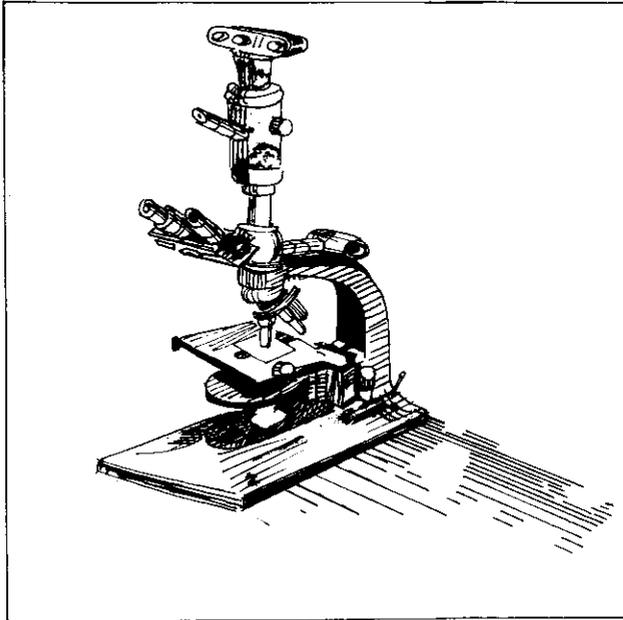


Análisis Investigación



RELACION ENTRE CARACTERISTICAS ACUSTICAS Y MECANICAS EN LOS PROTECTORES AUDITIVOS, TIPO OREJERA

Autor: MANUEL MONTES MAYORGA
Jefe del Laboratorio de Acústica del
Centro Nacional de Homologación.

Tras un período de estudio del comportamiento de los protectores auditivos respecto a la eliminación de los niveles elevados de ruido percibidos por las personas que se encuentran ubicadas en ambientes ruidosos, hemos podido observar que existen una serie de factores objetivos que se pueden determinar y de los que dependerán, en gran parte, las características de atenuación al sonido del equipo de protección personal. La definición de estos factores y la obtención de un método operativo para obtener el valor de los mismos es el objeto de este artículo.

ANALISIS TEORICO DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DEL PROTECTOR AUDITIVO - TIPO OREJERA

Si analizamos detenidamente como se efectúa el acoplamiento entre el protector auditivo tipo "orejera" y la cara de la persona que lo utiliza (Fig. 2), se observa que la señal acústica que llega a la cara exterior del casquete antes de actuar sobre el tímpano, que actúa como un pistón, se tiene que transmitir a través de un medio aéreo en el que la onda acústica encuentra una serie de obstáculos que hacen variar la forma de transmitirse la misma en este medio.

Las direcciones 1 y 2, indicadas en la Fig. 2, nos presentan los caminos por donde puede transmitirse la onda acústica principalmente, sin tener en cuenta la transmisión ósea.

El esquema eléctrico equivalente, indicado en la Fig. 3, nos presenta la forma matemática de ver los parámetros que influyen en la disminución del valor de la presión acústica en el interior del oído "Pint" y la existente en el medio ambiente "Pex". La expresión (1) nos relaciona las dos.

$$\frac{P_{int}}{P_{ex}} = \frac{S_o}{S_i} \frac{Z_{bm}}{Z_m + Z_{bm}}$$

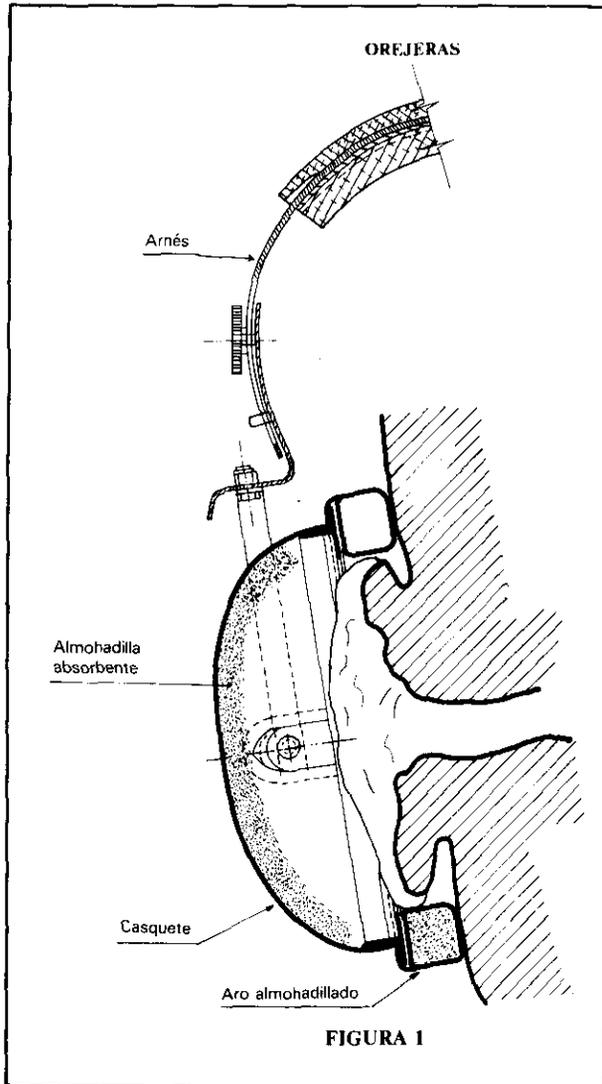


FIGURA 1

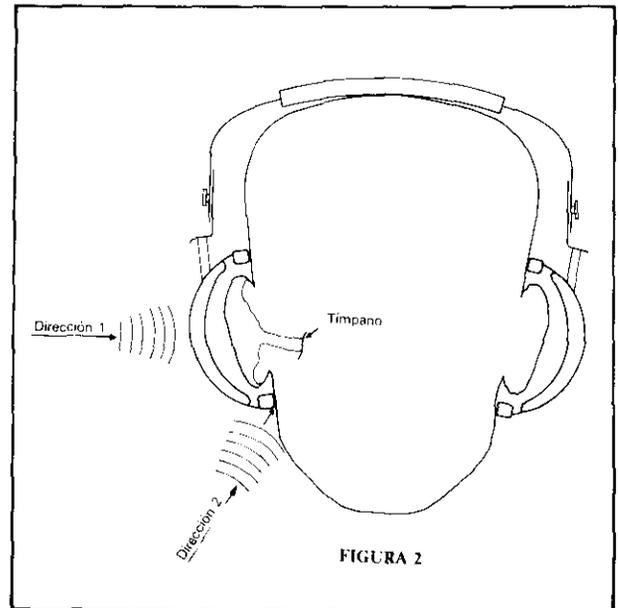


FIGURA 2

Donde:

P_{ex} = Presión acústica que existe en el medio ambiente.

P_{int} = Presión acústica que actúa sobre el tímpano.

S_o = Se corresponde con el área de la superficie de la cara delimitada por el reborde externo del cojín de ajuste de la orejera.

S_i = Equivalente al área de la superficie de la cara delimitada por el reborde interno del cojín de ajuste de la orejera.

Z_m = Se define como la impedancia acústica propia del protector auditivo. En la determinación de la misma, intervienen:

- M_1 y R_1 , que corresponde a las componentes de impedancia acústica motivadas por la existencia de una posible fuga de aire.

M_1 : Masa de la fuga de aire.

R_1 : Resistencia acústica de la fuga de aire.

- M_m , C_{sm} , R_{sm} que corresponden a las componentes de impedancia acústica debida a la vibración del protector como un pistón rígido.

M_m : Masa del protector.

C_{sm} y R_{sm} : Componentes de la impedancia acústica de la carne y el cojín de ajuste.

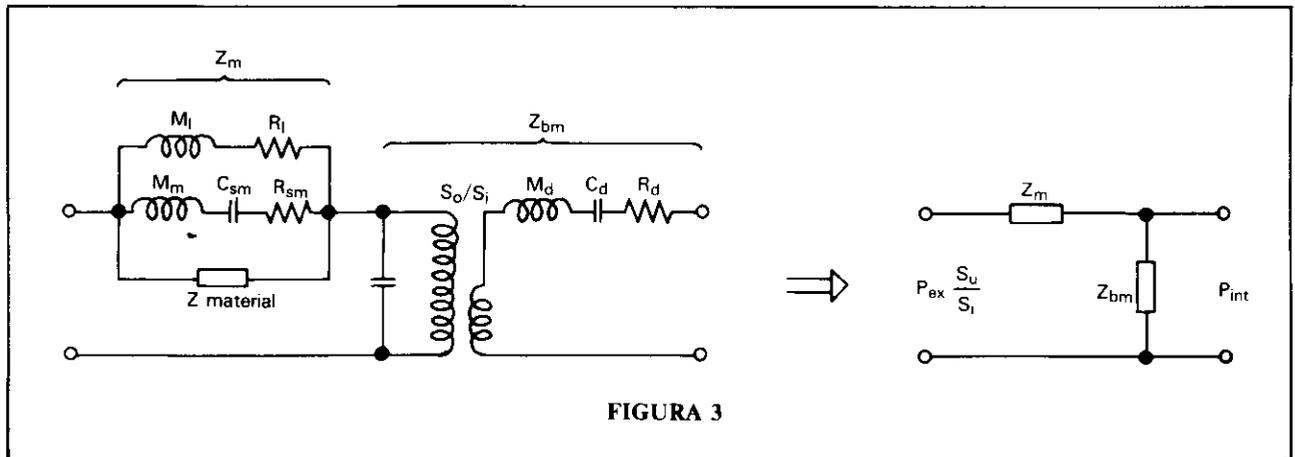


FIGURA 3

- Z_{material} : corresponde a la impedancia acústica de la transmisión del sonido a través de las deformaciones del protector.

Z_{bm} = Se define como la impedancia acústica detrás del protector auditivo. En la determinación de la misma, se han de tener presente:

C_v = Elasticidad acústica del volumen de aire contenido bajo el casquete de la orejera, representa el desplazamiento del medio por unidad de fuerza.

S_m/S_d = Relación entre la superficie de la cabeza limitada por el cojín de cierre y la correspondiente a una sección del canal auditivo externo.

M_d, C_d, R_d = Se corresponden con las componentes de la impedancia acústica del tímpano, considerado éste, como un pistón rígido.

M_d : Masa del tímpano.

C_d, R_d : Componentes de la impedancia acústica correspondiente a la unión del tímpano al conducto auditivo externo.

La expresión (1) nos indica que para obtener un elevado valor de atenuación acústica es necesario que la relación $P_{\text{int}}/P_{\text{ex}}$ ha de ser lo más pequeña posible, en lo que influirá fundamentalmente los siguientes factores:

- Que S_o/S_i sea lo más pequeña posible, para lo que el cojín de cierre ha de ser a su vez lo más estrecho posible, considerándose que el valor medio de las relaciones S_o/S_i , es 2. De donde se deduce que uno de los factores objetivos a definir es:

SUPERFICIE DE CONTACTO DEL COJIN DE AJUSTE CON LA CARA

- Que Z_m sea lo mayor posible.
- Que Z_{bm} sea lo menor posible.

Para que Z_m sea lo mayor posible es necesario que las tres impedancias comprendidas dentro de Z_m : la propia del material, la correspondiente al comportamiento de material como pistón rígido y la debida a filtraciones de aire, tengan un valor elevado. Relacionando estas impedancias con los factores propios del material del protector auditivo y con la colocación del mismo, tenemos:

- 1) En la obtención de Z_{material} elevado, es necesario que el material de que está construido el casquete del protector auditivo, sea lo más rígido posible, por consiguiente ya tenemos el primer factor que influye.

RIGIDEZ DEL MATERIAL DEL CASQUETE

Ahora bien, si esta rigidez del material es muy elevada la adaptación del casquete a la parte de la cabeza correspondiente no se efectuará bien, por lo que es conveniente recubrir el contorno del mismo de un material bastante elástico (cojín de ajuste, ver Fig. 1) que puede influir en la disminución de la atenuación del protector por este factor.

Una de las formas de conseguir paliar esta situación es la de rellenar el cojín de cierre con un material muy viscoso (cera o masa plástica). Por consiguiente podemos decir que el segundo factor que influye es:

Investigación.

VISCOSIDAD DEL MATERIAL DE RELLENO DEL COJÍN DE AJUSTE

2) En la transmisión del sonido debido a la vibración del protector auditivo como un pistón se llegará a un valor límite que vendrá dado en función de:

a) El peso del casquete, limitado por situaciones de confort.

b) Cómo se realiza la unión entre el protector auditivo y la parte de la cabeza correspondiente, factor éste que vendrá determinado por:

– Elasticidad acústica de la parte en contacto con el cojín de ajuste.

– La impedancia mecánica del cojín de ajuste.

Del valor de estas dos características dependerá C_{sm} ; en el caso que la impedancia mecánica del cojín de ajuste sea elevada su elasticidad acústica será pequeña y por consiguiente " C_{sm} ", vendrá influido únicamente por la elasticidad acústica de la región de la cabeza en contacto con el cojín.

La alta impedancia del cojín de ajuste se puede obtener realizándolo de tal forma, que sus paredes sean blandas y elásticas y que se encuentre relleno de un material de alta viscosidad (masa plástica o cera) que sea maleable en un margen de temperaturas. En el caso que la impedancia mecánica del cojín sea pequeña, como ocurre en el caso de que el material externo sea elástico y el relleno interno blando (esponja), su elasticidad acústica se suma a la de la carne:

- La presión que el casquete ejerza sobre la parte de la cabeza correspondiente. La mayor o menor presión cambiarán el valor de C_{sm} , pues influirá en el comportamiento de los otros dos factores que intervienen en la forma de realizarse la unión entre el casquete y la cara. La presión nos vendrá dada en función de la fuerza que el sistema de fijación (arnés) ejerce sobre el casquete protector, y la superficie de contacto del cojín de ajuste con la cara.

Como resumen de lo indicado con anterioridad, podemos definir otros dos factores nuevos:

MASA DEL CASQUETE DEL PROTECTOR AUDITIVO

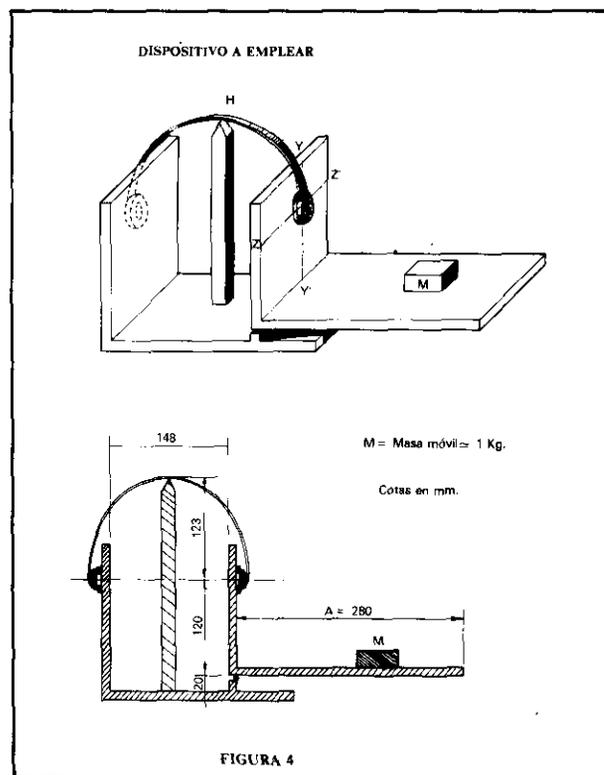
TENSION DEL SISTEMA DE FIJACION (Arnés)

que influirán sobre el comportamiento acústico del protector auditivo.

El último factor que influye en la determinación de la atenuación del protector auditivo se corresponde con la impedancia acústica detrás del protector propiamente, dicho $-Z_{bm}$.

La componente fundamental de la impedancia acústica existente detrás del protector, es la correspondiente al volumen de aire que hay detrás del mismo. Dado que este volumen es usualmente bastante mayor que el existente en el canal auditivo externo, el efecto de volumen de este último, se puede considerar despreciable.

La impedancia acústica del aire encerrado en un volumen determinado es inversamente proporcional al volumen del recinto y directamente proporcional al cuadro del área de la sección de la apertura principal. En los protectores normales esta "área efectiva" está determinada por S_i (apertura del protector). De lo anteriormente indicado se deduce que para conseguir un alto grado de atenuación se tendrá que tender a que el VOLUMEN INTERNO DEL CASQUETE, sea muy elevado o bien que la SUPERFICIE DE APERTURA " S_i " sea lo más pequeña posible, aunque esto último nos vendrá



delimitado por el tamaño del pabellón auditivo externo.

Como resumen de todos los puntos analizados con anterioridad podemos decir que los factores que influyen de una manera directa en el comportamiento del protector auditivo son los siguientes:

- Superficie de contacto del cojín de ajuste con la cara.
- Rigidez del material del casquete.
- Viscosidad del material de relleno del cojín de ajuste.
- Masa del casquete del protector auditivo.
- Tensión del sistema de fijación (Arnés).
- Superficie de apertura (S_i).
- Volumen interno del casquete.

Independientemente de estas conclusiones obtenidas considerando que el acoplamiento del protector auditivo con la parte de la cara correspondiente es perfecto, hemos de tener en cuenta que la mayoría de las veces esto no ocurre así, sino que existen distintos puntos en los que quedan algunas aperturas que ponen en comunicación el volumen de aire existente en el interior del casquete del protector auditivo con el medio ambiente, produciéndose un fenómeno de resonancia. La frecuencia de resonancia nos viene dada, aplicando la teoría de los resonadores de Hezmoltz, por la expresión:

$$F_r = \frac{c}{2\pi} \frac{A}{V.L.}$$

Donde:

c = Velocidad del sonido.

A = Sección del cuello.

V = Volumen de la cámara de expansión.

L = Longitud del cuello.

Considerando este fenómeno podemos analizar las siguientes situaciones:

- 1) Cómo para un protector auditivo determinado que puede venir definido por un volumen de 80

cm³, y una anchura del cojín de ajuste de 1,6 cm., que podemos considerar la longitud del cuello del resonador, la frecuencia de resonancia nos vendrá dada en función del área de la sección de escape.

$$F_r = \frac{340}{2\pi} \frac{A}{1,34 \cdot 10^{-6}}$$

La Tabla 1 nos presenta para distintas frecuencias de resonancia la sección y por consiguiente el diámetro del escape, si éste lo asimilamos a un tubo cilíndrico.

La Tabla 1 nos indica que la zona en que se puede producir con facilidad el efecto resonador motivado por las fugas de aire, es en la banda de frecuencias comprendida entre 63 y 250 Hz., frecuencias graves.

- 2) Cómo varía el volumen libre del casquete del protector auditivo para que no se produzca el fenómeno de resonancia para frecuencias superiores a 100 Hz, para distintas anchuras del cojín de ajuste (longitud del cuello del resonador) y de la posible sección del cuello.

$$F_r = \frac{340}{2\pi} \frac{A}{V.L.}$$

A = Expresada en m².

L = Expresada en m.

para la frecuencia de resonancia de 100 Hz.

V = 2,9 x 10⁻¹ x A/L

La Tabla nº 2, nos presenta los distintos volúmenes del Casquete.

Del análisis de los valores indicados en la Tabla 2 y lo indicado al analizar los factores que influían en la impedancia acústica Z_{bm}, se puede observar que si los casquetes poseen un volumen elevado se puede producir un fenómeno de resonancia para frecuencias menores de 100 Hz, por lo que el protector auditivo en vez de atenuar al aumentar el volumen libre del casquete,

TABLA 1

Frec. Res. (Hz)	63.5	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
Sección (mm ²)	1.84	7.14	28.5	114.3	457	1'8.10 ³	4.10 ³	7'3.10 ³	16.10 ³	3.10 ³
Diámetro (mm)	1.54	3	6	12	24	48	72	96	144	192

TABLA 2
VALORES CORRESPONDIENTES AL VOLUMEN LIBRE DEL CASQUETE (cm³)

A (mm ²) L (mm)	0'2	0'4	0'6	0'8	1	1'2	1'4	1'6	1'8	2
2,5	23	4'6	69	93	116	139	162	186	209	232
5	12	23'2	34'8	46	58	70	81	93	104	116
7'5	8	15'4	23'2	41	39	46	54	62	70	77
10	6	11'6	17'4	23	29	35	41	46	52	58
12'5	5	9'2	13'9	19	23	28	32	37	42	46
15	4	7'7	11'6	15	19	23	27	31	35	39
17'5	3	6'6	9'9	13	17	20	23	27	30	33
20	2'9	5'8	8'7	12	15	17	20	23	26	29

produce un efecto amplificador, en este campo de frecuencias.

Para intentar disminuir este fenómeno de resonancia se ha de:

- 1) Aumentar la presión que el casquete ejerce sobre la parte de la cabeza.
- 2) Realizar un diseño óptimo del cojín de ajuste.
- 3) Colocar en el interior del casquete un material absorbente que posea un elevado coeficiente de absorción en bajas frecuencias.

Del análisis realizado sobre el fenómeno de resonancia podemos incluir un nuevo factor a los indicados con anterioridad:

COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL QUE REVISTE EL INTERIOR DEL CASQUETE DEL PROTECTOR AUDITIVO.

ESTUDIO DE LABORATORIO

A la vista de las conclusiones obtenidas del estudio teórico realizado sobre los protectores auditivos tipo "OREJERA", se ha podido ver que existen una serie de factores que influyen de una manera importante en el comportamiento del protector auditivo como elemento atenuante de los niveles de ruido excesivo:

De los factores indicados en el apartado anterior existen una serie de ellos que se mantienen constantes para un mismo modelo de protector auditivo como son:

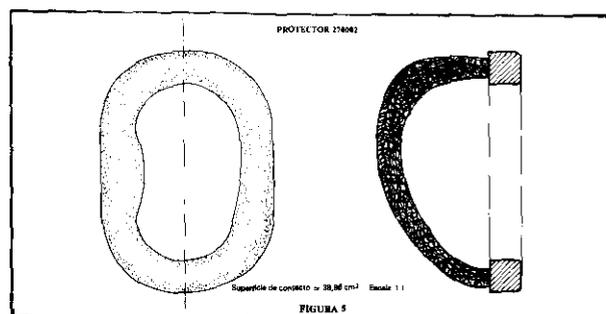
- La "Rigidez" del material de que está construido el casquete del material auditivo.
- Peso del casquete.
- Superficie de apertura.

- Viscosidad del material de relleno del cojín de ajuste.
- Superficie del cojín de cierre en contacto con la parte de la cabeza correspondiente.
- Volumen del casquete.

y de los cuales va a depender de una forma directa en el comportamiento del protector, sin embargo hay otros dos factores:

- Tensión del sistema de fijación a la cabeza, que influirá sobre la presión que ejerza el cojín de ajuste sobre la parte de la cara correspondiente, ya que la superficie de contacto del cojín de ajuste se mantiene constante.
- Coeficiente de absorción del material de relleno del casquete,

que pueden variar con gran facilidad en el tiempo y que van a influir de una manera indirecta en el comportamiento del protector auditivo. Por medio de los ensayos mecánicos y de determinación del coeficiente de absorción a que han sido sometidos diversos protectores, hemos querido comprobar que la teoría concuerda con la práctica.



PROTECTOR		270002	270002 (1)	270005	270005 (1)	270005 (2)	
PROPIEDADES MECANICAS	Superficie contacto (cm ²)	40	43	70	70		
	Presión casq. cara (new/m ²)	1844	2779	2997	2735	3740	
	Peso casquete (gr.)	116,5	122	108,5	90	90	
		125	17	3,4	2	2	2,3
		250	14	5,5	3	3	4
		500	16	22	5	8	1
	Frecuencia (Hz)	1000	36	40	12	14	19,5
		2000	95	80,2	22	22	29
		3000	51	97,6	35	27	47
		4000	32	93,3	38	32	60,5
	6000	22	77,6	59	61	83	

ENSAYOS MECANICOS

Para realizar los ensayos mecánicos nos hemos basado en el dispositivo que representa la figura 4.

Como se puede apreciar consiste en dos superficies paralelas, una de las cuales pivota sobre un eje que coincide con el plano que contiene la masa M, que crea un par de vuelco, y el que contiene uno de los casquetes del auricular, por antagonista.

La distancia de 148 mm., corresponde con un valor medio de entre los datos anatómicos que se han obtenido y se corresponde con la distancia entre ambos oídos.

El valor de 123 mm., también es un valor anatómico medio correspondiente a la distancia entre el centro del

canal auditivo externo y la parte superior de la cabeza.

La colocación de los casquetes sobre las superficies paralelas se realiza haciendo coincidir el centro geométrico de la zona donde se aplica la fuerza del arnés con el punto de corte de los ejes ZZ' - YY'. El arnés de sujeción de los casquetes se posicionará de tal forma que se ajuste en su parte más elevada al punto H.

Esta forma de posicionar el protector auditivo se asemeja al máximo a unas condiciones reales medias.

Las figuras 5, 6, corresponden a la representación gráfica de los protectores auditivos en estudio; en ellas, y por medio de una sección, hemos querido representar los volúmenes y recubrimientos internos del casquete.

Al variar la masa M, sobre el plano correspondiente, se determinan el valor mecánico que nos interesa.

PROTECTOR	FRECUENCIA (Hz)								
	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
270002	4,3	8,3	17,5	27,4	28,4	28,9	25,9	20,6	14,6
270002 (1)	12,5	16,5	28,2	35,3	36	45,6	43,5	39,4	37
270005	6,2	12,9	21,9	31,6	31	41,8	36,5	31,4	25,6
270005 (1)	9,4	12,2	20,2	30,3	30,4	35,2	30,2	30,1	24
270005 (2)	13,4	20,1	28,6	36,5	36,5	43,8	41,7	32,8	31,3

Investigación

Presión que ejerce el protector auditivo sobre las superficies de contacto.

La Tabla 3 nos refleja este valor.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ABSORCION

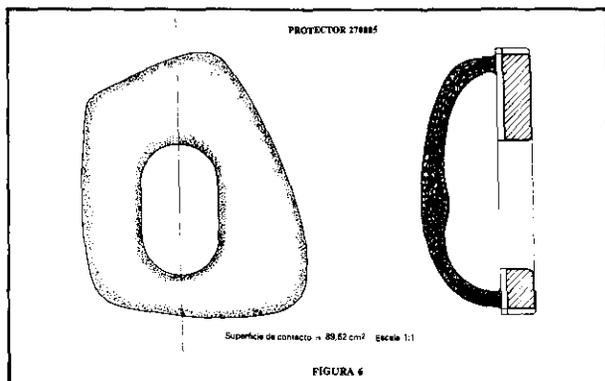
El coeficiente de absorción del material de relleno de los casquetes de los protectores auditivos se ha obtenido utilizando el tubo de Kundt.

La Tabla 3 nos indica los valores obtenidos en las frecuencias de 125, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000 y 6000 Hz.

CONCLUSIONES

La Tabla 4, nos presenta los valores de atenuación obtenidos para cada protector utilizando el método operatorio indicado en la Norma Técnica Reglamentaria MT-2 "Protectores Auditivos". De la comparación de las Tablas 3 y 4, podemos sacar la siguiente conclusión:

- 1) Dependiendo del valor de la presión que el casquete de la orejera ejerce sobre la cara, el grado de protección del protector auditivo aumenta considerablemente, en todas las frecuencias.
- 2) La influencia que el coeficiente de absorción ejerce en la atenuación de los protectores auditivos no se puede probar de una manera cierta, ahora bien se observa que el comportamiento del protector, en cuanto a su carácter atenuante se refiere, es más positivo para valores del coeficiente de absorción más elevado a igual presión del casquete sobre la cara.



Referencias bibliográficas:

- Norma Técnica Reglamentaria MT-2 "Protectores Auditivos".
- Handbook of Noise Control - Harris.
- Norma ANSI S-3.19/1975 - Method for the measurement of readear protection of hearing protectors and physical attenuation of earmuffs.

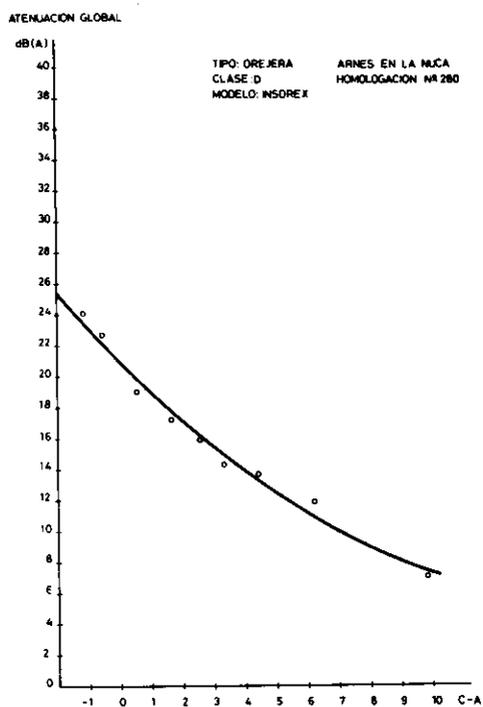
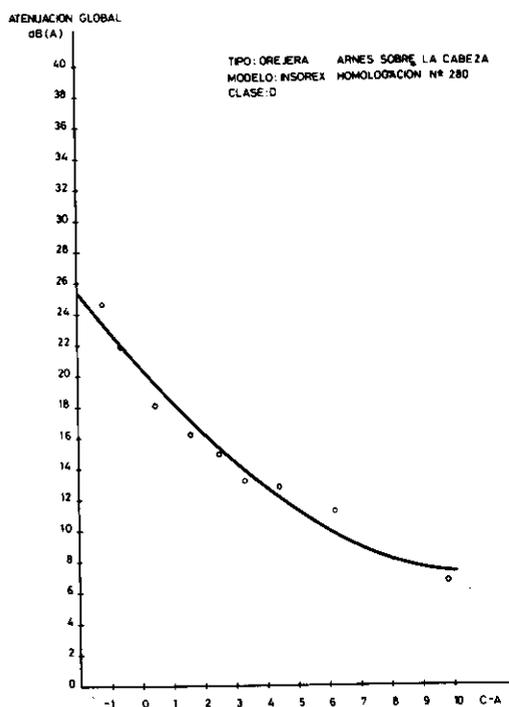
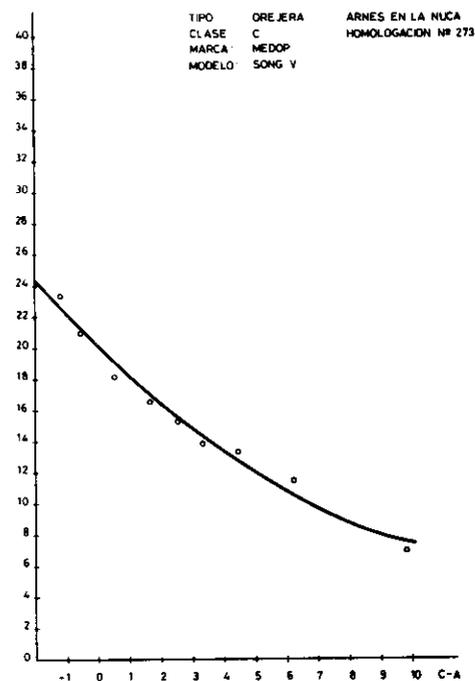
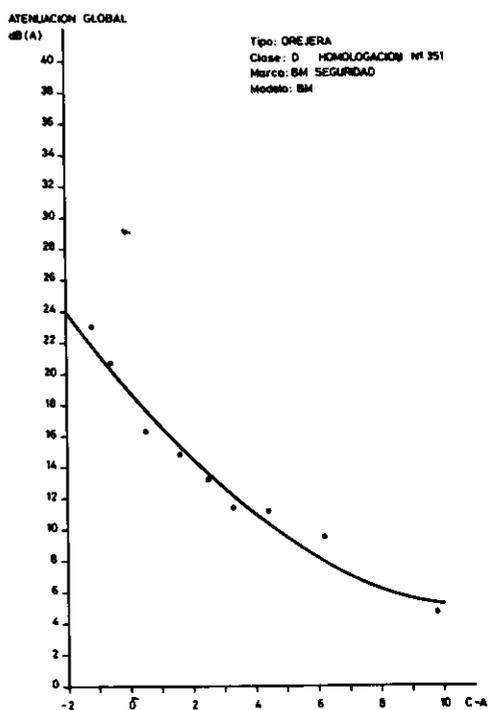
CURVAS DE ATENUACION GLOBAL EN dB(A) DE LOS PROTECTORES AUDITIVOS HOMOLOGADOS (Continuación).

Como complemento del artículo de D. Francisco Martínez Cañavate publicado en Salud y Trabajo nº 14, correspondiente al mes de Agosto de 1978, se dan a continuación las curvas de atenuación global en dB(A) de los protectores auditivos homologados, en función de las diferencias C-A (dB(C) - dB(A)) de un conjunto de ruidos cuyos espectros medios se consideran representativos de la casi totalidad de los espectros de ruido que puedan encontrarse en la industria. (Ver también Salud y Trabajo nº 19 de Junio de 1979).

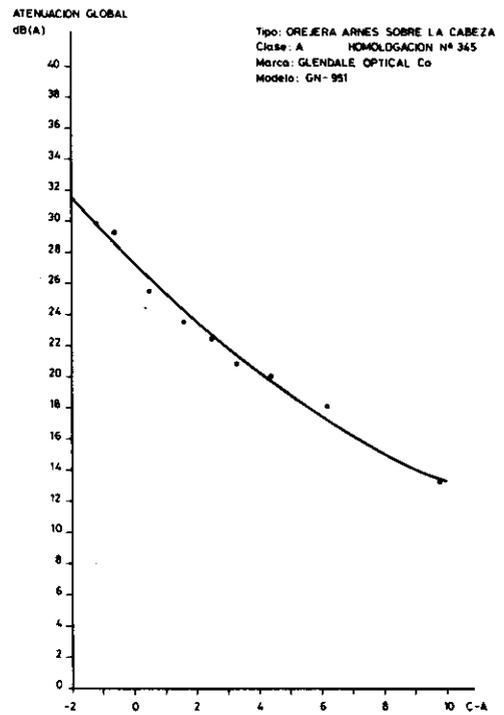
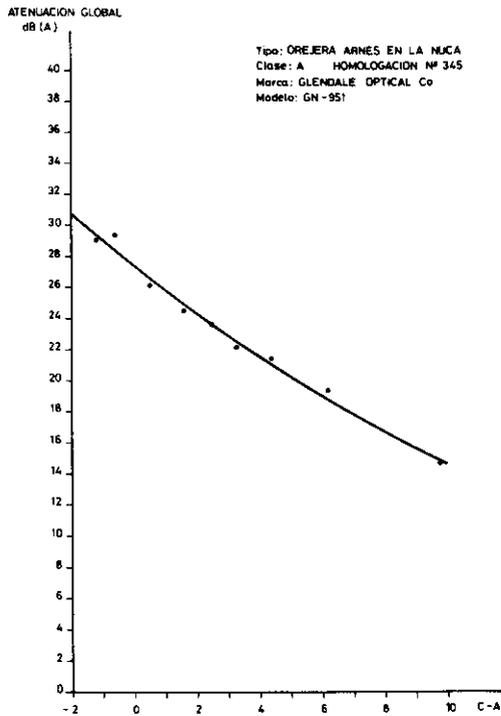
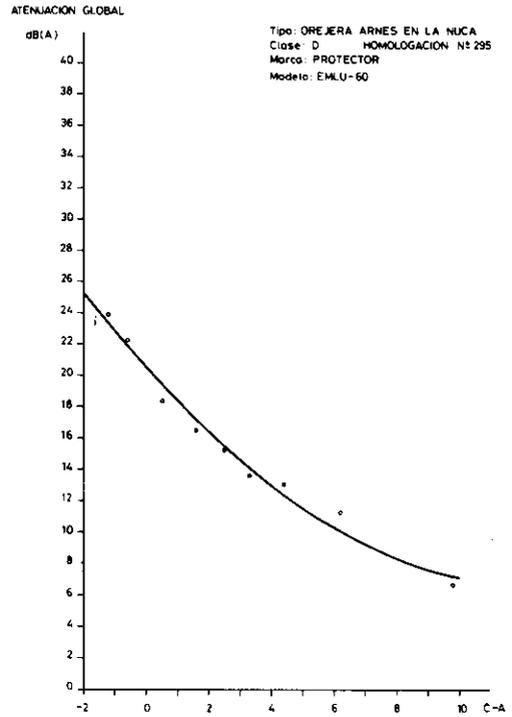
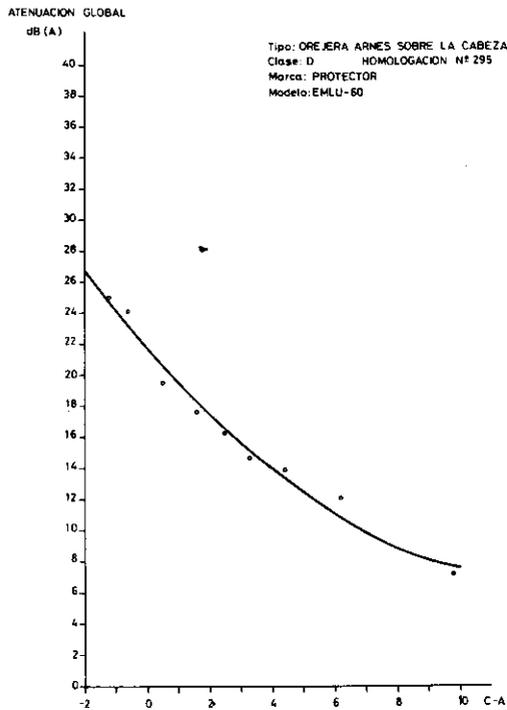
La confección de estas curvas, así como la obtención de los espectros medios y las correcciones introducidas, quedaron suficientemente expuestas en el artículo de referencia.

Estas curvas se estiman de gran utilidad a la hora de solventar un problema de ruido mediante equipos de protección personal, ya que su precisión y fiabilidad, comprobada estadísticamente, es muy elevada.

Análisis

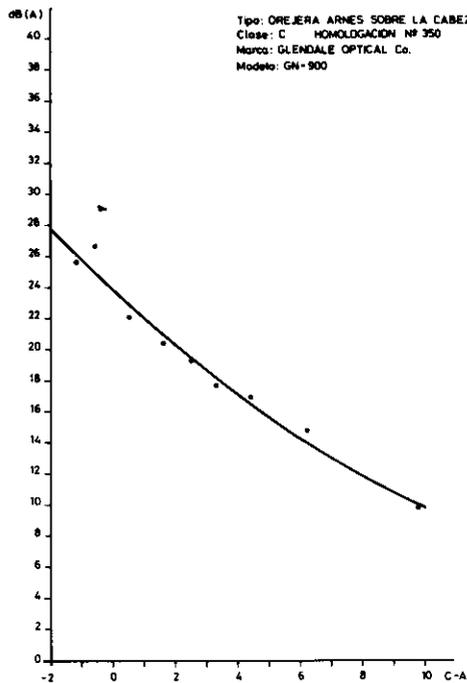


Investigación.

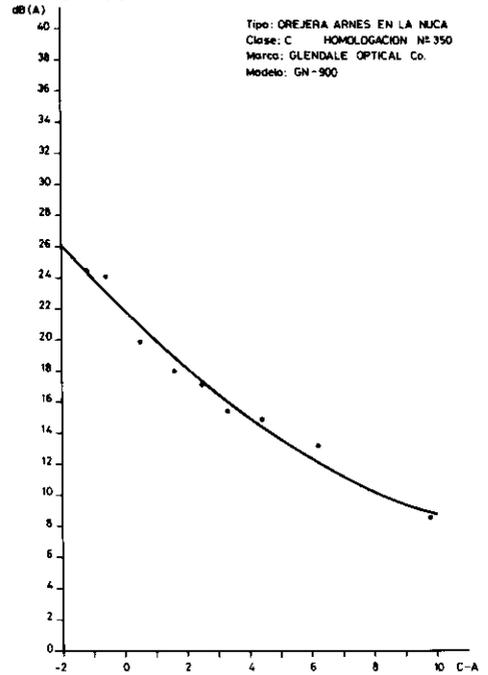


Análisis

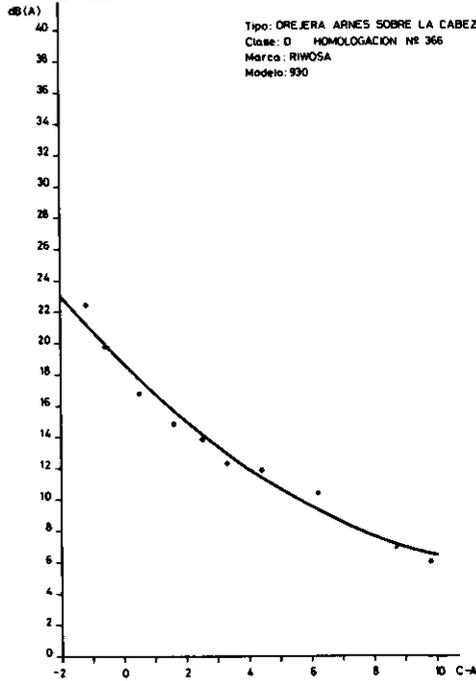
ATENUACION GLOBAL



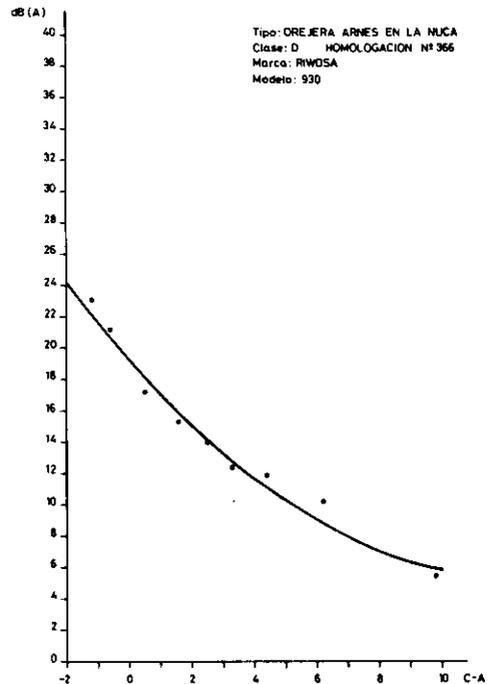
ATENUACION GLOBAL



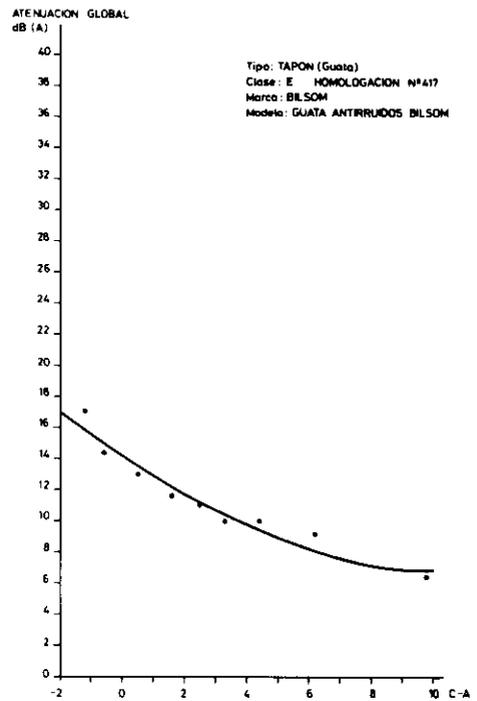
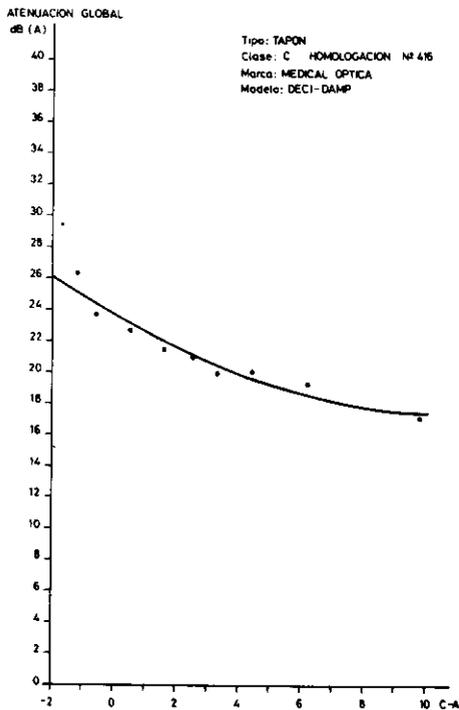
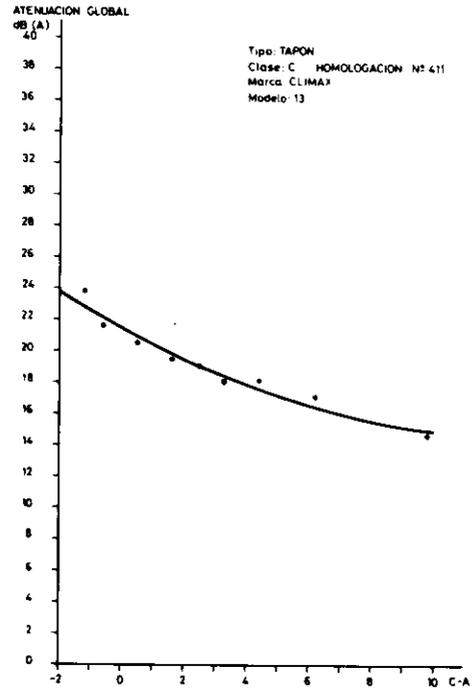
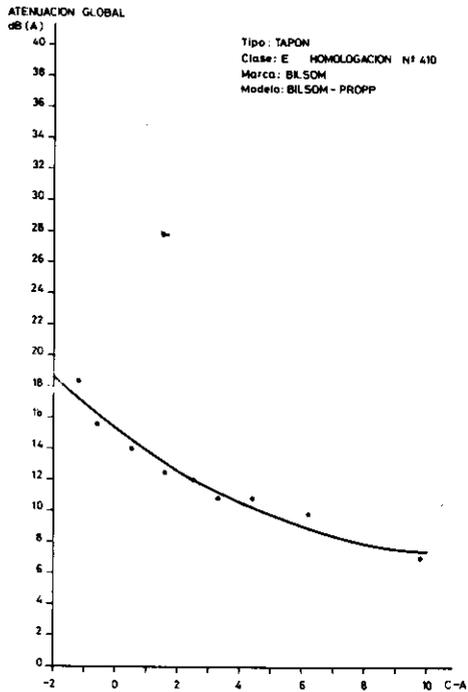
ATENUACION GLOBAL



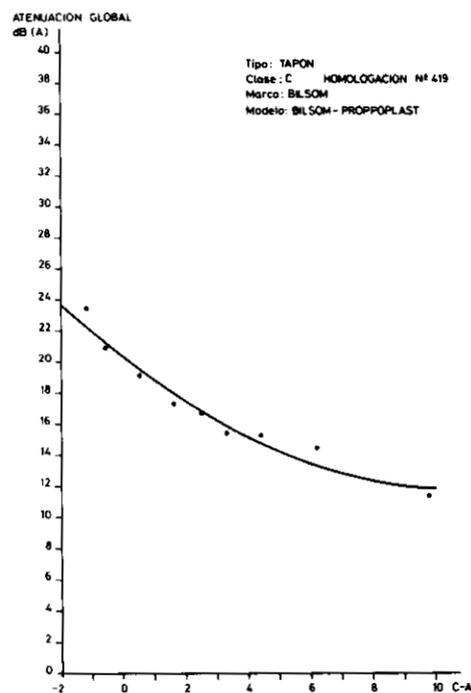
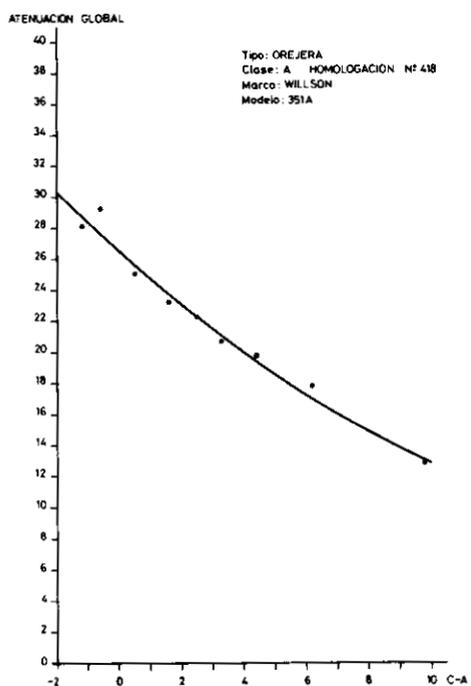
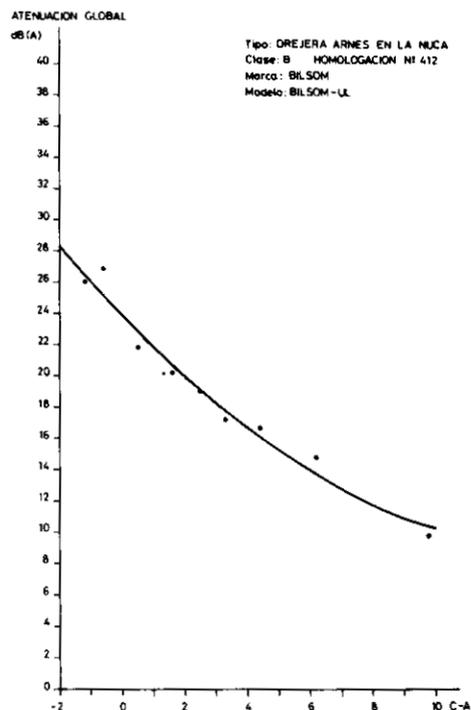
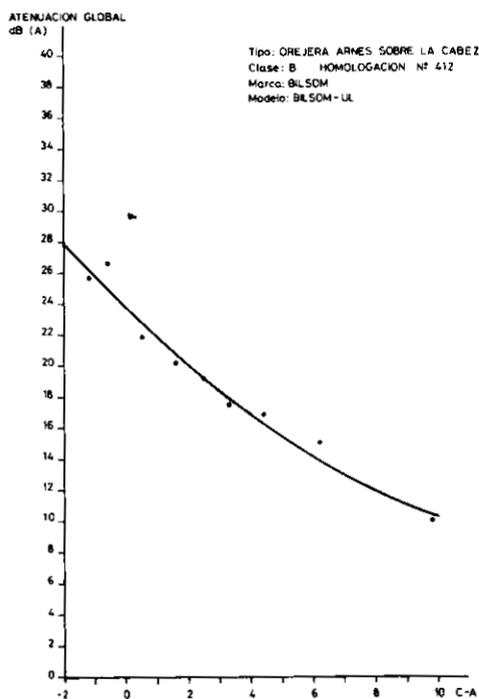
ATENUACION GLOBAL



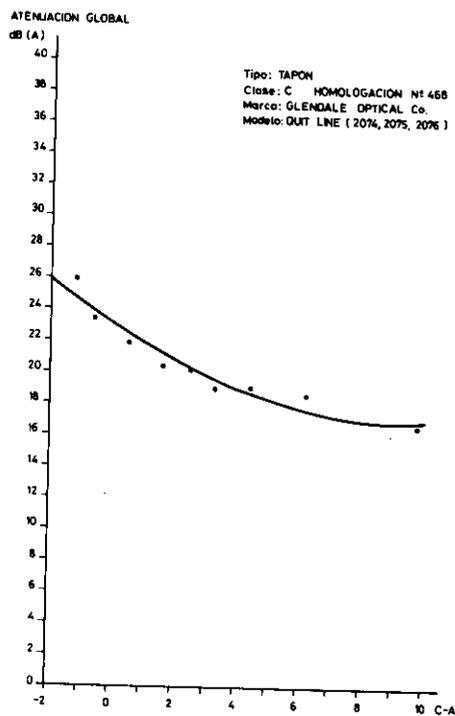
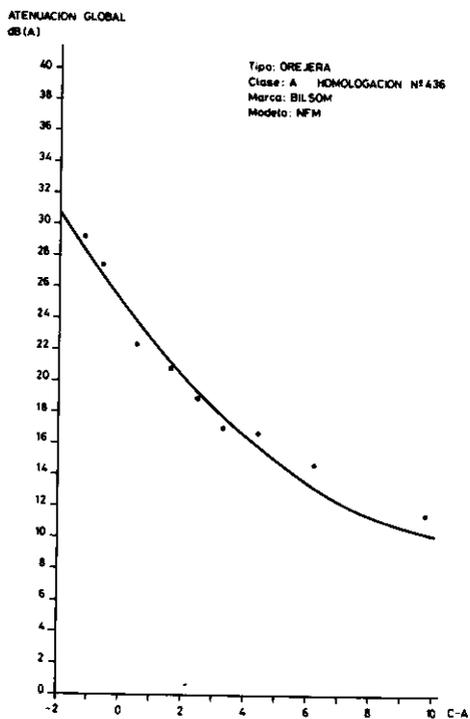
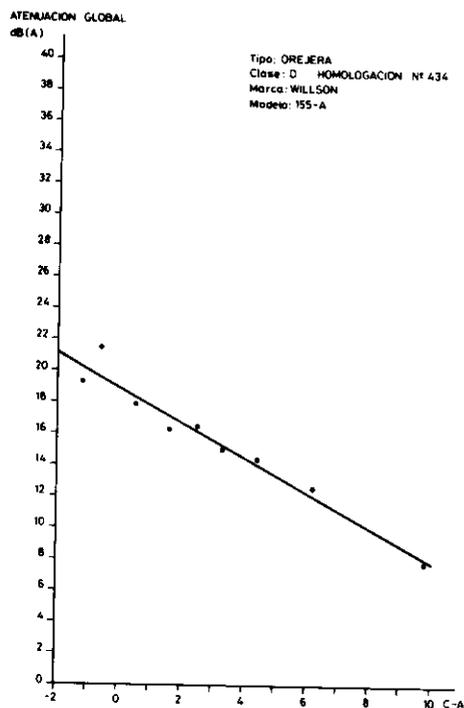
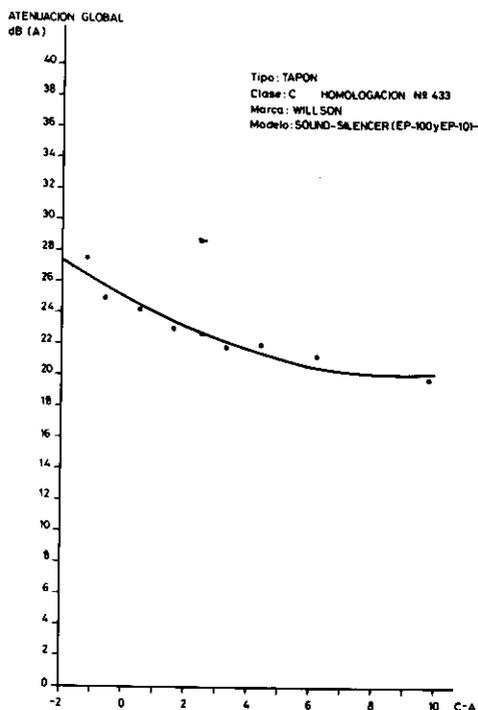
Investigación



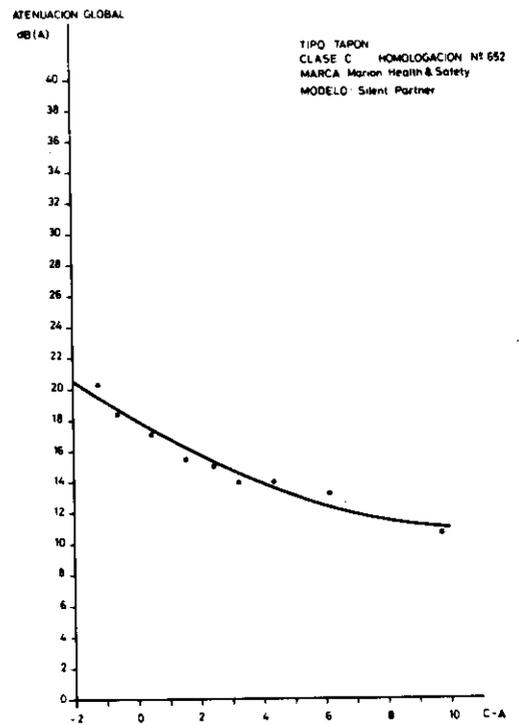
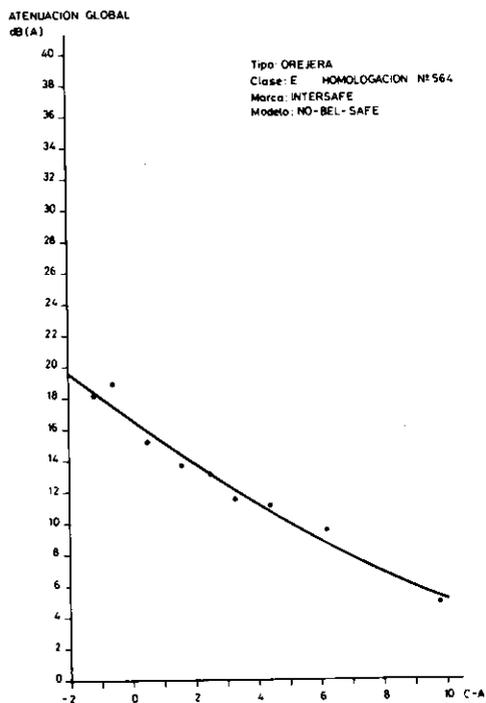
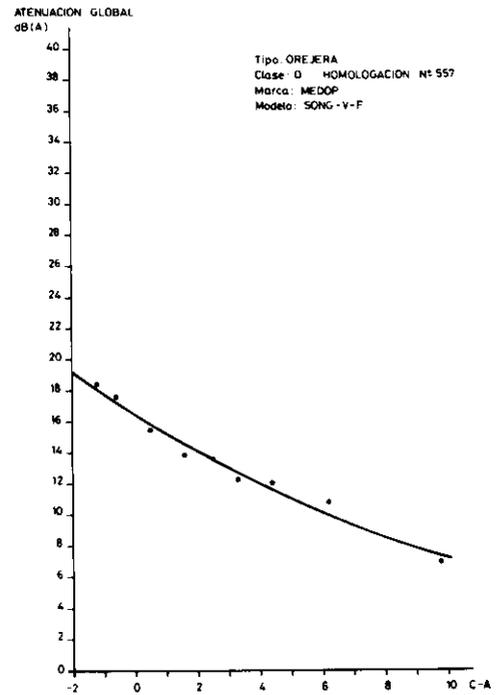
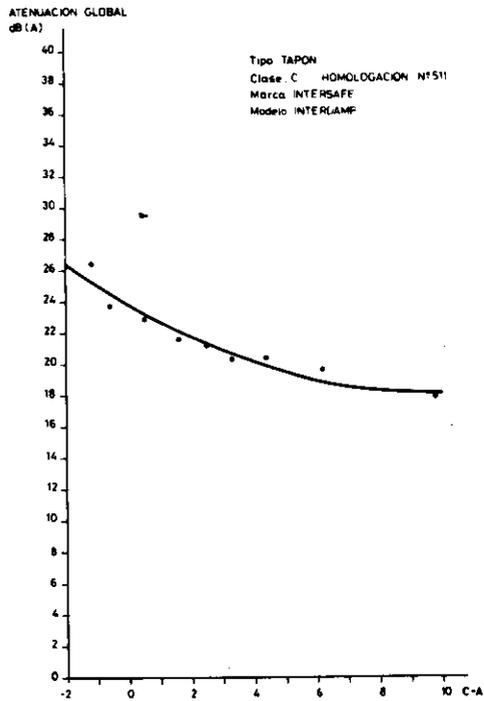
Análisis



Investigación.



Análisis



Investigación.

