212/2002, 22 de febrero, (BOE nº 52, pp.8196 Viernes 1 marzo 2002)
- Mediante la cual se pretende **armonizar los requisitos sobre el ruido emitido por las máquinas de uso al aire libre**, a fin de prevenir los obstáculos a la libre circulación de dichas máquinas en el territorio de la Unión Europea, y **proteger** al mismo tiempo la salud y el bienestar de los ciudadanos, así como el medio ambiente, mediante la reducción de los niveles acústicos aceptables para las mismas y la información a usuarios y público sobre el ruido emitido por estas máquinas.
  - ✓ armonización de las normas sobre emisiones sonoras;
  - ✓ armonización de los procedimientos de evaluación de la conformidad;
  - ✓ armonización del marcado de emisión sonora;
  - ✓ recogida de datos sobre emisiones sonoras.
- Se aplicará a las máquinas de uso al aire libre enumeradas en los artículos 11 y 12, y definidas en el anexo I. No se incluyen en el ámbito de aplicación:
  - ✓ Todas las máquinas destinadas principalmente al transporte de personas y mercancías por las vías terrestres, por ferrocarril, por vía aérea o por vía fluvial.
  - ✓ Las máquinas diseñadas y construidas especialmente para fines militares y policiales, así como para servicios de emergencia.

## Índice

- Introducción: análisis del papel de la **potencia sonora** en un problema de control de ruido.
- Estimación de **potencia sonora**:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Normativa de la estimación de la Potencia:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Introducción al concepto del **nivel de presión de emisión**: **directiva 2006/42/EC**.
- Normativa de la estimación del **nivel de presión de emisión**.
  - ✓ **Método de presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Bibliografía.

## Nivel de presión sonora de emisión

- Para cumplir con la **Directiva Europea de Maquinas 2006/42/EC**
- Es necesario medir el nivel de presión en las posiciones de trabajo: Posiciones del **operador** y posiciones de **ayudante** (bystander: *1 metro de la superficie de la máquina y a una altura de 1,60 metros por encima del suelo*).

**Método por presión:** Series ISO 11200

**Método por intensidad:** ISO 11205

## Nivel de presión sonora de emisión

- **Método por presión:**  $L_p^{emision} = L_p^{medido} - K_1 - K_3$
- ✓ Distintos entornos.
  - ✓ Diferentes grados de precisión.
  - ✓ Fuentes de error: **Ruido de fondo ( $K_1$ )** y **reflexiones sonoras ( $K_2$ )**.
  - ✓ Se precisa de **corrección local de entorno  $K_3$** .

- **Método por intensidad:**  $L_p^{emision} = L_{I_{xyz}}$
- ✓ in situ.

## ISO 11201: Campo libre sobre plano reflectante.

- Método de ingeniería.
- Sin corrección de ambiente:  $K_{3A} = 0$
- Entorno acústico:  $K_{2A} < 2$

## ISO 11202: Medición in situ

- Método de control.
- Con corrección de ambiente:  $K_{3A} < 2.5$
- Entorno acústico:  $K_{2A} < 7$

## ISO 11204: Medición in situ

### → Método de ingeniería:

- ✓ Con corrección de ambiente:  $K_{3A} < 2$
- ✓ Entorno acústico:  $K_{2A} \leq 7$

### → Método de control:

- ✓ Con corrección de ambiente:  $K_{3A} < 7$
- ✓ Entorno acústico:  $K_{2A} \leq 7$

## Índice

- Introducción: análisis del papel de la **potencia sonora** en un problema de control de ruido.
- Estimación de **potencia sonora**:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Normativa de la estimación de la Potencia:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Introducción al concepto del **nivel de presión de emisión**: directiva **2006/42/EC**.
- Normativa de la estimación del **nivel de presión de emisión**.
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ **Método de intensidad**.
- Bibliografía.

## Método de intensidad

- Determinación experimental de los niveles de intensidad  $L_{Ix}$ ,  $L_{Iy}$ ,  $L_{Iz}$ , componentes en tres direcciones cartesianas (horizontalmente perpendicular hacia la máquina, vertical hacia abajo y horizontal paralela a la máquina) en cada una de las posiciones de medida.
- Se evalúa el **nivel del módulo de la intensidad**, que se calcula como

$$L_{I_{xyz}} = 10 \log \sqrt{\left(10^{\frac{L_{Ix}}{10}}\right)^2 + \left(10^{\frac{L_{Iy}}{10}}\right)^2 + \left(10^{\frac{L_{Iz}}{10}}\right)^2}$$

donde cada nivel de componente se calcula considerando sólo el módulo, sin tener en cuenta el signo del vector.

- El nivel de presión de emisión se estima como

$$L_p^{\text{emission}} = L_{I_{xyz}}$$

A la que hay que incluir una corrección de campo semilibre

## Método de intensidad

- Se evalúa el **indicador de presión-intensidad** del campo sonoro en cada posición como

$$F_{pI_{xyz}} = L_p - L_{I_{xyz}}$$

En este caso, este indicador se define **a partir del valor del módulo del vector**

- También habrá que evaluar los **indicadores de presión-intensidad del campo para cada componente**.
- Indican lo reactivo que es el campo en la posición de medida.

## Comparación de métodos

Influencia de la presencia de campo difuso:

→ **Método por presión:**

$$P_{\text{medida}} = P_{\text{fuente}} + P_{\text{difusa}}$$

→ **Método por intensidad:**

En campo difuso la contribución a la intensidad de las reflexiones es muy pequeña.

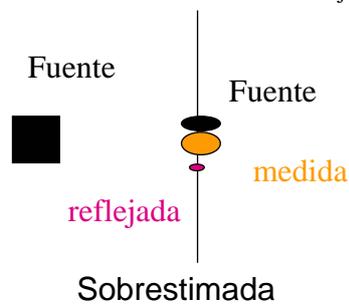
$$\begin{aligned} \vec{I}_{\text{medida}} &= \vec{I}_{\text{fuente}} + \vec{I}_{\text{difuso}} \\ &\approx \vec{I}_{\text{fuente}} \end{aligned}$$

## Comparación de métodos

Influencia de las Reflexiones y de otras fuentes.

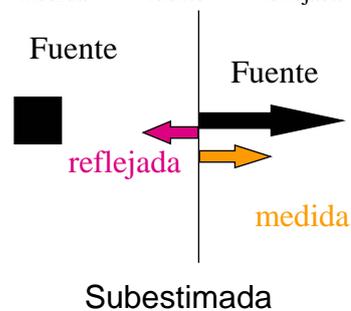
→ **Método de presión:**

$$P_{\text{medida}} = P_{\text{fuente}} + P_{\text{reflejada}}$$



→ **Método de intensidad:**

$$\vec{I}_{\text{medida}} = \vec{I}_{\text{fuente}} + \vec{I}_{\text{reflejada}}$$



## Resumen de Normativa

Tabla 1  
Presentación general de las Normas Internacionales relativas a la determinación de los niveles de presión acústica

Parámetro	ISO 11201 Método de medición Clase 2	ISO 11202 Método de medición Clase 3	ISO 11203 Determinación a partir del nivel de potencia sonora Clase 2 ó 3	ISO 11204 Método de medición Clase 2 ó 3
Entorno de ensayo	Al aire libre o en sala	Al aire libre o en sala	Conforme a la norma relativa al nivel de potencia sonora	Al aire libre o en sala
Criterio de aptitud del entorno de ensayo	$K_{1A} \leq 2$ dB	$K_{1A} \leq 7$ dB	Conforme a la norma relativa al nivel de potencia sonora	$K_{1A} \leq 7$ dB
Límites para la corrección de entorno	Ninguna corrección	$K_{1A} \leq 2,5$ dB (método simplificado)	Conforme a la norma relativa al nivel de potencia sonora	$K_{1A} \leq 2$ dB (clase 2) $K_{1A} \leq 7$ dB (clase 3)
Dimensiones de la fuente sonora	Ninguna restricción; limitadas solamente por el entorno de ensayo disponible	Ninguna restricción; limitadas solamente por el entorno de ensayo disponible	Método particularmente apropiado para máquinas de pequeñas dimensiones, producidas en serie	Ninguna restricción; limitadas solamente por el entorno de ensayo disponible
Naturaleza del ruido	Todos los ruidos (banda ancha, banda estrecha, frecuencia discreta, estable, no estable, impulsional)	Todos los ruidos (banda ancha, banda estrecha, frecuencia discreta, estable, no estable, impulsional)	Conforme a la norma relativa al nivel de potencia sonora	Todos los ruidos
Límites para el ruido de fondo <sup>1)</sup>	$\Delta L \geq 6$ dB (si es posible superior a 15 dB) $K_{1A} \leq 1,3$ dB para cada posición especificada	$\Delta L \geq 3$ dB $K_{1A} \leq 3$ dB	Conforme a la norma relativa al nivel de potencia sonora	$\Delta L \geq 6$ dB (si es posible superior a 15 dB) $K_{1A} \leq 1,3$ dB para cada posición especificada
Posiciones en las cuales los niveles de presión acústica de emisión deben determinarse	Puestos de trabajo y otras posiciones especificadas		Puestos de trabajo y otras posiciones especificadas (pero no en cabinas o emplazamientos similares)	Puestos de trabajo y otras posiciones especificadas
Aparatos: a) sonómetro b) sonómetro integrador c) dispositivo de filtrado por bandas de octava d) calibrador	Al menos conformes a: a) clase 1 según la CEI 651 b) clase 1 según la CEI 804 c) clase 1 según la CEI 1260 d) clase 1 según la CEI 942		Conforme a la norma relativa al nivel de potencia sonora	a) clase 1 b) clase 1 c) clase 1 d) clase 1
Magnitudes que deben obtenerse	A, $C_{pmax}$ , facultativamente por bandas de octava		Conforme a la norma relativa al nivel de potencia sonora	A, $C_{pmax}$ , facultativamente por bandas de octava
Precisión del método de determinación de $L_{pA}$ en términos de desviación típica de reproducibilidad	Inferior o igual aproximadamente a 2,5 dB <sup>2)</sup>		Iguala la del método de determinación del nivel de potencia sonora utilizada	Inferior o igual aproximadamente a 2,5 dB (clase 2) o a 5 dB (clase 3) <sup>2)</sup>
Normas relacionadas relativas al nivel de potencia sonora	ISO 3744	ISO 3746	Serie ISO 3740 e ISO 9614	ISO 3744 (clase 2) ISO 3746 (clase 3)

1)  $\Delta L$  es la diferencia entre el nivel de presión acústica medido cuando la fuente a ensayar está en funcionamiento y el nivel de ruido de fondo.

2) Debido al gran abanico de equipos a los cuales estas normas pueden aplicarse, estos valores se dan únicamente a título de sugerencia.

## Resumen de Normativa

	anechoica	In situ
precisión		
ingeniería	11201	11204 11205
control		11204 11202

## Elección de la norma adecuada: ISO11200

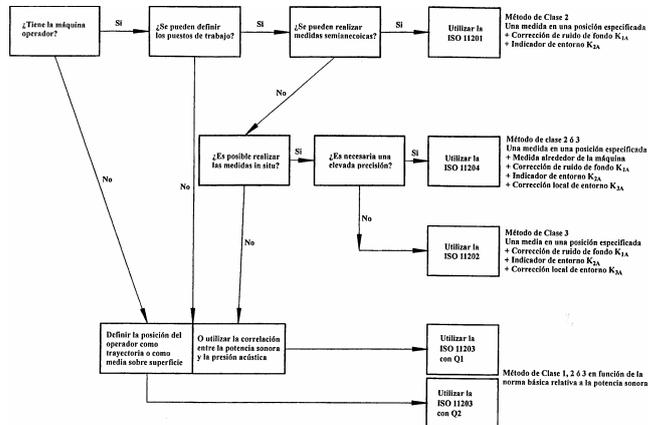


Fig. 1 – Organigrama que sirve de guía para la elección de la Norma Internacional apropiada para la determinación de los niveles de presión acústica de emisión de las máquinas y equipos

M. Herráez

Master de Ingeniería Acústica y Vibraciones

57

## Bibliografía: normativa

- **UNE-EN ISO 11200: 2010!! antes 1996.** Acústica. Ruido emitido por máquinas y equipos. Guía de utilización de las normas básicas para la determinación de los niveles de **presión acústica de emisión** en el puesto de trabajo y en otras posiciones especificadas. (ISO 11200:1995 - Cor1.1997).
- **UNE-EN ISO 11201: 2010!! antes 1996.** Acústica. Ruido emitido por máquinas y equipos. Medición de los niveles de **presión acústica de emisión** en el puesto de trabajo y en otras posiciones especificadas. Método de **ingeniería** en condiciones aproximadas a las de campo libre sobre plano reflectante. (ISO 11201:1995 - Cor1.1997).

M. Herráez

Master de Ingeniería Acústica y Vibraciones

58

## Bibliografía: normativa

- **UNE-EN ISO 11202: 2010!! antes 1996** Acústica. Ruido emitido por máquinas y equipos. Medición de los niveles de **presión acústica de emisión** en el puesto de trabajo y en otras posiciones especificadas. Método de **control** in situ. (ISO 11202:1995).
- **UNE-EN ISO 11203: 2010!! antes 1996** Acústica. Ruido emitido por máquinas y equipos. Medición de los niveles de **presión acústica de emisión** en el puesto de trabajo y en otras posiciones especificadas a partir del nivel de potencia sonora. (ISO 11203:1995).

## Bibliografía: normativa

- **UNE-EN ISO 11204: 2010!! antes 1996** Acústica. Ruido emitido por máquinas y equipos. Medición de los niveles de **presión acústica de emisión** en el puesto de trabajo y en otras posiciones especificadas. Método que necesita correcciones de entorno. (ISO 11204:1995 Cor1.1997).
- **UNE-EN ISO 11205: 2010!! antes 2004** Acústica. Ruido emitido por maquinaria y equipos. Método de **ingeniería** para la determinación por **intensimetría** de los niveles de **presión acústica de emisión** in situ en el puesto de trabajo y en otros puestos específicos. (ISO 11205:2003)

## Índice

- Introducción: análisis del papel de la **potencia sonora** en un problema de control de ruido.
- Estimación de **potencia sonora**:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Normativa de la estimación de la Potencia:
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- Introducción al concepto del **nivel de presión de emisión**: **directiva 2006/42/EC**.
- Normativa de la estimación del **nivel de presión de emisión**.
  - ✓ Método de **presión**.
  - ✓ Método de **intensidad**.
- **Bibliografía**.

## Bibliografía: potencia sonora

- BERANEK, L.L. "Noise and Vibration Control Engineering" *John Wiley & Sons*.
- FAHY, F.J. "Sound Intensity" *Elsevier Applied Science*.
- GADE, S. "Standardized Sound Power Determination using Sound Intensity Measurements" *Application Note*.
- GADE, S. WULFF, H. GINN, K.B. "Sound Power Determination using Sound Intensity Measurements (Part 1 and 2)" *Application Notes. BO 0055-54*
- GADE, S. GINN, K.B. ROTH, O. BROCK, M. "Sound Power Determination in highly reactive environments using Sound Intensity Measurements" *Application Notes. BO 0062*
- GUY, R.W. LI, J. "A Facility and Test Procedure for Sound Power Measurement by the Point-to-Point Intensity Technique" *Applied Acoustics 36 (1992) 107-121*.
- GUY, R.W. "Running a Test in an Intensity Based Measuring Facility" *Canadian Acoustics 18 (1) 31-45 (1990)*.
- ROTH, O. GINN, K.B. GADE, S. "Sound Power Determinations from sound pressure and from Sound Intensity Measurements in a semi-anechoic room" *Application Notes. BO 0062*
- UPTON, R. "Determination of Sound Power based on Sound Pressure Measurements using the Real-time Frequency Analyzers Types 2123 and 2133" *Application Notes. BO 0283-11*
- YANG, S.J. ELLISON, A.J.. "Machinery Noise Measurement" *Oxford Science Publications*.

## Bibliografía: presión de emisión sonora

- H. G. Jonasson, G. Andressen, Measurement of emission sound pressure levels using sound intensity. Nordtest project 1129-93. SP report 1995:75.
- M. Herráez, M. Machimbarrena. On the requirements on the  $F_{pl}$  indicator when determining emission sound pressure levels using sound intensity. INTERNOISE' 98.
- Jacques, J. "Noise and standarization, focussing on machinery and workplace domains". Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2004, 8-10 June Mariehamn, Aland.
- Prascevic, M. et al. "A new Method of noise emission declaration based on sound intensity measurement". Facta Universitatis. Working and Living Environmental Protection Vol. 2 nº 5 2005 pp. 445-454.
- Pérez Lacorzana, J. M. "Emisión sonora de máquinas de uso al aire libre". AAC Centro de Acústica Aplicada SL. [http://www.vitoria-gasteiz.org/w24/docs/ceac/ruidourbano/pdf/congruido05\\_pon7.pdf](http://www.vitoria-gasteiz.org/w24/docs/ceac/ruidourbano/pdf/congruido05_pon7.pdf).

## Bibliografía: Directiva

- **Directiva 89/392/CE** del Consejo, de 14 de junio de 1989, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre máquinas.
- **Directiva 98/37/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 junio de 1998 relativa a la aproximación de legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.
- **Directiva 2006/42/EC** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas.
- <http://www.ffii.nova.es/puntoinfomcyt/Directivas.asp?Directiva=98/37/CE> En esta página de Legislación de Seguridad Industrial del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, hay información muy clara de la directiva de máquinas.
- Arnáiz Álvarez, M. "Ruido emitido por la máquinas" Fichas de Divulgación normativa FDN-9. Documentación del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT. (1996) [http:// www.mtas.es/insht](http://www.mtas.es/insht).
- CNVM Barcaldo "Seguridad de las máquinas": Publicación semestral en disquete y papel, según opción, que bajo el título de "Programa de Normalización Europea como soporte de la Directiva 98/37/CE seguridad de las máquinas" modificada (Texto refundido de la Directiva 89/392/CEE y sus modificaciones) [http:// www.mtas.es/insht](http://www.mtas.es/insht)

## Bibliografía: legislación

- [Real Decreto 1435/1992](#), de 27 de noviembre (B.O.E. nº 297, de 11 de diciembre de 1992)  
"Relativo a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.
- [RD 56/1995](#) de 20 de enero, del Ministerio de la Presidencia (BOE nº 33 de 8/2/95).
- [Resolución](#) de 5 de Julio de 1999, de la Dirección General de Industria y Tecnología, por la que se acuerda la publicación de la lista actualizada de normas armonizadas en el ámbito del Real Decreto 1435/1992, de 27 de Noviembre, de aplicación de la Directiva 89/392/CE sobre máquinas modificada por el real Decreto 56/1995, de 20 de Enero. [B.O.E. Nº 197 publicado el 18/8/1999](#).
- R.D. 1644/2008 de 10 de octubre, *por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas*, traspone las exigencias de la Directiva 2006/42/EC al ámbito español, con vigencia desde el 29 de diciembre de 2009