



# Acústica

---

La **acústica** es la rama de la física que estudia el **sonido**.

## **Resumen:**

Introducción al sonido: como es, como se propaga, como lo percibimos, sus magnitudes, sus características y como lo medimos. Fenómenos físicos que afectan a la propagación. Introducción a la reverberación en recintos cerrados. Y para terminar explicación de los diferentes campos de estudio de la ciencia acústica.

## Índice:

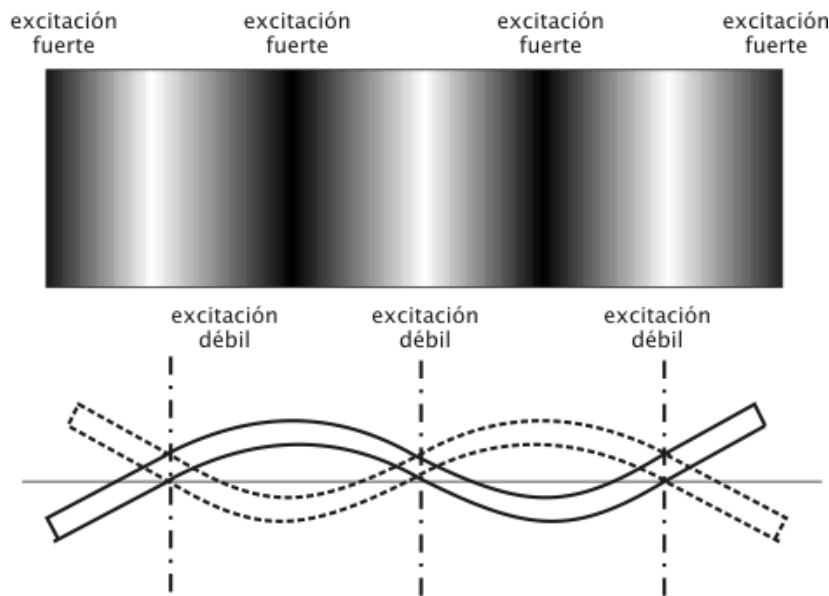
1. El sonido
2. Percepción humana de las ondas sonoras
3. Longitud de onda y frecuencia
4. La amplitud
5. Presión sonora
6. Atenuación del sonido
7. Fenómenos físicos que afectan a la propagación del sonido
8. Reverberación
9. Diferentes campos de la acústica

## 1. El sonido

El sonido es una onda mecánica que se propaga a través de la materia, en estado gaseoso, líquido o sólido.

El **sonido** es una sensación, en el órgano del oído, producida por el movimiento ondulatorio en un medio elástico, normalmente el aire. Es debido a rapidísimos cambios de presión, generados por el movimiento vibratorio de un cuerpo sonoro, que le llamaremos **fente sonora**.

La propagación de la perturbación sonora se produce por la compresión y expansión del medio por el que se propagan. La elasticidad del medio permite que cada partícula transmita la perturbación a la partícula adyacente, dando origen a un movimiento en cadena.



Modo 2 de excitación de una barra rectangular

La función del medio transmisor es fundamental, ya que **el sonido no se propaga en el vacío**. Por ello, para que exista el sonido, es necesaria una fuente de vibración mecánica y también un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) a través del cual se propague la perturbación. El aire es el medio transmisor más común del sonido. La velocidad de propagación del sonido en el aire es de aproximadamente 343 m/seg. a una temperatura de 20 °C (293 kelvin).

Unos ejemplos de velocidades nos muestran como la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos mayor que en los gases:

- En el aire (a una temperatura de 20°) es de 340 m/s.
- En el agua es de 1.600 m/s.
- En la madera es de 3.900 m/s.
- En el acero es de 6.000 m/s.

## 2. Percepción humana de las ondas sonoras

Cuando un objeto emisor (**fente sonora**) vibra, hace vibrar también al aire que se encuentra alrededor de él. Esa vibración, que la llamamos **sonido**, se transmite en la distancia llegando a nuestro oído. La oreja capta las ondas sonoras que se transmiten a través del conducto auditivo hasta el tímpano. El tímpano es una membrana flexible que vibra cuando le llegan las ondas sonoras, esta vibración llega a la cadena de huesecillos: martillo, yunque y estribo, que amplifican el sonido y lo transmiten al oído interno a través de la ventana oval. Finalmente las vibraciones "mueven" los dos líquidos que existen en la cóclea (perilinfia y endolinfa), deformando las células ciliadas existentes en el interior. Estas células **transforman las ondas sonoras en impulsos eléctricos** que llegan al nervio auditivo y de este nervio a la corteza auditiva que es el órgano encargado de interpretar y decodificar la sensación. A esa sensación se le denomina "**sonido**".

El **hercio** (Hz) es la unidad que expresa la cantidad de vibraciones que emite una fuente sonora por unidad de tiempo (frecuencia). El oído humano puede percibir ondas sonoras de frecuencias entre los 16 y los 20.000 Hz. Las ondas que poseen una frecuencia inferior a los 16 Hz se denominan infrasonoras y las superiores a 20.000 Hz, ultrasónicas.

Los animales tienen sus propios umbrales auditivos y escuchan sonidos que nosotros no podemos escuchar. Los elefantes pueden comunicarse batiendo sus enormes orejas y creando infrasonidos, y los perros escuchan silbatos con frecuencias ultrasónicas.

La **percepción sonora** es el resultado de los procesos psicológicos que tienen lugar en el sistema auditivo central y nos permiten interpretar los sonidos recibidos.

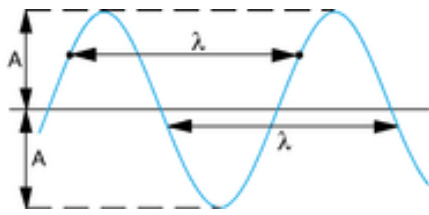
La **psicoacústica** estudia la percepción del sonido desde la psicología (percepción sonora subjetiva). Y describe la forma en que son percibidas las cualidades del sonido, la percepción del espacio a través del sonido escucha binaural y el fenómeno del enmascaramiento, entre otras cosas.

Marshall McLuhan en su teoría de la percepción afirma que la audición necesita ser fortalecida por otros sentidos. No porque la audición sea débil, sino porque la percepción humana tiene gran dependencia de la percepción visual y el sentido del oído necesita que la vista confirme lo que ha percibido.

## 3. Longitud de onda y frecuencia

La **longitud de onda** es un parámetro físico que indica el tamaño de una onda. Se define como la distancia, medida en la dirección de propagación de la onda, entre dos puntos cuyo estado de movimiento es idéntico, como por ejemplo crestas o valles adyacentes.

Por lo general se denota con la letra griega lambda ( $\lambda$ )



**Frecuencia**, es una medida para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en una unidad de tiempo.

La frecuencia tiene una relación inversa con el concepto de **longitud de onda**, a mayor frecuencia menor longitud de onda y viceversa.

Para calcular la frecuencia de un evento, se contabilizan un número de ocurrencias de este teniendo en cuenta un intervalo temporal, luego estas repeticiones se dividen por el tiempo transcurrido.

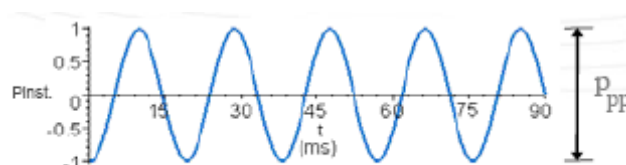
Según el Sistema Internacional, el resultado se mide en hercios (Hz), en honor a Heinrich Rudolf Hertz. Un hercio es aquel suceso o fenómeno repetido una vez por segundo, 2 Hz son dos sucesos (períodos) por segundo y así sucesivamente. Otras unidades para indicar la frecuencia son revoluciones por minuto (rpm) y radianes por segundo (rad/s). Las pulsaciones del corazón o el *tempo* musical se mide como golpes por minuto (bpm, del inglés *beats per minute*).

#### 4. La amplitud

En acústica la **amplitud** es la cantidad de presión sonora que ejerce la vibración en el medio elástico (aire). Al mismo tiempo, la amplitud determina la cantidad de energía (potencia acústica) que contiene una señal sonora.

No hay que confundir amplitud con volumen o potencia acústica, aunque es cierto que cuanto más fuerte suena un sonido, mayor amplitud tiene, porque se ejerce una presión mayor en el medio.

En definitiva, la amplitud de una onda es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que puede llegar a adquirir la onda sinusoidal.



- Forma de onda -

El valor máximo positivo que toma la amplitud de una onda sinusoidal recibe el nombre de "pico o cresta". El valor máximo negativo, "vientre o valle". El punto donde el valor de la onda se anula al pasar del valor positivo al negativo, o viceversa, se conoce como "nodo", "cero" o "punto de equilibrio".

En sonido, normalmente, la amplitud viene definida en decibelios SPL ( $dB_{SPL}$ ): Los decibelios representan la relación entre dos señales y se basa en un logaritmo de base 10 del cociente entre dos números. Las siglas **SPL** hacen referencia a la presión sonora (Sound Pressure Level).

## 5. Presión sonora

La **presión sonora** o **presión acústica** es producto de la propia propagación del sonido. La energía provocada por las ondas sonoras generan un movimiento ondulatorio de las partículas del aire, provocando la variación alterna en la presión estática del aire (pequeñas variaciones en la presión atmosférica. La presión atmosférica es la presión del aire sobre la superficie terrestre). La razón de estas variaciones de presión atmosférica es porque se producen áreas donde se concentran estas partículas (*zonas de concentración*) y otras áreas quedan menos saturadas (*zonas de rarefacción*). Las zonas con mayor concentración de moléculas tienen mayor densidad y las zonas de menor concentración tienen menor densidad. Cuando estas ondas se encuentran en su camino con el oído la presión que ejercen sobre el mismo no es igual para toda la longitud de onda.

Así pues, la presión acústica queda definida como la diferencia de presión instantánea (cuando la onda sonora alcanza al oído) y la presión atmosférica estática.

La presión atmosférica se mide en pascals (Pa). En el SI (Sistema Internacional) 1 Pascal es igual a una fuerza de 1 newton actuando sobre una superficie de 1 metro cuadrado. La presión atmosférica se sitúa en torno a los 100.000 Pa (estableciéndose como valor normalizado los 101.325 Pa).

La presión sonora también se puede medir en pascals, no obstante, su valor es muy inferior al de la atmosférica. El umbral de dolor se sitúa en los 20 Pa, mientras que el umbral de audición se sitúa en los 20 micropascals.

La principal **diferencia entre presión atmosférica y presión sonora** es que, mientras que la presión atmosférica cambia muy lentamente, la presión sonora, alterna muy rápidamente entre valores negativos (menores que la presión atmosférica) y positivos (mayores). El número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo es lo que en física se denomina frecuencia.

El hombre no tiene sensibilidad ante todas las frecuencias. El margen de frecuencias que pueden producir la sensación de sonido cuando impresiona el oído humano es lo que se conoce como audiofrecuencias y va de los 20 a los 20,000. No hay que confundir presión acústica con potencia acústica. La confusión viene por el hecho de

que la presión sonora es la responsable directa de la amplitud de la onda y la amplitud determinara la cantidad de energía (potencia acústica) que contiene una señal sonora.

Para diferenciar entre sonidos más intensos (el oído soporta mayor cantidad de presión sonora), de sonidos débiles, se utiliza el llamado nivel de presión sonora.

El **nivel de presión sonora** determina la intensidad del sonido que genera una presión sonora instantánea (es decir, del sonido que alcanza a una persona en un momento dado) y varía entre 0 dB umbral de audición y 120 dB umbral de dolor. Para medir el nivel de presión sonora no se suele utilizar el Pascal, por el amplio margen que hay entre la sonoridad más intensa y la más débil (entre 20 Pa y 20 microPa).

Normalmente se adopta una escala logarítmica porque el oído no percibe los sonidos en escala lineal, sino como una escala logarítmica. Y se utiliza como unidad el **decibelio** porque es adimensional y relativo, para medir valores absolutos se necesita especificar a que unidades está referida. En el caso del nivel de presión sonora (sound el  $dB_{SPL}$  toma como unidad de referencia 1 microbar. Precisamente, las siglas las SPL hacen referencia al nivel de presión sonora (Sound Pressure Level).

Para medir el nivel de presión sonora se utiliza la fórmula:

$$NP = L_p = SPL = 20 \cdot \log \left( \frac{P_{ef}}{P_0} \right) \quad \mathbf{dB_{SPL}}$$
$$P_0 = 20 \mu Pa = 0'00002 Pa$$

en donde:

$P_{ef}$  es la presión sonora instantánea.

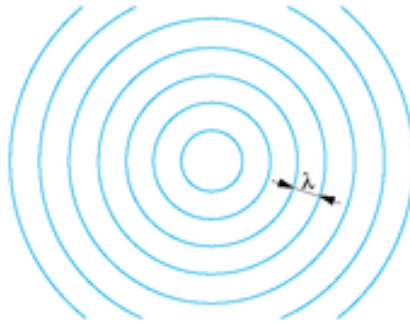
$P_0$  es la presión de referencia y se toma como referencia la presión sonora en el umbral de audición, que son 20 microPa.

log es un logaritmo decimal (en base 10, de ahí, decibelio)

Es decir, **el nivel de presión acústica** se expresa como 20 veces el logaritmo decimal de la relación entre una presión acústica y una de presión de referencia determinada.

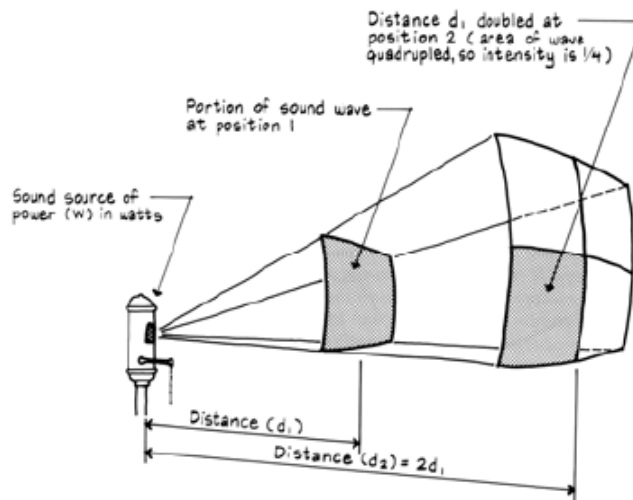
## 6. Atenuación del sonido

Las ondas sonoras son ondas tridimensionales, es decir, se desplazan en tres direcciones y sus frentes de ondas son esferas radiales que salen de la fuente sonora en todas las direcciones.



Las ondas van debilitándose en su amplitud conforme van alejándose de su punto de origen: es lo que se conoce como **atenuación de la onda**. Aunque la amplitud de las ondas decrece, su longitud de onda y su frecuencia permanecen invariables, ya que éstas dependen sólo del foco emisor. La disminución de la amplitud viene cuantificada por la Ley cuadrática inversa.

La **ley cuadrática inversa** se refiere a algunos fenómenos físicos cuya intensidad disminuye con el **cuadrado de la distancia** al centro donde se originan. En particular, se refiere a fenómenos ondulatorios (sonido y luz) y campos centrales.



Al doblar la distancia de escucha el nivel de intensidad disminuye en 6 dB por la relación de los logaritmos.

$$\Delta dB = 20 \cdot \log\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{2 \cdot R_1}{R_1}\right) = 6dB / dd$$

Si estuviéramos en escala lineal disminuiría la mitad de la intensidad. Pero en escala logarítmica hace que solo disminuya 6 dB.

## 7. Fenómenos físicos que afectan a la propagación del sonido

**Absorción.** Cuando una onda sonora alcanza una superficie, una parte de su energía se refleja, pero un porcentaje de ésta es absorbida por el nuevo medio.

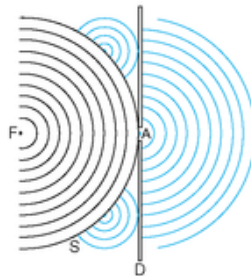
**Reflexión.** Una onda cuando topa con un obstáculo que no puede traspasar se refleja (vuelve al medio del cual proviene).

**Transmisión.** En muchos obstáculos planos (los paredes de los edificios) una parte de la energía se transmite al otro lado del obstáculo. La suma de la energía reflejada, absorbida y transmitida es igual a la energía sonora incidente (original).

**Difusión.** Si la superficie donde se produce la reflexión presenta alguna rugosidad, la onda reflejada no solo sigue una dirección sino que se descompone en múltiples ondas.

**Refracción.** Es la desviación que sufren las ondas en la dirección de su propagación, cuando el sonido pasa de un medio a otro diferente. La refracción se debe a que al cambiar de medio, cambia la velocidad de propagación del sonido.

**Difracción.** Se llama difracción al fenómeno que ocurre cuando una onda acústica se encuentran un obstáculo de dimensiones menores a su longitud de onda ( $\lambda$ ), esta es capaz de rodearlo atravesándolo. Otra forma de difracción es la capacidad de las ondas de pasar por orificios cambiando su divergencia a esférica con foco en el centro de éstos.



## 8. Reverberación

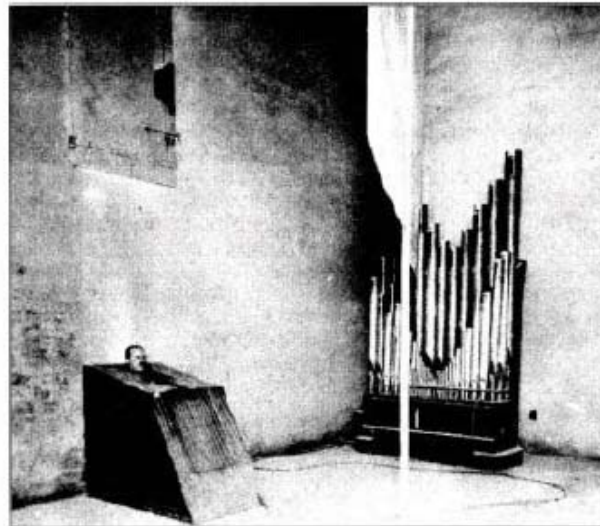
La **reverberación** es un fenómeno derivado de la reflexión del sonido. Consistente en una ligera prolongación del sonido una vez que se ha extinguido el original, debido a las ondas reflejadas. Estas ondas reflejadas sufrirán un retardo no superior a 1/10 de segundo o de 34 metros, que es el valor de la persistencia acústica. Cuando el retardo es mayor ya no hablamos de reverberación, sino de eco.

En un recinto pequeño la reverberación puede resultar inapreciable, pero cuanto mayor es el recinto, mejor percibe el oído este retardo o ligera prolongación del sonido. Para determinar cómo es la reverberación en un determinado recinto se utiliza una serie de parámetros físicos, uno de ellos es conocido como **tiempo de reverberación**.



El **tiempo de reverberación** es el tiempo que transcurre en un determinado recinto, desde que se produce un determinado sonido, hasta que la intensidad de ese sonido disminuye a una millonésima de su valor original.

Al tiempo de reverberación también le llamamos **TR60**, al ser el tiempo transcurrido (medido en segundos) en decrecer 60 dB la energía que recibe el receptor, al parar bruscamente la fuente de excitación.



El físico **Wallace Clement Sabine** desarrolló una fórmula para calcular el tiempo de reverberación (TR) de un recinto en el que el material absorbente está distribuido de forma uniforme. Consiste en relacionar el volumen de la sala (V) y la absorción total (A) con el tiempo que tarda el sonido en disminuir 60 dB en intensidad, a partir de que se apaga la fuente sonora.

$$T_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}}$$

**V** es el volumen de la sala

**S** es la superficie de los paramentos donde el sonido va a estar confinado

**$\alpha$**  es el coeficiente de absorción medio de todos los materiales que conforman los paramentos de la sala.

Hay que tener en cuenta que la fórmula de **Sabine** no es la única, ni es absolutamente fiable. Es una fórmula simple y para salas de tipo “vivas”, es decir, de salas con gran reverberación y coeficientes de absorción parecidos entre todos los materiales. Cuando los consultores acústicos encargados del acondicionamiento acústico la usan, lo hacen sólo a modo de orientación.

Existen las formulaciones de **Eyring y Norris, Millington y Sette, Fitzroy** y muchas más investigadores que han realizado fórmulas más exactas a la de **Sabine**.

El tiempo de reverberación es **uno de los principales parámetros indicadores de la calidad acústica de una sala**. Su valor depende de numerosos factores: el coeficiente de absorción de los materiales de la sala, el volumen, superficie, y el dimensionado de ésta entre otros.

En la actualidad la fórmula más precisa de cálculo del TR60 es la descubierta por el físico catalán **Higini Arau**. Hasta la fórmula Arau-Puchades se habían utilizado las premisas de:

- Distribución uniforme y difusa de la energía sonora en todos los puntos del recinto
- Igual probabilidad de propagación del sonido en todas las direcciones
- Absorción continua y constante de la absorción sonora en todos los puntos e instantes del recinto

La fórmula Arau-Puchades es capaz de calcularlo considerando que exista una distribución asimétrica de la absorción en una sala.

$$T60 = \left[ \frac{0.162V}{-S \ln(1-\alpha_x)} \right]^{Sx/S} \times \left[ \frac{0.162V}{-S \ln(1-\alpha_y)} \right]^{Sy/S} \times \left[ \frac{0.162V}{-S \ln(1-\alpha_z)} \right]^{Sz/S}$$

*V volumen*

*S área total de superficies de la sala*

*α es el coeficiente de absorción de cada pared promediado por la fracción de área*

*Sx es el área de superficie de Sx1 suelo + Sx2 techo*

*Sy es área de pared lateral Sy1 izquierda + Sy2 derecha*

*Sz es área de pared de Sz1 frontal + Sz2 fondo*

## 9. Diferentes campos de la acústica

La acústica estudia la producción, transmisión, percepción o reproducción del sonido. Así las ramas más frecuentes de la acústica son:

**Aeroacústica:** generación de sonido debido al movimiento turbulento del aire.

**Acústica Física:** análisis de los fenómenos sonoros mediante modelos físicos y matemáticos.

**Acústica arquitectónica o Arquitectura acústica:** tiene que ver tanto con diseño de las propiedades acústicas de un local a efectos de fidelidad de la escucha (salas de conciertos, teatros, etc.), para esto el arquitecto emplea 2 tipos de materiales los blandos (absorben el sonido) y los duros (reflejan el sonido) como de las formas efectivas de aislar del ruido los locales habitados. Participa en el diseño de: Salas de Conciertos, auditorios, teatros, estudios de grabación, iglesias, salas de reuniones, salones de clases, etc.

**Psicoacústica:** estudia la percepción del sonido en humanos, la capacidad para localizar espacialmente la fuente, la calidad observada de los métodos de compresión de audio, etcétera.

**Bioacústica:** estudio de la audición animal (murciélagos, perros, delfines, etc.)

**Acústica médica:** Estudia la interacción entre las ondas sonoras y los cuerpos humanos y animales. Se ha desarrollado enormemente el uso del ultrasonido como herramienta de diagnóstico y de tratamiento. También es importante el campo de las ayudas auditivas y de implantes para personas con defectos en la audición.

**Acústica subacuática:** relacionada sobre todo con la detección de objetos mediante sonido sonar.

**Acústica musical:** estudio de la producción de sonido en los instrumentos musicales, y de los sistemas de afinación de la escala. Combina elementos de Arte y de Ciencia al incluir el diseño de instrumentos, el uso de sistemas de grabaciones, la modificación electrónica de la música con el estudio de su percepción.

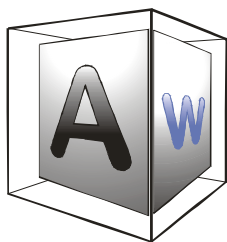
**Electroacústica:** estudia el tratamiento electrónico del sonido, incluyendo la captación (micrófonos y estudios de grabación), procesamiento (efectos, filtrado compresión, etc.) amplificación, grabación, producción (altavoces) etc.

**Acústica fisiológica:** estudio del funcionamiento del aparato auditivo, desde la oreja a la corteza cerebral.

**Acústica fonética:** análisis de las características acústicas del habla y sus aplicaciones.

**Macroacústica:** estudio de los sonidos extremadamente intensos, como el de las explosiones, turborreactores, entre otros.

**Control de Ruido y Vibraciones:** Esta área cobra cada vez mayor importancia dado el aumento en el reconocimiento del ruido como un factor de contaminación que afecta seriamente la salud. Su campo de trabajo está en las fábricas, en los organismos de control gubernamental y en asesorías a los arquitectos. También tiene un campo importante en el mantenimiento preventivo de maquinarias mediante el análisis de sus vibraciones.



De Wikipedia, la enciclopedia libre

Adaptación, corrección y ampliación: David Casadevall i Planas

Consultor acústico - Arquitecto Técnico