

RESPUESTA DE SONOMETROS Y DOSIMETROS A RUIDOS INTERMITENTES

**Autor: MANUEL MONTES MAYORGA
JERONIMO GARCIA GONZALEZ.**

**Laboratorio de Acústica del Centro
Nacional de Homologación.**

INTRODUCCION

La redacción de una norma interna por parte del Servicio Social de Higiene y Seguridad del Trabajo referente a la "Verificación de los Dosímetros de Ruido", ha necesitado del estudio y puesta a punto de una serie de ensayos que nos permitieran comprobar el comportamiento correcto de estos equipos de evaluación del fenómeno físico del ruido. En especial existen unos ensayos, los referentes a la comprobación de la Respuesta Dinámica, que definen como actúan los mismos frente a ruidos de tipo intermitente o impulsivo.

Este artículo presenta una visión de conjunto sobre el funcionamiento de Sonómetros y Dosímetros ante los mencionados tipos de ruido discontinuo, teniendo en cuenta las diferentes Respuestas del Sistema de Lectura, SLOW, FAST, IMPULSE (Lenta, Rápida o Impulsiva).

Las conclusiones obtenidas pueden resultar de interés para aquellos higienistas que deban evaluar ambientes ruidosos utilizando Sonómetros y Dosímetros de Campo.

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA

La presentación de cada una de las unidades que

componen los Sonómetros y Dosímetros dará una visión más clara del proceso que sufre la señal acústica desde que es captada por el micrófono hasta que aparece una indicación en la unidad de lectura.

SONOMETROS

La figura 1 muestra el diagrama correspondiente a un sonómetro, que está formado fundamentalmente por:

- Micrófono. Convierte las variaciones de presión acústica en señales eléctricas.
- Circuito de ponderación. Mediante el mismo se puede seleccionar el tipo de medida a realizar; de acuerdo con las curvas de ponderación A, B, C, D, o una respuesta lineal (fig. 1. a).
- Atenuador, que ajusta la sensibilidad del sonómetro al nivel de ruido (fig. 1. b).
- Amplificador de señal (fig. 1. c).
- Unidad de cálculo del valor cuadrático medio (RMS), formada por:

1) Circuito de elevación al cuadrado, que proporciona una tensión de salida, igual al cuadrado de la de entrada (fig. 1. d).

2) Circuito promediador, que define al mismo tiempo la constante de tiempo del equipo de medida. Este circuito proporciona la inercia electrónica de funcionamiento del sistema. (Fig. 1. e). Son seleccionables las Respuestas Slow (Lenta), Fast (Rápida), Impulse (Impulsiva).

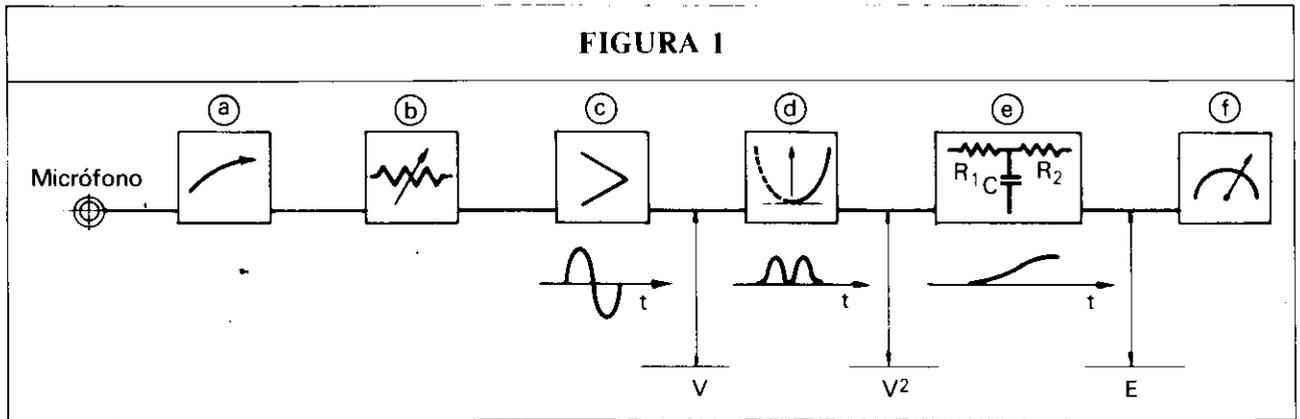
La más comúnmente utilizada en los equipos de Higiene de Campo, es la "Slow".

- Indicador que proporciona una lectura analógica o digital del nivel de ruido (fig. 1. f).

DOSIMETROS

El diagrama de bloque simplificado de un dosímetro se muestra en la figura 2: está compuesto por:

- Micrófono.
- Circuito de ponderación, que se corresponde con el de ponderación A (fig. 2. a.).
- Amplificador de señal (fig. 2. b.).
- Unidad de cálculo del valor cuadrático medio (RMS), formada por los dos circuitos ya indicados para los sonómetros (figs. 2. c y d).



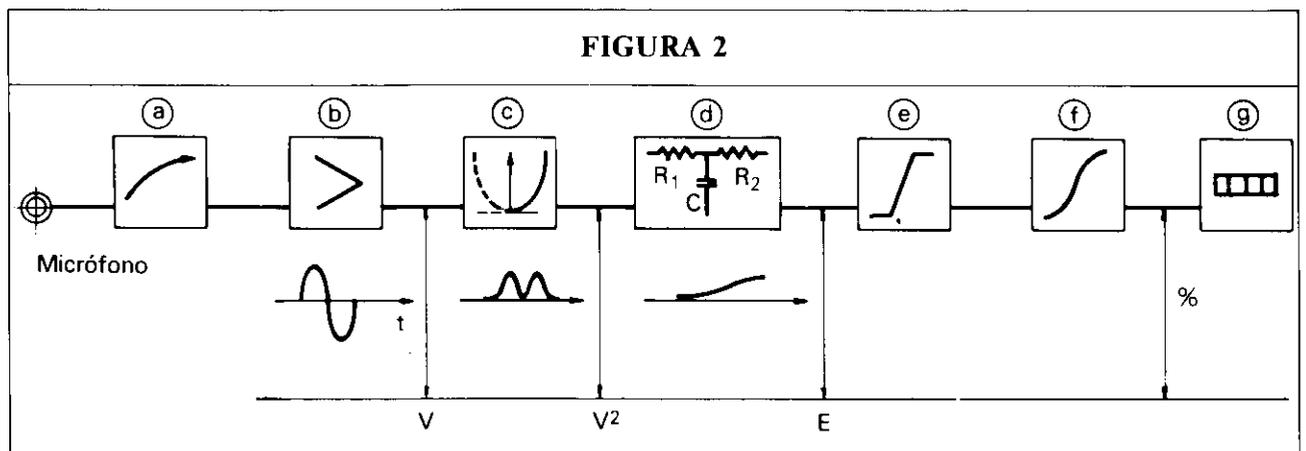
- Detector de umbral, que impide se contabilicen señales con niveles inferiores a un determinado valor (fig. 2.e)
- Unidad de cálculo de dosis, circuito que acumula el valor numérico de la dosis de acuerdo con las expresiones matemáticas definidas por la normativa utilizada (ISO, OSHA). Este circuito suele emplear técnicas digitales (fig. 2.f).
- Indicador que proporciona una indicación digital de la dosis, expresada en tanto por ciento (fig. 2.g).

bar el comportamiento de la respuesta dinámica de "Sonómetros" y "Dosímetros", se basan en el estudio del comportamiento de estos equipos frente a un ruido intermitente.

La representación gráfica de este tipo de ruido se indica en la figura 3, que muestra la forma de onda, tal como aparecería en la pantalla de un osciloscopio, en el punto correspondiente a la salida del amplificador de señal.

La figura 4, presenta la forma de onda a la salida de la unidad elevadora al cuadrado.

La figura 5, corresponde a la forma de onda a la



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA FRENTE A RUIDO INTERMITENTE

Los ensayos de laboratorio encaminados a compro-

salida del circuito promediador, ésta ataca directamente al circuito indicador en el caso de los sonómetros y al circuito que calcula la dosis, en los dosímetros.

Del análisis de la figura 5, se puede observar lo siguiente:

Seguridad.

- 1) La variación en el tiempo del valor eficaz de una señal seguirá una ley exponencial y, por consiguiente, adquirirá el valor máximo para un tiempo α , debido al circuito promediador formado por la Resistencia R_1 y el condensador C . Esta respuesta exponencial dependerá del valor de la constante de tiempo R_1C , del circuito promediador.
- 2) Cuando se trate de una señal intermitente, como la indicada en la figura 3, el valor máximo que adquirirá el valor eficaz se corresponderá con el que tome el circuito promediador en el momento, t_2 , de terminación del pulso, valor H en la figura 5.
- 3) En el momento de terminación del pulso, no se producirá una caída brusca del valor eficaz a cero, sino que se efectuará de acuerdo con una ley exponencial, dependiendo del valor de la constante de tiempo de descarga R_2C .

Lo anteriormente expuesto justifica que las medidas con Sonómetros, de ruidos discontinuos, se vean afectadas por el tipo de Respuesta (Slow, Fast, ...) seleccionada. Esta medida que coincidirá con el punto H de la fig. 5, se deberá corresponder con el valor máximo dado por el indicador.

Las medidas realizadas por los dosímetros estarán sometidas además al efecto que produce el proceso de cálculo de dosis, éste añade un nuevo factor a tener en consideración en la obtención de la indicación final. En este proceso de cálculo, el Dosímetro realizará la integración de todos los valores instantáneos de la curva indicada en la fig. 5.

Por tanto, puede decirse que el circuito de cálculo de dosis promedia oscilaciones lentas del nivel de entrada y en cambio el circuito de constante de tiempo actúa ante variaciones más rápidas de nivel, existiendo una zona

FIGURA 3

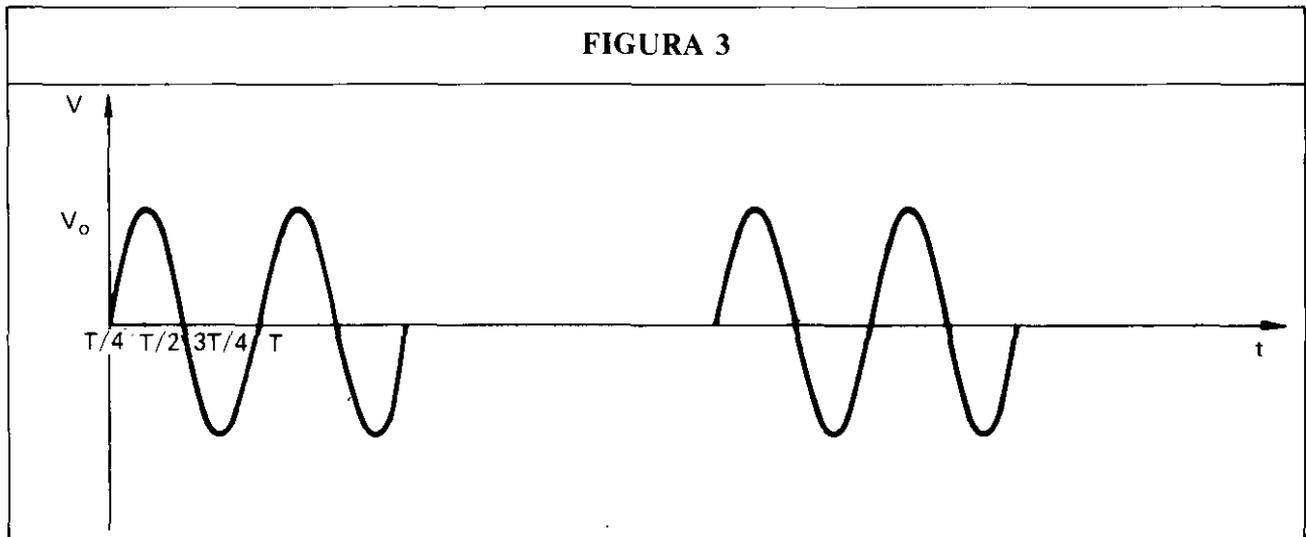
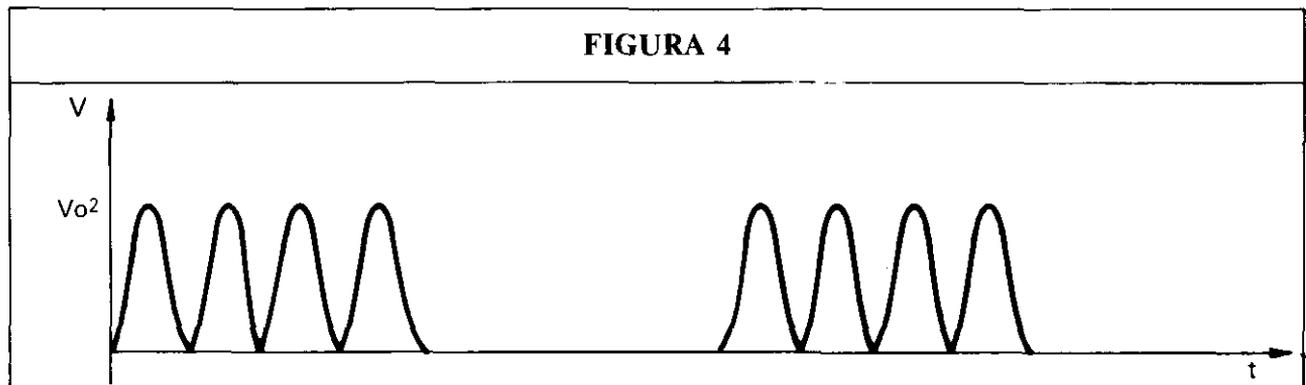


FIGURA 4



intermedia en la cual se produce el efecto combinado de ambos circuitos.

ANÁLISIS TEÓRICO DE LA RESPUESTA DE SONOMETROS Y DOSIMETROS A RUIDOS DISCONTINUOS

El planteamiento del análisis teórico de los Sonómetros y Dosímetros ante ruidos intermitentes o discontinuos necesita definir un tipo de señal que se pueda reproducir fácilmente; la señal elegida es el Tren de Ondas, entendiéndose por tal, un número entero de ondas senoidales (normalmente de frecuencia 1000 Hz) emitidas de forma periódica en el tiempo y separadas por periodos de silencio, tal como indica la figura 6.

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \text{ y } \text{sen } \phi = \frac{X_c}{\sqrt{R_1^2 + X_c^2}}$$

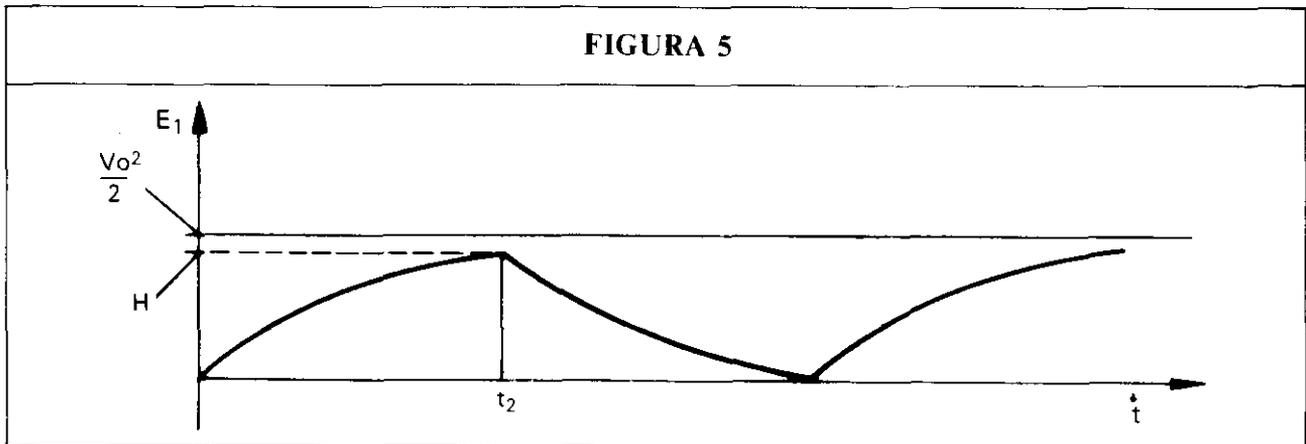
normalmente la componente E_2 es pequeña y despreciable frente a E_1 , por lo que la señal que ataca al Circuito Indicador en los Sonómetros y al integrador en los Dosímetros, nos viene dada por la expresión (2). Asimismo, hay que tener en cuenta tanto en Sonómetros como en Dosímetros el fenómeno de DESCARGA del condensador, en el momento que comienza el periodo de silencio definido por la expresión matemática

$$E_D = E_{1\text{max}} e^{-t/R_2C} \quad (4)$$

siendo $E_{1\text{max}}$ el valor que toma la expresión (2) cuando comienza el periodo de silencio.

En el caso de los Dosímetros es de gran importancia debido al proceso integrador de los mismos.

FIGURA 5



Partiendo de la expresión matemática que nos define el comportamiento de una onda como la indicada en la fig. 4

$$V^2 = V_o^2 \text{sen}^2 wt = \frac{V_o^2}{2} (1 - \cos 2wt) \quad (1)$$

la respuesta de la misma a un circuito R_1C , nos viene dada por dos componentes

$$E_1 = \frac{V_o^2}{2} (1 - e^{-t/R_1C}) \quad (2)$$

$$E_2 = \frac{V_o^2}{2} \frac{X_c}{\sqrt{R_1^2 + X_c^2}} \text{sen}(2wt + \pi/2 + \phi) \quad (3)$$

donde:

Una vez presentada la base teórica, se puede realizar el siguiente análisis referido a los Sonómetros y Dosímetros.

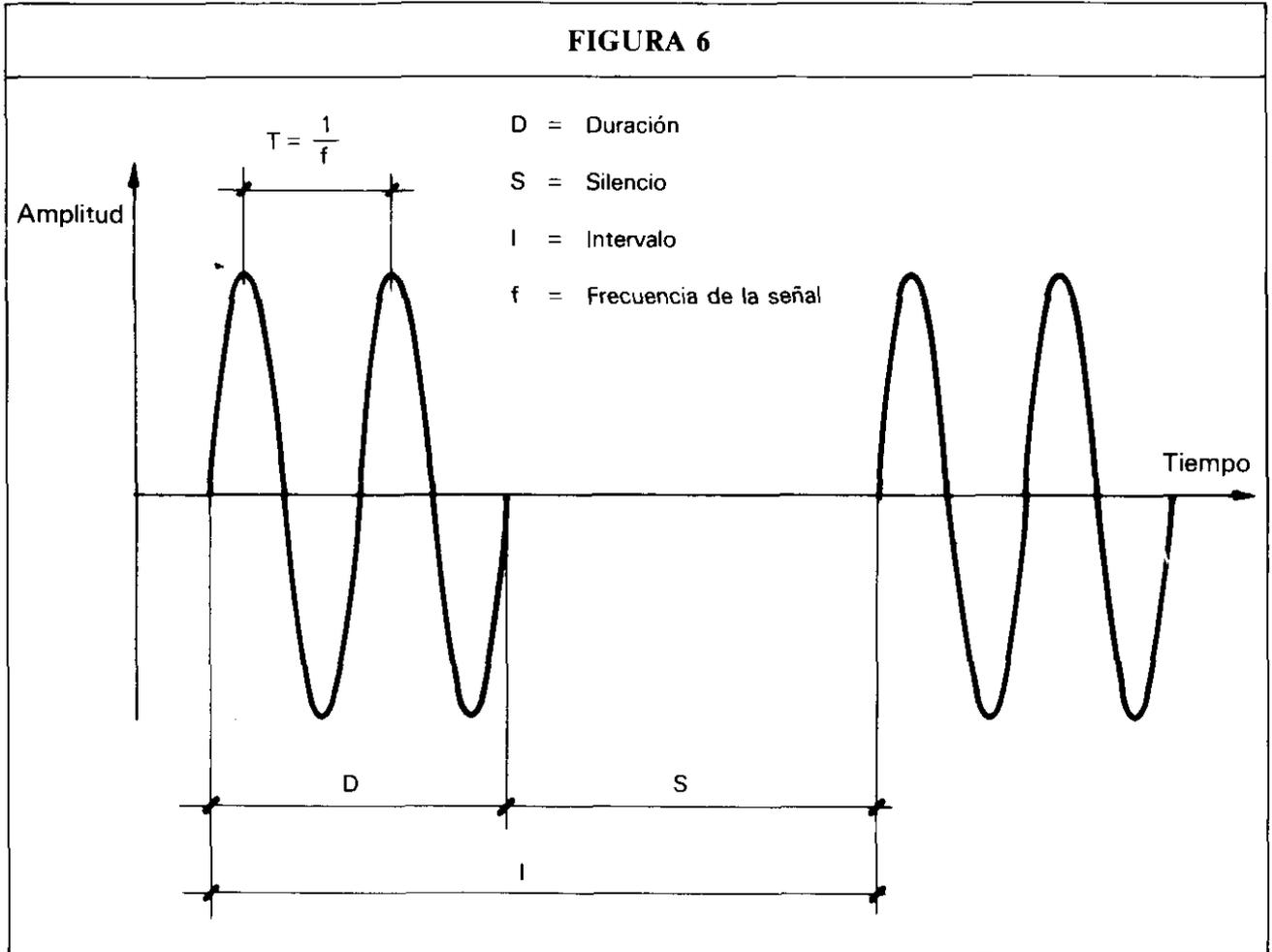
SONOMETROS

Dado que el nivel de presión sonora viene definido por:

$$L_p = 20 \log \frac{P_{\text{RMS}}}{P_o}$$

y el valor P_{RMS} hemos demostrado que nos viene dado por:

$$P_{\text{RMS}} = K E_1$$



E_1 nos viene definido por la expresión (2), quedándonos

$$L_p = 20 \log [K E_1] = 20 \log \left[K \frac{V_0^2}{2} (1 - e^{-t/R_1 C}) \right] \quad (5)$$

lo que demuestra que la lectura que nos presente el indicador del Sonómetro vendrá influenciada por el valor de la constante de tiempo $R_1 C$ por lo tanto, será diferente dependiendo de que se tenga una respuesta SLOW, FAST o IMPULSE.

En el caso de los Sonómetros la Recomendación CEI 123, establece que para "Respuesta Slow" y un solo tren de ondas de 0.5 seg. de duración, el nivel de lectura deberá ser 4 dB inferior al nivel que se obtendría con ese mismo nivel de ruido, pero continuo.

DOSIMETROS

Tomando como punto de partida la definición de "Dosis de Ruido" relación en %, entre la energía sonora percibida por una persona y la energía sonora que se considera admisible que perciba para un periodo de tiempo determinado. La expresión matemática de la "Dosis de Ruido" nos viene dada por:

$$D\% = 100 \int_0^T \left[\frac{P_{RMS}(t)}{P_R} \right]^{(20 \log 2)^{1/2}} dt \quad (6)$$

donde:

$P_{RMS}(t)$: es la variación del valor cuadrático medio de la Presión Sonora en el tiempo.

P_R : valor cuadrático medio de la presión sonora admisible en el periodo de tiempo considerado (t).
 q : constante que varía de acuerdo con el criterio de valoración que se adopte ($q = 3$ para la Recomendación ISO 1999 y $q = 5$ según el criterio OSHA).

El valor $P_{RMS}(t)$ nos viene definido por las expresiones (2) y (4), por lo que se puede decir que en el valor de la Dosis de Ruido intervienen las constantes de tiempo $R_1 C$ y $R_2 C$ de carga y descarga del circuito que calcula el valor cuadrático medio, pudiéndose compensar entre sí en ciertos casos.

Lo indicado para la Dosis de Ruido se puede aplicar al nivel de presión sonora equivalente, ya que ambos se relacionan por las expresiones:

a) General:

$$L_{eq} = \frac{q}{\log 2} \cdot \log \left(\frac{1}{T} \right) \int_0^T \left[\frac{P_{RMS}(t)}{P_0} \right]^{(20 \cdot \log 2)/q} dt \quad (7)$$

b) De acuerdo con criterio OSHA:

$$L_{eq} = 16'66 \log (1'23 \cdot 10^6 \cdot \frac{ND}{t}) \quad (8)$$

ND = Dosis OSHA

t = tiempo en minutos

c) De acuerdo con criterio ISO:

$$L_{eq} = 10 \log (4'79 \cdot 10^9 \cdot \frac{ND}{t}) \quad (9)$$

ND = Dosis ISO

t = tiempo en minutos

PRUEBAS DE LABORATORIO

INTRODUCCION

Todo lo expuesto en los apartados anteriores

constituye el fundamento teórico a este apartado en el que se presentan una serie de datos obtenidos en Laboratorio que ratifican, con pequeñas variaciones, lo que se ha indicado de una forma matemática.

ENSAYOS Y RESULTADOS

El sistema de medida utilizado para estudiar el comportamiento de los Sonómetros y Dosímetros, es el indicado en la fig. 7. En el mismo se puede apreciar cómo una señal de frecuencia constante es convertida al pasar a través de la unidad compuerta en un tren de ondas cuyas características se pueden elegir en función del tipo de ensayo que se desee realizar.

En el caso concreto de este estudio el proceso seguido ha sido el siguiente:

- Por medio del Generador de Señal se ha generado en el interior de la Cámara Anecoica una señal continua de 1000 Hz y un nivel de presión acústica de 104 dB. en el punto de medida.
- Una vez conseguido ese nivel de presión acústica en el punto donde se encuentra posicionado el micrófono en el interior de la Cámara Anecoica, se acopla la "Unidad Compuerta" que nos generará una serie de trenes de ondas que se van ajustando a las condiciones de Duración e Intervalo, de acuerdo con las características del ensayo.

Para los Dosímetros estas condiciones de ensayo se han mantenido durante un periodo de 30 minutos para intervalos pequeños, y de 120 minutos para intervalos superiores.

La tabla I nos presenta los diversos valores de trenes

TABLA I

	INTERVALO									
	32 s.	16 s.	8 s.	4 s.	2 s.	1 s.	0'5 s.	0'25 s.	0'125 s.	
4 s.	0'125	0'25	0'5	1						
2 s.	0'0625	0'125	0'25	0'5	1					
1 s.	--	0'0625	0'125	0'25	0'5	1				
0'5 s.	--	--	0'0625	0'125	0'25	0'5	1			
0'25 s.	--	--	--	0'0625	0'125	0'25	0'5	1		
0'125 s.	--	--	--	--	0'0625	0'125	0'25	0'5	1	
0'0625	--	--	--	--	--	0'0625	0'125	0'25	0'5	

de ondas, definidos por la relación D/I que se han utilizado en los ensayos.

Para cada uno de los tipos de Trenes de Ondas indicados en la Tabla 1, se han realizado los siguientes ensayos:

Ensayo 1. Con un Sonómetro de Precisión, en respuesta SLOW, posicionado como se indica en la Fig. 7, se ha medido el nivel de presión sonora existente en el punto de ensayo (Tabla 2).

Ensayo 2. Igual que en el ensayo 1 con el Sonómetro de Precisión en Respuesta FAST (Tabla 3).

Ensayo 3. Igual que en el ensayo 1 con el Sonómetro de Precisión en Respuesta IMPULSE (Tabla 4).

Los datos indicados en las Tablas 2, 3 y 4, se corresponden con la variación del nivel de presión sonora, en dB, respecto al nivel medido para un ruido continuo.

Ensayo 4. Con un Dosímetro, que denominamos B, funcionando siguiendo el Criterio ISO, según R-1999, y en respuesta SLOW, se determinó la Dosis de Ruido correspondiente a la presión sonora existente en el punto donde se encuentra ubicado el micrófono (Tabla 5).

Ensayo 5. Con un Dosímetro diferente del anterior, que denominamos G, funcionando siguiendo el Criterio OSHA y en respuesta SLOW, se determinó la Dosis de Ruido correspondiente a la presión sonora existente en el punto donde se encuentra ubicado el micrófono (Tabla 6).

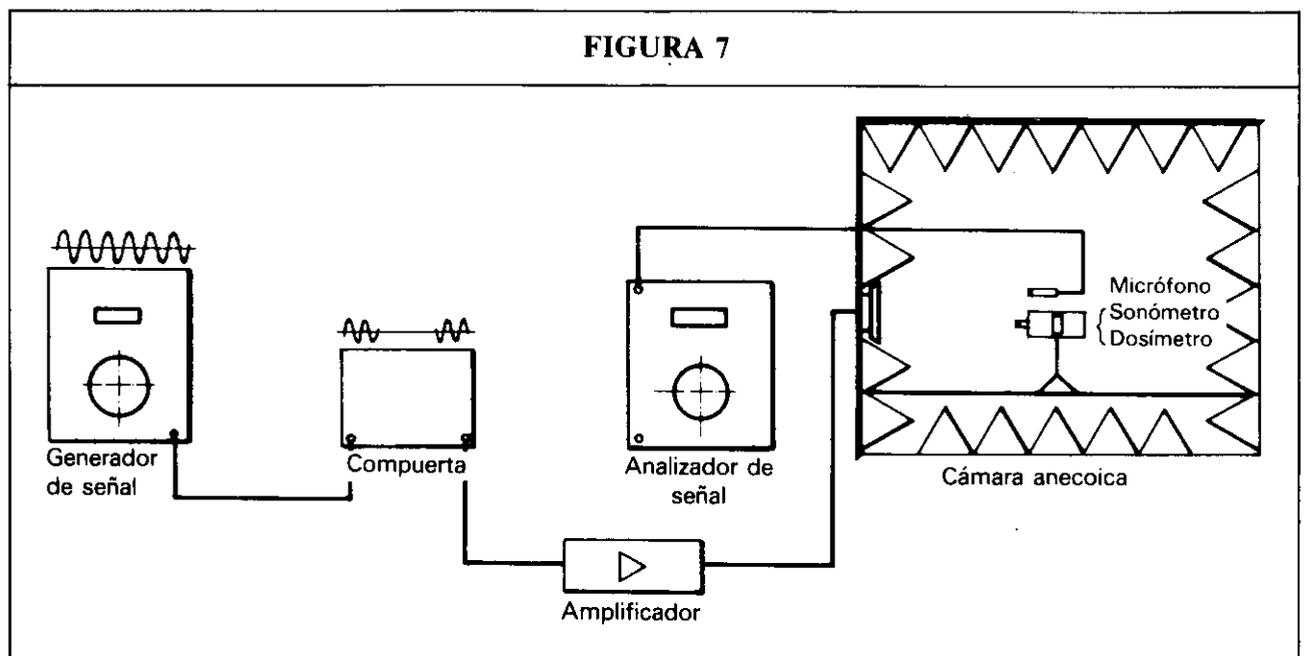


TABLA 2

DURACION (S)	INTERVALO (S)								
	∞	8	4	2	1	0'5	0'25	0'125	
1	- 1'3	- 1'3	- 1'2	- 1'4	0	--	--	--	
0'5	- 4'1	- 4'1	- 4'1	- 4'3	- 2'7	0	--	--	
0'25	- 7'3	--	- 7'3	- 7'4	- 5'8	- 3'0	0	--	
0'125	- 10'5	--	--	- 10'5	- 8'9	- 6'0	- 3'0	0	
0'0625	- 13'6	--	--	- 13'6	- 12'1	- 9'2	- 6'2	- 3'0	

TABLA 3

		INTERVALO (S)							
		∞	8	4	2	1	0'5	0'25	0'125
DURACION (S)	1	+ 0'9	+ 0'9	+ 0'9	+ 0'9	0	--	--	--
	0'5	+ 0'9	+ 0'9	+ 0'9	+ 0'9	+ 0'9	0	--	--
	0'25	- 0'1	--	- 0'1	- 0'1	- 0'1	- 0'7	0	--
	0'125	- 3'1	--	- 3'1	- 3'0	- 3'1	- 3'7	- 2'8	0
	0'0625	- 6'7	--	--	- 6'6	- 6'4	- 7'1	- 6'2	- 3'1

TABLA 4

		INTERVALO (S)							
		∞	8	4	2	1	0'5	0'25	0'125
DURACION (S)	1	+ 0'5	+ 0'5	+ 0'5	+ 0'2	0	--	--	--
	0'5	+ 0'5	+ 0'5	+ 0'5	+ 0'3	0'1	--	--	--
	0'25	+ 0'4	--	+ 0'30'1	- 0'1	- 0'2	--	--	--
	0'125	- 0'2	--	- 0'2	- 0'3	- 0'5	- 0'5	- 0'4	0
	0'0625	- 1'0	--	--	- 1'1	- 1'2	- 1'3	- 1'1	- 0'6

TABLA 5

		INTERVALO (S)							
		32	16	8	4	2	1	0'5	0'25
DURACION (S)	4	- 9'1	- 6	- 3	--	--	--	--	--
	2	--	- 9	- 6'1	- 3'1	--	--	--	--
	1	--	--	- 9'1	- 6'1	- 3'1	--	--	--
	0'5	--	--	- 11'8	- 8'9	- 5'9	- 3	--	--
	0'25	--	--	--	--	- 9	- 6'1	- 3	--
	0'125	--	--	--	--	- 12'5	- 8'7	- 5'6	- 2'8

TABLA 6

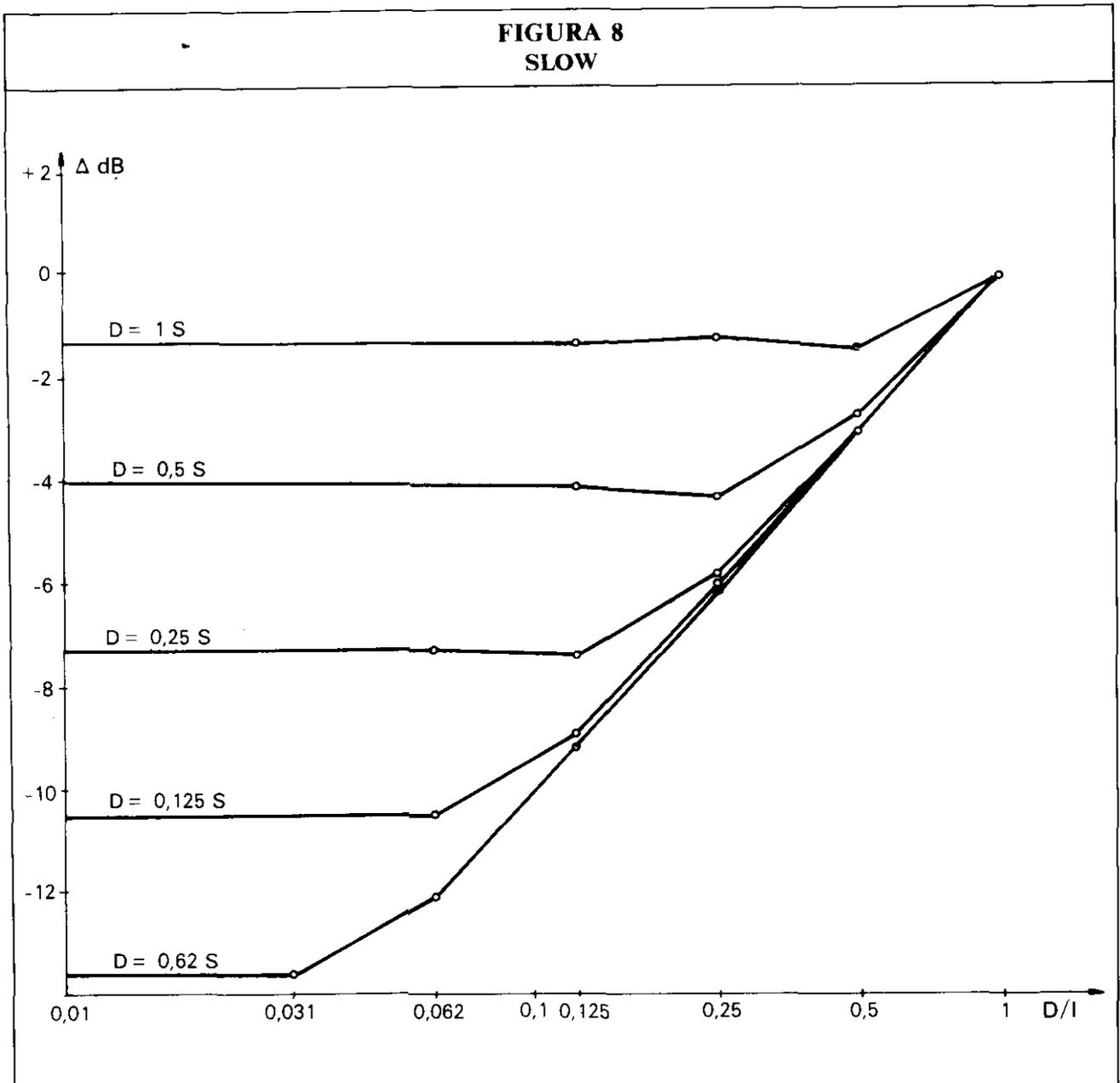
		INTERVALO (S)							
		32	16	8	4	2	1	0'5	0'25
DURACION (S)	4	- 13'7	- 8'6	- 3'5	--	--	--	--	--
	2	--	- 13	- 7'8	- 3'3	--	--	--	--
	1	--	--	- 11'8	- 6'6	- 2'85	--	--	--
	0'5	--	--	--	--	- 6'2	- 3	--	--
	0'25	--	--	--	--	- 9'1	- 6	- 3	--
	0'125	--	--	--	--	- 12	- 8'8	- 5'7	- 2'5

Los datos indicados en las Tablas 5 y 6, se corresponden con la variación del Nivel Continuo equivalente, L_{eq} , para cada valor de tren de onda, con respecto a L_{eq} del ruido continuo.

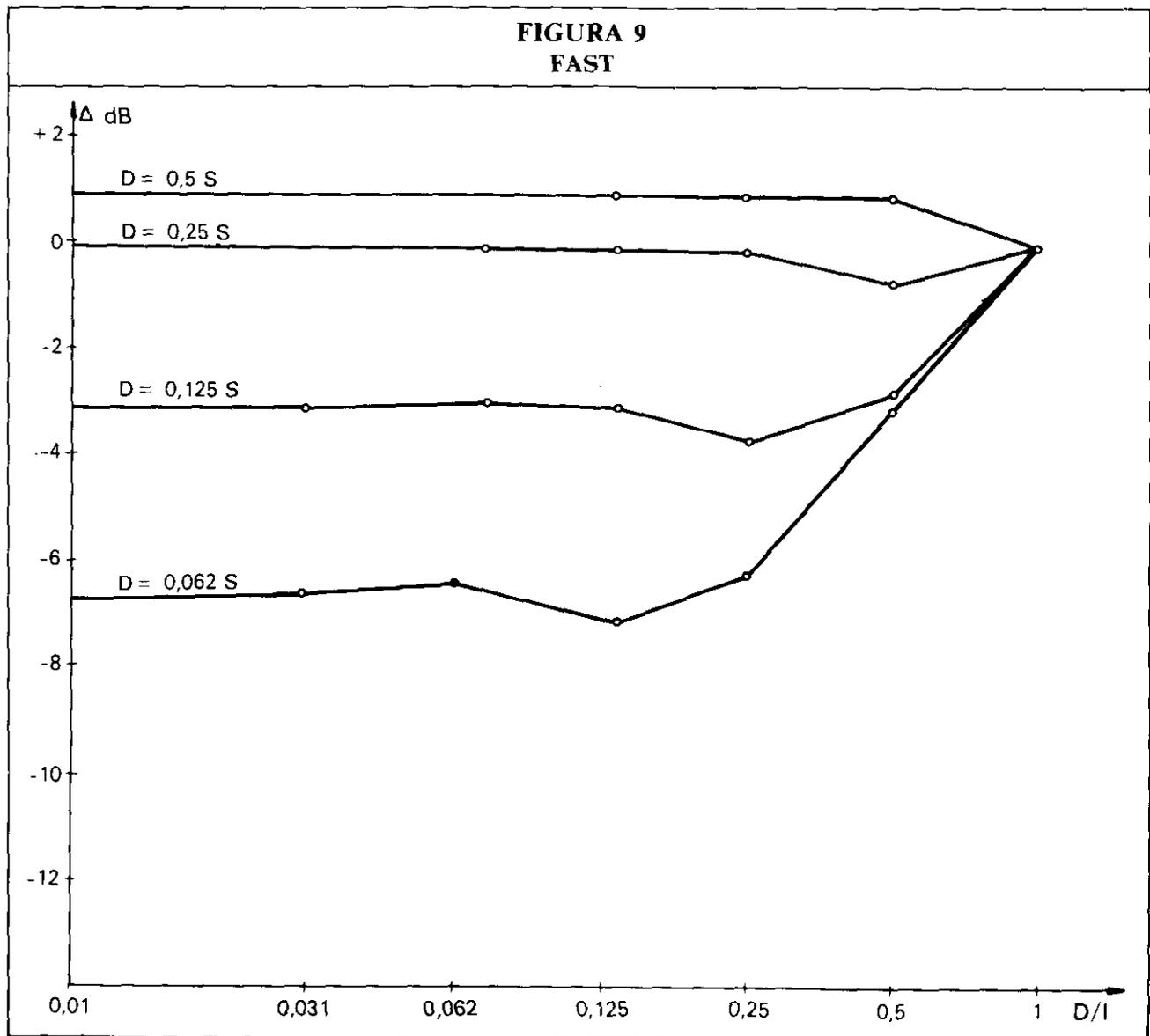
Los valores reseñados en dichas tablas quedan resumidos en las figuras 8, 9, 10, 11 y 12.

CONCLUSIONES

De lo expuesto en el presente artículo se pueden obtener unas conclusiones que han de encontrarse perfectamente diferenciadas según que se trate de Sonómetros o de Dosímetros.



**FIGURA 9
FAST**



SONOMETROS

Tras el análisis de las figuras 8, 9 y 10, se deduce lo siguiente:

- a) Cuando se trate de medir un ruido intermitente con Sonómetros en respuesta SLOW, la medida realizada dependerá de la Duración de la Señal y de la Relación Duración-Intervalo. Es interesante

resaltar cómo para ruidos de Duración 0'062 s. e Intervalo de 2 s., esta medida será 13'6 dB inferior al nivel máximo de la señal (Tabla 2).

- b) El resultado anteriormente indicado va disminuyendo si las medidas se realizan con Sonómetros en respuesta FAST, fig. 9, y es prácticamente nulo cuando se utilizan con Sonómetros en respuesta IMPULSE, fig. 10.

Lo indicado en los puntos a) y b) ratifica la necesidad de elegir, tratándose de ruidos de tipo discontinuo o intermitente, el tipo de respuesta apropiado del equipo de medida. Esta es la única forma de obtener el nivel RMS máximo que alcanza el ruido, con el mínimo error.

DOSIMETROS

Las figuras 11 y 12 nos presentan el comportamiento

de los Dosímetros utilizados para la realización de los ensayos 4 y 5, indicados en el apartado 5.2. Tras el análisis de los mismos se pueden observar:

- a) De la figura 11, cómo el comportamiento del Dosímetro B, sigue el criterio ISO, para pulsos cuyas duraciones varían desde valores muy pequeños, 0'0625 s., a valores más elevados, manteniéndose la relación D/l comprendida entre $1 = D/l < 0'125$. Esto nos indica que este tipo

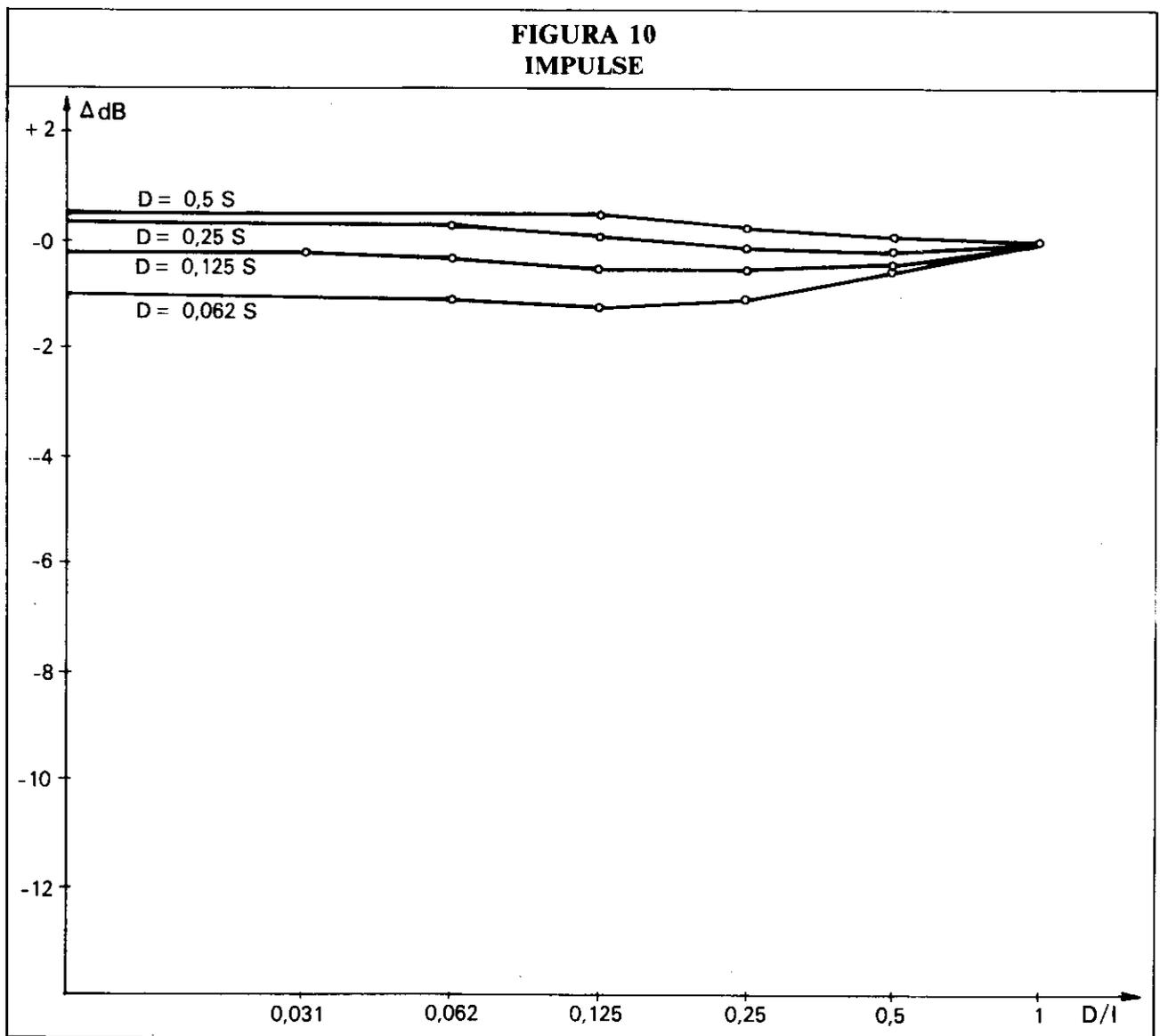
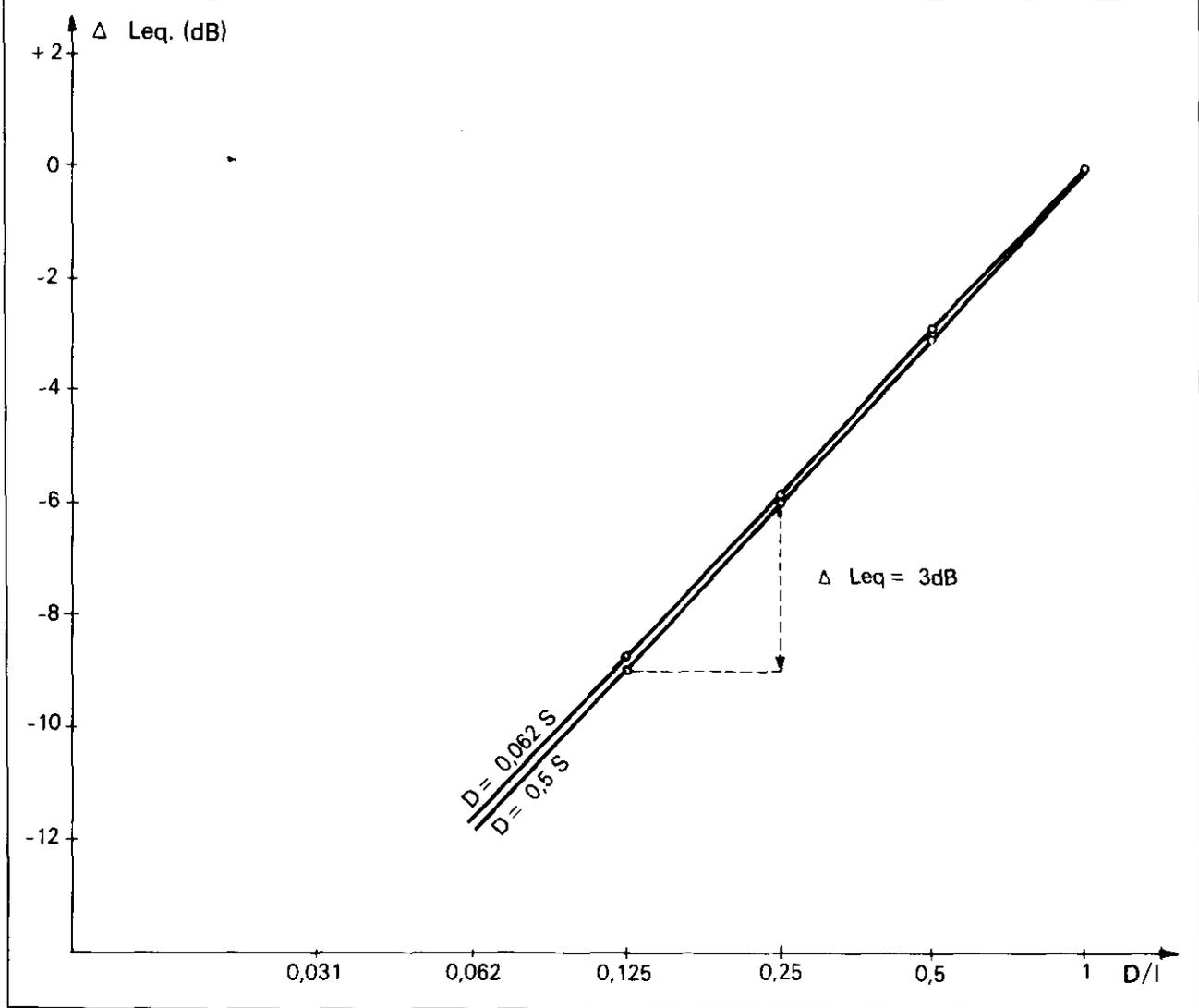


FIGURA 11
DOSIMETRO B, Criterio ISO R 1999



de Dosímetro funciona de acuerdo con el criterio ISO para ruidos continuos y para ruidos intermitentes comprendidos dentro de una amplia gama en cuanto a duración del ruido y a la relación Duración/Intervalo se refiere.

b) De la figura 12, que el Dosímetro G posee comportamientos diferentes en función de la duración del pulso y del valor de la relación D/I ; a este respecto es interesante reseñar que:

1. Para pulsos de duración inferior a 0'25 s., cualquiera que sea el valor de la relación D/I , el L_{eq} dado por el Dosímetro disminuye 3 dB cada vez que la relación D/I se hace la mitad, en vez de seguir el criterio OSHA.

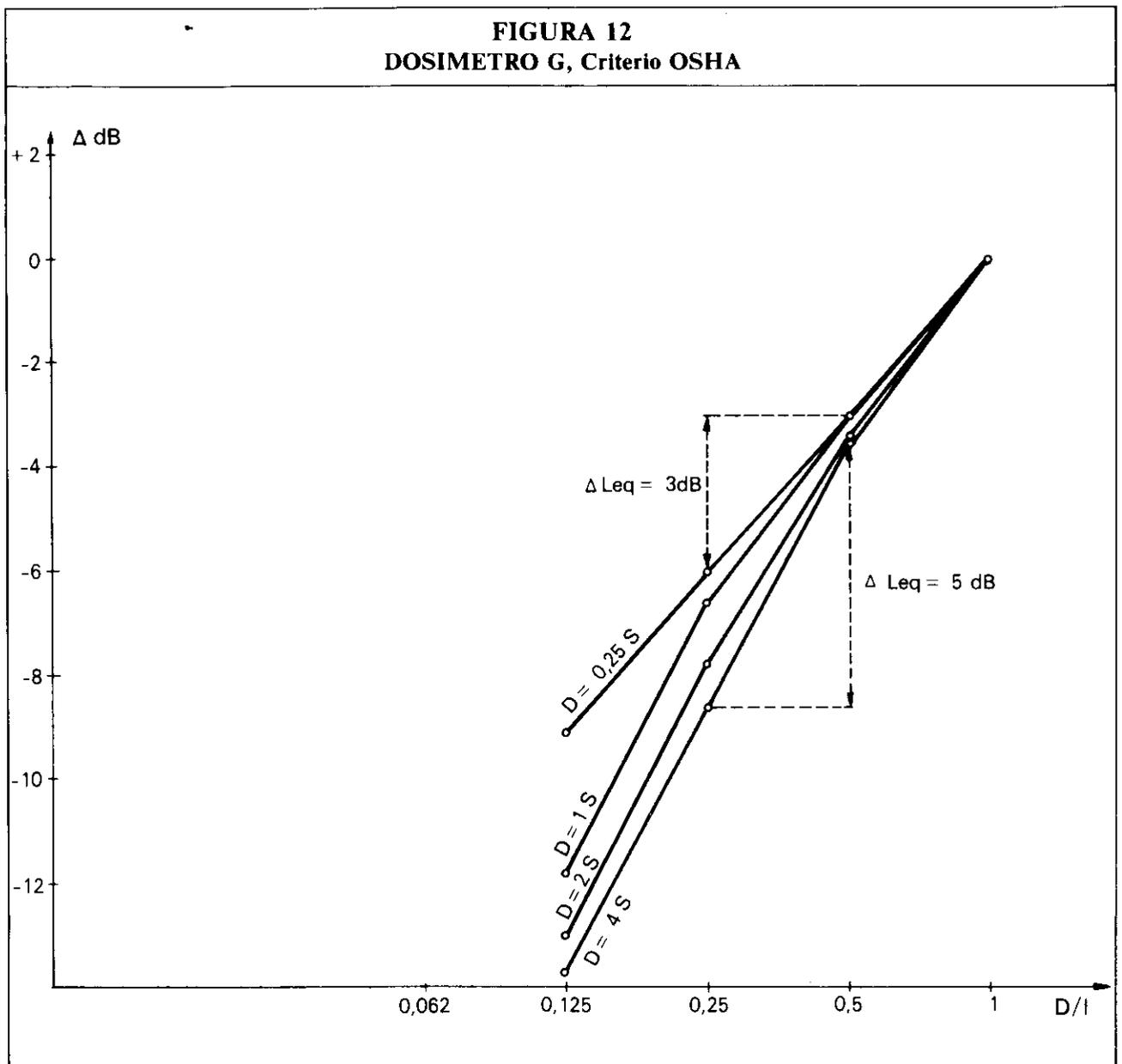
2. Para pulsos de duración comprendida entre 0'25 s. y 4 s., el comportamiento del Dosímetro varía en función de la relación D/I :

Seguridad.

- L_{eq} disminuye 3 dB cuando la relación D/I se hace la mitad, para: $1 > D/I \geq 0.5$.
- Sigue el criterio OSHA: $D/I \leq 0.25$.
- Comportamiento intermedio: $0.25 < D/I < 0.5$.
- 3. Para pulsos de duración superior a 4 s., existe un comportamiento siguiendo el criterio OSHA

cuando la relación $D/I < 0.5$, manteniéndose sin embargo, un comportamiento más próximo a la caída de 3 dB cuando la relación D/I se hace la mitad para: $1 > D/I \geq 0.5$.
Lo que nos muestra un comportamiento variable de este tipo de Dosímetros frente a ruidos intermitentes.

FIGURA 12
DOSIMETRO G, Criterio OSHA



Como conclusión final para los Dosímetros y a la vista de lo indicado en los puntos a) y b), podemos decir que su comportamiento frente a ruidos intermitentes depende bastante del tipo de Dosímetro que se esté utilizando. Por consiguiente, es de interés conocer, previamente a la evaluación de este tipo de ruidos, lo siguiente:

- Características del ruido intermitente. Nos vendrán definidas por el periodo de tiempo que exista señal (Duración) y el periodo de tiempo de silencio.
- Nivel RMS máximo de ruido intermitente. Se puede determinar por medio de un Sonómetro con respuesta en IMPULSE.
- Comportamiento del Dosímetro a utilizar, frente a ruidos intermitentes.

BIBLIOGRAFIA

Electronics Circuits Physical Principles, Analysis and Design. Paul M. Chirlan.

Electronica. Lane K. Branson.

Manual de Instrucciones de los Dosímetros 4.424 y 4.425 de Bruel & Kjaer.

Manual de Instrucciones del Dosímetro 4.423 de Bruel & Kjaer.

Sound Level and Dosimeter response to unsteady Noise Levels. R. B. Wilkerson. *Noise Control Ing.*

A LOS SUSCRIPTORES DE "SALUD Y TRABAJO" Y DEL "BOLETIN BIBLIOGRAFICO"

Rogamos a nuestros suscriptores nos comuniquen los cambios de domicilio, si los hubiese, o los datos que crean convenientes y que Vdes. consideren de interés, para una recepción más eficaz de nuestras publicaciones.