

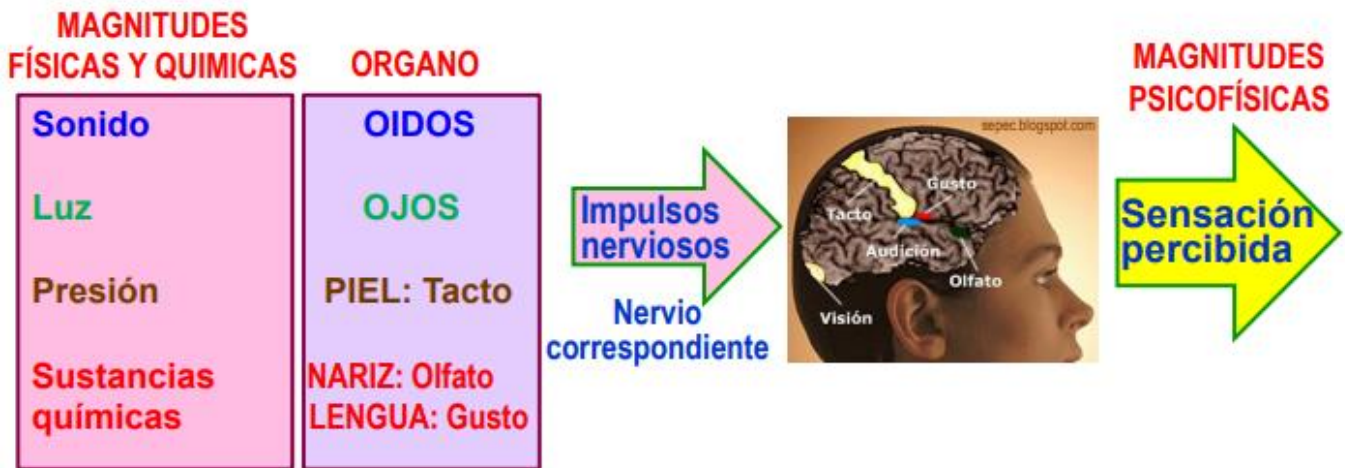
## TEMA 2 – FUNDAMENTOS DE BIOFÍSICA SENSORIAL

- Interrelaciones del ser humano con el entorno. Cadena de transmisión sensorial.
- Características del estímulo y de la sensación sensorial.
- Ley psicofísica de Weber – Fechner
- Sensación auditiva

### CADENA DE TRANSMISIÓN SENSORIAL



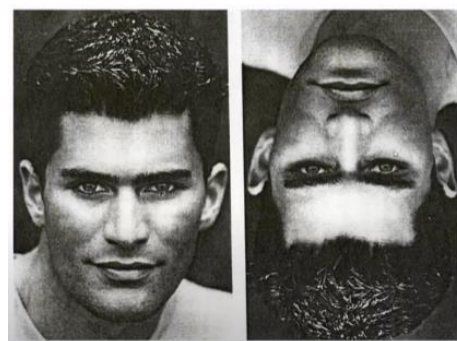
Como ya sabemos, para llegar a la **CADENA DE TRANSMISIÓN SENSORIAL** comenzamos por un “ESTÍMULO”, tiene que alcanzar un “DISPOSITIVO SENSORIAL” donde se generan unos “IMPULSOS NERVIOSOS” que llegan al “SISTEMA NERVIOSO CENTRAL” donde se genera la “SENSACIÓN”.



De modo que, según el **estímulo** que tengamos (sonido, luz, presión o sustancias químicas) para cada uno de los sentidos, llegará a un órgano diferente. Dentro de cada órgano se generará un “IMPULSO NERVIOSO” que irá al **Córtex** de la proyección que corresponde y ahí se generará la “PERCEPCIÓN RECIBIDA”.

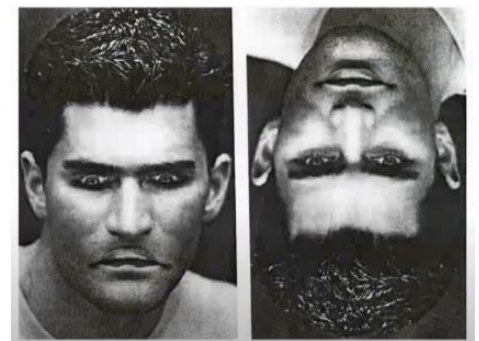
### ¿LA SENSACIÓN ESTÁ DIRECTAMENTE RELACIONADA CON EL ESTÍMULO?

Foto “normal” (la que nos muestran)



Aquí tenemos la cara de un chico, en la parte de la derecha nos da la impresión de que le hemos dado la vuelta a la cara del chico... Pues si volteamos esta imagen, vemos cual es realmente el estímulo que tenemos en la derecha. No es eso real, la realidad es que tanto los ojos como la boca no han sido

Foto al girarla para ver la sensación



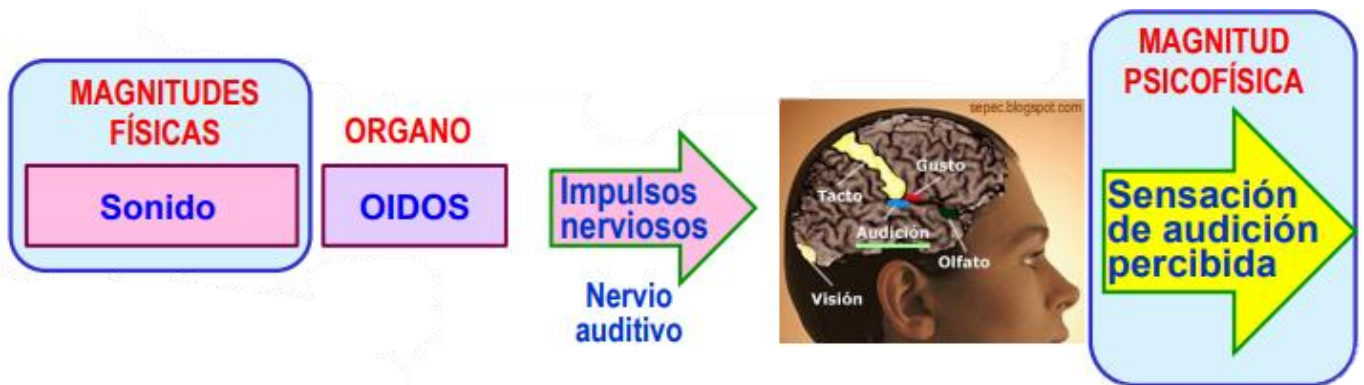
volteadas, entonces sí que la sensación que nos producía era simplemente girar la foto, pero la realidad no es girar la foto, sino que los ojos y la boca no han girado.

LA SENSACIÓN **NO** ESTÁ DIRECTAMENTE RELACIONADA CON EL ESTÍMULO

ESTÍMULO		SENSACIÓN
Dos sonidos idénticos sonando conjuntamente	→	No producen sensación doble
Un olor o un sabor muy fuerte	→	Bloquea nuevos olores o sabores
Una goma de borrar <b>sobre un papel</b> y puesta en la mano	→	La percibimos
Una goma de borrar <b>sobre un libro pesado</b> en la mano	→	No la percibimos

**NOS CENTRAMOS EN LA SENSACIÓN DE AUDICIÓN**

En la sensación de audición si pensamos en el ESTÍMULO y pensemos en la SENSACIÓN, vamos a quedarnos con esto.



Pensemos en el estímulo, ¿Cuál es el estímulo para la **sensación de audición**?

El estímulo es un sonido. Pero ese sonido ¿qué características tiene? Todos los estímulos tendrán unas magnitudes físicas que los van a caracterizar.

**¿Qué es un sonido?**

Un sonido es una onda y una onda es la propagación de una vibración en un medio.

Una vibración es cuando un objeto está realizando un movimiento de vaivén.

El estímulo: **SONIDO**, viene caracterizado por:

- **Frecuencia:** número de oscilaciones que tenemos por segundo. Un sonido de 100 Hz significa que el objeto que genera el sonido está vibrando 100 veces (oscilaciones) por segundo.
- **Intensidad:** que está directamente relacionada con la amplitud de la vibración del foco

¿Cuáles son las **características** de la sensación de audición percibida?

La sensación es algo subjetivo, es una magnitud psicofísica.



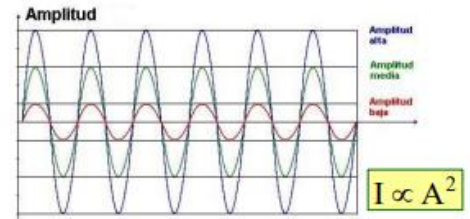
La sensación de audición tiene **3 cualidades subjetivas**:

- Sonoridad o intensidad fisiológica
- Tono o altura
- Timbre o matiz

### SONORIDAD o INTENSIDAD FISIOLÓGICA

Cualidad subjetiva que permite distinguir los sonidos percibidos entre:

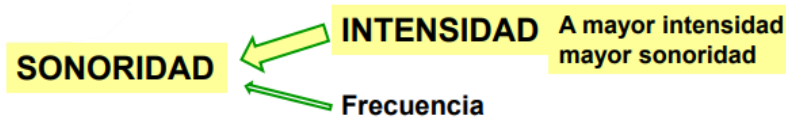
- **DÉBILES** o **POCO INTENSOS**: Sonoridad baja ↔ Suena poco fuerte
- **FUERTES** o **MUY INTENSOS**: Sonoridad alta ↔ Suena fuerte



- La intensidad está directamente relacionada con la Amplitud al cuadrado ( $I \propto A^2$ ) que es ese máximo desplazamiento que hace la vibración a cada uno de los lados de su posición.

¿Cuál es la magnitud física que está directamente relacionada con la sonoridad? !!!!

La sonoridad viene influida fundamentalmente por la intensidad del sonido y algo por la frecuencia:

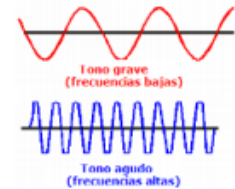


Si a un sonido de una **intensidad fija** le  aumentamos la frecuencia →  aumenta su sonoridad (nos parece que suena más fuerte)

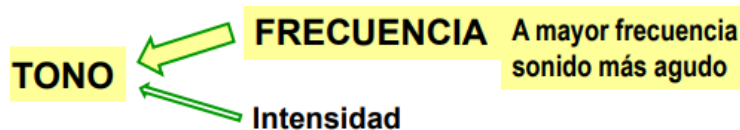
### TONO o ALTURA

Cualidad subjetiva que permite distinguir los sonidos percibidos entre:

- **GRAVES** o **BAJOS**
- **AGUDOS** o **ALTOS**



El tono viene influido fundamentalmente por la frecuencia del sonido y algo por la intensidad:



- Para una frecuencia **< 1000 Hz**: si a un sonido de una frecuencia fija le aumentamos la intensidad → **decrece su tono** (nos parece más grave)

- Para una frecuencia **entre 1000 y 4000 Hz**: si a un sonido de una frecuencia fija le aumentamos la intensidad → **no varía su tono**

- Para una frecuencia **> 4000 Hz**: si a un sonido de una frecuencia fija le aumentamos la intensidad → **se eleva su tono** (nos parece más agudo)

### TIMBRE O MATIZ

¿SE PUEDEN DISTINGUIR LOS SONIDOS PERCIBIDOS EN ALGO MÁS?

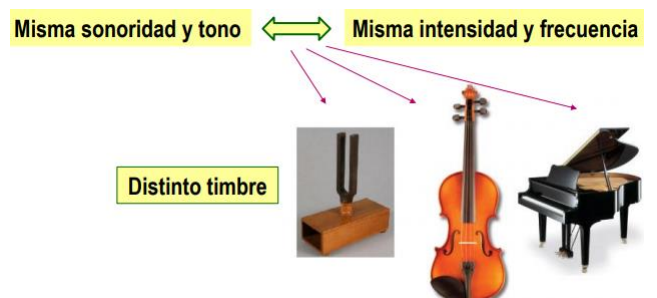
- Dos sonidos de la misma intensidad y frecuencia generarán la misma sonoridad y tono.

¿Se pueden distinguir en algo más o suenan exactamente igual?

Si, se pueden distinguir en el foco emisor sonoro. Para dos sonidos de la misma sonoridad y mismo tono, según el instrumento que provoca el sonido, el sonido percibido es diferente. Igual ocurre con la voz.

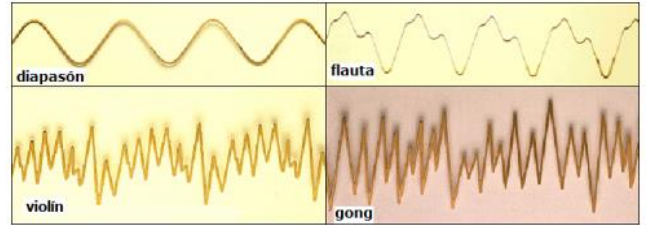
**TIMBRE:** es la cualidad SUBJETIVA que permite distinguir la PUREZA de los sonidos percibidos.

Dos sonidos que tienen la misma intensidad y frecuencia tienen distinto timbre según la fuente emisora.

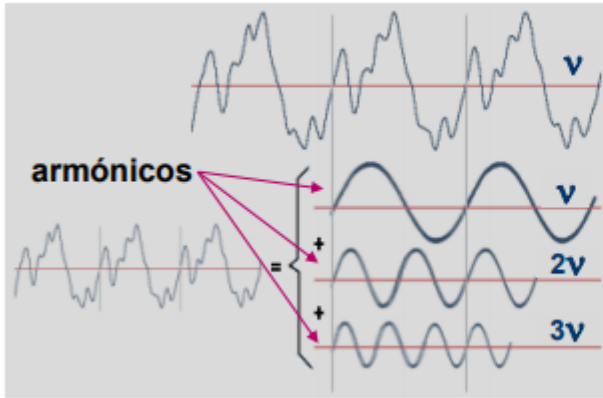


**¿Cuál es la característica del estímulo que permite distinguir el timbre?**

El timbre viene influido fundamentalmente por la forma de la onda sonora, es decir, **los armónicos** que componen la onda sonora.



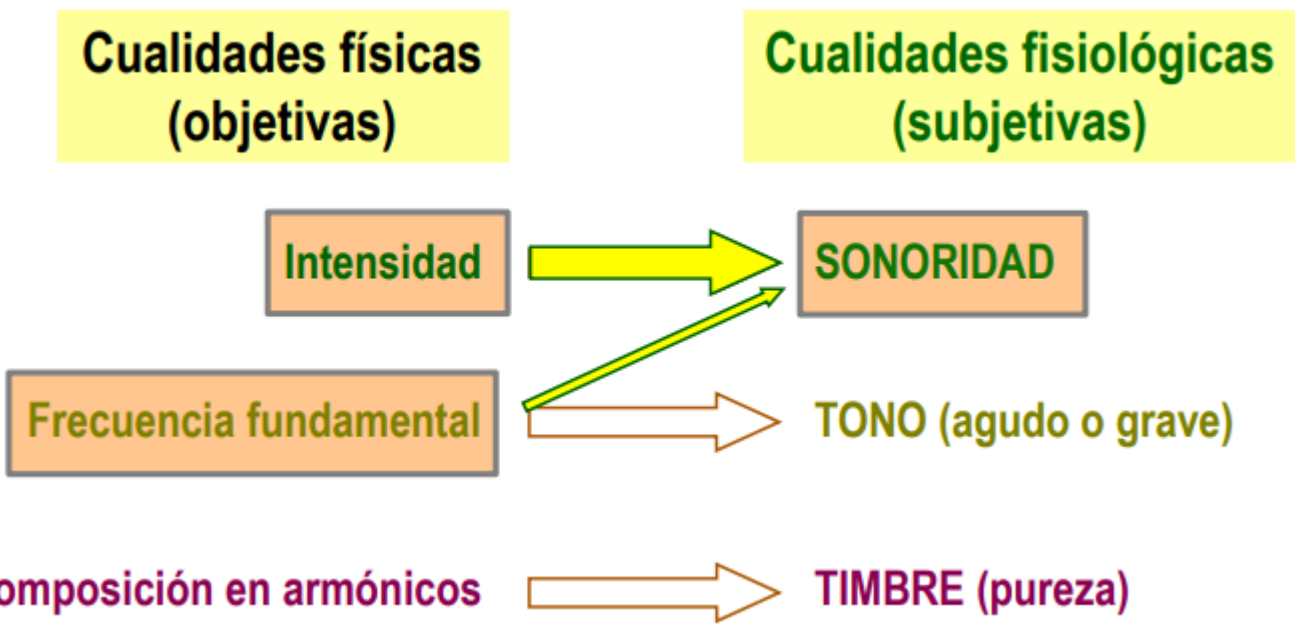
Dependiendo del instrumento emisor los movimientos de vaivén que genera el sonido, no son tan puros como en el diapason. Si ese sonido lo hace una flauta, pues no es un movimiento puro, sino que hay turbulencias aunque es un movimiento periódico.



**Teorema de Fourier:**  
 Cualquier movimiento periódico, de frecuencia  $v$ , puede descomponerse en suma de movimientos vibratorios armónicos y simples: **armónicos**, de frecuencias  $v$  y múltiplos de  $v$  y amplitudes adecuadamente seleccionadas.  
 Se generaliza para ondas.

**Teorema de Fourier:** Cualquier de estos  $\uparrow$  movimientos se puede obtener como suma de vibraciones puras, lo que se llaman armónicos. Entonces, deben tener unas características, y las características son que sus frecuencias han de ser múltiplos. Si  $v$  tiene una frecuencia de 100 Hz, sus armónicos tendrán  $v = 100$  Hz;  $2v = 200$  Hz;  $3v = 300$  Hz...

Pues resulta que el timbre viene caracterizado por estas ondas componentes que sumadas todas ellas nos darían ese movimiento. Luego, la forma que tiene la onda que viene caracterizada por sus armónicos es lo que marca el timbre. Los armónicos son los que influyen en el timbre.



\* Vamos a quedarnos con la primera cualidad que es la **SONORIDAD**, fundamentalmente relacionada con la intensidad y un poco con la frecuencia del sonido.

¿Es posible establecer una relación cuantitativa entre la sonoridad y la intensidad del sonido, la cual es medible?

## CUANTIFICACIÓN DE LA SONORIDAD

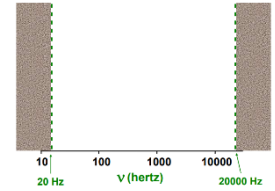
Vamos a intentar encontrar una Ley psicofísica que relacione la sonoridad con la intensidad que tenga el estímulo, pero también con la frecuencia.

*¿Dónde está la frecuencia en la fórmula?*

Vamos a ver los sonidos que son audibles...

### SONIDOS AUDIBLES: FRECUENCIAS

Los sonidos que son audibles, si lo ponemos en la escala de frecuencias en Hz, el ser humano normal no oye todas las frecuencias, tiene un límite inferior de frecuencia y un límite superior. De modo que el límite inferior de frecuencias corresponde a 20 Hz y el superior a 20.000 Hz. El oído del ser humano está preparado para oír sonidos de entre 20 y 20000 Hz.



### SONIDOS AUDIBLES: INTENSIDAD

Tampoco el ser humano es capaz de percibir todas las intensidades. Las intensidades audibles se miden en (watt/cm<sup>2</sup>) vatios por centímetro cuadrado.

Son muchas intensidades.

\* Vamos a hablar primero de **dos conceptos**:

### AUDITOR NORMAL MEDIO

El resultado medio correspondiente a un conjunto de auditores normales.

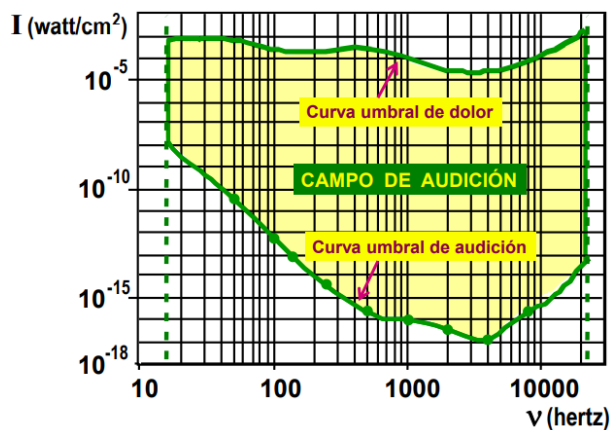
### INTENSIDAD UMBRAL: I<sub>0</sub>

Intensidad mínima de un sonido para que produzca sonoridad en el auditor normal medio.

Sonidos cuya  $I < I_0 \rightarrow$  no producen sensación

Sonidos cuya  $I \geq I_0 \rightarrow$  producen sensación

### SONIDOS AUDIBLES: CAMPO DE AUDICIÓN



### ¿Cómo haríamos esto?

Se le manda un sonido a una determinada frecuencia, se va subiendo la intensidad y se le pide al auditor normal medio que nos diga cuando comienza a oír el sonido. Se van barriendo todas las frecuencias y esto es lo que se obtiene.

Luego, **¿qué es lo que vemos?** que, para un sonido grave, de frecuencia baja, necesitamos toda esa intensidad para poder percibirlo. Para un sonido agudo con menos intensidad lo podemos percibir. Si unimos los puntos, es lo que corresponde a la **“Curva umbral de audición”**.

Si ahora subo la intensidad de los sonidos, ¿qué pasará? Encontraremos lo que se llama **“Curva umbral del dolor”**.

De manera que, los sonidos audibles son los que se encuentran dentro de esta región llamada **“Campo de audición”**.

De modo que, cualquier punto que marquemos dentro del Campo de audición es un sonido.

## LEY DE WEBER – FECHNER DE LA SENSACIÓN DE AUDICIÓN

### Ley de Weber (Ernst Heinrich Weber)

El incremento de intensidad ( $\Delta I$ ) del estímulo sensorial necesario para percibir un aumento de sensación es proporcional a la intensidad ( $I$ ) del estímulo.

$$\Delta I \propto I \rightarrow \frac{\Delta I}{I} = K$$

La  $I$  en esta expresión puede representar la intensidad de un sonido, la intensidad de la luz, la frecuencia de un sonido, la presión soportada, la cantidad de sustancia química inhalada, etc.

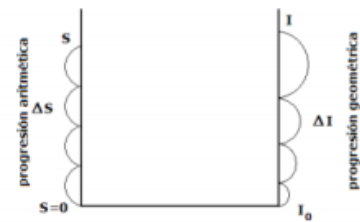
$K$  toma un valor diferente para cada tipo de estímulo.  $K = 0,2$  para la sensación de audición.

### Ley de Fechner (Gustav Theodor Fechner)

Los saltos de sensación ( $\Delta S$ ) correspondientes deben ser constantes dentro del campo auditivo.

$$\Delta S \propto \frac{\Delta I}{I}$$

A intensidades de la sensación que aumentan en progresión aritmética les corresponden intensidades del estímulo que aumentan en progresión geométrica.



La ley de Weber – Fechner permite relacionar las sensaciones (magnitudes de sensación) con los estímulos (magnitudes físicas o químicas).

Para cambios de sensación infinitesimales y haciendo las correspondientes transformaciones:

$$S = K \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad \text{Ley de Weber-Fechner}$$

La sensación  $S$  que produce un sonido de intensidad  $I$  y de frecuencia  $\nu$  (a la que corresponde una intensidad umbral  $I_0$ ) es proporcional al logaritmo de la relación  $I/I_0$

Unidad de medida de la sensación:

$$K = 10 \leftrightarrow \text{Unidad: decibel (dB)}$$

### SENSACIÓN AUDITIVA

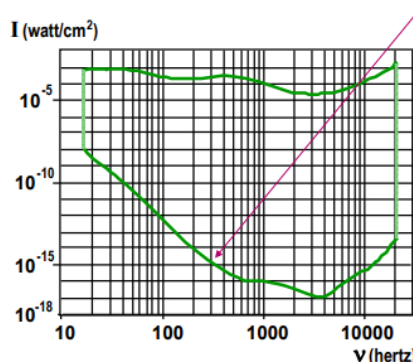
Sensación  $\Rightarrow S = 10 \log \frac{I}{I_0}$  (dB)

$I$ : intensidad del sonido  
 $I_0$ : intensidad umbral para la frecuencia en cuestión

La sensación que produce un sonido cuya intensidad es  $I$ , es 10 veces el logaritmo de la intensidad partido por la intensidad umbral, medido en decibels (dB).

### ¿Dónde está la frecuencia?

La sensación que produce un sonido está relacionada con la intensidad, pero en la fórmula, ¿dónde está la frecuencia? Pues está camuflada en la  $I_0$ . **La intensidad umbral depende de la frecuencia.** Es distinta según sea el sonido.



**¿Cómo manejamos la fórmula?**

Completamos, en primer lugar, la fórmula, de modo que igual que tenemos sensaciones 10 veces el logaritmo de la intensidad partido por la umbral, podemos hablar también de “Variación de sensación”.

Variación de sensación ⇒

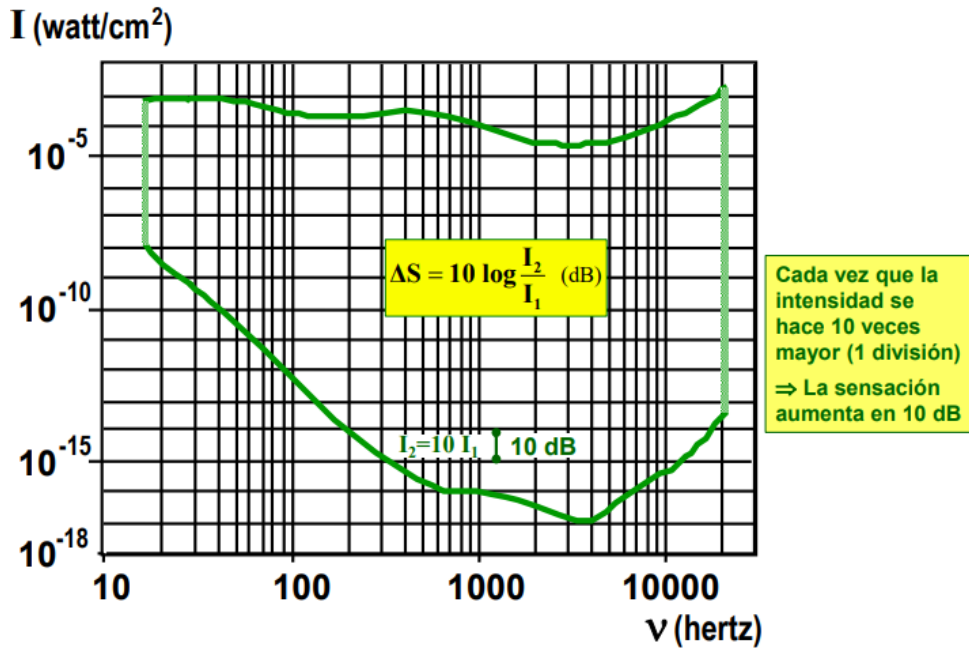
$$\Delta S = 10 \log \frac{I_2}{I_1} \text{ (dB)}$$

$I_1$ : intensidad inicial  
 $I_2$ : intensidad final

¿Cuándo aumentará la sensación? Cuando yo pase de una intensidad  $I_1$  a una intensidad  $I_2$ .

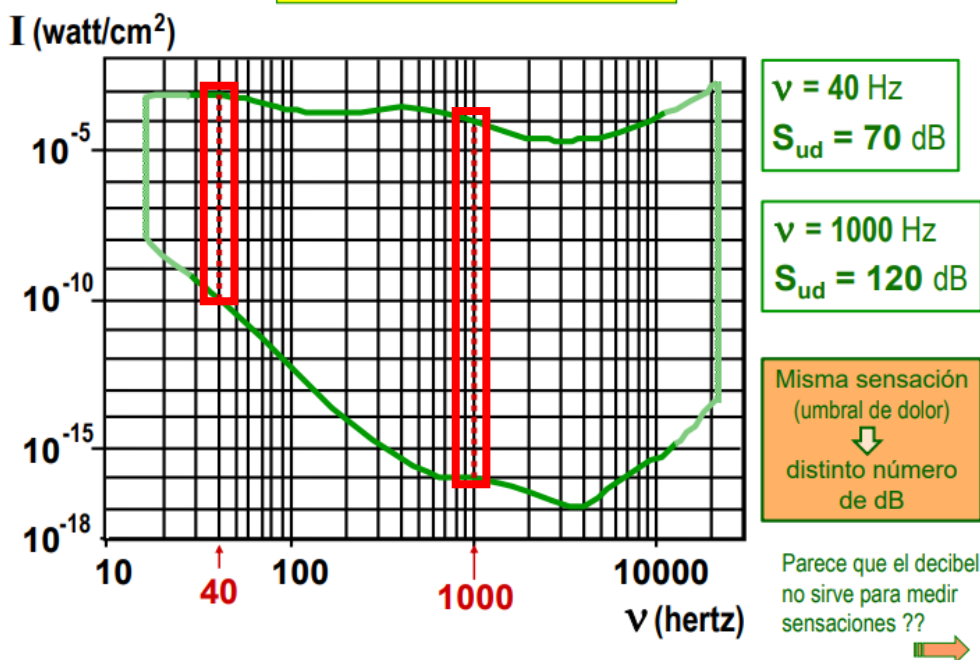
La fórmula de la Sensación puedo utilizarla para sensaciones absolutas y para variación de sensaciones la de Variación de sensación.

Vamos a ver un ejemplo...



Cada línea que subamos, son 10dB más.

**Umbral de dolor (ud)**



Empezamos a contar líneas desde la **Curva umbral de audición** hasta la **Curva umbral del dolor**

**EL DECIBEL**

- Permite cuantificar incrementos de sensación dentro de la misma frecuencia.
- Permite medir las pérdidas auditivas. *Porque se miden para frecuencias ya marcadas.*
- Sirve de base para la medida de la sonoridad.

Para el caso de que queramos mezclar más frecuencias tenemos que recurrir a la unidad de medida de sensación real que ya se le da el nombre de sonoridad, el FON.

**SONORIDAD: EL FON**

**La medida de la sonoridad se hace de forma experimental:**

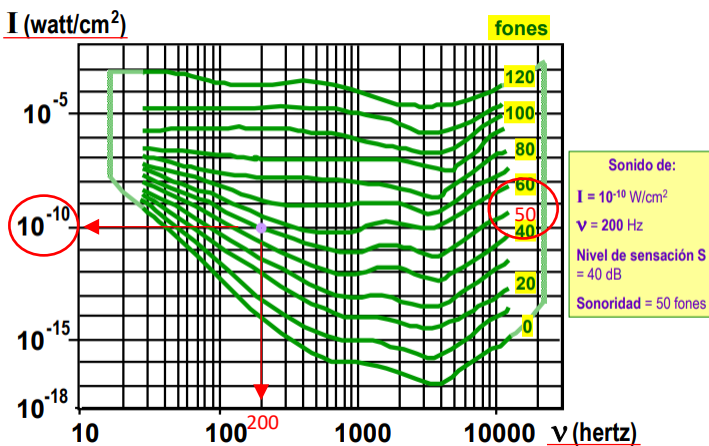
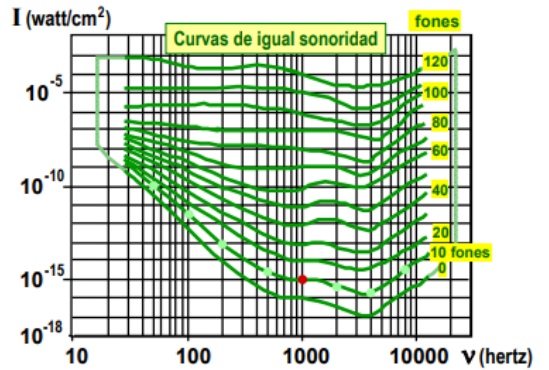
Se toma al auditor normal medio y se le hace escuchar un sonido de frecuencia 1000 Hz y de, por ejemplo, la intensidad que corresponda a 10 dB (punto rojo en la gráfica) y se le pide que se quede con la referencia de cómo de fuerte le suena (sonoridad).

A continuación, se le manda un sonido de frecuencia distinta y se le va subiendo la intensidad y se le pide que indique cuando lo escucha igual de fuerte que el anterior. Para esa intensidad la sonoridad será la misma que la del sonido inicial. Se repite para distintas frecuencias (puntos verdes en la gráfica) y se construye la correspondiente curva de igual sonoridad uniendo todos los puntos. Todos los sonidos o puntos de la curva producen la misma sonoridad al auditor normal medio.

Se repite el paso anterior para distintas intensidades hasta construir todas las curvas de igual sonoridad.

**FON:** Unidad de sonoridad elegida de forma tal que sus medidas coincidan numéricamente con las que da el nivel de sensación en decibeles, cuando el sonido posee una frecuencia de 1000Hz.

**FON:** Un sonido posee una sonoridad de n fones, cuando es juzgado equivalente por el auditor normal medio a un sonido de 1000 Hz y de n decibeles.



**FONES**

**SONORIDAD**

120: *Avión despegando*  
 110: *Martillo neumático*  
 100: *Metro en marcha*  
 90: *Camión pesado*  
 70: *Oficina*  
 60: *Conversación en voz alta*  
 40: *Vehículo no ruidoso*  
 20: *Conversación en voz baja*  
 10: *Rumor de hojas*