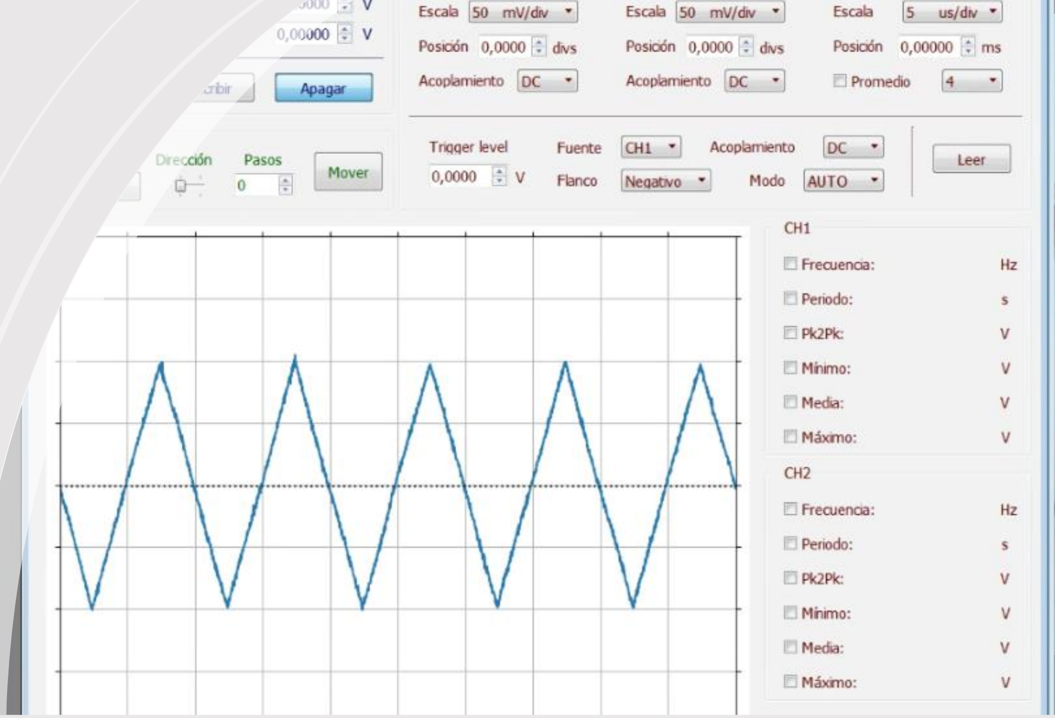
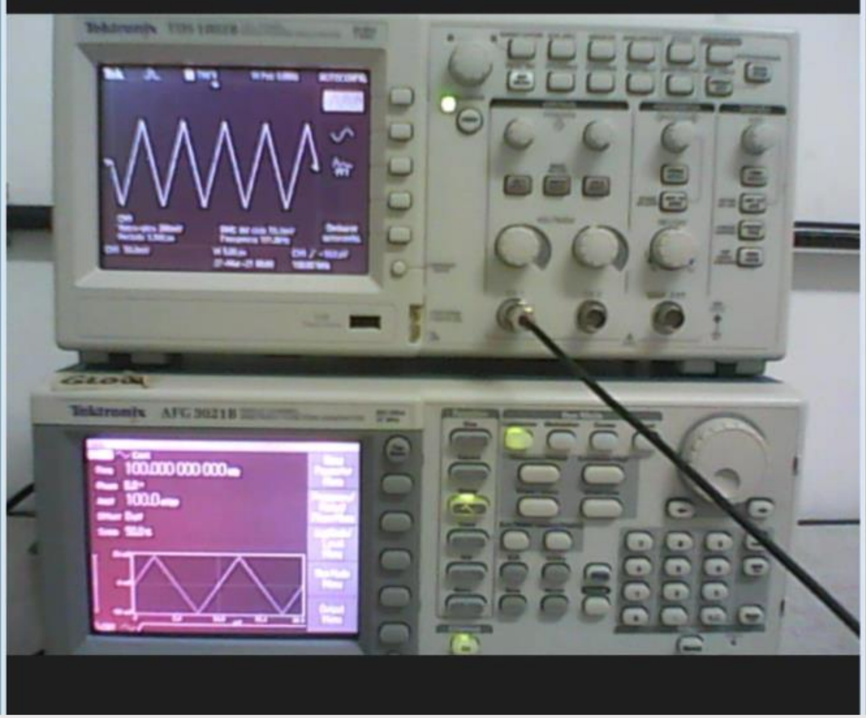
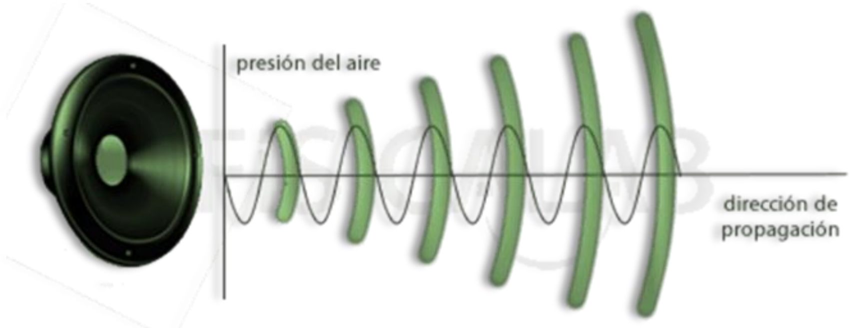
Laboratorio 2
Verano 2023





Clase 2
2/02/2023
Propagación de ondas libres

Introducción - Clasificación del sonido

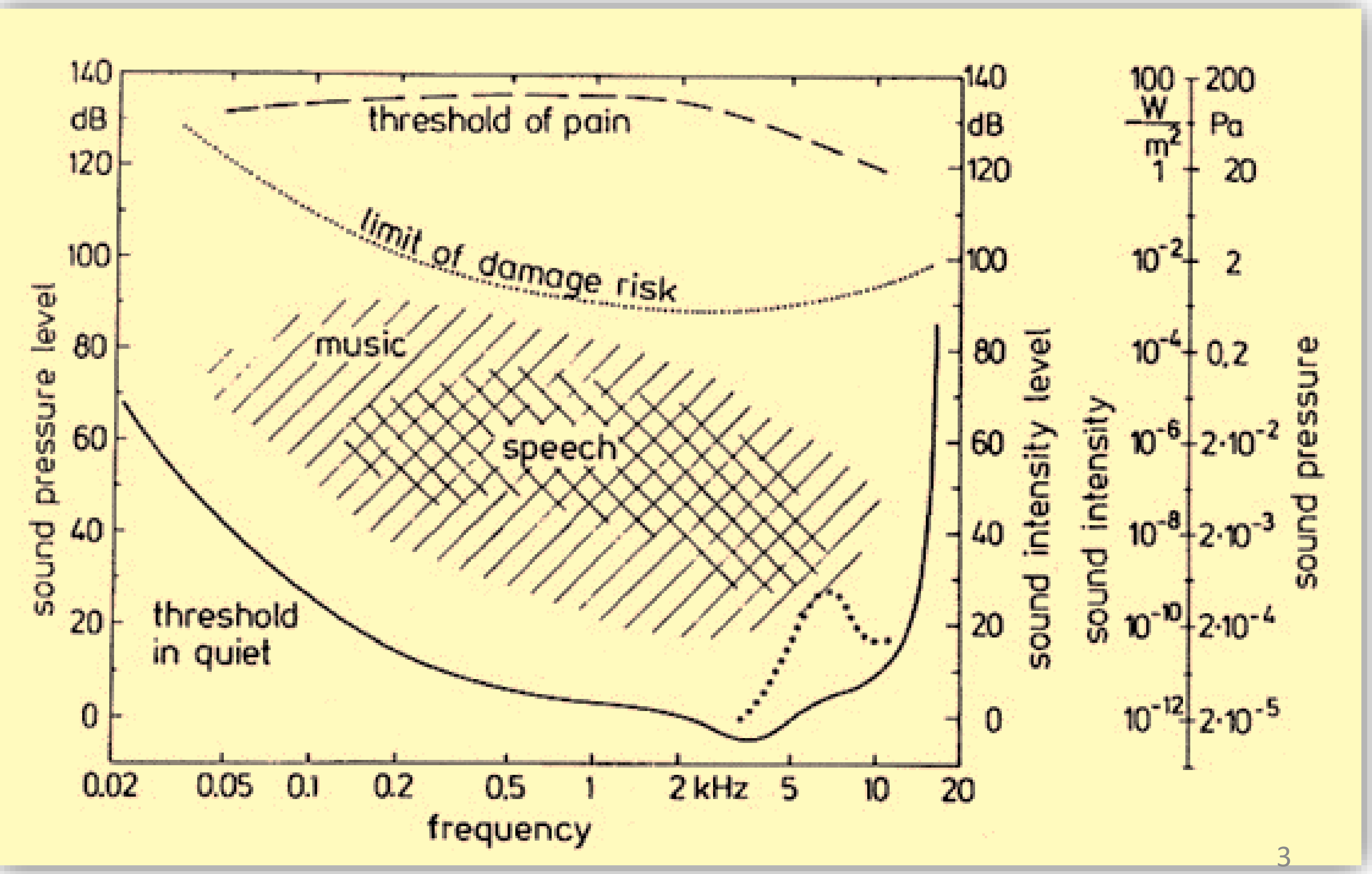


El sonido es una vibración que se propaga como una onda acústica, a través de un medio de transmisión como un gas, líquido o sólido.

Es una onda longitudinal y se conoce como onda de presión.

La variación de presión se da en la dirección de propagación.

Species	Range (Hz)
Turtle	20–1,000
Goldfish	100–2,000
Frog	100–3,000
Pigeon	200–10,000
Sparrow	250–12,000
Human	20–20,000
Chimpanzee	100-20,000
Rabbit	300–45,000
Dog	50–46,000
Cat	30–50,000
Guinea pig	150–50,000
Rat	1,000–60,000
Mouse	1,000–100,000
Bat	3,000–120,000
Dolphin (*Tursiops*)	1,000–130,000



Potencia a estudiar

$$L_W = 10 \times \log_{10} \frac{W_1}{W_0} (\mathrm{dB}) = 10 \times \log_{10} \frac{W_1}{10^{-12}} (\mathrm{dB})$$

W/m^2

Umbral de audición

Se usa una escala logarítmica pues la sensibilidad que presenta el oido humano a las variaciones de intensidad sonora sigue una escala aproximadamente logarítmica

Nivel de intensidad del sonido.[1]

200 dB	Bomba atómica similar a Hiroshima y Nagasaki
180 dB	Explosión del Volcán Krakatoa. Cohete en Despegue
140 dB	Umbral del dolor
130 dB	Avión en despegue
120 dB	Motor de avión en marcha
110 dB	Concierto / acto cívico
100 dB	Perforadora eléctrica
90 dB	Tráfico / Pelea de dos personas
80 dB	Tren
70 dB	Aspiradora
50/60 dB	Aglomeración de gente / Lavaplatos
40 dB	Conversación
20 dB	Biblioteca
10 dB	Respiración tranquila
0 dB	Umbral de audición

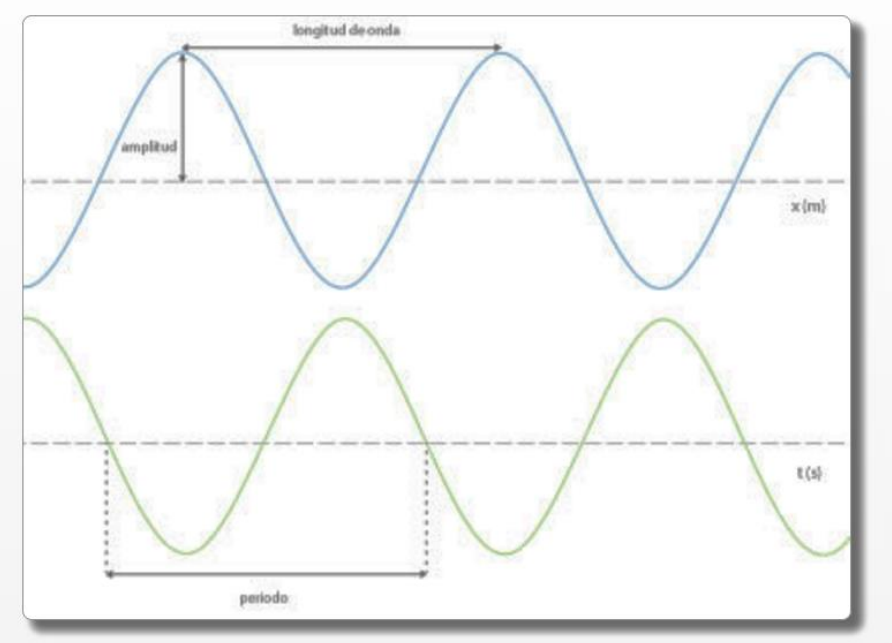
Definimos una **onda armónica** como aquella onda que está descrita por una función seno o coseno. Nos centraremos en aquellas ondas unidimensionales cuyas variables son la posición *x* y el tiempo *t*.

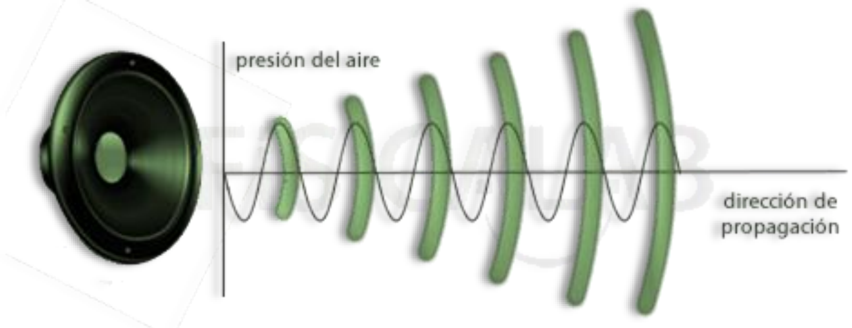
$$y = A \cdot \sin\left(k \cdot (x \pm v \cdot t)\right);$$
$$y = A \cdot \cos\left(k \cdot (x \pm v \cdot t)\right);$$

$$\boxed{f = 1/T}$$

$$\boxed{\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T}}$$

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi}{v \cdot T} = \frac{\omega}{v}$$





En ocasiones, en lugar de usar la variable *y* que suele hacer referencia a la posición, se utiliza la variable genérica *ψ*, quedando la ecuación general en la forma:

$$\psi(x,t) = \psi_0 \cdot \sin(k \cdot (x \pm v \cdot t) + \varphi_0)$$

Propagación libre de ondas de ultrasonido (clase 1)

A lo largo de estas 3 clases vamos a caracterizar un par de **transductores piezoeléctricos** y estudiar el tipo de **ondas emitidas**

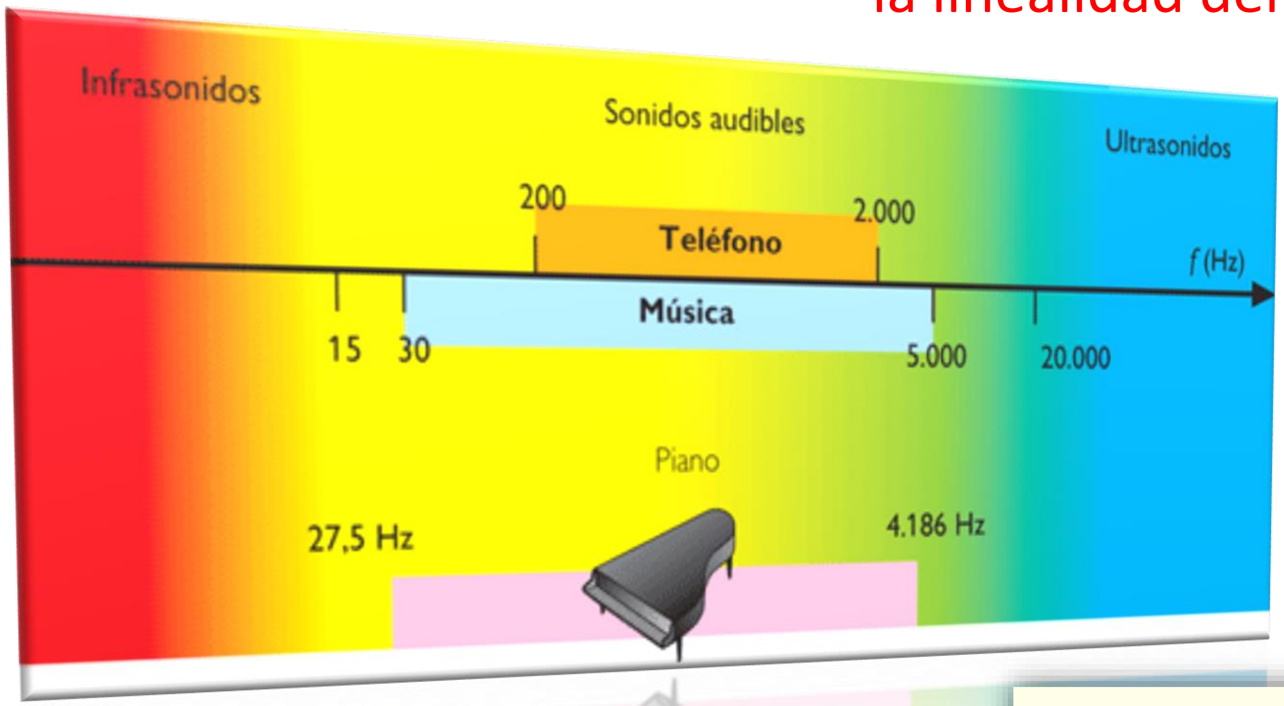
Qué es un transductor ?

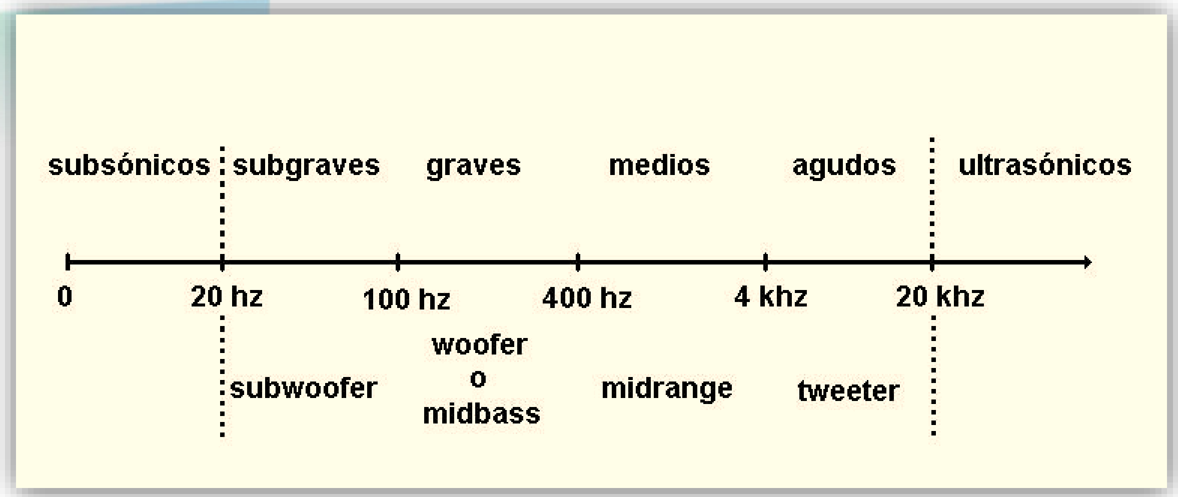
Es un dispositivo que convierte un tipo de energía en otra

Ejemplos:

- Generador: movimiento -> electricidad
- Parlante: electricidad -> sonido
- Micrófono: sonido -> electricidad
- Termocupla: calor -> electricidad
- Fotodiodo: luz -> electricidad

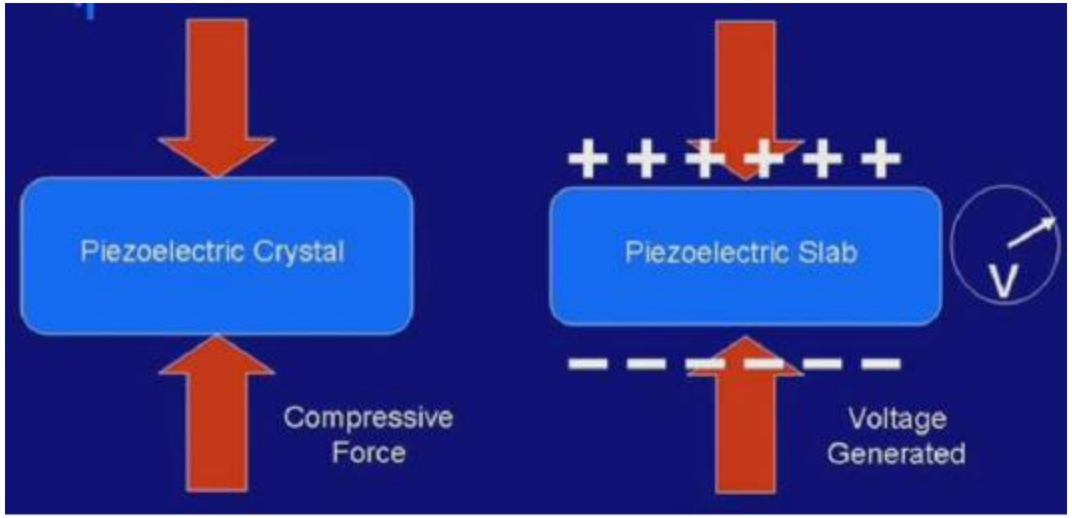
Vamos a estudiar la respuesta en frecuencia y la linealidad del sistema





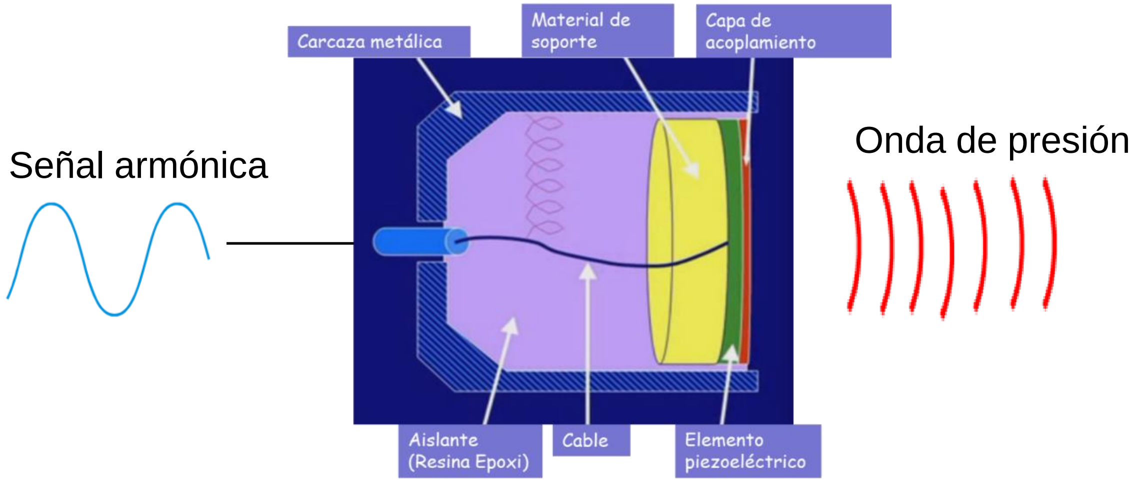
Piezoelectricidad

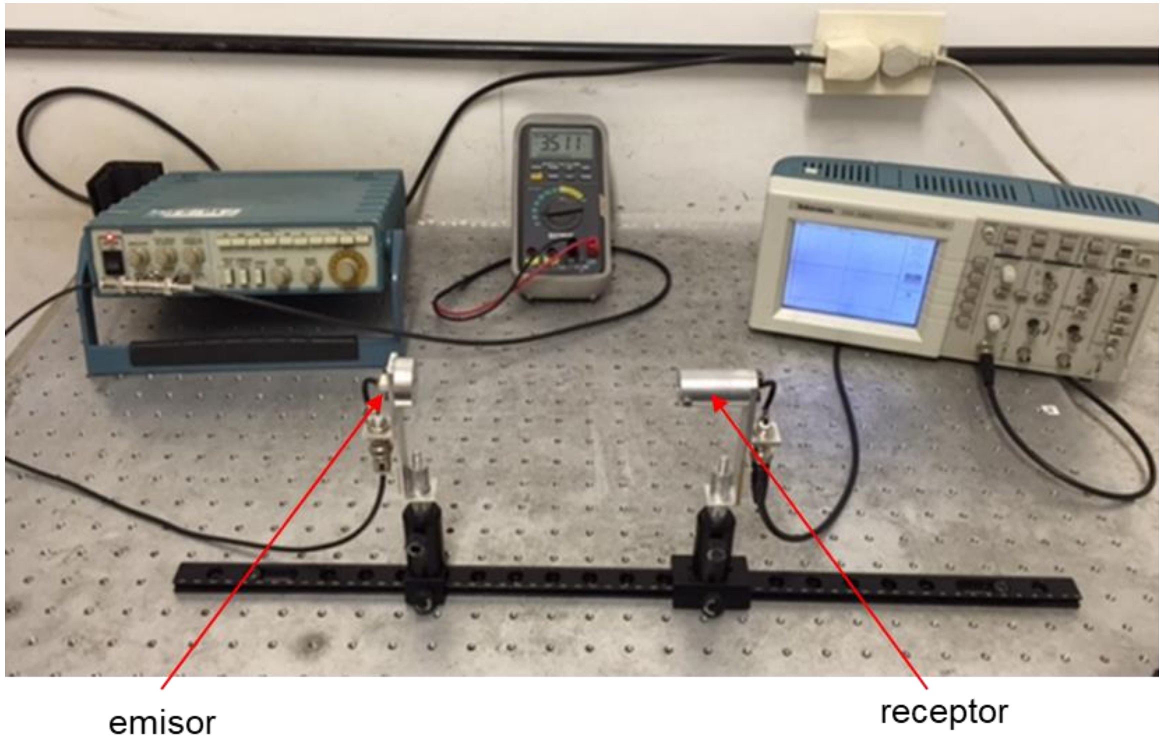
Es la propiedad de algunos cristales que al ser sometidos a una tensión mecánica se deforman y generan un campo eléctrico.



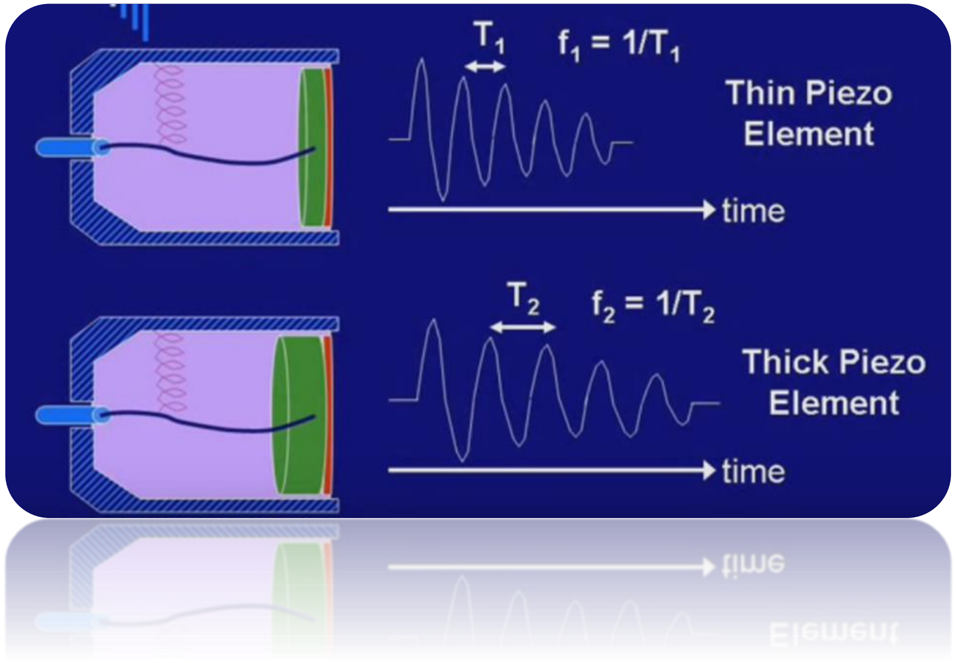
El efecto piezoeléctrico inverso se da cuando al aplicar un tensión eléctrica se genera una deformación en el material.

- En la experiencia usamos dispositivos piezoeléctricos como parlante y micrófono en el rango de ultrasonido.

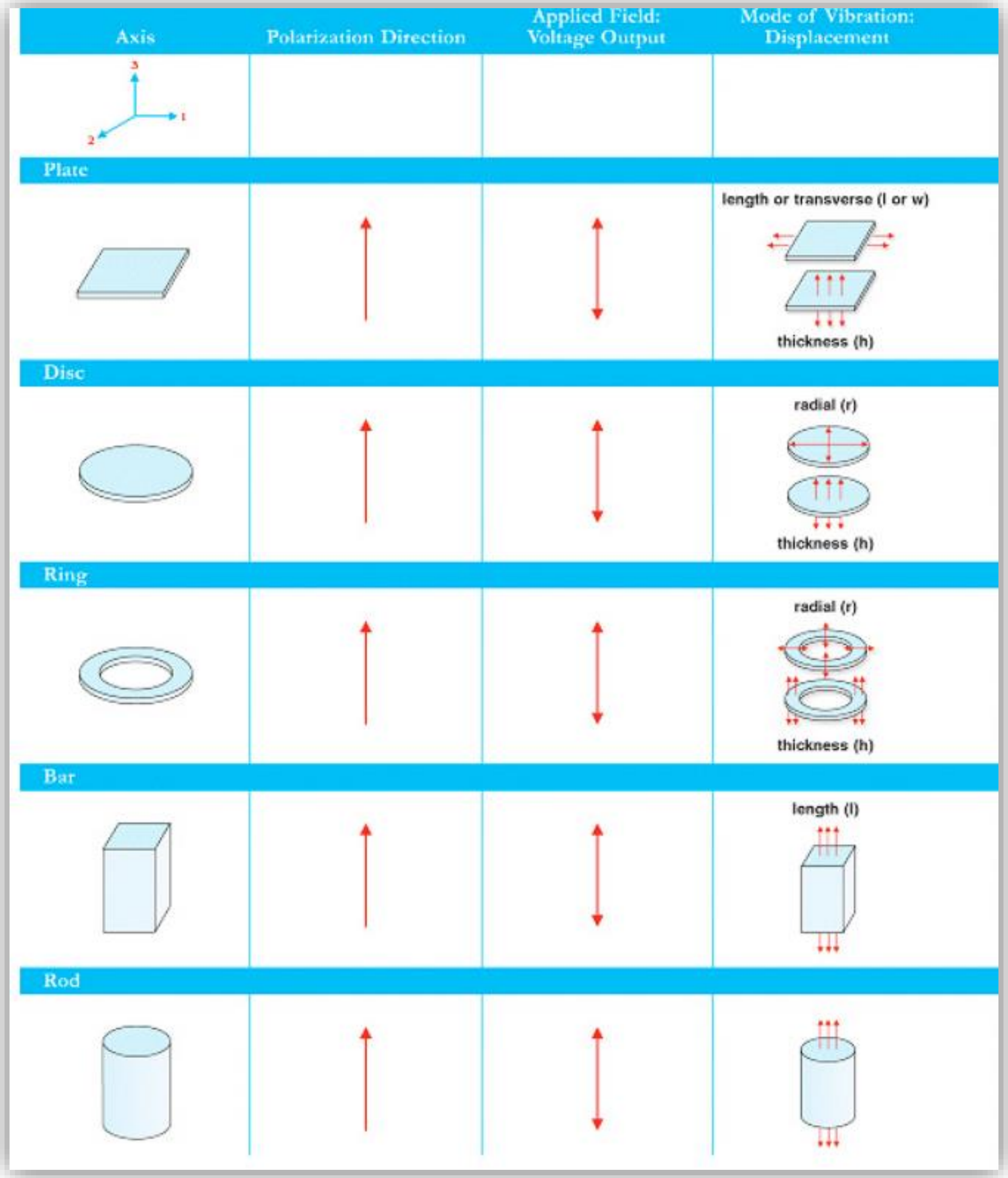


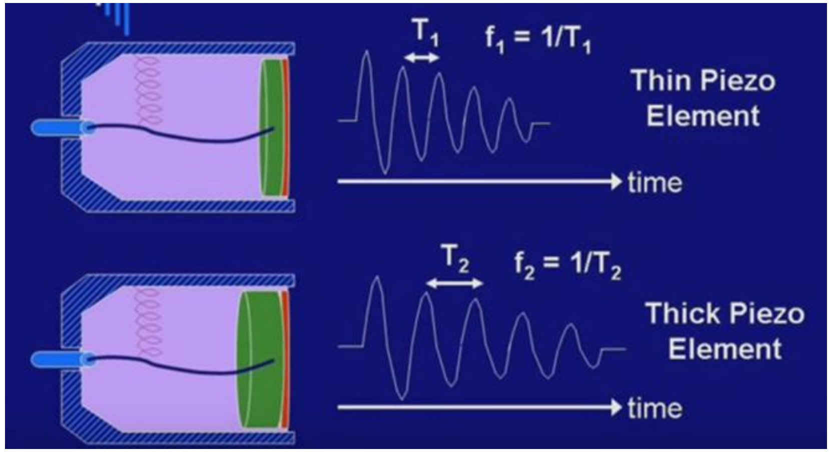


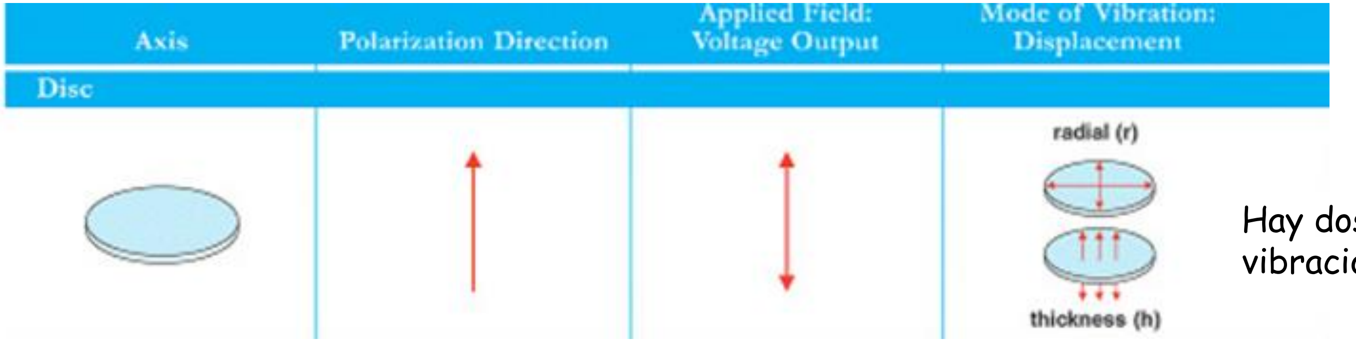
Relación entre la frecuencia característica y el espesor del elemento piezoeléctrico



- Se pueden tener cristales piezoeléctrico (por ej. cuarzo) o cerámicos piezoeléctricos (el más común el PZT titaniato circonato de plomo)

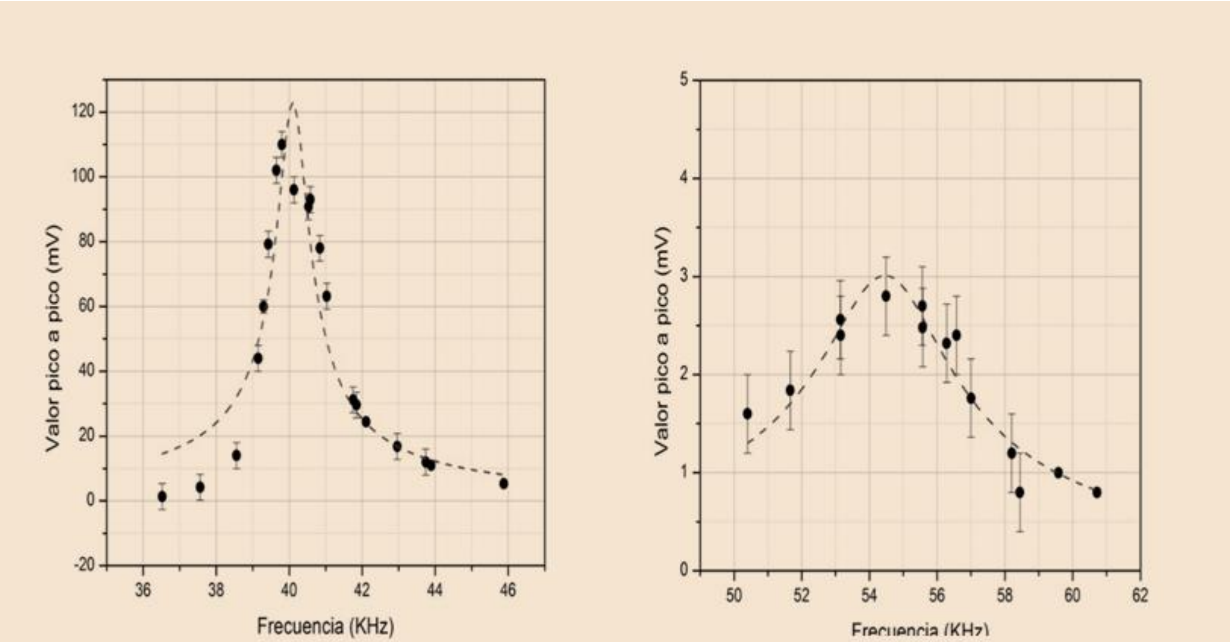






Axis	Polarization Direction	Applied Field: Voltage Output	Mode of Vibration: Displacement
Disc			
			radial (r) thickness (h)

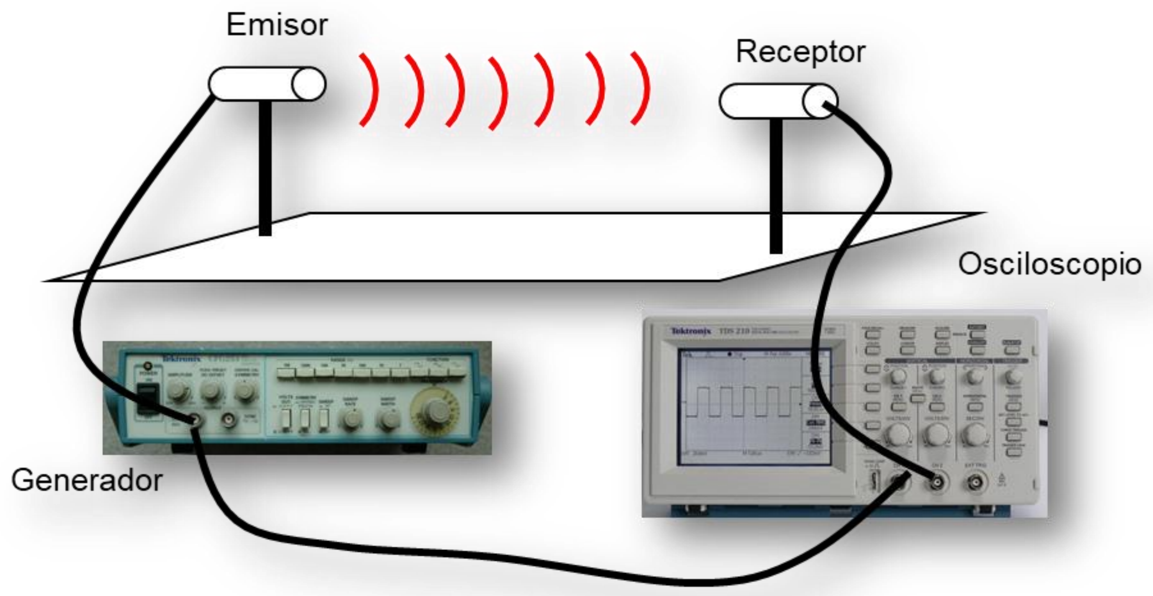
Hay dos modos de vibración



$$\omega_0 = (40{,}10 \pm 0{,}06)\ Hz$$

$$\omega_0 = (54{,}5 \pm 0{,}2)\ Hz$$

¿ Qué podemos caracterizar?



De los transductores:

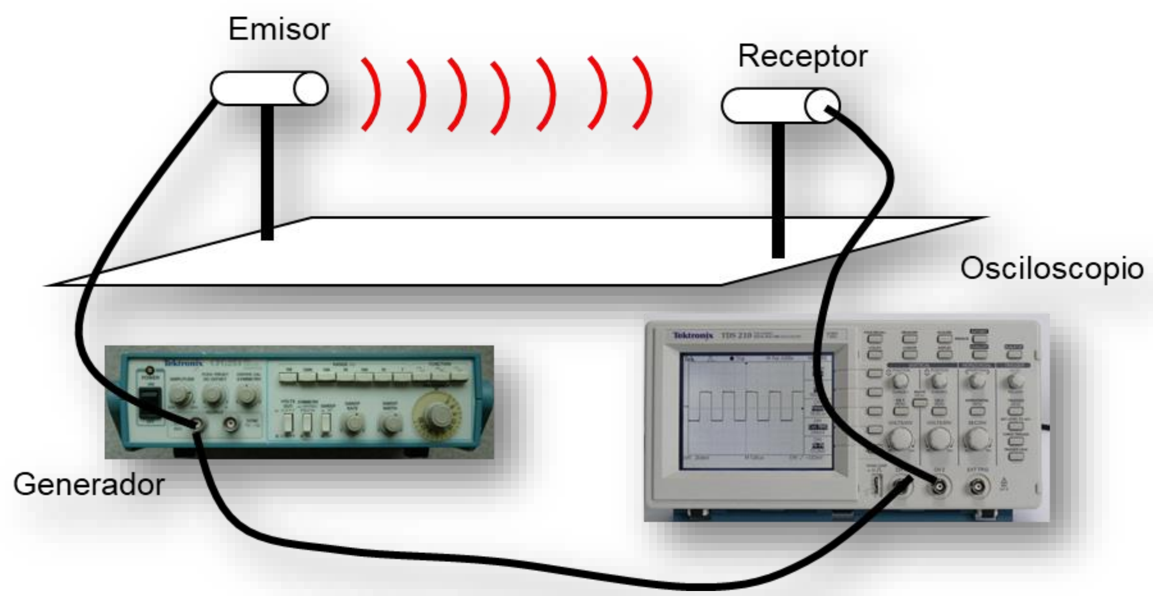
- Rango de frecuencias de trabajo **(υ)**
- Linealidad
- Ángulo de emisión

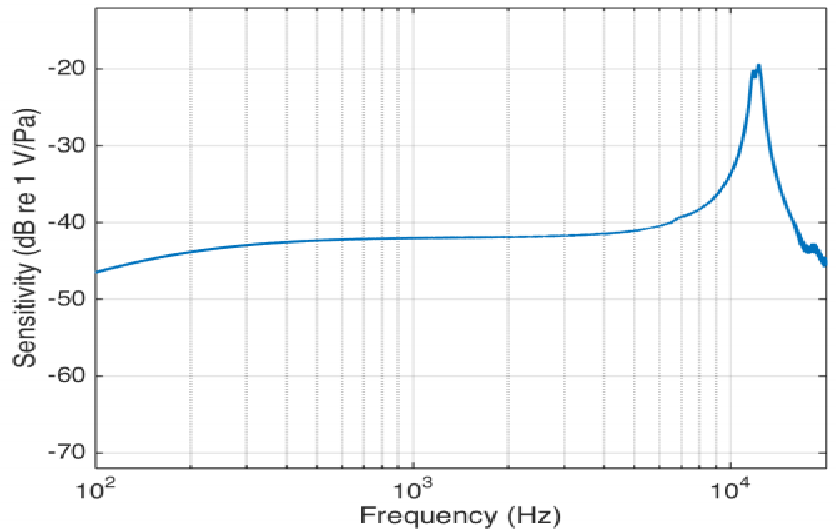
De las ondas:

- Decaimiento con la distancia **(A(r))**
- Forma del frente de ondas
- Longitud de onda **(λ)**
- Velocidad de propagación **(c)**

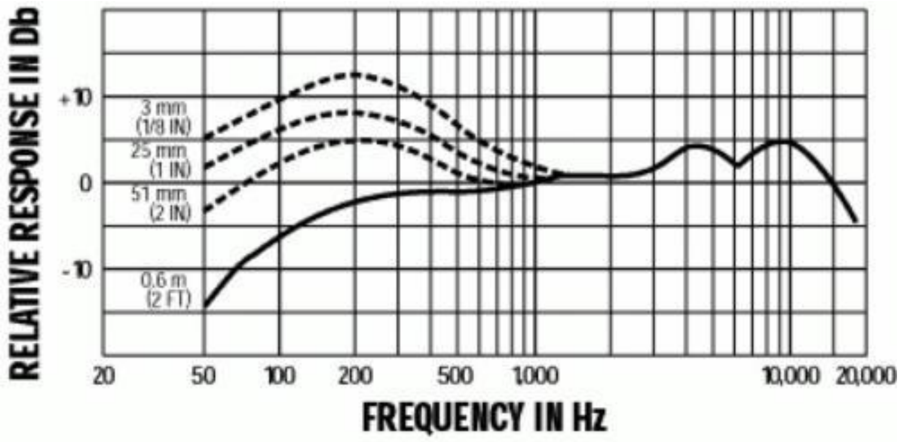
$$\Psi(r,t) = A(r)\ \mathrm{sen}\ (k\ r - w\ t) \quad \begin{cases} w = 2\pi / T = 2\pi\ \upsilon \\ k = 2\pi / \lambda \\ c = \upsilon\ \lambda \end{cases}$$

Los emisores piezoeléctricos PZT trabajan a frecuencias bien establecidas.

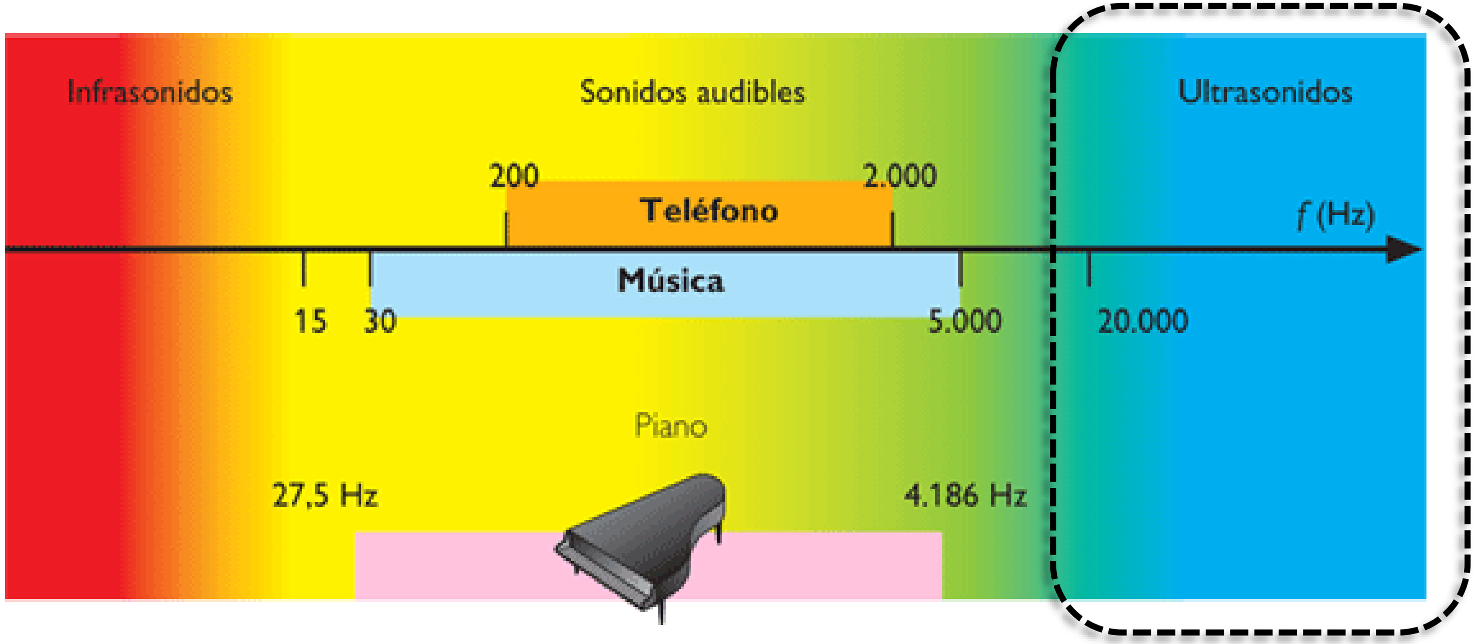




Registra por lo general un amplio rango de frecuencias.
Hay un rango dinámico donde el micrófono puede trabajar.



Respuesta en frecuencia y la linealidad del sistema

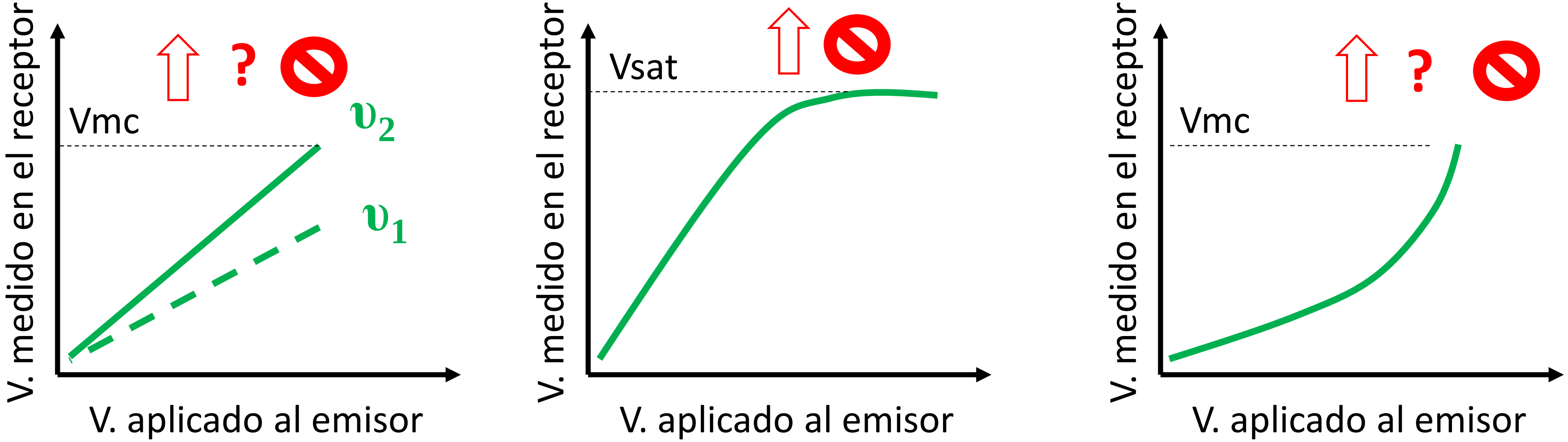


Mencionamos que trabajaríamos con ultrasonido, lo que establece un rango de frecuencias

- ¿Cómo responde el <u>par emisor-receptor</u> dentro de ese rango?
- ¿Habrá una frecuencia para la cuál el sistema responde con máxima eficiencia? -> Encontrarla
- En esa frecuencia de máxima respuesta ¿cómo varía esta última cambiando el voltaje?

Este es el <u>primer estudio</u> que hay que hacer -> Ver si el sistema es lineal

Posibles respuestas del sistema al variar el voltaje:



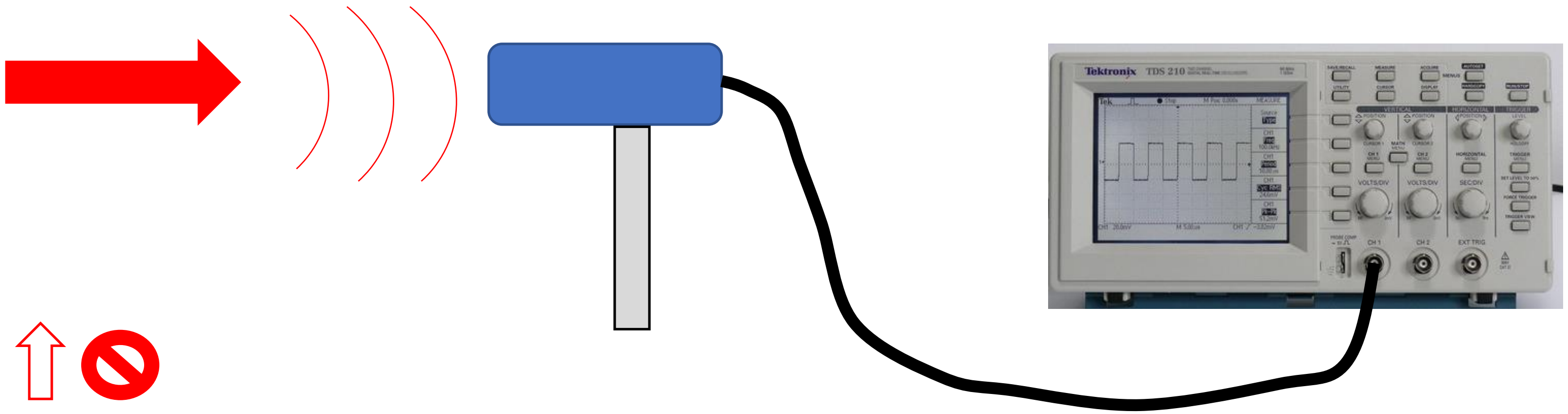
- Cuál es el rango en el que el dispositivo puede utilizarse como instrumento de medida?
- Las mediciones que en futuras experiencias superen el voltaje máximo de calibración (Vmc) o el voltaje de saturación (Vsat), no son confiables

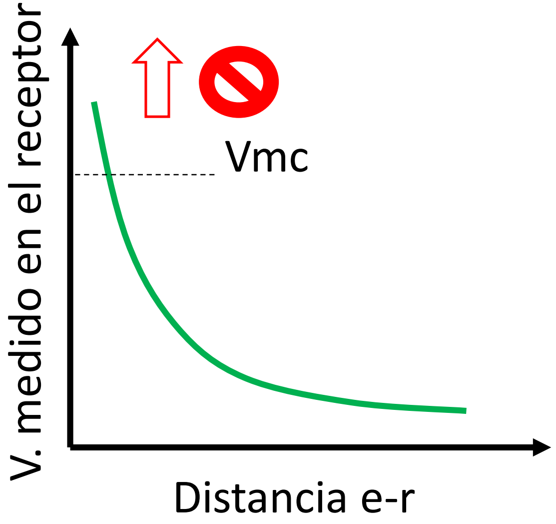
Para hacer este estudio:

- ✓ ¿Qué montaje experimental propone?
- ✓ ¿A qué distancia ubicaría el emisor del receptor?
- ✓ ¿A qué frecuencia haría este análisis? ¿Porqué hay que hacerlo primero?

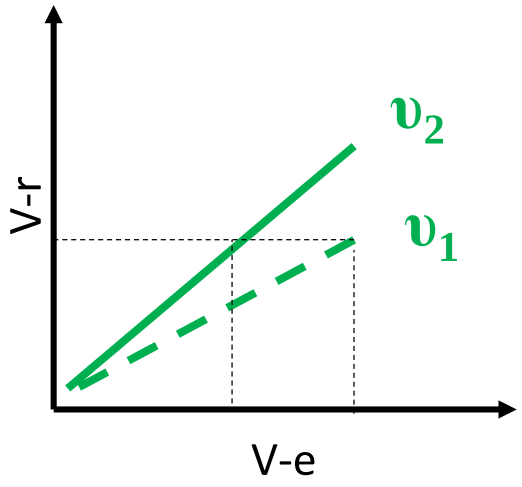
¿ El voltaje medido es linealmente proporcional con la amplitud de la onda sonora?

Si no conocemos esta respuesta no son confiables ninguna de las mediciones que hagamos

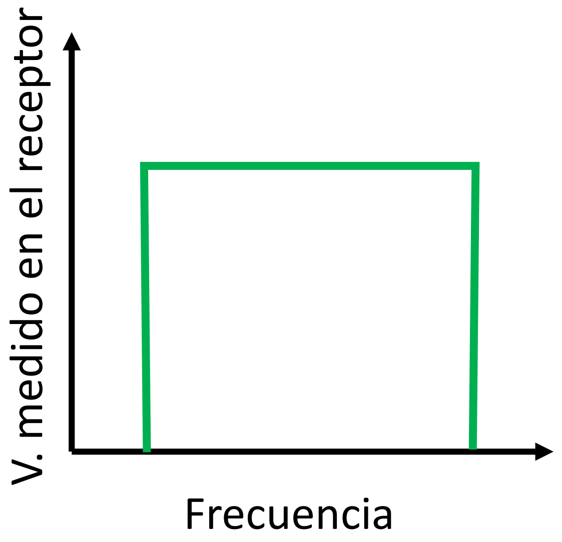


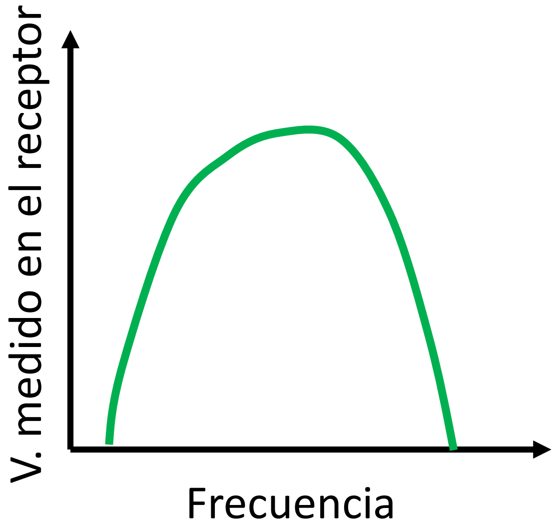


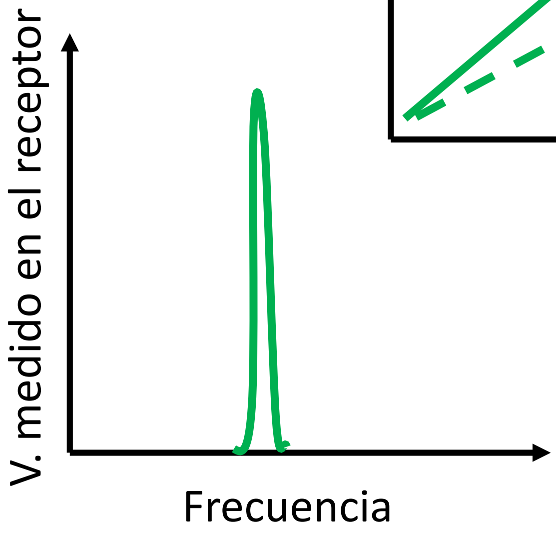
El voltaje decae de esta forma porque así varía la amplitud de la onda con la distancia, o está “modificado” por la respuesta del instrumento?



Posibles respuestas del sistema al variar la frecuencia:





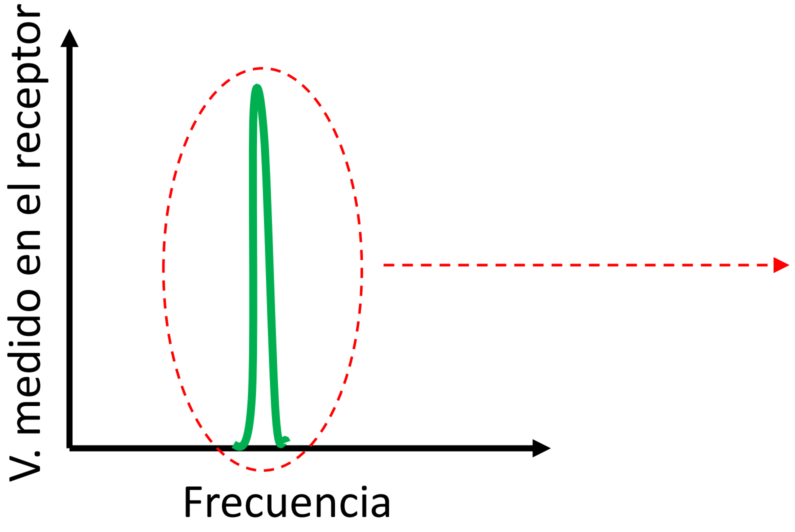


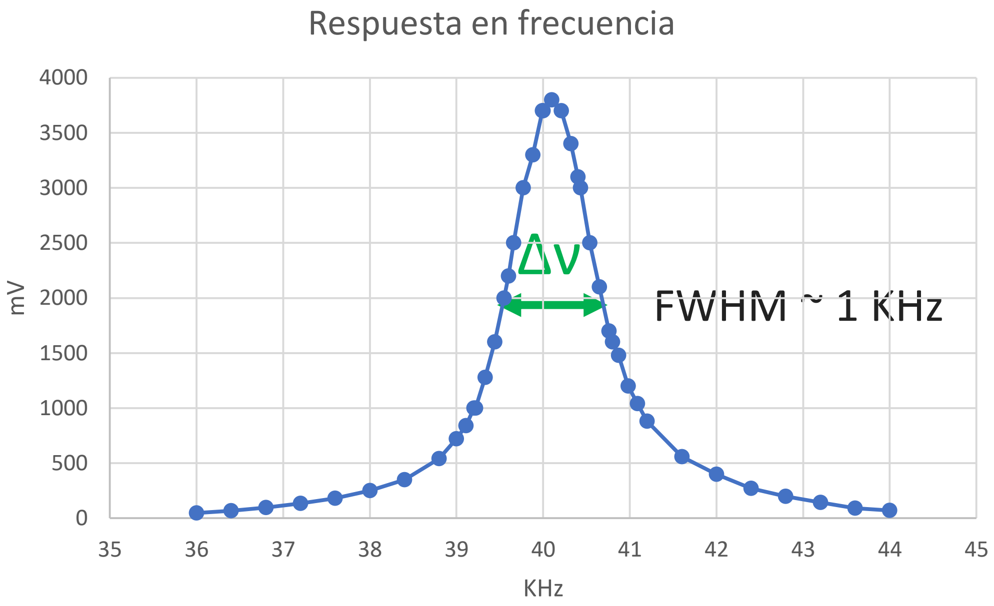
¿Cómo propone hacer el estudio?

Es importante recordar que se caracteriza el <u>par emisor-receptor</u> y no cada elemento por separado

-> Espectroscopía: se analiza la respuesta del sistema alimentándolo con una señal sinusoidal (υ único) y se varía su frecuencia

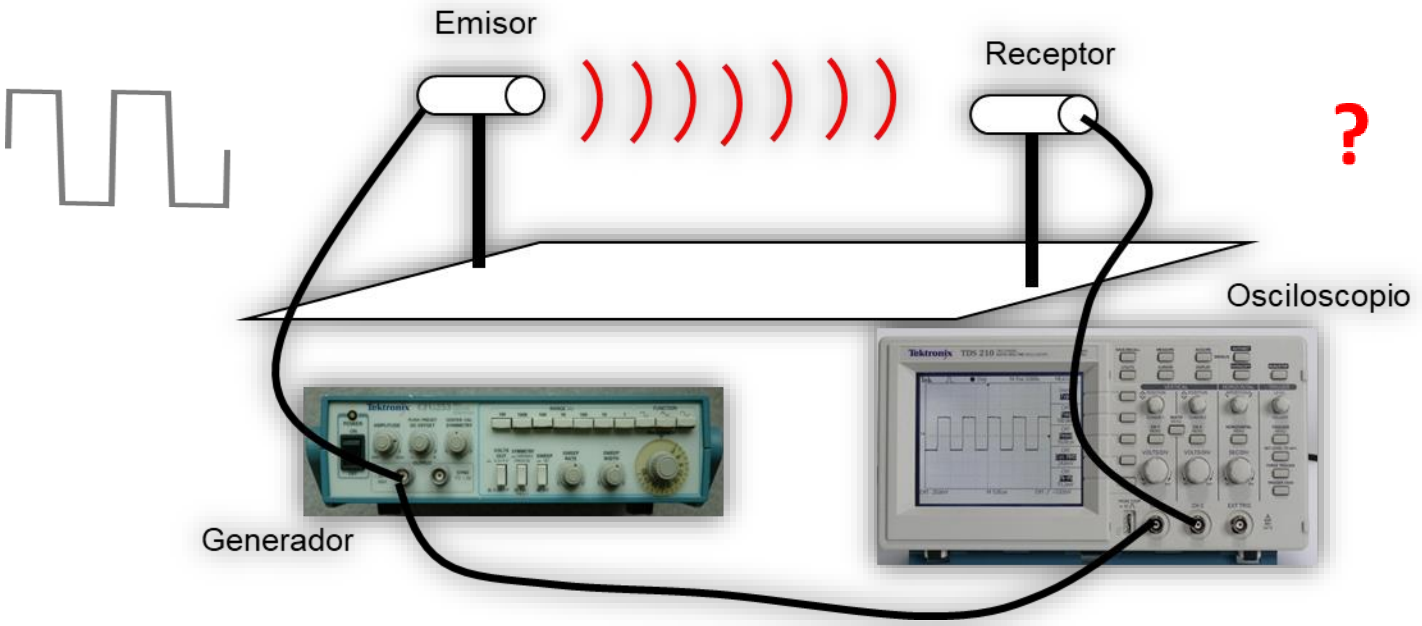
De acuerdo a la medición obtenida, qué función usaría como curva de ajuste? Porqué? Qué modelo físico sustenta la elección de esa curva?





FWHM (del inglés Full Width at Half Maximum)

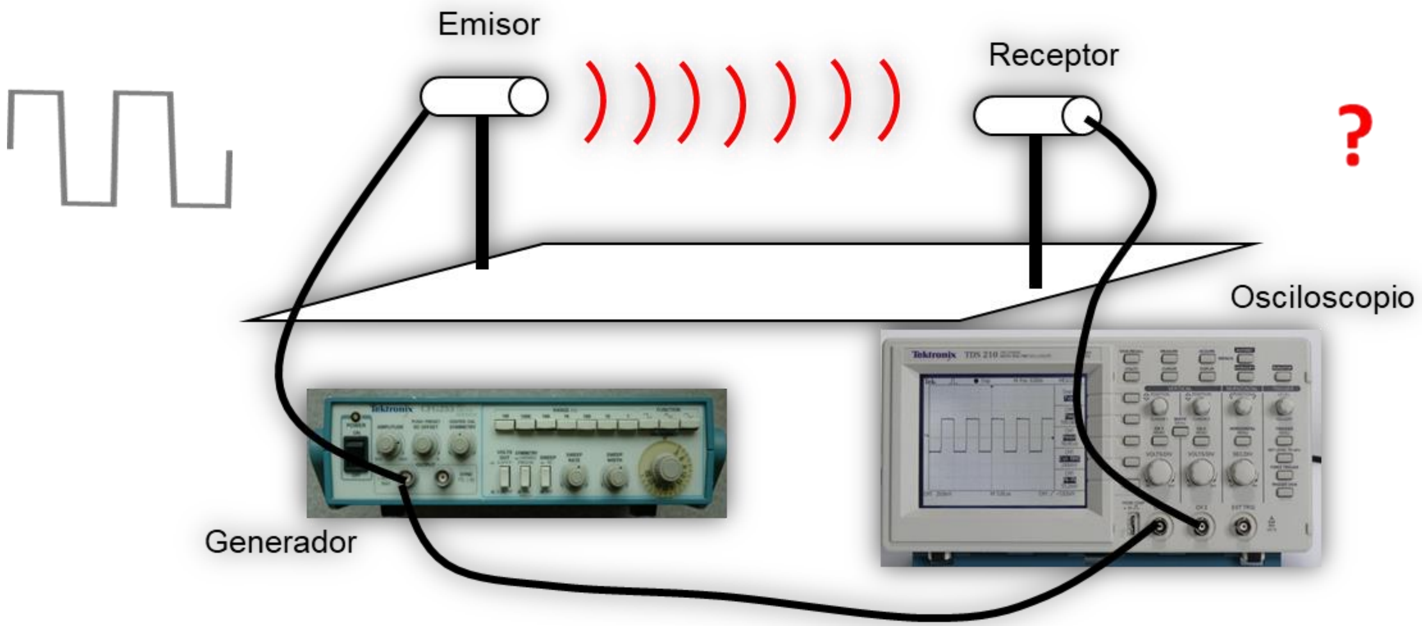
¿ Qué sucede si alimentamos con una onda cuadrada ?



¿ Qué sucede si alimentamos con una onda cuadrada?

- De acuerdo a las características de la curva de resonancia, qué cree que se observará, como respuesta del sistema, al variar la frecuencia de la onda cuadrada? **->** Hay que comprobarlo

- ¿Se podrá hacer un análisis de Fourier de la onda? ¿Porqué? ¿Cómo lo haría?
  Esto es: a partir de lo observado en el osciloscopio ¿qué se le ocurre medir para poder “reconstruir” una onda cuadrada? **->** Hacerlo



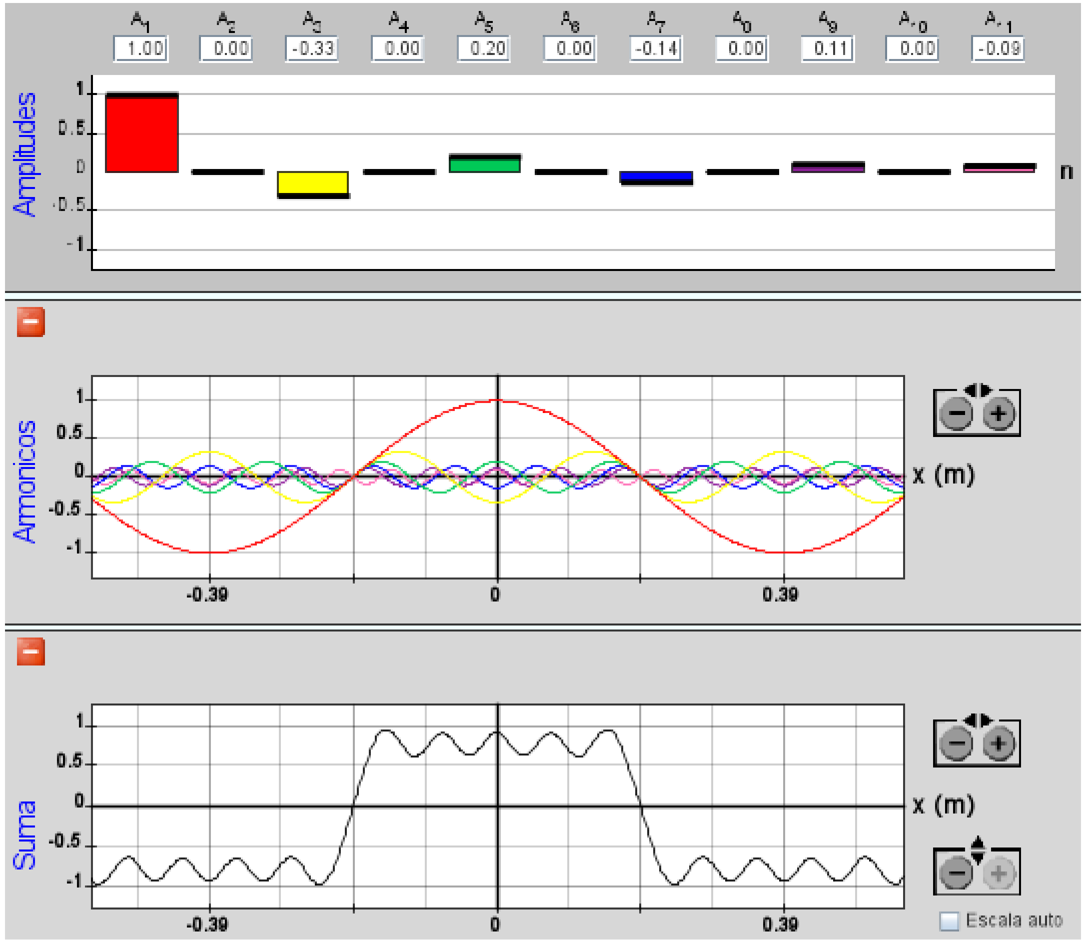
Cuál es el desarrollo de Fourier de una onda cuadrada?

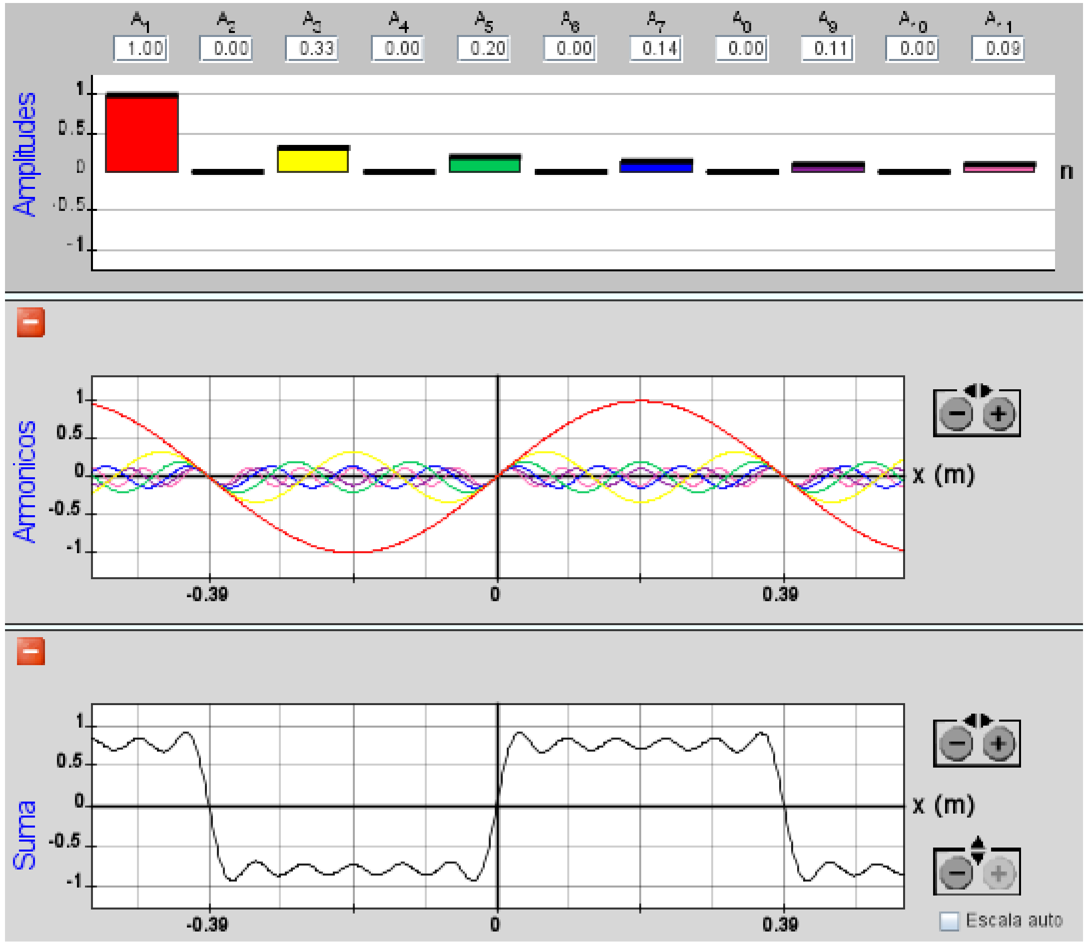
$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}[a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)]$$

$$f(t) = \frac{4}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin(2\pi(2n-1)f_0 t)}{2n-1} = \frac{4}{\pi}\left[\sin(\omega_0 t) + \frac{1}{3}\sin(3\omega_0 t) + \frac{1}{5}\sin(5\omega_0 t) + \cdots\right]$$

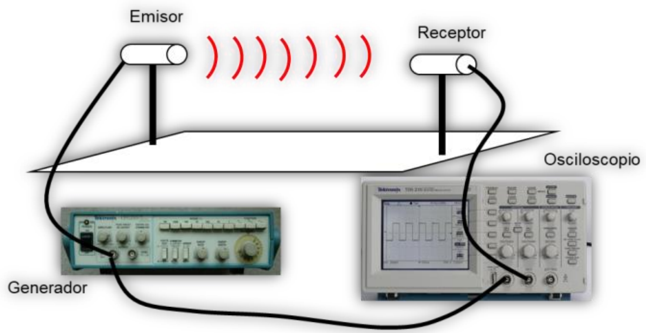
$\boxed{V_1 / V_1}$ $\boxed{V_3 / V_1}$ $\boxed{V_5 / V_1}$

Una señal cuadrada cuya frecuencia es submúltiplo impar de la frecuencia característica (~40KHz), excita el sistema y es detectada por el receptor con una amplitud que disminuye como 1/n

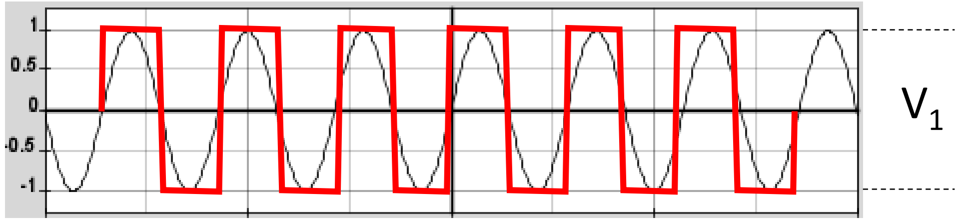




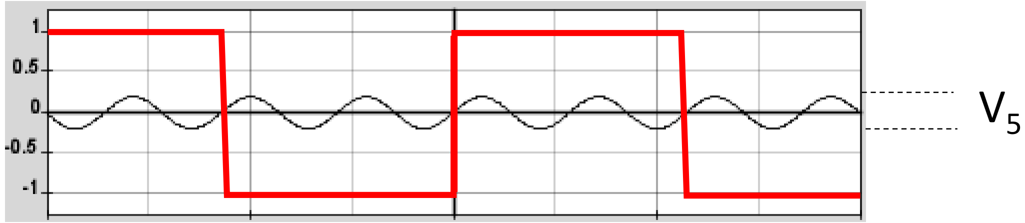
https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/fourier/latest/fourier.html?simulation=fourier&locale=es



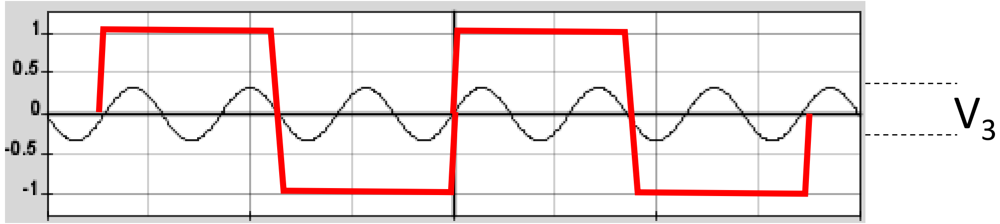
Cuadrada de 40 kHz n=1



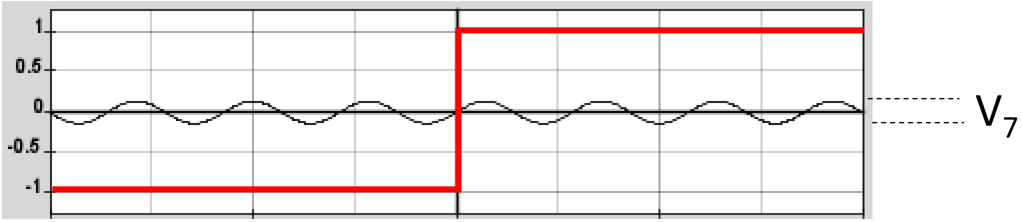
Cuadrada de 8 kHz n=5



Cuadrada de 13.3 kHz n=3

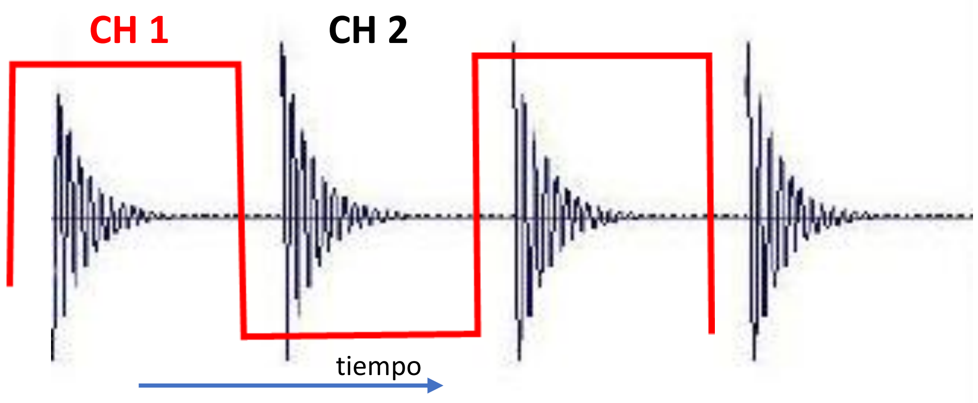


Cuadrada de 5.7 kHz n=7



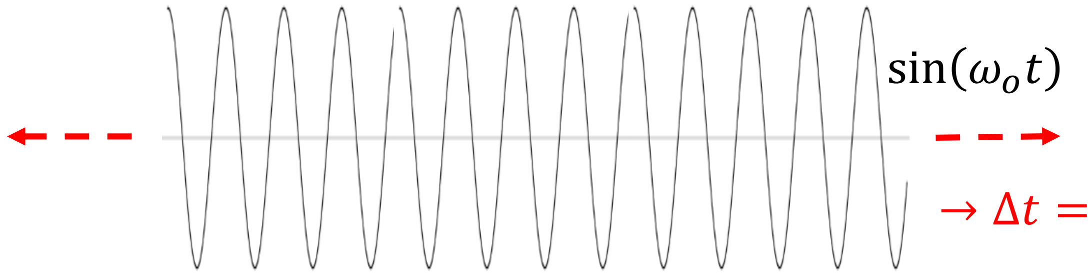
$$f(t) = \frac{4}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{sin(2\pi(2n-1)\omega_0 t)}{2n-1} = \frac{4}{\pi}\left[\sin(\omega_0 t) + \frac{1}{3}\sin(3\omega_0 t) + \frac{1}{5}\sin(5\omega_0 t) + \cdots\right]$$

Qué pasa ahora si bajamos mucho la frecuencia de la onda cuadrada?



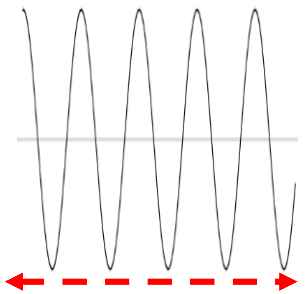
Cada flanco de la onda cuadrada es una discontinuidad muy abrupta por lo tanto su contenido de frecuencias es ENORME !!!

Repasemos Fourier: la “extensión” de una función y su transformada son inversamente proporcionales



$\sin(\omega_o t)$

$\rightarrow \Delta t = \infty$

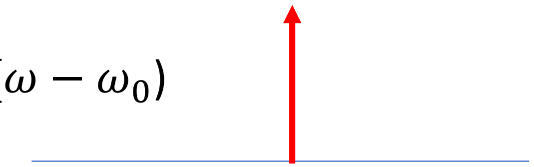


Δt

$\sin(\omega_o t) \times rect\left(\frac{t}{\Delta t}\right)$

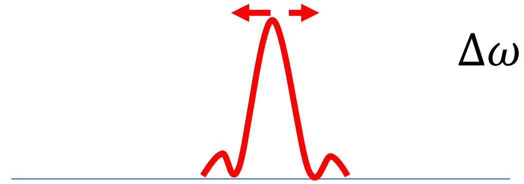
TF

$\delta(\omega - \omega_0)$



ω_o ω

$\Delta\omega$



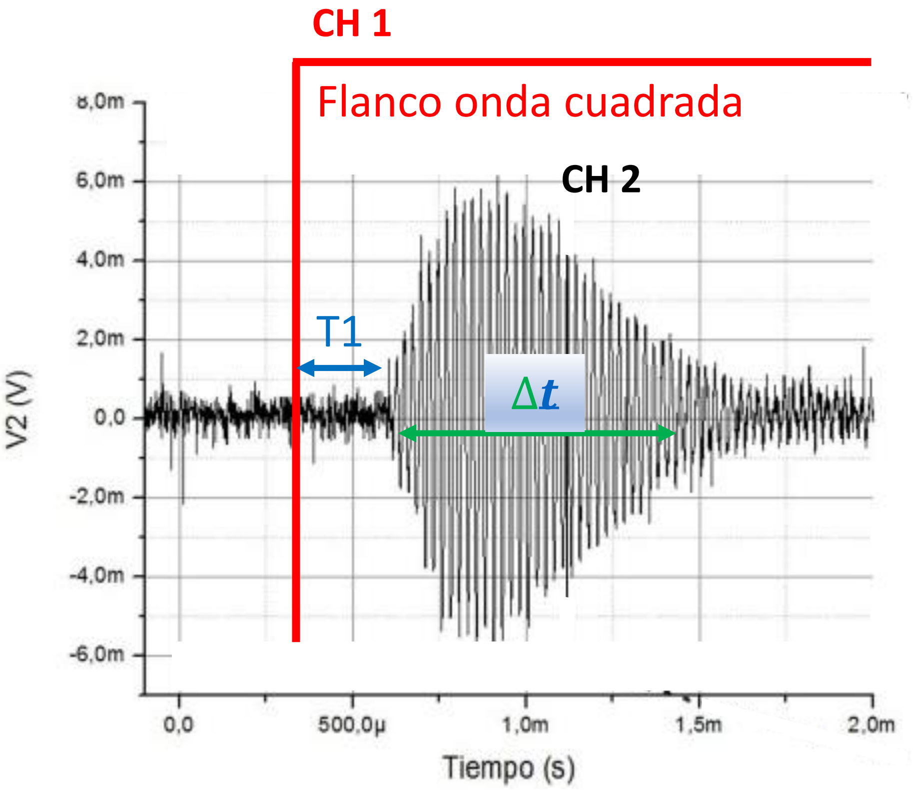
$\Delta\omega \sim \frac{1}{\Delta t}$

ω_o ω

$\delta(\omega - \omega_0) \odot sinc(\frac{\omega}{\Delta\omega})$

- Ahora, en vez de alimentar al sistema con una frecuencia pura (como hacíamos en espectroscopía), lo alimentamos con un "pulso" cuyo contenido de frecuencias es infinito. El sistema responde a aquellas que estén en un entorno de 40 KHz generando un batido (paquete de ondas)

- Es importante que la frecuencia (fundamental) de la onda cuadrada sea lo suficientemente baja como para que el sistema, excitado por un flanco de la onda cuadrada, decaiga antes de que llegue el otro. O sea, el sistema NUNCA ve onda cuadrada sino solo "pulsos" **->** Comprobarlo

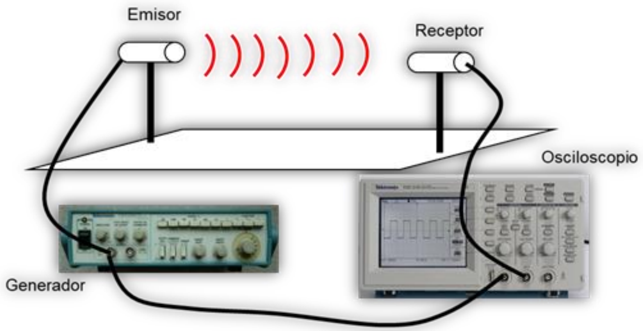


$$\frac{1}{\Delta t} \sim \Delta\nu$$ Ancho campana de resonancia

Distancia emisor-receptor

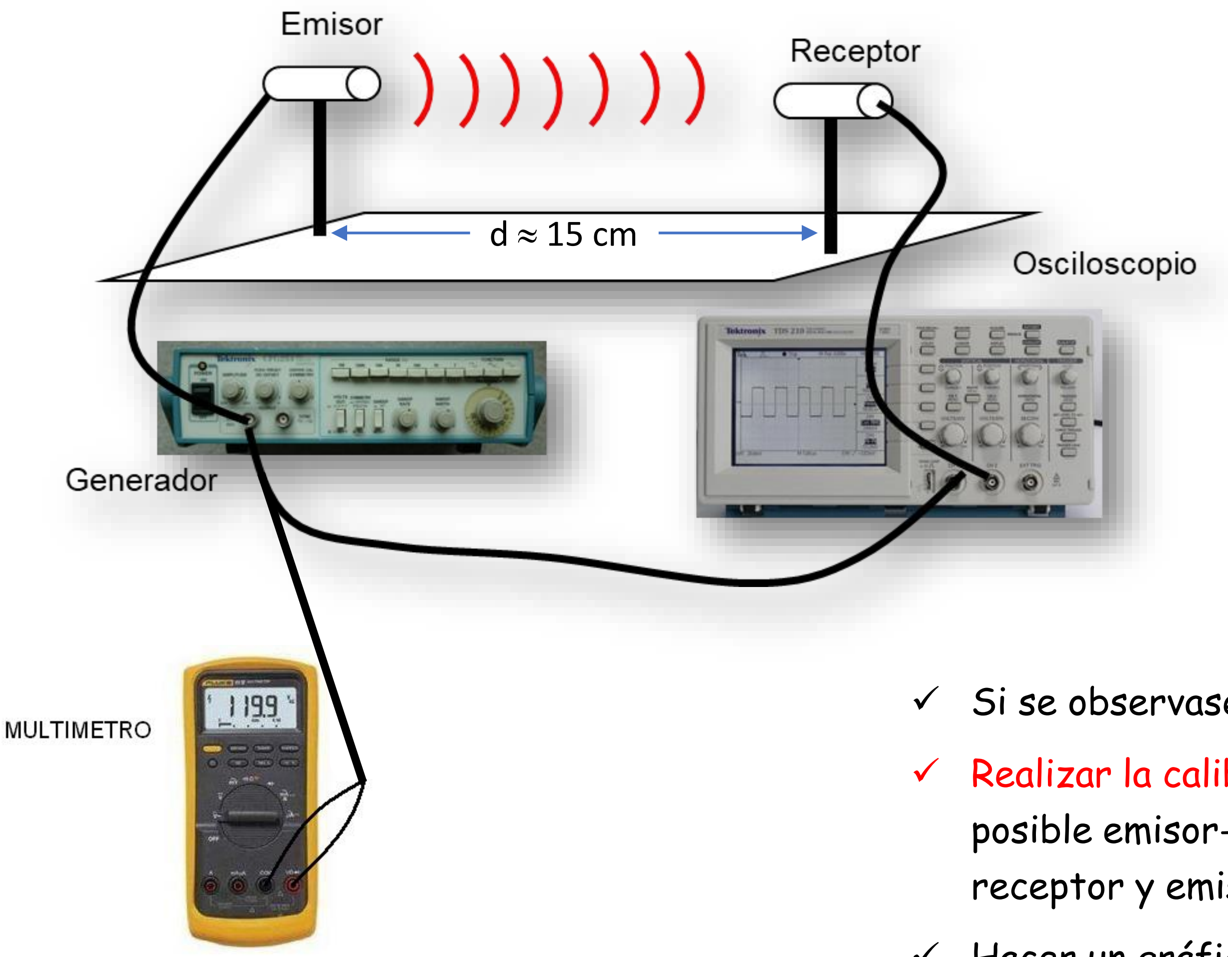
$$c = \frac{d}{T1}$$ Velocidad de propagación de la onda

Tiempo de retardo entre la señal de excitación y la detección



Resumiendo, ¿cómo realizar esta práctica?

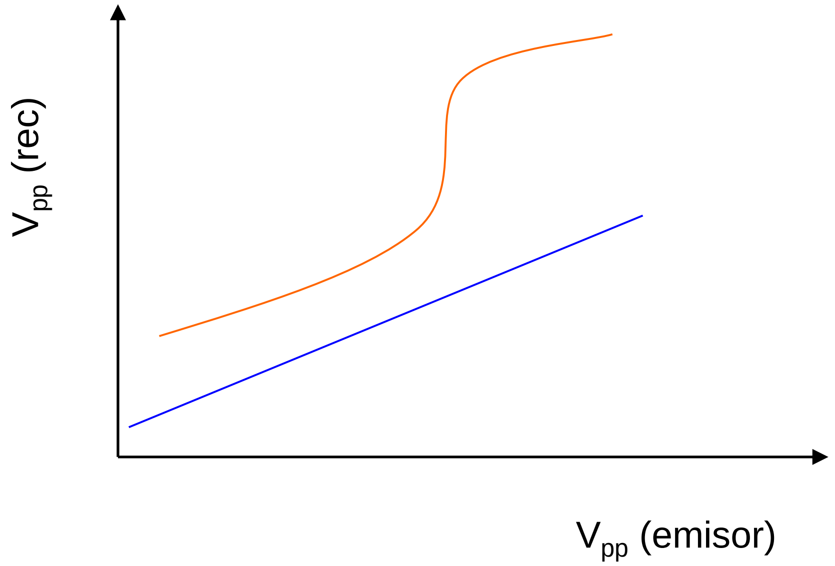
Emisor – receptor en rango de ultrasonido



- ✓ ¿Habrá alguna frecuencia característica donde se maximice la señal del sistema emisor -receptor ?
- ✓ Fijar condiciones de la señal senoidal de entrada al emisor ($V_{pp} \approx 10$ Volts).
- ✓ Fijar la frecuencia en un valor (por ej. 100 Hz). Ver la señal de entrada en el osciloscopio.
- ✓ ¿Qué pasa en el receptor? ¿Si aumento la frecuencia en el generador qué sucede en el receptor ?

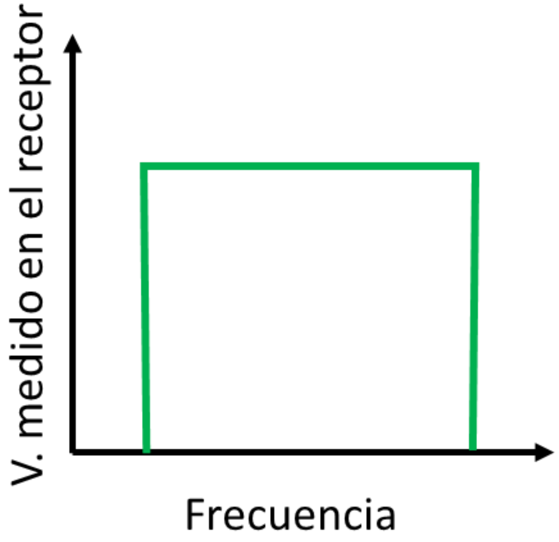
- ✓ Si se observase una señal en el receptor ¿Qué forma, Vpp y frecuencia tiene ?
- ✓ Realizar la calibración a la frecuencia encontrada del sistema. Acercar lo mas posible emisor-receptor. Ir cambiando la tensión del emisor y registrar la del receptor y emisor.
- ✓ Hacer un gráfico Vpp (receptor) vs Vpp (emisor).

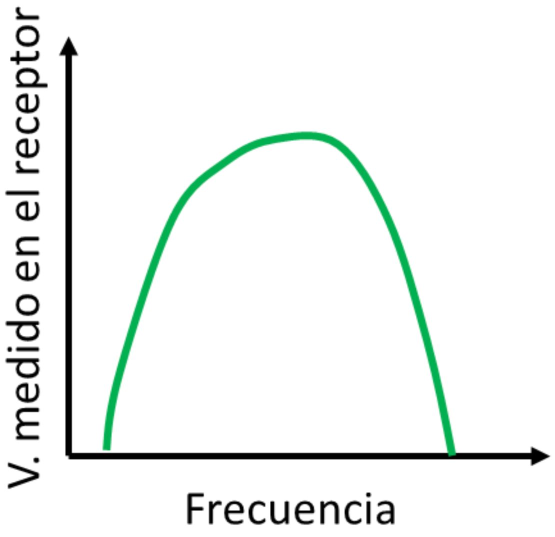
Realizar la calibración

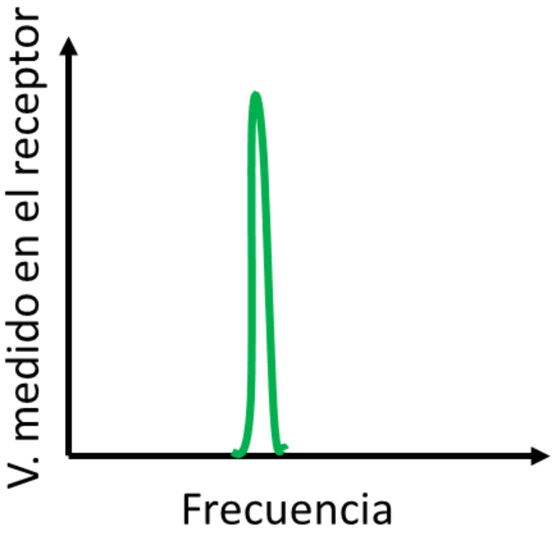


- ✓ Supongamos encontrar una frecuencia característica. A esa frecuencia, ¿ es el sistema lineal ?
- ✓ ¿ Escucha algo a esa frecuencia ?
- ✓ ¿Hay mas de una frecuencia característica ?

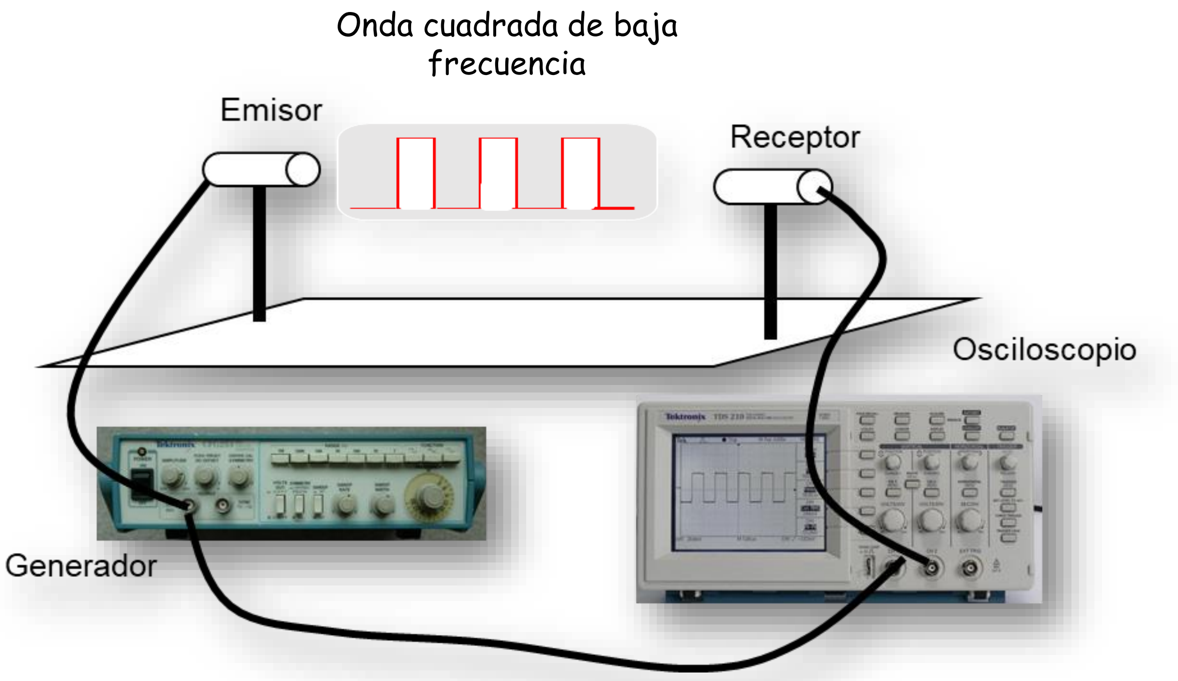
- ✓ ¿ Cómo es la relación Vpp (rec) vs frecuencia en el entorno de la frecuencia característica ?

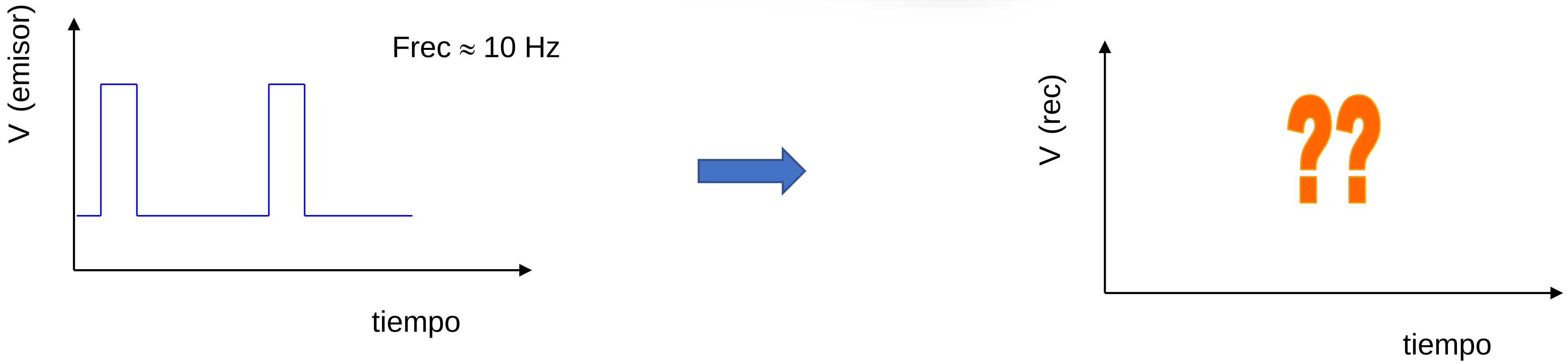




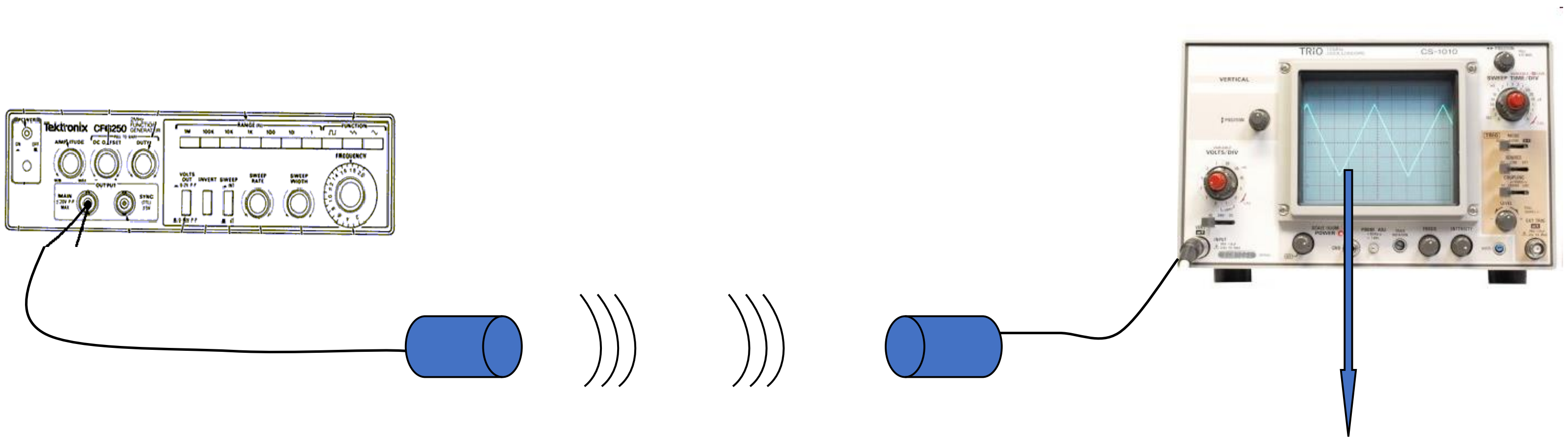


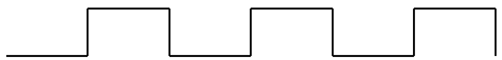
Otra forma de estudiar el sistema. Excitación con un pulso





Respuesta del sistema ante una onda cuadrada a la frecuencia caracteristica





~40 kHz

Frente a una excitación con una onda cuadrada

¿ qué se observa ?

- Una señal periódica ***x(t)*** con período ***T*** puede ser descompuesta como combinación lineal de sinusoides y cosinusoides usando la serie de FOURIER, definida por:

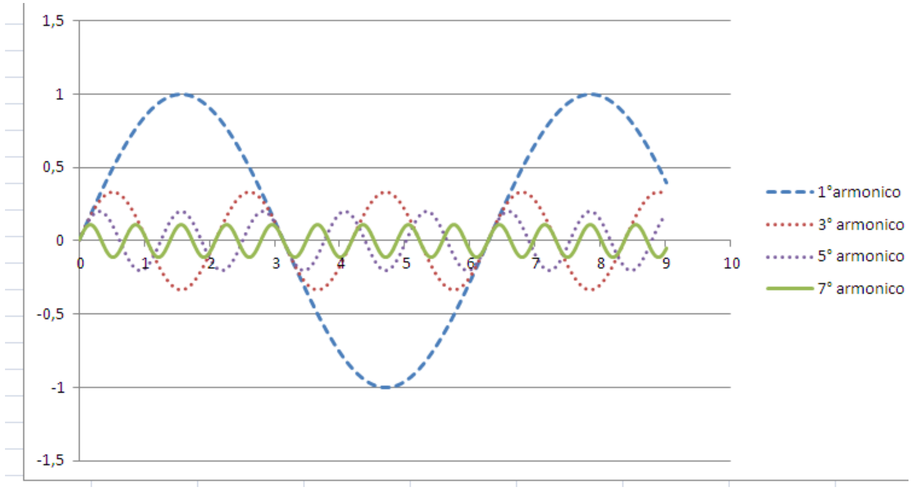
$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)]$$

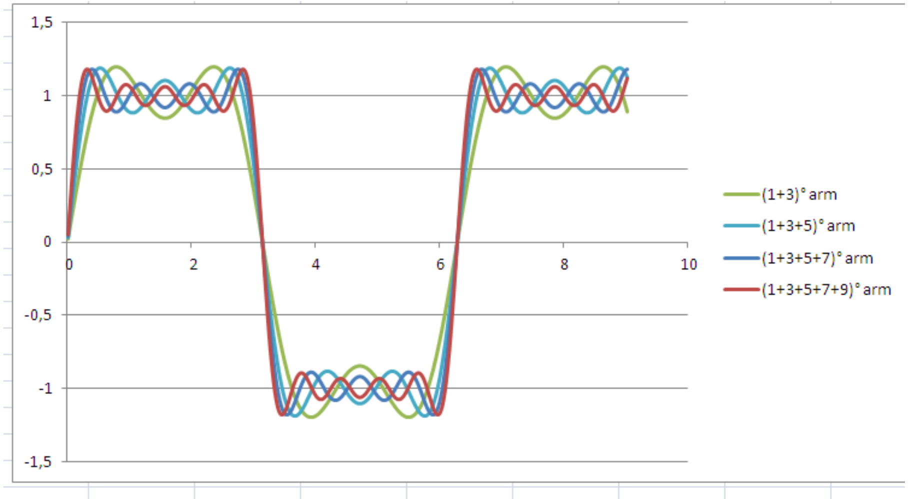
Para una onda cuadrada

$$x(t) = \frac{4}{\pi}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\sin(2\pi(2k-1)ft)}{2k-1}$$
$$= \frac{4}{\pi}\left(\sin(\omega t) + \frac{1}{3}\sin(3\omega t) + \frac{1}{5}\sin(5\omega t) + \dots\right),$$

n = 2k -1

con n impar





Se debe observar que una señal cuadrada en el emisor de una frecuencia que sea sub-múltiplo impar de la frecuencia característica (40 kHz), debe excitar el sistema y debe ser detectada por el receptor con una amplitud que debe disminuir como (1/n)

¿ Preguntas ?