

## Fuente acústica patrón - medida de ruido emitido por equipos industriales.

**Manuel MONTES MAYORGA**

Jefe del Laboratorio de Acústica y Vibraciones del Centro Nacional de Medios de Protección.

La aparición de ambientes ruidosos en nuestros núcleos industriales y urbanos es una consecuencia de falta de control sobre los focos generadores de los mismos. La actividad industrial y urbana se ve cada día más saturada de equipos industriales y de uso doméstico, que generan niveles de ruido que sobrepasan los límites que una persona puede considerar como confortables o, al menos, no molestos.

Ha sido en estos últimos tiempos cuando se está llevando a cabo a nivel internacional, una acción cada vez más positiva encaminada a poder, mediante medidas previas, valorar el ruido generado por los equipos industriales y de servicio doméstico, realizando de esta forma una protección de las personas frente a la propagación de las ondas sonoras que no implica la utilización de acciones individuales sino que se lleva a cabo realizando una acción sobre las mismas fuentes generadoras de los ambientes ruidosos.

### OBJETO

El objeto del presente trabajo ha sido el de diseñar una fuente patrón utilizando las posibilidades existentes en el Laboratorio de Acústica y Vibraciones, y que cumpliera de una manera general los requisitos que cumplen las diferentes fuentes de referencia existentes en otros países.

La construcción de la fuente de referencia ha llevado consigo:

- a) Diseño de la "Caja Acústica".
- b) Diseño de la etapa amplificadora capaz de compensar la respuesta de la "Caja Acústica".

### METODOLOGIA DE ACTUACION

La acción a emprender con este espíritu necesita el estudio, entre otros, de los siguientes puntos:

- El cálculo del nivel de presión sonora producido a una distancia dada por una máquina, funcionando en un medio ambiente determinado.
- La comparación del ruido emitido por máquinas del mismo modelo y tamaño.
- La comparación del ruido emitido por máquinas del mismo modelo y tamaño diferente.
- La verificación del mismo respecto a un valor límite de emisión sonora que se haya especificado para ese tipo de máquinas.
- La previsión del tipo de variaciones a introducir a la máquina en cada uno de los casos particulares.
- El cambio en las técnicas de concepción de los equipos industriales y de uso doméstico, encaminadas a realizar nuevos diseños en los que la creación de equipos "no ruidosos" se tenga muy presente.

Para conseguir una cierta coherencia entre los resultados que se obtengan en los trabajos indicados anteriormente, es preciso que todas las personas que se vean implicadas en el desarrollo de los mismos, expresen en un mismo lenguaje las características de emisión de ruido de las máquinas. La uniformidad de este lenguaje se consigue utilizando como magnitud física que nos defina el fenómeno del ruido, la potencia acústica, expresada por el nivel de potencia acústica. Efectivamente dicha potencia, al ser un valor intrínsecamente característico de la emisión sonora del manantial y no verse influida por los efectos que puedan producir las reflexiones eventuales del lugar de ensayo, elimina todo mal entendido entre fabricante y productor.

Dado que, en la actualidad, la determinación por medio de una medida directa del nivel de potencia acústica es difícil de realizar, es por lo que, corrientemente la potencia acústica de una máquina o de un equipo se realiza a partir del nivel de presión acústica medido en las proximidades de la fuente en condiciones bien definidas dependiendo del campo acústico en que se encuentre. Los métodos utilizados hasta el momento para la determinación del nivel de potencia acústica emitida se basan en la hipótesis de que la misma está en relación directa con la presión acústica que existe alrededor del manantial, promediado cuadráticamente en el espacio y en el tiempo.

Centrando la normativa internacional existente en los documentos de base ISO, que aparecen reflejados en la Tabla 1, se puede observar que se dan diferentes procedimientos que definen la forma de evaluar los efectos producidos por el lugar de ensayo sobre los niveles de presión acústica a una distancia determinada del manantial. De entre ellos hay que señalar aquél que se basa en la sustitución de la fuente ruidosa a ensayar por una fuente sonora de referencia (FSR), procediendo posteriormente a realizar una comparación de los

efectos producidos por las dos fuentes en los emplazamientos previstos para los micrófonos.

En el caso en que se pueda efectuar la sustitución de la fuente, el nivel de potencia sonora generado por el equipo o máquina nos viene dado por:

$$L_w = L_{w(1)} + K$$

$L_w$  = Nivel real de potencia acústica emitido por la máquina.

$L_{w(1)}$  = Nivel de potencia acústica obtenido de acuerdo con las medidas realizadas cuando el equipo se encuentra ubicado en un lugar de ensayo determinado "in situ".

$K$  = Corrección a introducir utilizando la fuente de referencia, su valor se obtiene:

$$K = L_{w(FSR) 1} - L_{w(FSR) 2}$$

$L_{w(FSR) 1}$  = nivel de potencia acústica de la fuente patrón calibrada.

$L_{w(FSR) 2}$  = Nivel de potencia acústica de la fuente patrón "in situ"

El estudio de toda esta normativa y la necesi-

**TABLA 1**

ISO-3741	Determinación de la Potencia Acústica en Cámara Reverberante.
ISO-3742	Determinación de la Potencia Acústica en Cámara Reverberante y a frecuencias discretas.
ISO-3743	Determinación de la Potencia Acústica en Cámaras Especiales.
ISO-3745	Determinación de la Potencia Acústica en Cámara Anecoica.
ISO-3746	Determinación de la Potencia Acústica. Medidas en Campo.
ISO-DP-3744	En campo libre con plano reflectante.
ISO-DP-3747	Para medidas en campo usando fuente sonora de referencia:
ISO-DP-3748	Calibración de las fuentes sonoras de referencia.

dad de poner a punto una fuente patrón que pueda ser utilizada en todos aquellos trabajos que el Laboratorio de Acústica y Vibraciones del Centro Nacional de Medios de Protección quiera realizar, encaminados a la medida del ruido generado por los equipos industriales y domésticos, es lo que ha motivado el estudio y diseño de una fuente patrón propia que se encuentre en línea con las que hasta el momento existen a nivel internacional.

## REALIZACIONES

La fuente patrón en estudio consta de las siguientes partes, cuya realización ha sido efectuada en el Laboratorio de Acústica y Vibraciones:

- 1.º Caja Acústica (fig. 1), propiamente dicha, que ha llevado consigo:
  - a) El diseño de la misma, teniendo presente que se intentaba obtener una fuente acústica de pequeñas dimensiones, pero que mantuviese cierta omnidireccionalidad en una banda de frecuencias bastante amplia y un nivel de presión acústica lineal en dicha banda de frecuencias.
  - b) Acoplamiento de un altavoz Altec-Lasing, con lo que se consideró que con un único altavoz se conseguía tener disponible una banda de frecuencias bastante amplia.
- 2.º Diseño de la etapa amplificadora, teniendo presente que se intenta obtener una fuente con la mayor linealidad posible en la banda de frecuencias comprendida entre 125 y 8.000 Hz. La figura 2 nos presenta el diagrama bloque del circuito diseñado para obtener una curva de respuesta de la "Caja Acústica" con la máxima linealidad posible. En este diagrama bloque podemos apreciar que existe una unidad que aparece como "Filtro", que tiene como finalidad el ponderar la banda de frecuencias que en la respuesta de la "Caja Acústica" posee una caída de nivel.

## ESTUDIO ACUSTICO DE LA FUENTE PATRON

En el estudio del comportamiento acústico de la fuente patrón realizada en el Laboratorio de Acústica del Centro Nacional de Medios de Protección, se han desarrollado las siguientes fases:

En la primera de ellas se ha comprobado la

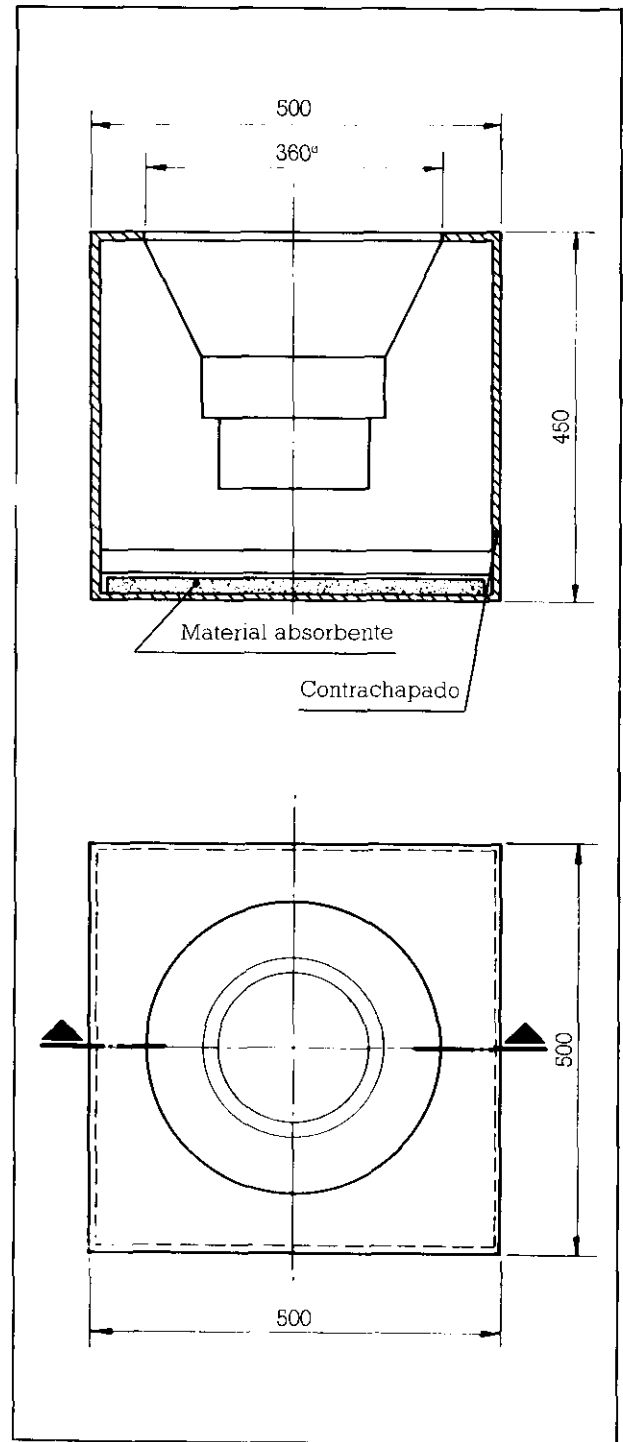


Figura 1

respuesta del conjunto diseñado CAJA ACUSTICA-UNIDAD AMPLIFICADORA. La figura 3 nos presenta la curva de respuesta obtenida estando el conjunto posicionado en el interior de la Cámara Anecoica existente en el Laboratorio y la unidad amplificadora en la posición, 0 dB.

e) Fuente Patrón (5).

La mesa giratoria (4) está sincronizada con el registrador gráfico (8), para poder obtener las curvas de direccionalidad.

El proceso de medida está formado por:

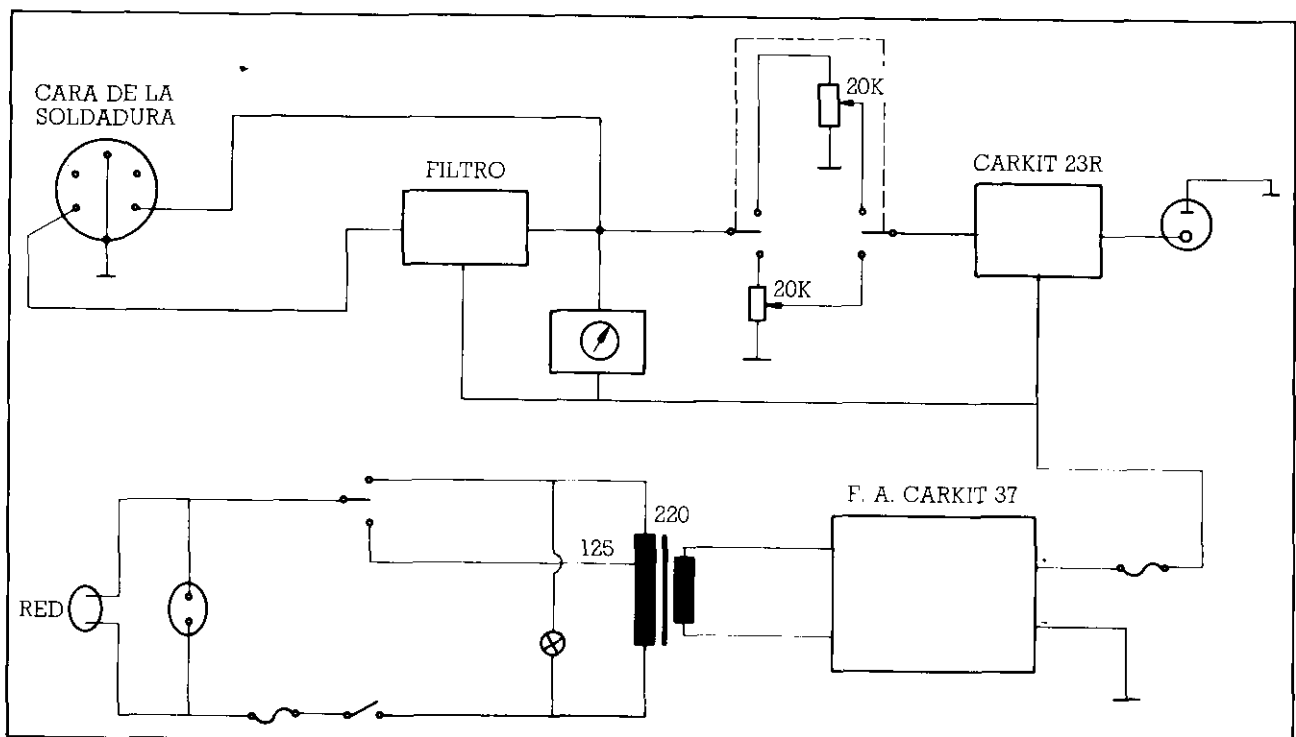


Figura 2  
AMPLIFICADOR PARA LA FUENTE PATRON (Circuito en bloque)

En la segunda fase se ha definido la metodología a seguir en cuanto al tipo de señal a utilizar y el proceso de generación y medida.

La figura 4 nos presenta el montaje utilizado.

El proceso de generación se realiza utilizando:

- Fuente de ruido blanco, marca General Radio, mod. 1.382 (1)
- Unidad amplificadora realizada en Laboratorio de Acústica, con indicador en  $\mu A$  (3).
- Equipo generador de tonos puros para determinar la Direccionalidad (2).
- Mesa giratoria (4).

- Micrófono omnidireccional, Buel & Kjaer, mod. 4145 (6)
- Analizador en frecuencias (7)
- Registrador gráfico (8)

En la tercera fase, se ha estudiado la fuente patrón, desde el punto de vista de:

- Determinación de la directividad de la misma.
- Cálculo de la potencia acústica que genera para cada una de las frecuencias de ensayo, valor lineal y en ponderación "A".

La realización de esta fase se ha efectuado en

# Industrial

condiciones de campo libre sobre plano reflectante, lo que se ha conseguido posicionando la fuente patrón sobre un panel de madera contrachapada en el interior de la Cámara Anecoica, como aparece reflejado en las figuras 5 y 6.

Siguiendo las especificaciones de la normativa

internacional existente sobre este tema se definió como superficie de medida una semiesfera de radio 1,5 m, que envuelve a la fuente patrón. La figura 7, nos presenta detalle de posicionamiento de los puntos de medida, así como una tabla indicativa de las coordenadas de los mismos.

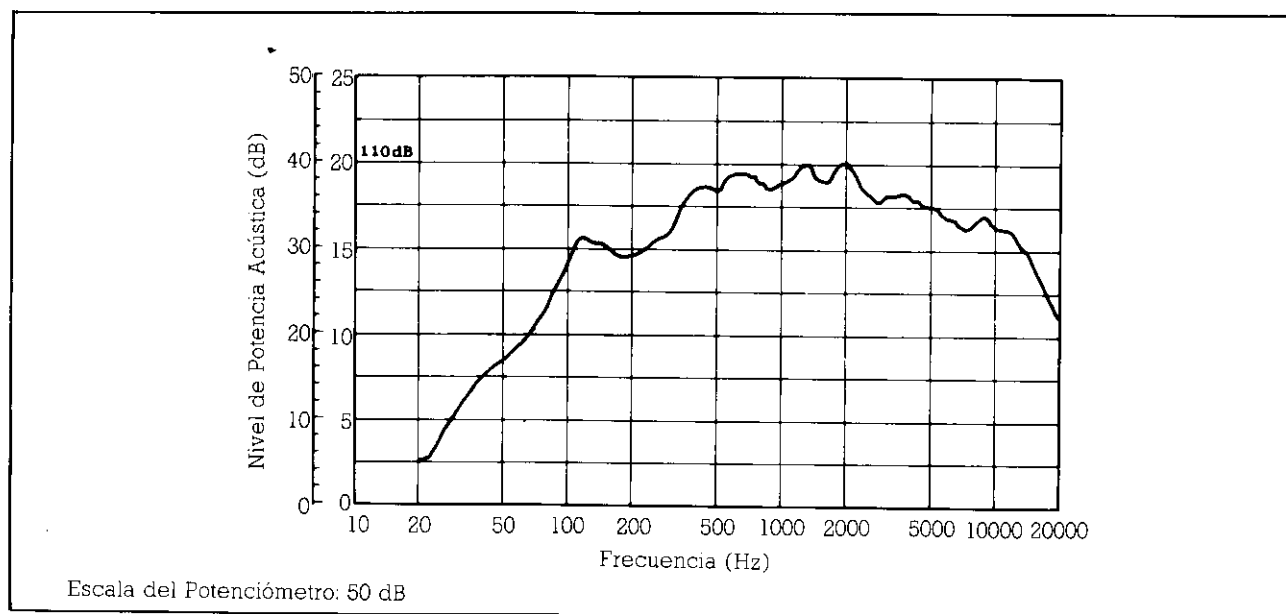


Figura 3

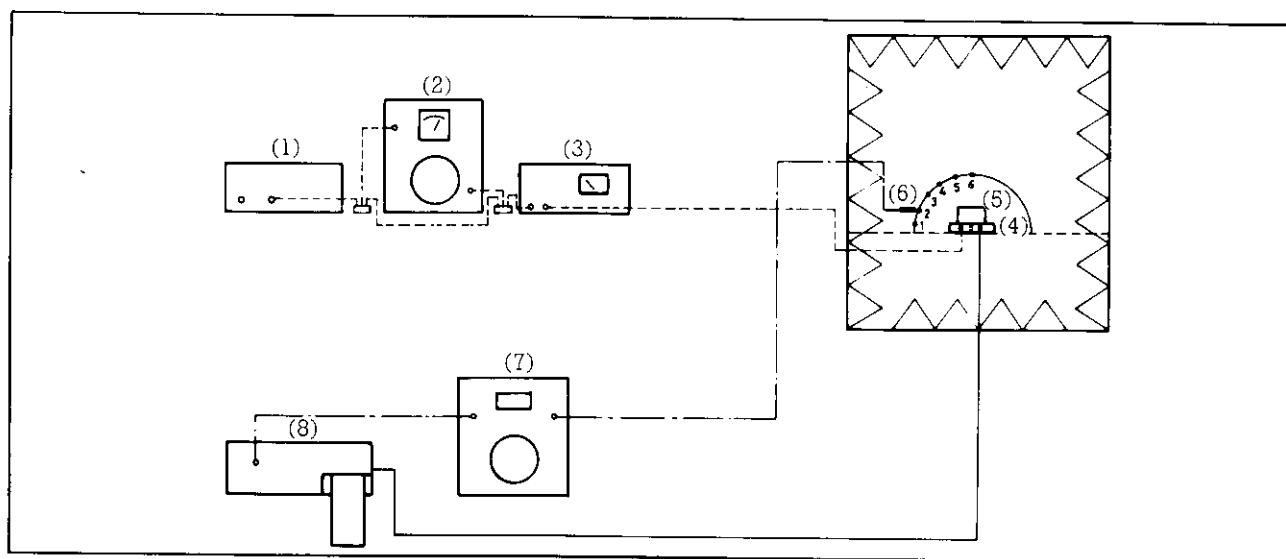


Figura 4

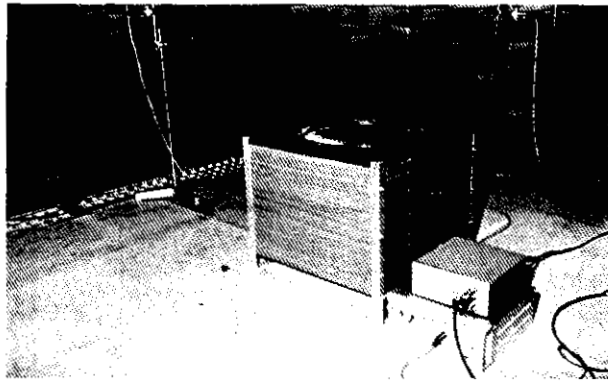


Figura 5

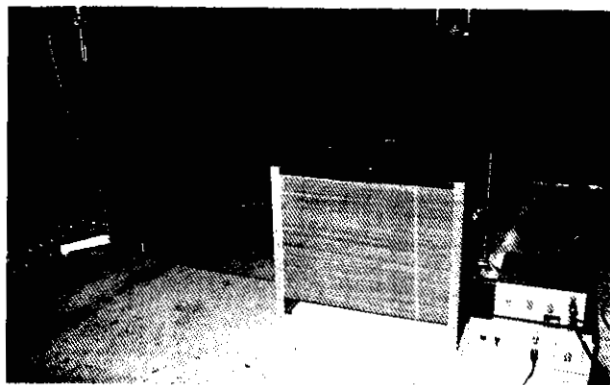


Figura 6

La fuente patrón objeto del estudio se posicionó en una mesa giratoria con el objeto de obtener:

- Las curvas de direccionalidad.
- Los valores calibrados de la fuente patrón, cuando la misma se excita con un valor constante de señal eléctrica que se corresponde con una señal de ruido blanco cuyo nivel para la posición de la unidad amplificadora en, 0 dB, es de 250  $\mu$  A en el indicador de la misma.

Los valores calibrados se obtendrán para:

- Las bandas de octava cuya frecuencia central son 125 - 250-500-1.000- 2.000-4.000 -8.000 Hz.
- Valor lineal.
- Valor ponderado "A".

## RESULTADOS

Los resultados del presente estudio corresponden a los obtenidos para los puntos indicados en la tercera fase del apartado anterior.

- Directividad de la fuente patrón
- Determinación de la potencia acústica

Las medidas se han obtenido posicionando el micrófono en un plano que contiene el punto C, indicado en la fig. 7, y que es perpendicular al suelo

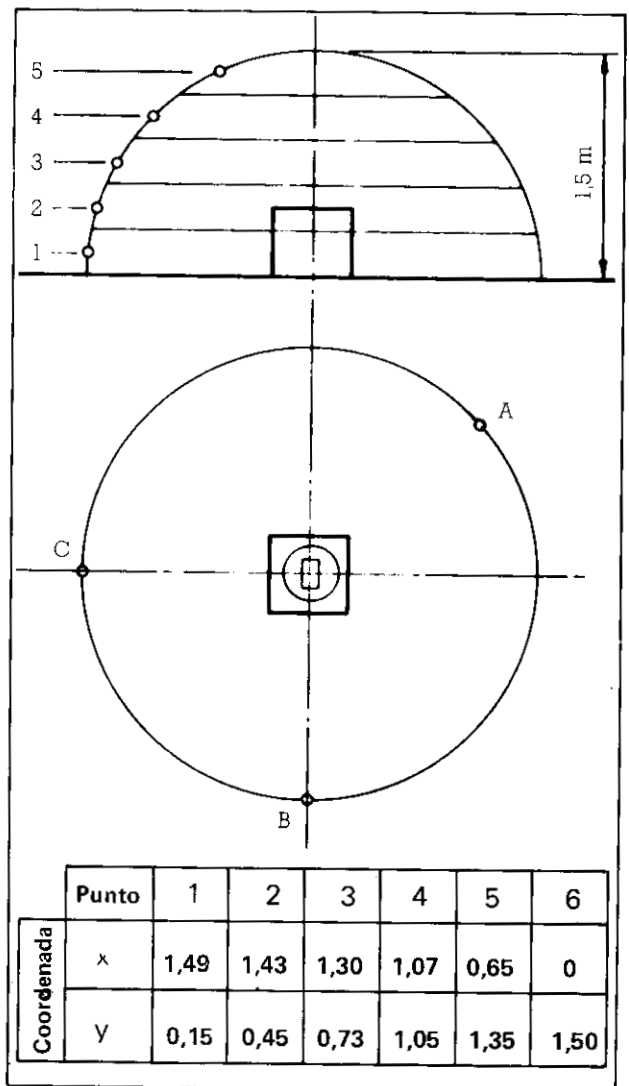


Figura 7

# Industrial

de la cámara, por consiguiente, los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 6, se encuentran en dicho plano.

Se han obtenido las curvas de direccionalidad en cada uno de los puntos de medida indicados anteriormente para tonos puros de frecuencia 125 - 250 - 500 - 1.000 - 2.000 - 4.000 - 8.000 Hz.

Respecto a la determinación de la potencia acústica de la fuente en estudio y, siguiendo el criterio definido en las normas anteriormente indicadas, se ha tomado como expresión para su cálculo la siguiente:

Nivel de Potencia Acústica:

$$L_w = L_p + 10 \log \frac{S_T}{S_o} + C \quad (1)$$

$$L_p = 10 \log \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^{N-i} 10^{0,1 L_{pi}} \right) : L_{pi} = \text{Nivel de presión acústica en cada una de las zonas.}$$

En nuestro caso "i" varía entre 1 a 5.

$S_T$  - Superficie total de la semiesfera

En nuestro caso  $S = 2\pi R^2 = 2\pi(1,5)^2 = 14,14 \text{ m}^2$ .

$S_o = 1 \text{ m}^2$

C - Constante que depende de las condiciones ambientales; en nuestro caso se puede considerar  $C = 0$ .

**TABLA 2**

		A	B	C	Valor Medio	A	B	C	Valor Medio	A	B	C	Valor Medio	A	B	C	Valor Medio	A	B	C	Valor Medio
BANDAS DE OCTAVA (Hz)	125	64	64	64	64	67	66	67	66,5	69	67	68	68	71	71	71	71	72	72	72	72
	250	67	67	67	67	72	70	71	71	72	71	72	71,5	68	70	70	69	71	72	72	71,5
	500	71	71	71	71	70	71	70	70	73	73	72	72,5	72	71	72	71,5	79	79	79	79
	1000	72	66	71	70	68	71	70	69,5	67	65	64	65	73	74	74	73,5	78	78	78	78
	2000	69	66	63	66	70	66	73	69,5	73	66	74	71	78	73	79	76,5	75	79	79	77,5
	4000	54	54	55	54	56	59	59	58	61	63	63	62	70	72	72	71	76	76	81	77,5
	8000	61	41	60	54	54	63	66	61	61	72	73	68,5	63	78	78	73	74	75	73	74
Lineal	80	80	79	79,5	81	81	81	81	84	83	84	83,5	86	86	88	86,5	90	91	91	90,5	
Ponderado "A"	77	77	76	76,5	77	77	78	77	79	78	80	79	84	84	86	84,5	88	88	89	88	

**TABLA 3**

		1	2	3	4	5	$L_p$	$10 \log \frac{S_T}{S_o}$	$L_w$
BANDAS DE OCTAVA (Hz)	125	64	66,5	68	71	72	69	11,5	80,5
	250	67	71	71,5	69	71,5	70	11,5	81,5
	500	71	70	72,5	71,5	79	74	11,5	85,5
	1000	70	69,5	65	73,5	78	73	11,5	84,5
	2000	66	69,5	71	76,5	77,5	74	11,5	85,5
	4000	54	58	62	71	77,5	71,5	11,5	83
	8000	54	61	68,5	73	74	70	11,5	81,5
Lineal	79,5	81	83,5	86,5	90,5	86	11,5	97,5	
Ponderado "A"	76,5	77	79	84,5	88	83	11,5	94,5	

La tabla 2 nos presenta los valores de nivel de presión acústica medidos en los puntos A, B y C, correspondientes a las zonas 1, 2, 3, 4 y 5 en que hemos dividido la superficie de medida, así como el valor medio de nivel de presión acústica de cada una de las zonas.

La tabla 3 nos presenta los resultados de aplicar la expresión (1), a la fuente patrón en estudio, que quedan recogidos en la fig. 8.

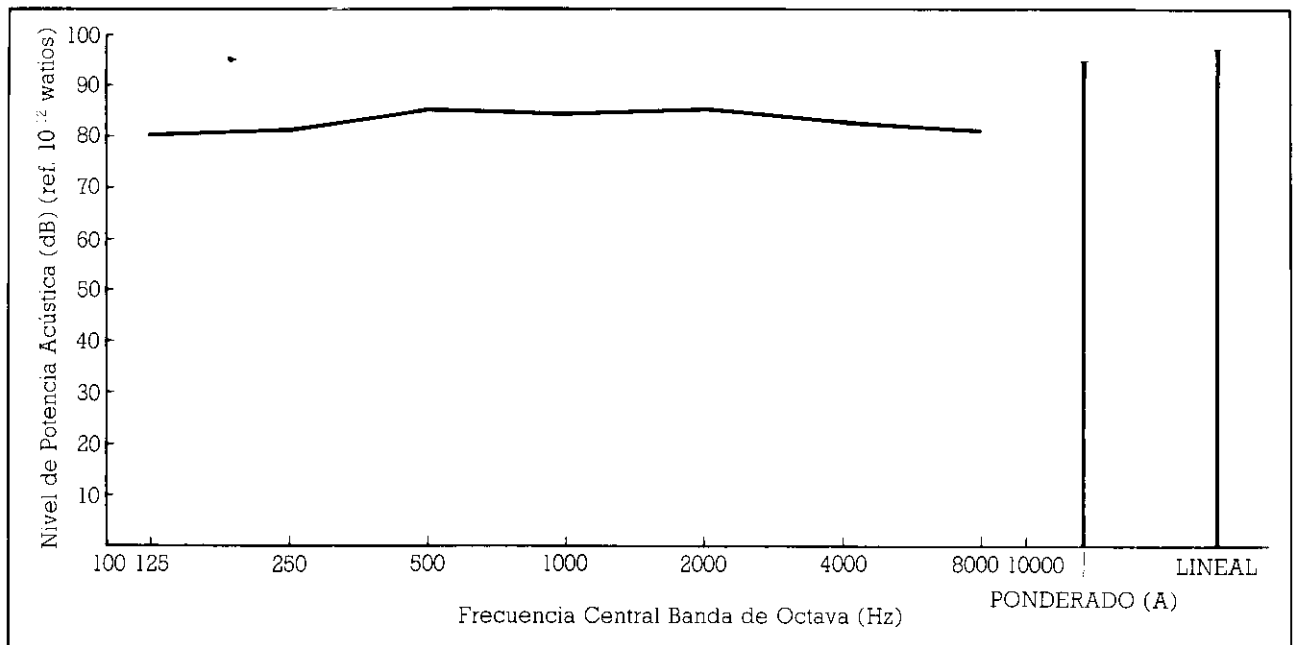


Figura 8

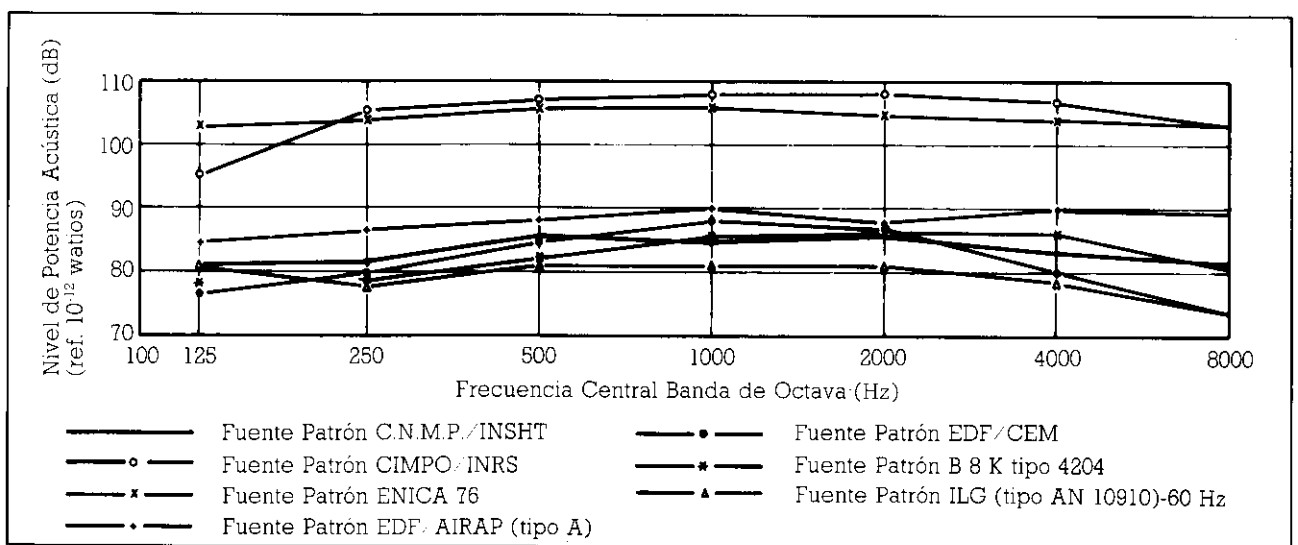


Figura 9



## CONCLUSIONES

En la gráfica de la figura 8 se recogen los niveles de potencia acústica generados por la "Fuente Patrón" que ha sido motivo del presente estudio.

Dado que a nivel internacional existen otras fuentes patrones cuyos niveles de emisión acústica son conocidos y están publicados en revistas especializadas, queremos realizar una comparación entre estas fuentes y la construida en este La-

boratorio. Con este motivo en la figura 9, hemos representado los valores obtenidos y los que nos da la revista "Noise Control engineering, en su número de Julio-Agosto de 1977, en el artículo "Characteristics and Calibration of Reference Sound Sources", para diversas fuentes construidas en otros países. Del análisis de la misma se puede decir que la construida en el Laboratorio de Acústica y Vibraciones se encuentra dentro de las características acústicas de las existentes a nivel internacional.

## INDICE DE MATERIAS

El accidente de trabajo y la seguridad en el trabajo.

Las técnicas de seguridad.

Planificación de la prevención.  
Evaluación de riesgos.

La inspección de seguridad.

Notificación, registro y clasificación  
de partes de accidente.

La investigación de accidentes.

La protección personal.

Técnica de protección de  
máquinas.

La norma y señalización de  
seguridad.

El riesgo de incendio.

El riesgo de explosión.

Riesgo de contacto con  
la corriente eléctrica.

### Autores:

Manuel BASELGA MONTE  
y 12 coautores.

Manual de 544 páginas.  
Precio de venta: 1.200 pts.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD  
E HIGIENE EN EL TRABAJO  
(Publicaciones)

C/ Torrelaguna, 73 - 28027 MADRID

