

EL CONFORT ACUSTICO EN EL AUTOMOVIL

López, J.A.

Dirección de Estudios. Fasa-Renault.
Paseo del Arco de Ladrillo 58. 47008. Valladolid. Fax: (983) 417986.

INTRODUCCION

En la presente ponencia, se efectúa una introducción a los problemas que plantea hoy día la acústica en el automóvil. Se exponen las principales fuentes de ruido que existen, así como el mecanismo de transmisión del ruido y vibraciones hasta el interior del habitáculo, haciendo especial hincapié en el aspecto de la reconstrucción acústica de fuentes de ruido. Finalmente se habla rápidamente sobre las diferentes técnicas existentes hoy día para disminuir su propagación tanto por vía aérea como por vía sólida.

1. EL CONFORT ACUSTICO.

El confort se ha convertido en el transcurso de los últimos años en una de las cualidades fundamentales que los usuarios exigen a un vehículo moderno. Dentro de este concepto se engloban características tales como la ergonomía, el espacio interior, el confort térmico y evidentemente las vibraciones y el ruido. Sin embargo, éste se manifiesta en formas muy diferentes, lo que le confiere una dimensión más sutil a la hora de analizarlo.

Por otro lado, estas mismas exigencias de confort acústico crecen de una forma continuada, y se suman a la constante evolución tecnológica, también de aumento imparable, que presentan los automóviles. Todo esto hace, que para un fabricante, la concepción de un vehículo silencioso sea una tarea tremendamente compleja.

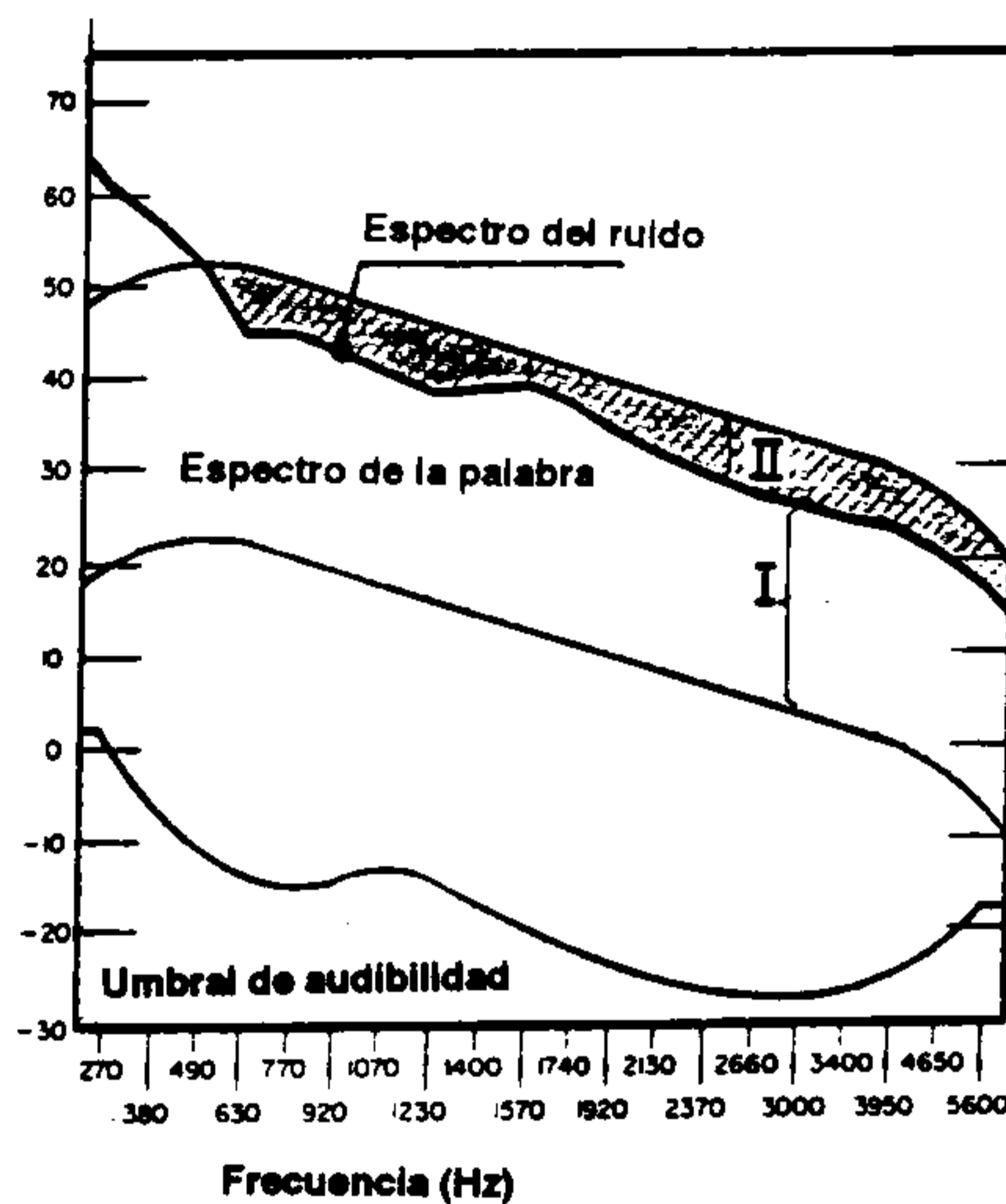
Como era de esperar, las múltiples interdependencias técnicas e interacciones entre diferentes sistemas y funciones del vehículo, plantean un constante conflicto de intereses entre la acústica y otras prestaciones (seguridad activa, seguridad pasiva, dinámica del vehículo...), que deben resolverse de la manera más equilibrada posible. Todo ello, teniendo siempre presente las restricciones propias inherentes al desarrollo de todo proyecto: los costes y su industrialización en grandes series. Consecuentemente, la acústica se encuentra hoy día en el centro de la mayor parte de los conflictos que se generan en el desarrollo de un proyecto automovilístico, desde sus primeras etapas de pre-diseño hasta incluso cuando el automóvil se encuentra ya en su producción en serie.

Por último, el ruido interior del automóvil no es el único efecto acústico que debe ser tenido en cuenta. El sector transportes, constituye, entre las múltiples existentes, una de las principales fuentes de emisión acústica que agreden nuestro entorno. Las exigencias tanto legislativas, como de la sociedad, convierten a la disminución de las emisiones acústicas externas en una nueva restricción de primer orden en el desarrollo de un proyecto.

La evaluación del confort acústico es algo, que dado su carácter subjetivo, es difícil de abordar. Los niveles globales, dadas las características del problema, son insuficientes para evaluar el problema, y por lo tanto muy raramente utilizados, salvo para la acústica exterior.

El índice de articulación, que permite cuantificar la interferencia que ocasiona el ruido en la comprensión de la palabra (Fig. 1), apareció en su momento como un factor interesante, pero hoy día sigue utilizándose de forma muy esporádica. En general, se trabaja siempre con espectros de frecuencia, empleándose bien dB lineales o la ponderación A, estableciéndose para cada tipo de ruido un nivel máximo admisible, en constante disminución por otro lado. Estos niveles acústicos se fijan en base a la experiencia previa acumulada que permite relacionarlos, para cada tipo de ruido diferente, de una forma fiable con la sensación de confort. Es decir raramente se evalúa de forma expresa el nivel de confort en sí.

Nivel espectral (dB)



Índice de Articulación(I. A.)

I. A. = Superficie II / Superficie (I + II)

Figura 1. Índice de Articulación.

2. FUENTES DE RUIDO.

Todas las piezas que componen un vehículo, y se pueden estimar en unas diez mil, son susceptibles bien de producir ruido, bien de participar en su transmisión. La experiencia reduce este número a aproximadamente 200 [5]. El ruido de un automóvil es el resultado de la superposición de ruidos de orígenes diversos que es difícil de reagrupar en un único término. De todas formas, una primera clasificación permite agruparlos en dos grandes categorías:

- Ruidos de funcionamiento. Son los considerados como inherentes al propio funcionamiento del vehículo, y por lo tanto, estarán siempre presentes con niveles más o menos elevados (ruido del motor, ruidos aerodinámicos, ruido de rodadura ...) Naturalmente dependerán de sus condiciones de utilización. Un usuario jamás se quejará de su presencia, sino de un nivel excesivo.
- Ruidos parásitos. Son aquellos cuya presencia se juzga anormal. Deben ser imperceptibles por el usuario, típicamente se incluirían en este apartado, entre otros, los ruidos de los accesorios, o los grilleos de salpicadero etc.

Por otra parte el concepto de nivel sonoro va unido indisolublemente al de frecuencia, estableciéndose por este concepto, sin que esta clasificación tenga más valor que el de la convención, tres categorías: baja frecuencia (20 - 200 Hz), frecuencia media (200 - 800 Hz) y alta frecuencia (800 - 10000 Hz).

En el automóvil, las principales fuentes primarias de ruido son las siguientes (Fig. 2):

- Grupo motopropulsor y sus órganos accesorios.
- Sistemas de escape y de admisión.
- Rodadura del vehículo.
- Ruidos de origen aerodinámico.
- Funcionamiento de órganos y de accesorios diversos.

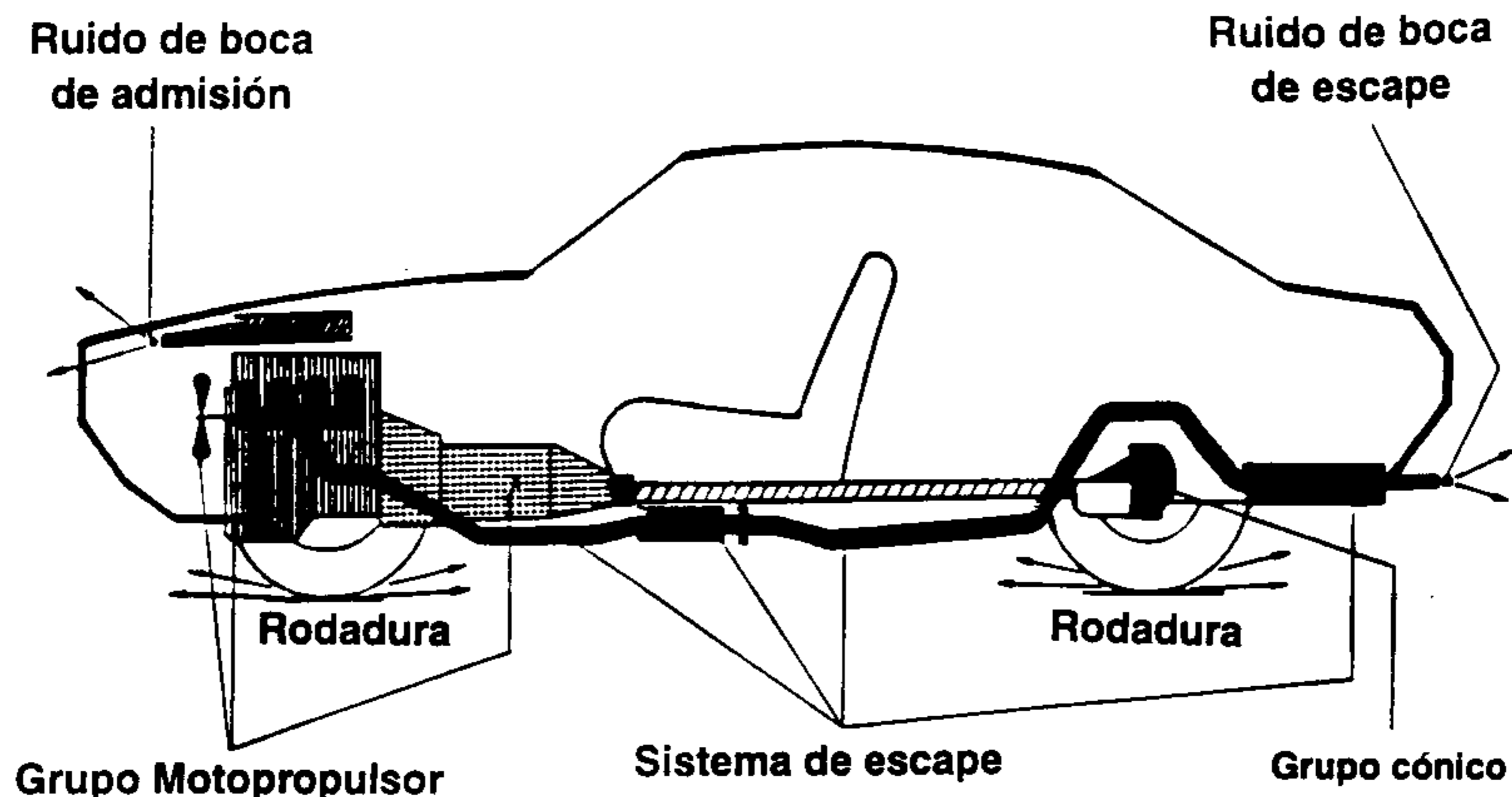


Figura 2. Fuentes de ruido.

Cada una de estas fuentes es capaz de producir diferentes tipos de ruido. En la Tabla 1 se han reflejado los principales tipos de ruido originados por las fuentes primarias citadas. La clasificación se ha realizado en base al órgano o elemento que produce el ruido, si bien cada uno de ellos lleva asociado un efecto cliente distinto. Cada tipo de ruido requerirá un trabajo acústico totalmente específico.

El principal ruido que se localiza en un automóvil es el denominado "zumbido" del motor, que es el que normalmente se identifica como ruido de un vehículo. El bloque motor está sometido a dos excitaciones principales, que son inevitables, dado el principio de funcionamiento de un motor alternativo:

- Esfuerzos de explosión del gas en cada cilindro.
- Esfuerzos de inercia de las partes móviles no equilibradas.

Estos esfuerzos son el origen de vibraciones que tienen componentes principales en frecuencias correspondientes a la fundamental de rotación del motor y a sus armónicos. Su importancia relativa depende del número de cilindros del motor y de su disposición.

Inicialmente, el término "zumbido" se reservaba al ruido causado por el segundo armónico de un motor de cuatro cilindros. Posteriormente, por extensión, se ha aplicado también a los armónicos 1.5 y 3 de un motor de seis cilindros.

En un motor de cuatro cilindros, se anulan todos los armónicos impares, subsistiendo únicamente los pares: 2, 4, 6 ... Entre éstos, el de un contenido energético más elevado y por lo tanto el más molesto es el de orden 2.

A bajo régimen, el zumbido motor se debe al aciclismo del par de explosión, transmitido normalmente hasta el habitáculo por medio de los ejes del vehículo, la caja y los árboles de transmisión. A alto régimen, sin embargo, son las fuerzas verticales de inercia, transmitidas normalmente a través de la suspensión del motor, la componente principal de este tipo de ruido.

Este ruido al ser producido por el segundo armónico de rotación del motor, que normalmente alcanzan velocidades entre 600 y 6000 rpm, cubre un rango de frecuencias comprendido entre

20 y 200 Hz, siendo por tanto un ruido sordo, de baja frecuencia, característico de los motores de explosión. En la Figura 3, se muestra una medida típica de este ruido, donde el seguimiento del segundo armónico de rotación del motor se ha realizado con un filtro seguidor.

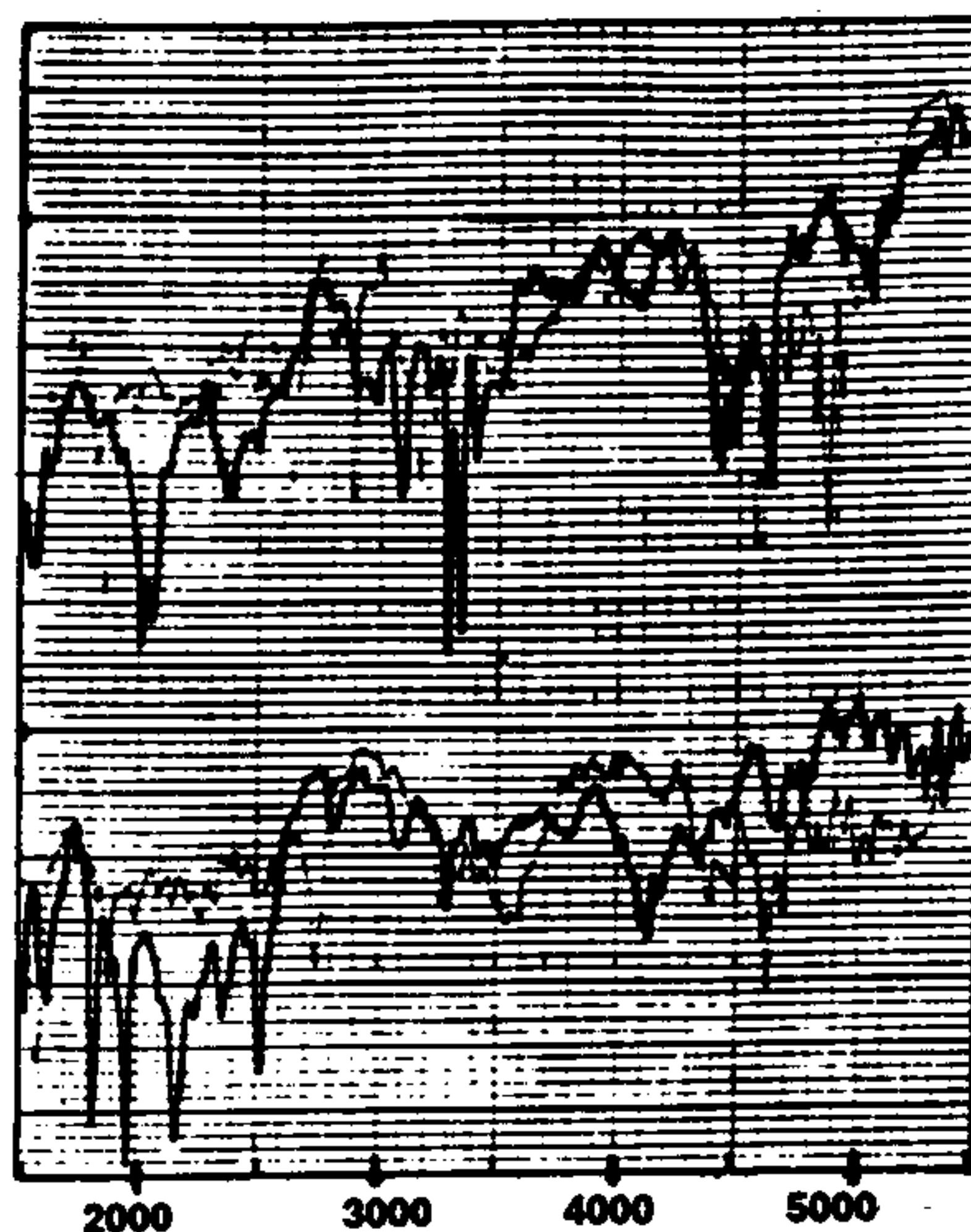


Figura 3. Ruido producido por el segundo armónico motor.
3ª plena carga - Puntos D y E

Dentro de los ruidos producidos por la caja de cambios, el más típico es el sireneo. Este ruido está originado por el hecho de que en un mecanismo de engrane, el punto de contacto entre los engranajes no es constante. Esto da lugar a una transmisión irregular de la velocidad de rotación, que acoplada con los modos de flexión excita los palieres y produce una vibración que se transmite al cárter de la caja cambios. El ruido percibido se mueve en un rango de frecuencias que va desde 500 a 2000 Hz.

Ruido exterior.

El ruido transmitido al exterior por un vehículo es el único que tiene establecido un nivel máximo legal y un procedimiento de medida estandarizado. El método de ensayo, que debe ser realizado por un organismo oficial, con todo vehículo en proceso de homologación, es el fijado en la norma ISO - 362. Los niveles máximos admisibles en la actualidad son los precisados en la Directiva Comunitaria 92/97 de 10 de Noviembre de 1992, y están definidos en función de los distintos tipos de vehículos (turismos, transportes pesados de pasajeros o de mercancías ...).

En la Figura 4 , se han representado la evolución que han tenido desde el año 1970 los valores máximos admisibles para automóviles, debiendo resaltarse el que la energía acústica máxima que se puede emitir hoy día es como máximo un 16% de la fijada en 1970.

Las fuentes de ruido exterior son las mismas ya mencionadas en párrafos precedentes, debiendo señalarse, que dado el tipo de ensayo prescrito, la intensidad de cada fuente varía en el curso de la medida, ya que son funciones del régimen de giro del motor.

No hay que olvidar tampoco que el vehículo no es el único factor participante en el problema, y que por ejemplo las características del recubrimiento de las calzadas es otro factor de primer orden, e incluso si se habla ya de alguno de los efectos del ruido transmitido al exterior, ruido en viviendas o edificios públicos, no se debe dejar de lado la responsabilidad que tienen también los aislamientos de la mayoría de los edificios.

Tabla 1. Fuentes de ruido en el automóvil.

1. FUENTES INTERNAS

-GRUPO MOTOPROPULSOR.

- * ZUMBIDO MOTOR
- * RUIDO DE DISTRIBUCION.
- * RUIDO DE BALANCINES.
- * RUIDO DE CARGA DEL MOTOR.

-CADENA CINEMATICA.

- * RUIDOS PRODUCIDOS POR ARMONICOS MOTOR.
- * RUIDOS PRODUCIDOS POR ARMONICOS DE ENGRANE.
- * RUIDOS GENERADOS POR LOS ARMONICOS DE RUEDA.

-GASES.

- * ADMISION Y ESCAPE.
- * VENTILACION.

2. FUENTES EXTERNAS.

- RODADURA.

- *RUIDO TRANSMITIDO POR VIA SOLIDA.
 - *RUIDO TRANSMITIDO POR VIA AERERA.
- AERODINAMICA.

3. RUIDOS DE ÓRGANOS MECANICOS.

- DIRECCION ASISTIDA.
- BOMBA DE GASOLINA.
- BOMBA DE ACEITE.
- ALTERNADOR.
- SILBIDOS DE CORREA.
- COMPRESOR DE AIRE ACONDICIONADO.
- AMORTIGUADORES.
- FRENOS

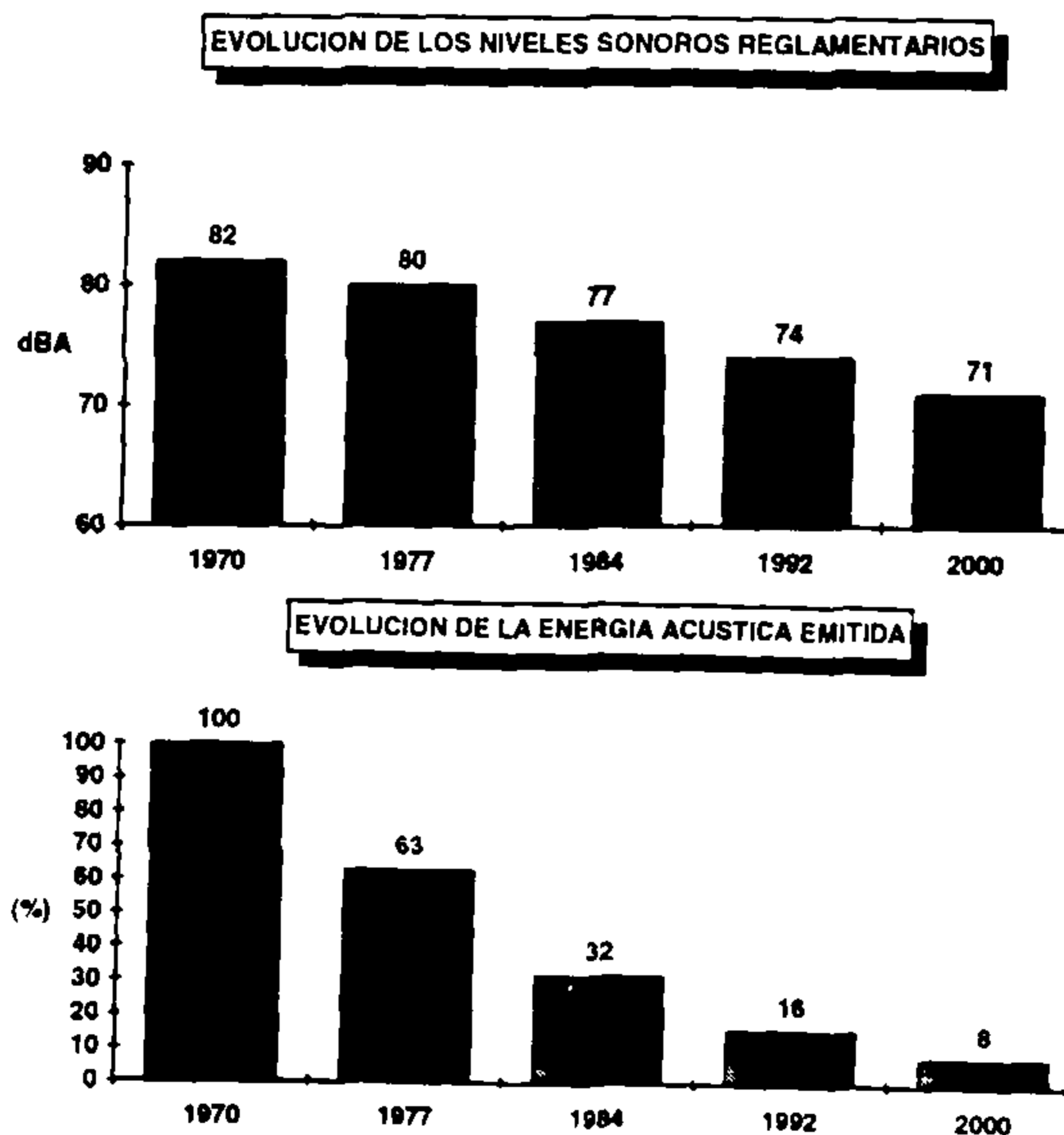


Figura. 4. Ruido exterior: evolución de los niveles acústicos máximos legales y de la energía acústica correspondiente.

3. RECONSTRUCCION DE FUENTES ACUSTICAS.

Transmisión del ruido.

El alcanzar los niveles acústicos fijados como objetivo exige un conocimiento profundo del fenómeno acústico desde su generación hasta su percepción en el habitáculo o en el exterior del vehículo. El mecanismo de generación del ruido interior se puede subdividir en dos grandes grupos, según se excite de una forma directa el aire del habitáculo o bien un medio diferente sea una estructura o un fluido. En este último supuesto, la energía vibratoria se propaga hasta las superficies externas en contacto con el aire del habitáculo. Estas son las superficies que radian la energía sonora como si fueran membranas de altavoces. Esta energía emitida por las superficies es la que excita los modos propios acústicos de la cavidad (el habitáculo) y da origen finalmente al ruido. A partir de esto, y dado que es la forma de transmisión que se produce en la mayoría de los casos, el mecanismo de transmisión del ruido se puede descomponer en tres fases:

- Fuente de ruido o de vibración.
- Propagación de vibraciones por vía sólida o de presiones por vía fluida.
- Emisión sonora final por parte de las superficies en contacto con el aire.

De esta forma, para cada tipo de ruido se define una fuente, una trayectoria de propagación primaria, una trayectoria de propagación secundaria y un emisor o responsable último de la emisión acústica percibida.

Como se subrayará posteriormente, el reducir el nivel de ruido, significará actuar simultáneamente en los tres niveles.

Además, la *lucha* contra cada tipo de ruido requerirá soluciones diferentes, en función de las características específicas de cada una de las tres fases del proceso descrito. Naturalmente es necesario analizar cada uno de ellos de forma independiente, determinando su origen y vías de transmisión.

Vías de propagación alternativas.

Existe otro factor que añade una complejidad aún mayor al estudio de la acústica automovil. Visto que muchos de los tipos de ruido mencionados son el resultado de una transmisión de vibraciones por el vehículo, y que para poder tratarlos es imprescindible determinar las tres etapas del proceso de generación del ruido, aparece ahora el hecho de que el número de vías de transmisión posibles entre la fuente y el habitáculo y el número de posibles emisores es elevadísimo.

En el caso del ruido producido por el segundo armónico del motor los recorridos alternativos y los emisores abarcan la práctica totalidad del automóvil, con la circunstancia adicional, de que el problema para cada régimen del motor (y por lo tanto para cada frecuencia) puede ser, y es, distinto, con distintas vías de propagación, y posiblemente emisores, para cada frecuencia.

La acústica automovil, a pesar de los avances en cálculo y de la impartición de consignas cada vez más amplias, severas y precisas para intentar prevenir los problemas, presenta hoy día una componente experimental muy fuerte, absolutamente natural por otra lado, si se tienen en cuenta toda la serie de consideraciones que se han ido desgranando en esta ponencia.

En el análisis experimental de los vehículos, el principal inconveniente que se encuentra, tiene su origen precisamente en la presencia de diferentes rutas de propagación de las vibraciones. Para un tipo definido de ruido, cuyo valor se mide en el interior del vehículo sin mayor dificultad, es necesario determinar para cada frecuencia problemática, la contribución al ruido final de cada una de las vías de propagación alternativas existentes. Conocidas éstas, se deberán tratar, de acuerdo con el concepto de composición de fuentes acústicas, aquellas que contribuyan de forma significativa al ruido final.

Reconstrucción de fuentes acústicas.

Esta reconstrucción es especialmente útil en el análisis del problema del zumbido motor. Muchos de los métodos presentes en la literatura e incluso implementados en paquetes de computador comerciales están especialmente desarrollados para determinar la contribución específica al nivel acústico total de cada una de los apoyos del motor. Si bien hay que precisar que es interesante también para otros posibles caminos de propagación (línea de escape...) y otros tipos de ruido. Existen diferentes métodos alternativos para el estudio de este problema, seguidamente se van a comentar los más relevantes:

-Desacoplamiento de elementos. Este es el más clásico de todos los métodos de trabajo, e incluso hoy día sigue siendo con toda probabilidad el de uso más extendido [1] dada su elevada eficacia. Como su propio nombre indica está basado en romper la trayectoria de propagación en estudio, desolidarizando de la carrocería alguno de los elementos que la componen, por ejemplo, en el caso de los apoyos del motor, soltar uno de ellos. Una vez desacoplado el elemento, se mide el ruido en esas condiciones. La contribución de la vía de paso en estudio frente al nivel total se determina mediante la diferencia entre el nivel medido en estas condiciones y el obtenido con este mismo elemento en su situación de origen. Este sistema presenta, sin embargo, una serie de inconvenientes.

*En el caso de la suspensión del motor, dado el considerable peso de éste, es realmente difícil dejar el motor suspendido con un apoyo menos sin sobrecargar los restantes, con lo cual si se produce ésto variará la contribución de los que quedan conectados.

*No se puede obtener la contribución de un único grado de libertad del tampón motor. Esta circunstancia es de importancia en muchos ocasiones, pues la solución puede venir orientada por esta información.

*Si la variación de presión sonora medida es del mismo orden que el error de la medida, la eficacia del ensayo queda en entredicho. Esto es vital en los casos en que el nivel sonoro total no sea producido por una única fuente dominante, sino por varias concurrentes de niveles equiparables.

*Se emplea una cantidad considerable de tiempo en llevar a cabo este método.

Por lo tanto es necesario es más adecuado analizar la contribución de cada vía de paso por medio de técnicas en las que no sea necesario modificar la disposición del vehículo. El resto de métodos que se presentan, están basados en una serie de medidas complementarias, tanto de los propios tampones motor, como de la propia estructura de recepción y en la sensibilidad de la carrocería.

-Método de la rigidez de filtración [2]. Se calcula el vector nivel acústico aportado por cada fuente mediante la expresión (1).

$$\{ P \} = [P/F] * \{ F \} \quad (1)$$

$$\{ F \} = [K(w)] * (1/w^2) * \{ \gamma_m - \gamma_r \} \quad (2)$$

Este método se basa en el cálculo del vector fuerza {F} que realiza el tampón, como producto de la rigidez dinámica del elemento filtrante y del desplazamiento entre sus extremos.

El desplazamiento se calcula mediante la doble integración del vector de vibraciones reales en los dos extremos de un tampón de la suspensión motor: (ver Figura 5), lado motor (γ_m) y lado carrocería (γ_r). La vibración real sobre vehículo se mide sobre banco de rodillos en cámara insonorizada, en condiciones iguales a las del ensayo de ruido.

La rigidez dinámica de la suspensión del motor en cada una de las tres direcciones debe ser medida desmontando cada uno de los elementos filtrantes del vehículo y montándolos

sucesivamente en un banco dinámico para la medida de elementos de caucho, sobre el que se deben poder introducir precargas iguales a las que el elemento sufre sobre el automóvil.

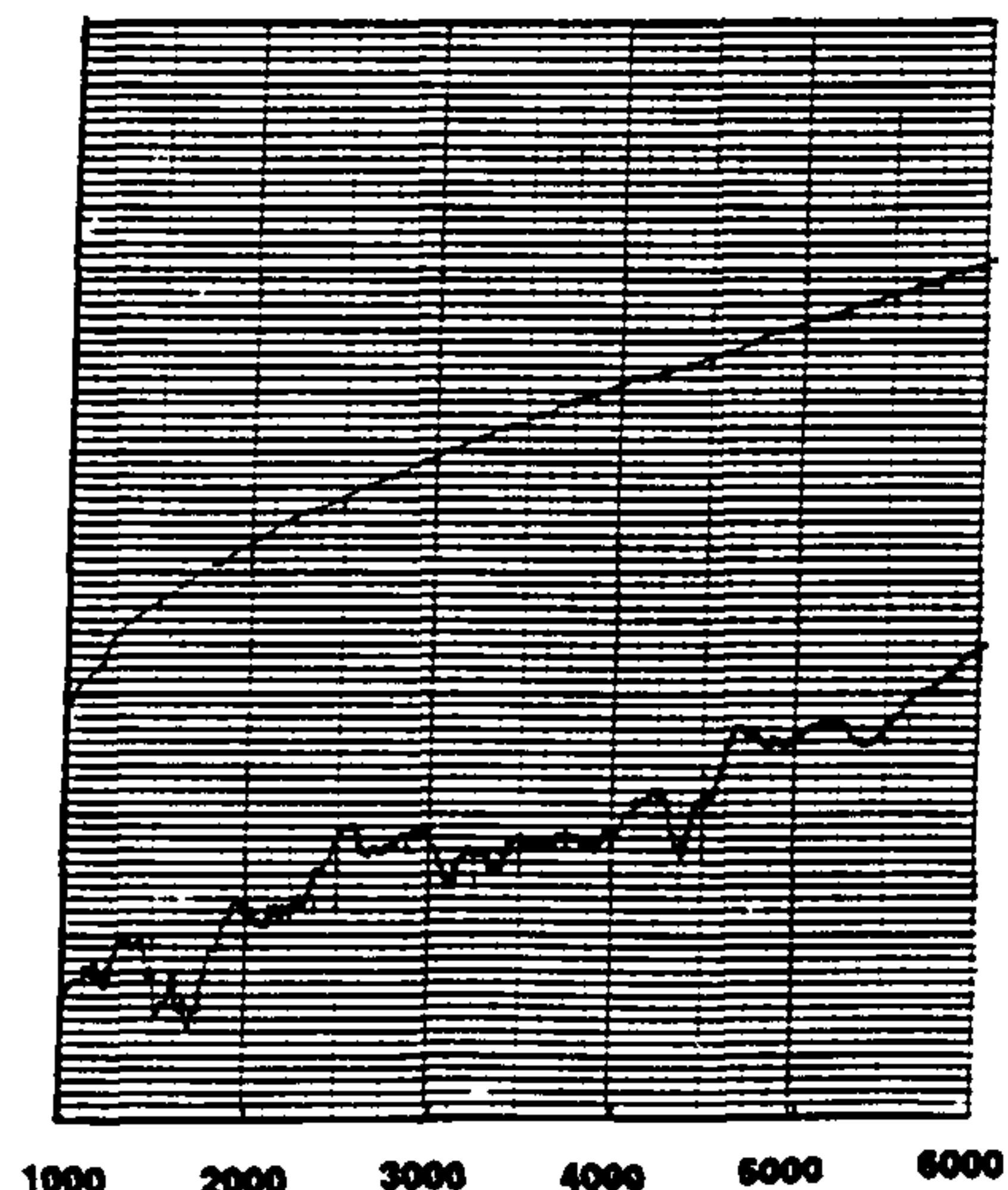


Figura 5. Filtración del armónico 2 del motor que realiza la suspensión motor.

El termino [P/F] corresponde al transfer acústico, desde el soporte sobre el que apoya el tampón motor hasta el interior del habitáculo. Se mide excitando el punto con un martillo de impactos o un excitador electrodinámico. Las medidas se deben realizar también en sala insonorizada. En la Figura 6 se presenta una curva que muestra un resultado típico de este tipo de medida.

Dado que las fuentes en estudio son coherentes, todos los parámetros medidos y que aparecen en las expresiones (1) y (2) son magnitudes complejas.

Este método, a pesar de no presentar algunos de las limitaciones del anterior, tiene varios inconvenientes considerables: es necesario una mayor cantidad de tiempo que en el anterior para desarrollarlo, hace falta un banco vibratorio para medir los tampones, y además la medición de estos últimos en condiciones similares a las del vehículo (soportes) presenta una enorme dificultad.

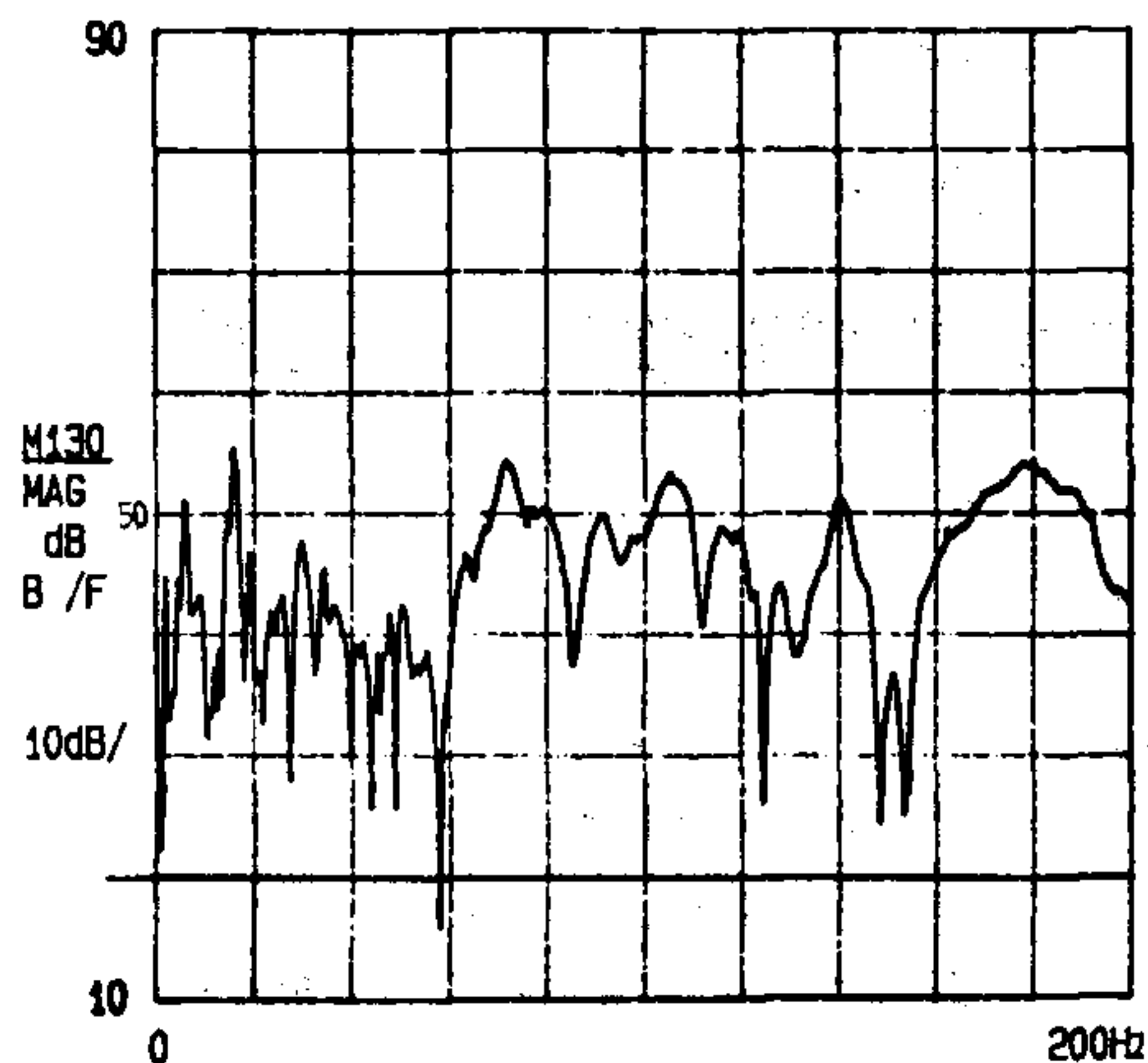


Figura 6. Módulo de la función de transferencia acústica de un vehículo en fase de desarrollo.

-Método de las inertancias y fuerzas [3]. Este método se basa en el cálculo de la fuerza de excitación $\{F\}$ (de la expresión (3)) por medio de la medida de varias funciones de transferencia mecánicas $\{\gamma/F\}$, sean estas últimas inertancias o transfers vibratorios. Los transfers vibratorios se miden entre los soportes de apoyo de la suspensión motor y otros puntos de la carrocería. Posteriormente se mide la aceleración real en los mismos puntos con el vehículo en condiciones operativas.

$$\{P\} = [P/F] \cdot \{F\} \quad (3)$$

La relación entre la excitación en el soporte de la suspensión motor 1 y el vector aceleración de un punto i de la carrocería viene dada por la expresión (4). En la Figura 7 se ha representado una curva de inertancia $\{\gamma/F\}$ típica de un soporte de la suspensión del motor.

$$\{\gamma_i\} = [\gamma/F_1] \cdot \{F_1\} \quad (4)$$

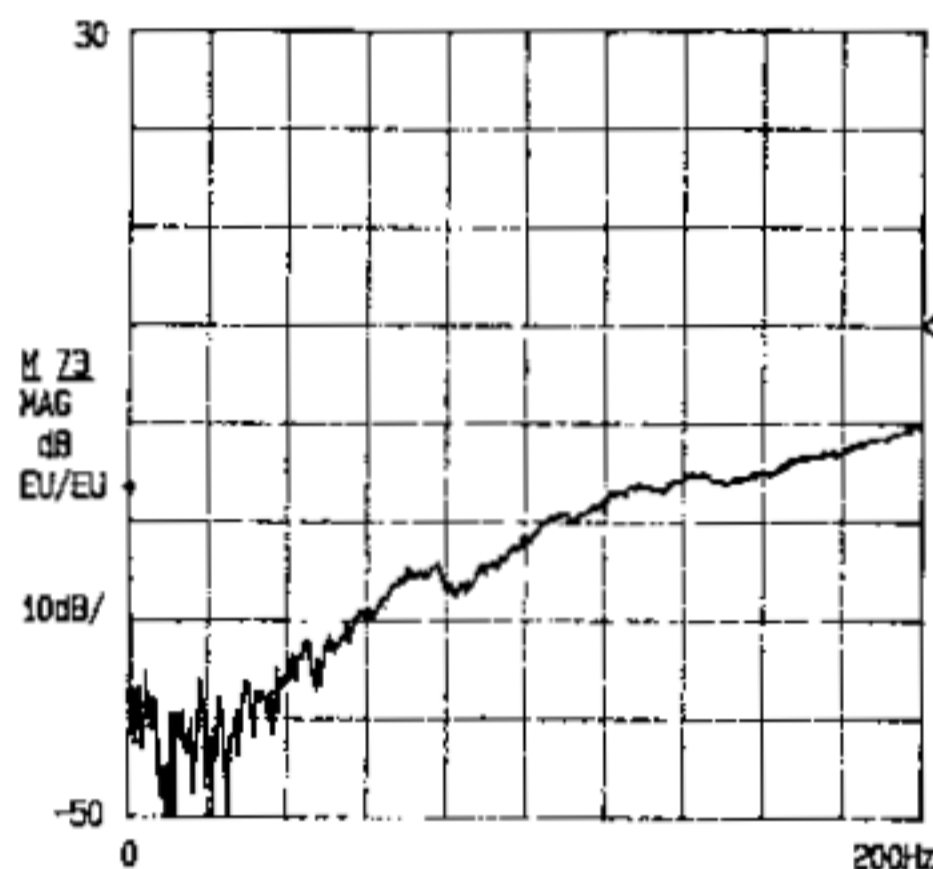


Figura 7. Inertancia (modulo) de un vehículo en fase de desarrollo

La aceleración total del citado punto i , será la resultante de la adición de las aceleraciones parciales con las que contribuyen todos y cada uno de los n puntos de excitación (subíndice k) en todas sus direcciones.

$$\{\gamma_i\} = \sum [\gamma/F_k] \cdot \{F_k\} \quad (5)$$

Trabajando con una relación similar entre todos los puntos de entrada de esfuerzo (excitación) y los puntos de la carrocería considerados, se llega a un sistema de ecuaciones, tal como el indicado en (6).

$$\{\gamma\} = [\gamma/F] \cdot \{F\} \quad (6)$$

A partir de este punto, se pueden calcular las fuerzas de excitación $\{F\}$ invirtiendo la matriz $[\gamma/F]$, tal como aparece en la expresión (7).

$$\{F\} = [\gamma/F]^{-1} \cdot \{\gamma\} \quad (7)$$

En este desarrollo todas las magnitudes vuelven a ser complejas, y por lo tanto deben estar medidas en amplitud y fase.

Este método es mucho más sencillo y rápido que el anterior, y es quizá la alternativa más eficaz en cuanto a resultados y tiempo necesario de todas las existentes, sin embargo los resultados que aporta no consiguen en todos los casos el nivel de confianza necesario.

4. TECNICAS DE INSONORIZACION.

La reducción del nivel sonoro en el interior del habitáculo, se puede alcanzar, bien reduciendo el ruido y las vibraciones generados por la fuente primaria, bien disminuyendo su propagación hasta el emisor final, que como se ha visto es la carrocería, o bien trabajando este último insonorizándola o amortiguando sus vibraciones. Dado que las mejoras en el primero de estos aspectos no son por lo general suficientes, lograr un buen confort acústico hace imprescindible actuar de manera simultánea sobre cada uno de estos tres frentes.

Vía sólida.

-Filtración de las vibraciones mediante elementos elásticos. Normalmente, esta función es ejercida por soportes de caucho. Estos elementos se caracterizan por su rigidez dinámica. La suspensión del grupo motopropulsor es el principal ejemplo que se encuentra en el automóvil. Las fijaciones elásticas a la carrocería de la línea de escape, los casquillos elásticos de los mecanismos de suspensión, son otros casos representativos de esta función filtrante.

Dentro de este apartado es adecuado recordar que precisamente en él, es donde se plantean muchos de los conflictos de intereses con otras funciones del vehículo. La acústica siempre buscará como objetivo la máxima filtración vibratoria, lo que conlleva elementos elásticos lo más flexibles posibles, mientras, que en general los otros sistemas buscarán más bien el efecto contrario, conseguir una mayor rigidez.

-Reducción de transfers vibratorios.

En la transmisión de vibraciones por vía sólida es de especial interés el evitar la presencia de modos naturales de vibración, cuya frecuencia esté en el rango de excitación de la fuente. La presencia de modos es una fuente potencial de problemas.

Este fenómeno es de una importancia fundamental en todo el proceso de generación del ruido interior. Las vibraciones del grupo motopropulsor pueden ser reforzadas si sus frecuencias de flexión propias o la frecuencia natural de algún accesorio se encuentra en la playa de frecuencias mencionada.

De igual manera, cualquier elemento que forme parte de la trayectoria de propagación del ruido en cuestión y que tenga algún modo dentro de su rango de frecuencia, va a producir a esa frecuencia un aumento de las vibraciones, a todas luces perjudicial para el objetivo perseguido. Esta afirmación, es válida también para la estructura del vehículo, debiendo evitarse la resonancia de ella o de alguno de sus paneles en el rango de interés.

Un recurso utilizado muy frecuentemente para conseguir desplazar en frecuencia los modos propios de una estructura que sean susceptibles de ser excitados, es el resonador. Este es un sistema de un grado de libertad, masa sobre rigidez, o masa sobre elemento de caucho que se añade a la estructura.

De esta forma, tal como aparece en la Figura 8, se consigue provocar una antiresonancia sobre la frecuencia natural de la estructura, originándose dos picos de menor amplitud, uno más avanzado en frecuencia y otro más retrasado. Los nuevos picos se deberán encontrar en frecuencias que sean menos susceptibles de ser excitadas, o en las que la carrocería presente una menor sensibilidad, consiguiéndose de esta forma reducir el ruido interior.

-Amortiguación de las vibraciones. Este fin se alcanza mediante la disipación de parte de la energía vibratoria en calor. Su objetivo es amortiguar las vibraciones origen del ruido, sobre todo bajo la forma de ondas de flexión, y es necesario dada la baja amortiguación que

tiene el acero. Mediante este sistema se atacan preferentemente las vibraciones sobre las grandes superficies radiantes, es decir, se trata el emisor final del ruido.

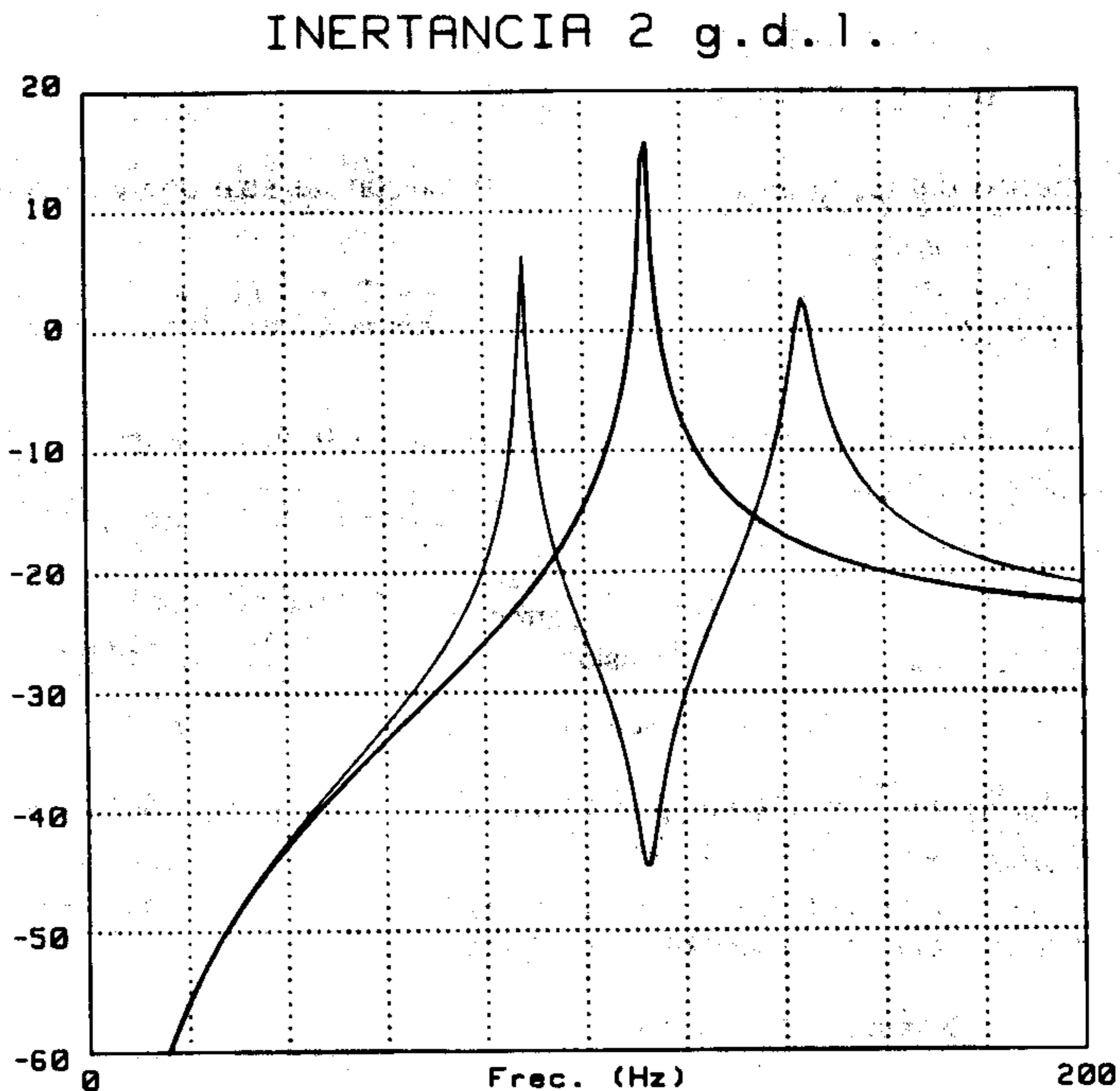


Figura. 8. Efecto de un resonador.

Los materiales que se utilizan específicamente con esta función son visco-elásticos que pueden situarse en diferentes formas sobre las superficies a tratar. Ejemplo típico de ellos son los materiales tipo IFF. En la mayoría de los casos se deben aplicar sobre un material soporte que asegure su estabilidad y resistencia mecánica. La respuesta en frecuencia del elemento sobre el que se aplican se ve modificada no sólo por la amortiguación, sino por el aporte de masa y el aumento de rigidez que efectúan. Se caracterizan por su coeficiente de amortiguación (η), relación entre la energía disipada (E_a) y la energía incidente (E_i).

$$\eta = E_a/E_i \quad (8)$$

Vía aérea.

-Aislamiento fónico. Su objetivo es disminuir la transmisión acústica por vía aérea. Se utilizan Septums de 3 a 7 Kg/m² y materiales porosos tipo Taca de 60 a 90 Kg/m³. Se caracterizan por su índice de atenuación (R), relación entre la energía incidente (E_i) y la transmitida (E_t).

$$R = 10 \text{ Log } E_i/E_t \quad (9)$$

El ejemplo más significativo de la aplicación de este tipo de materiales en el automóvil, es el aislamiento del salpicadero, con el fin de aislar el habitáculo del ruido del cofre motor. Esta función se puede desarrollar mediante sistemas de pared simple o doble. Debe resaltarse la importancia de asegurar la estanqueidad y evitar los agujeros acústicos que den por tierra con el aislamiento perseguido, aumentando la transparencia acústica de la carrocería.

-Absorción acústica. Su función es disipar la energía acústica transformándola en calor. Para ello los materiales utilizados son materiales porosos tipo Taca de 10.5-11.5 Kg/m³ y espumas de 55 a 1375 g/m², bien en capa simple o formando diferentes tipos de resonadores. Se caracterizan mediante su coeficiente de absorción (α) que relaciona la energía incidente (E_i) y la reflejada (E_r).

$$\alpha = (E_i - E_r) / E_i = (E_a + E_r) / E_i \quad (10)$$

El guarnecido del techo es un ejemplo de aplicación de este tipo de materiales en el automóvil.

5. REFERENCIAS

1. Helms. *Investigations of vibration, oscillation and noise in the car test*. Int. Journal of Vehicle Design. Vol. 10. nº6. 1989.
2. Tschudi, H.R. *The Force Transmission Path Method-an interesting alternative to decoupling tests*. Unikeller Conference 91. Zurich. 1991.
3. Necati et al. *Noise Path Analysis*. Unikeller Conference 91. Zurich. 1991.
4. Chappuis, A. *La reduction du bruit dans l'automobile*. Seminario Acústica Keller. Fasa-Renault.1990
5. Gutzmer,P., Pilgrim,R. *Motorakustische Versuchs und Messtechnik bei Porsche* MTZ nº2. 1987
6. López, J.A.; Retuerto, M.; Santos, J.; Romano, J. *La Acústica en el Automóvil*. X Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. 1992