Laboratorio 2

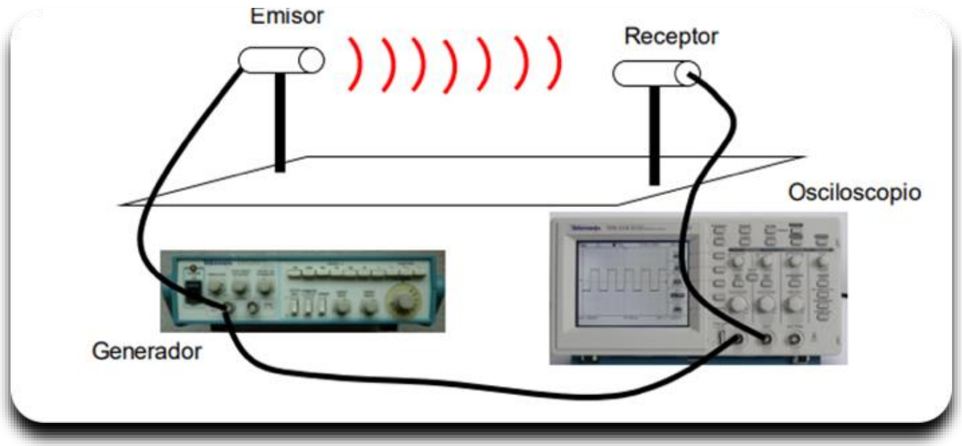
Turno C

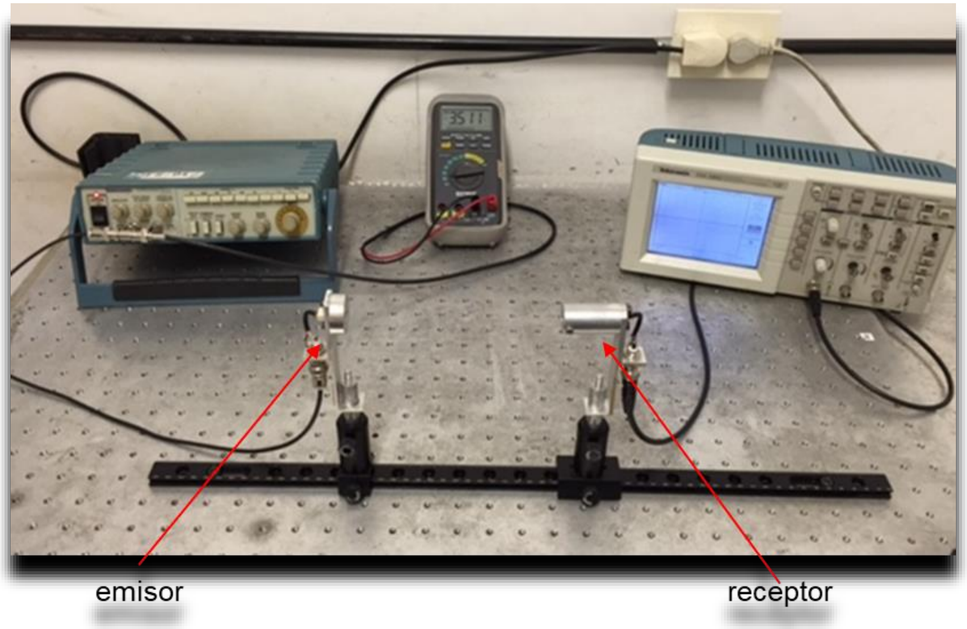
Clase 4

Ultrasonido - Caracterización espacial

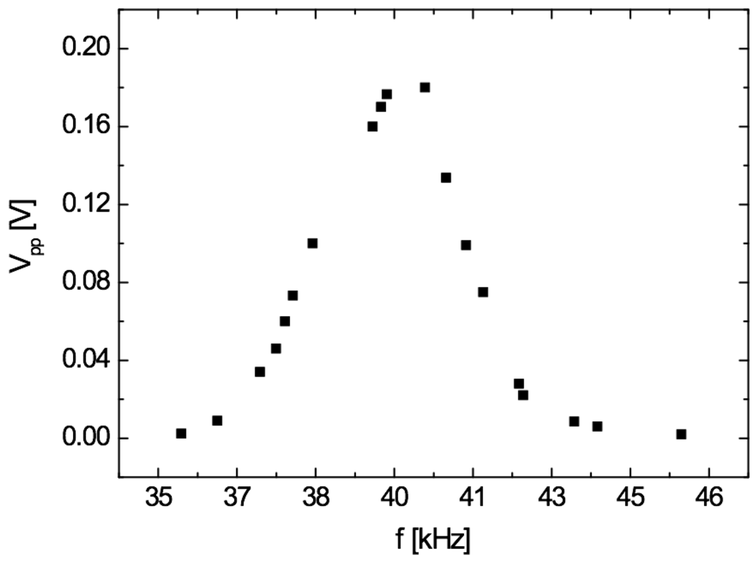
2°C 2021

Emisor – receptor en rango de ultrasonido



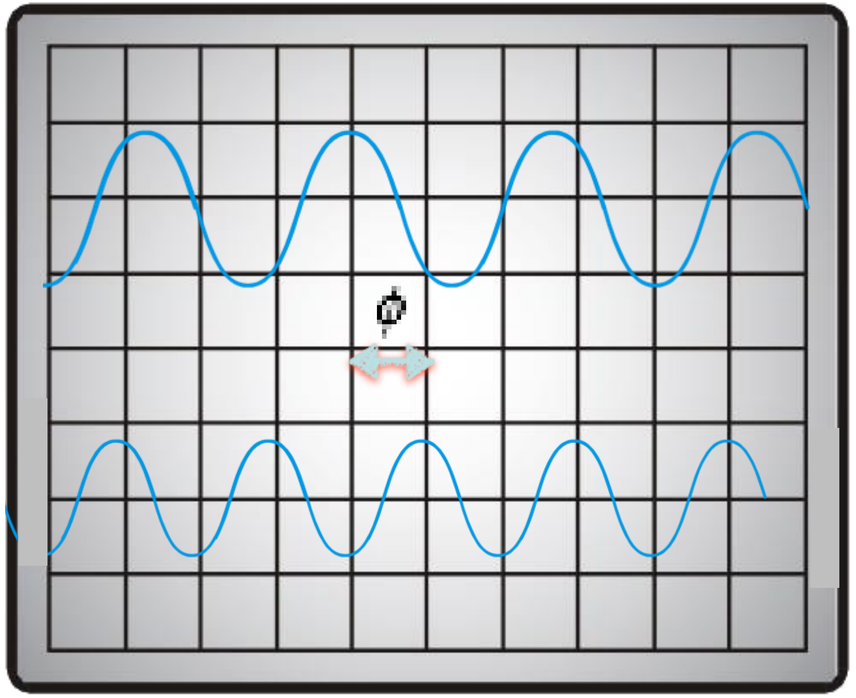


- Se realizó la caracterización temporal (en frecuencias) del sistema Emisor – Recetor de ultrasonido con distintas experiencias
- ¿ Se encontró alguna frecuencia característica donde se maximice la señal del sistema emisor - receptor ?
- Se analizó la linealidad del sistema
- Se preparó un gráfico V_{pp} (receptor) vs frecuencia.

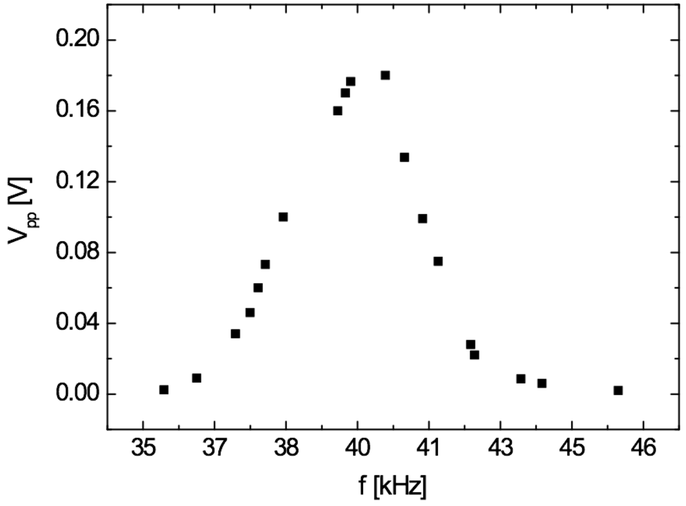


ω_0 Emisor

$\omega \neq \omega_0$ Receptor



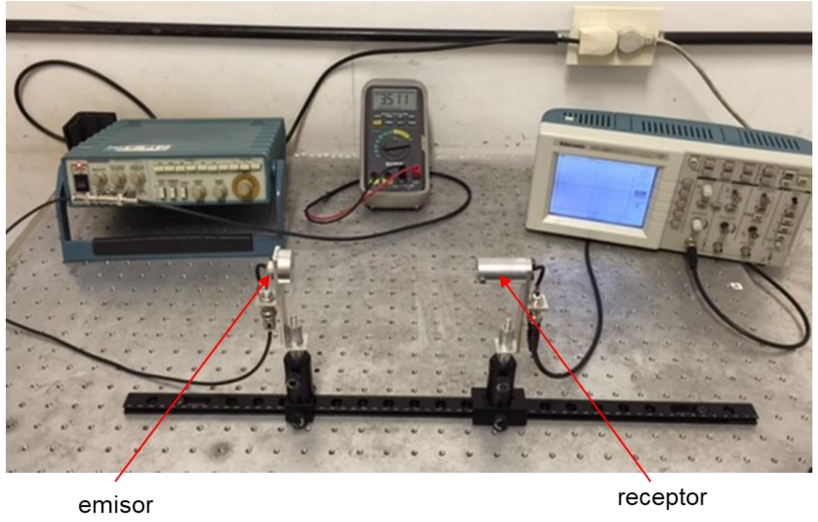
- Si variamos la frecuencia del emisor alrededor de la frecuencia característica (de resonancia o fundamental), se reduce la señal en que se detecta en receptor.

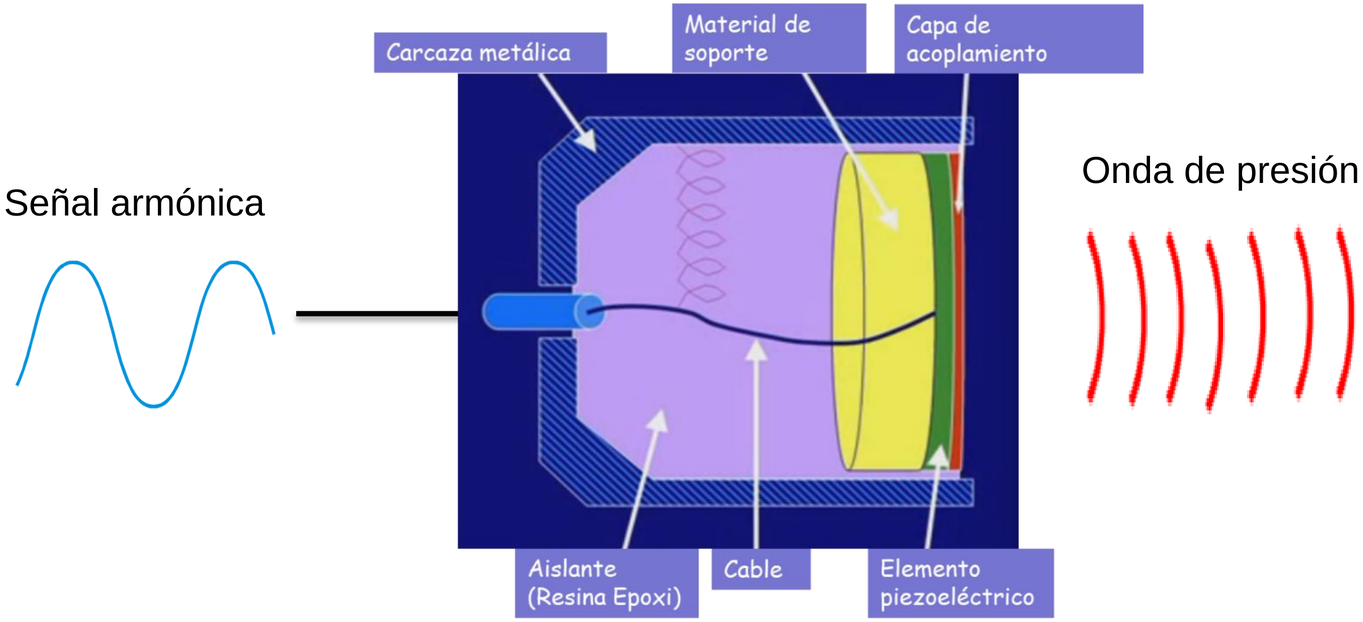


- Se produce un desfasaje entre la onda emitida y la recibida.

Están ambas señales en fase a la frecuencia característica

- Volvamos a nuestro transductores de ultrasonido.
- Son materiales piezoeléctricos que transforman energía eléctrica en mecánica (pueden generar entonces ondas de presión, sonido) y viceversa.
- Simplificando, en la experiencia los usamos como parlante y micrófono en el rango de ultrasonido.





Modelo mecánico equivalente de un piezoeléctrico

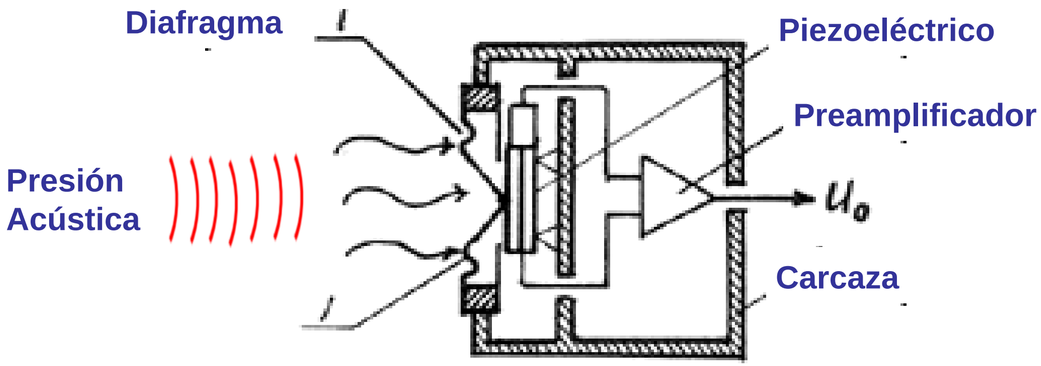
Oscilador libre amortiguado

$$m\frac{d^2x}{d^2t} + b\frac{dx}{dt} + kx = 0$$

$$\omega_o^2 = \frac{k}{m}$$

$$\frac{d^2x}{d^2t} + \gamma\frac{dx}{dt} + \omega_o^2 x = 0$$

$$\gamma = \frac{b}{m}$$



$$\gamma < \omega_o \qquad x = Ae^{-\gamma\frac{t}{2}}\cos(\omega t + \alpha) \qquad \omega^2 = \omega_o^2 - \frac{\gamma^2}{4}$$

$$\gamma = \omega_o \qquad x = (A + Bt)e^{-\gamma\frac{t}{2}}$$

$$\gamma > \omega_o \qquad x = Ae^{-\gamma\frac{t}{2}}\sinh(\omega t + \alpha)$$

Osc. forzado amortiguado

$$\frac{d^2x}{d^2t} + \gamma\frac{dx}{dt} + \omega_o^2 x = \frac{f_o}{m}\cos(\omega t)$$

$$x = xhom(t) + xpart(t)$$

$$x = xhom(t) + A_p\cos(\omega t + \alpha)$$

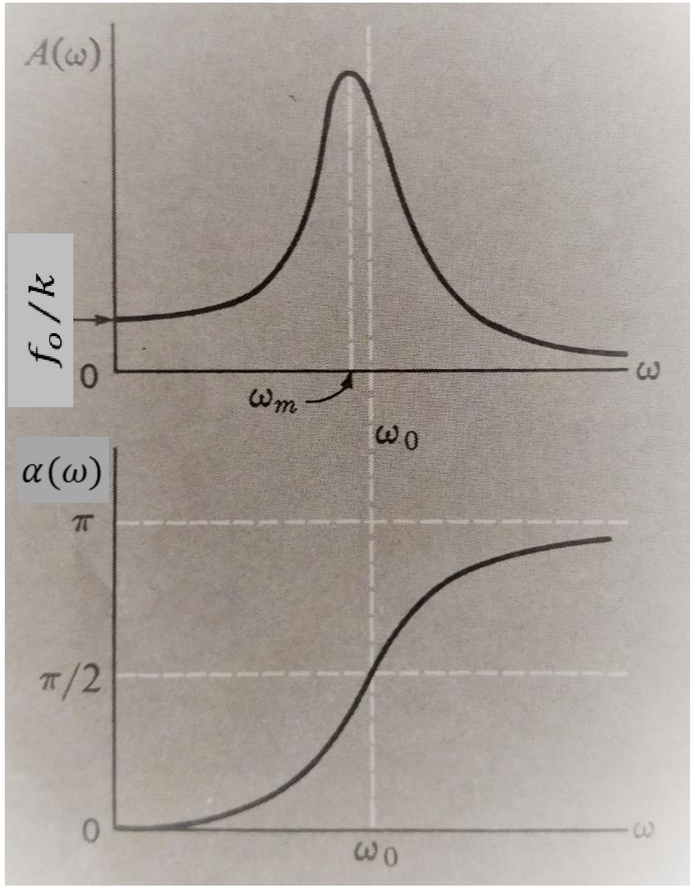
$$\downarrow$$

$$xhom\ (t \gg 1) \rightarrow 0$$

$$\begin{cases} A_p = \dfrac{f_o/m}{[(\omega_o^2 - \omega^2)^2 + (\gamma\omega)^2]^{1/2}} \\[2ex] \alpha = arctg\dfrac{\gamma\omega}{\omega_o^2 - \omega^2} \end{cases}$$

¿ Que pasa con amplitud ?

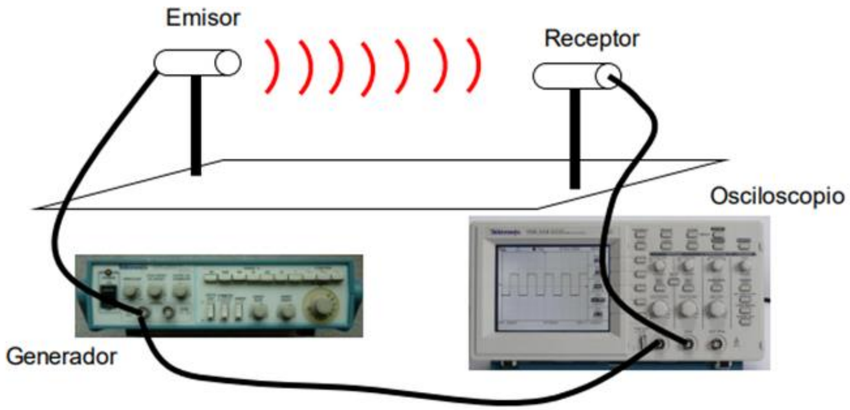
$$A_p = \frac{f_o/m}{[(\omega_o^2 - \omega^2)^2 + (\gamma\omega)^2]^{1/2}}$$



¿ Que pasa con la fase ?

$$\alpha = arctg\,\frac{\gamma\omega}{\omega_o^2 - \omega^2}$$

Ajustar la campana de resonancia obtenida al modelo del oscilador forzado amortiguado y obtener ©.



$$|x_1(\omega)| = A\frac{1}{\sqrt{(\omega_o^2-\omega^2)^2+\ (\omega\gamma)^2}}$$

Planteamos la ecuación en el piezoeléctrico del receptor donde se lo fuerza con

$$B(\omega)e^{i\omega t}$$

$$\ddot{x}_2+\gamma_2\dot{x}_2+\omega_{o2}x_2=B(\omega)e^{i\omega t}$$

Como la ecuación diferencial es lineal la solución será simplemente la suma de las soluciones para todas las frecuencias

$$x_2(t)=\int x_2(\omega)e^{i\omega t}\,d\omega$$

$$x_2(\omega)=\frac{Ae^{i\omega t}}{[(\omega_{01}^2-\omega^2)+i\omega\gamma_1]\,[(\omega_{02}^2-\omega^2)+i\omega\gamma_2]}$$

$$|x_2(\omega)|=sqrt\left(A\cdot\frac{[(\omega_{01}^2-\omega^2)(\omega_{02}^2-\omega^2)-\omega^2\gamma_1\gamma_2]^2+[(\omega_{02}^2-\omega^2)\omega\gamma_1+(\omega_{01}^2-\omega^2)\omega\gamma_2]^2}{[(\omega_{01}^2-\omega^2)^2+(\omega\gamma_1)^2]^2\cdot[(\omega_{02}^2-\omega^2)^2+(\omega\gamma_2)^2]^2}\right)$$

Si los piezoeléctricos de emisor y receptor son iguales

$$\omega_{o1}=\omega_{o2}=\omega_o$$
$$\gamma_1=\gamma_2=\gamma$$

$$\boxed{|x_2(\omega)|=C\frac{1}{(\omega_o^2-\omega^2)^2+\ (\omega\gamma)^2}}$$

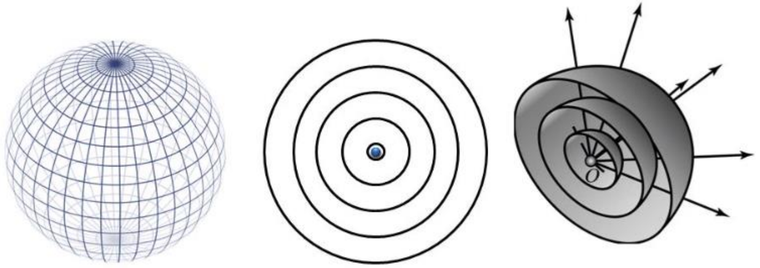
Caracterización espacial del frente de onda

$$\nabla^2\psi = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2}$$ Ecuación de onda

$$\psi(r,t) = A(r)sen\left(\vec{k}\cdot\vec{r} - \omega t + \phi\right)$$

$$\begin{cases} k = 2\pi/\lambda \\ \omega = 2\pi f = 2\pi/T \\ c = f\lambda \end{cases}$$

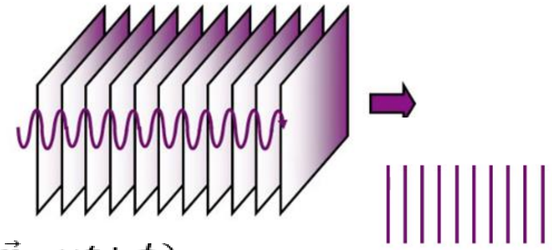
- La representación del frente de ondas de una onda esférica es de cáscaras esféricas concéntricas (en el foco/fuente puntual) separadas por una longitud de onda λ.
- Esos planos son perpendiculares al radio de las cáscaras esféricas.



$$\psi(r,t) = \left(\frac{A}{r}\right)e^{-i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t+\phi)}$$

- Frente de onda : El lugar geométrico que une todos los puntos que, en un instante dado, se encuentran en idéntico estado de vibración: tienen igual fase.

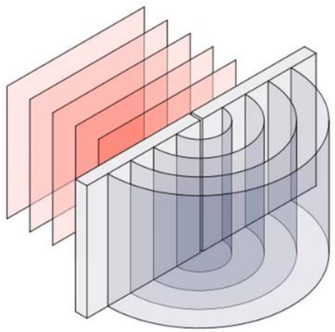
- En una onda plana son planos equi-espaciados separados por una longitud de onda λ.
- Esos planos son perpendiculares a la dirección de propagación.



$$\psi(r,t) = Ae^{-i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t+\phi)}$$

- La representación del frente de ondas de una onda cilíndrica es de cáscaras cilíndricas con el mismo eje (fuente lineal) separadas por una longitud de onda λ.
- Esos planos son perpendiculares al radio del cilindro.

$$\psi(\rho,t) = \left(\frac{A}{\sqrt{\rho}}\right)e^{-i(\vec{k}\cdot\vec{\rho}-\omega t+\phi)}$$



Caracterización espacial del sistema receptor – emisor de ultrasonido

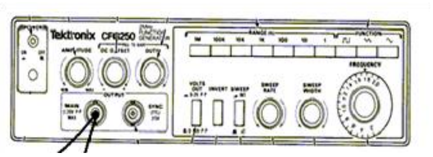
¿ Cómo es espacialmente la onda emitida ?

- esférica → La amplitud $< 1/r$
- cilíndrica → La amplitud $< 1/r^{0.5}$
- plana → La amplitud no depende de r
- ¿otra forma?

$$Amplitud \sim \left(\frac{1}{r^n}\right)$$

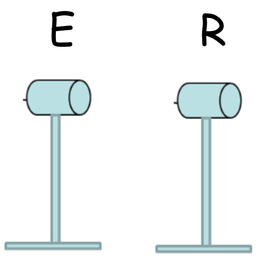
1. **Dependencia de la amplitud con la distancia**

¿Cómo hacer una experiencia?



Generador de funciones

Osciloscopio



Transductores de ultrasonido

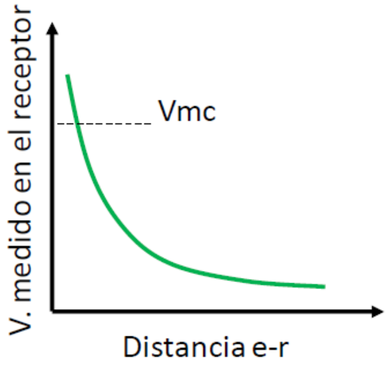
¿ Como los conectarían ?

1. Dependencia de la amplitud con la distancia

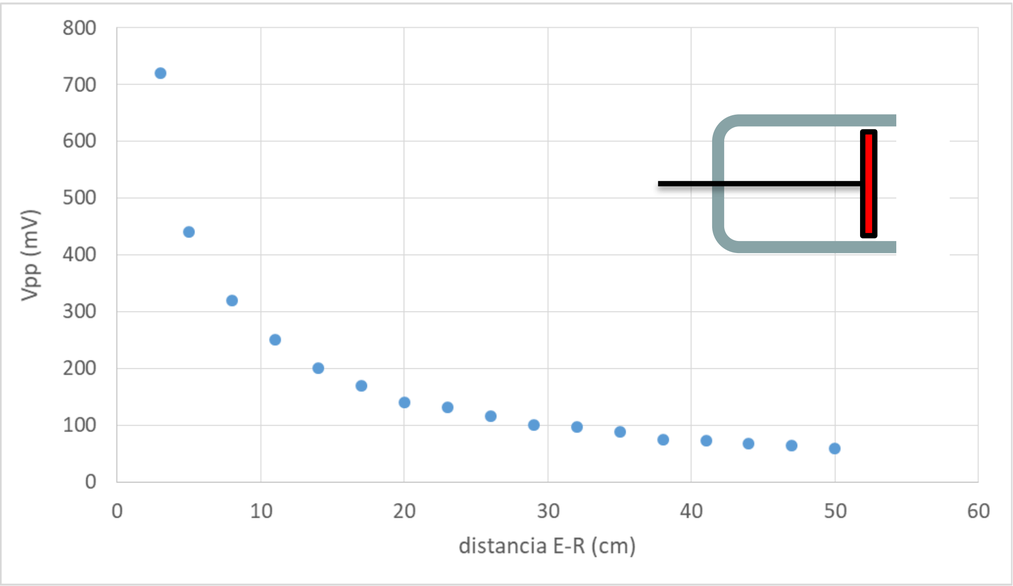
¿ En que condiciones me conviene trabajar?

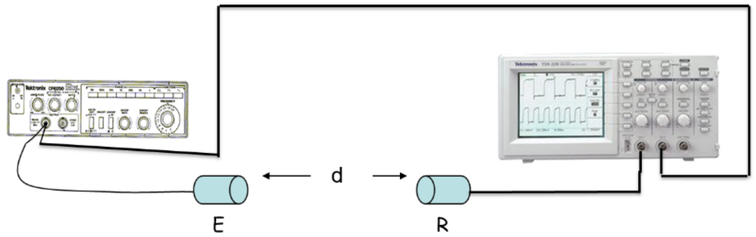
- Tipo de señal senoidal
- Frecuencia debe ser la característica del sistema.
- Amplitud alta en la señal que llega actúa en el emisor.

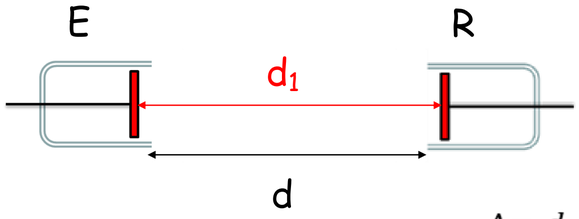
- Encontrar la variación de Vpp del receptor con la distancia E-R, Vpp = f(d)
- ¿ Qué observación notoria se infiere a variar la distancia E-R ?
- ¿ Cuál señal uso para referencia de trigger ?
- Inferir el tipo de frente de onda



Recorrido extenso de d



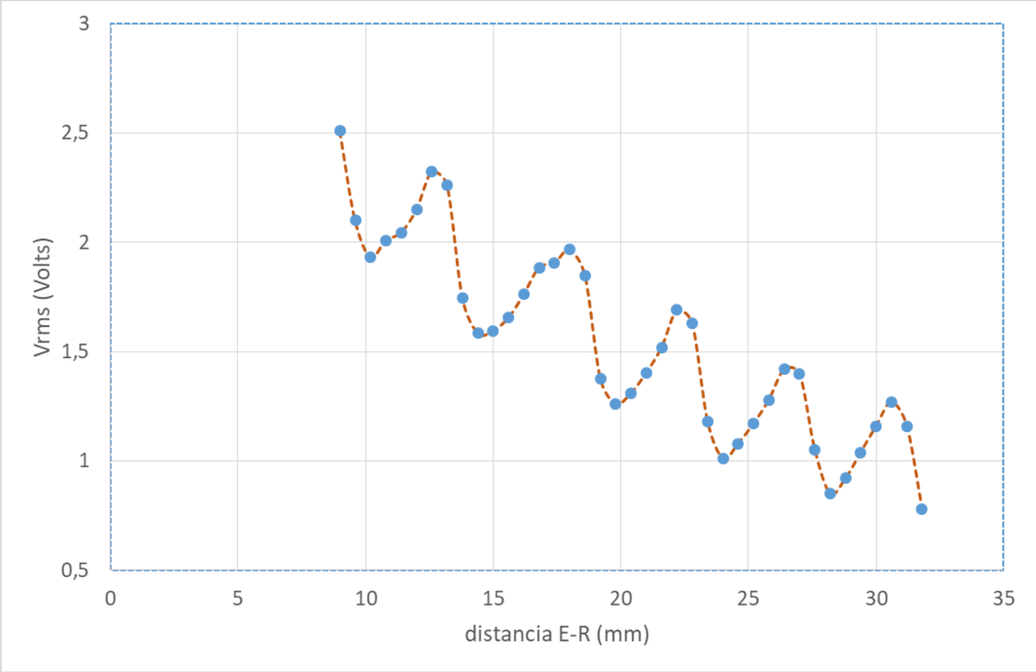




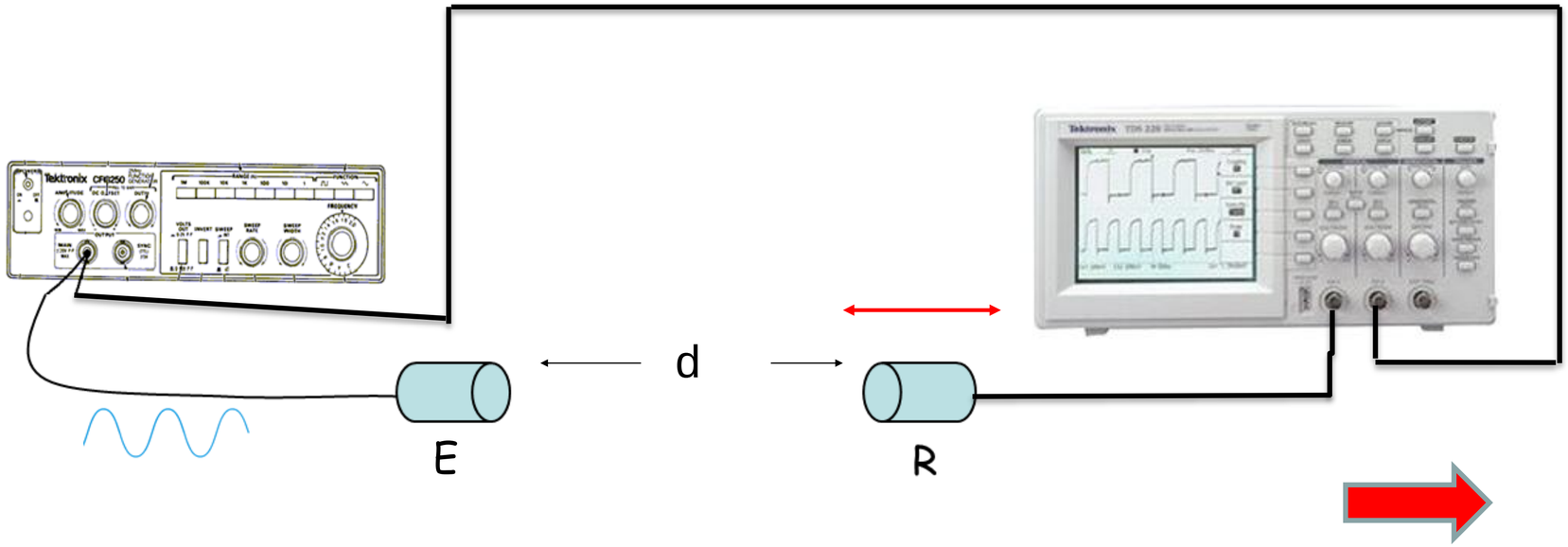
$$\Delta = d_1 - d$$

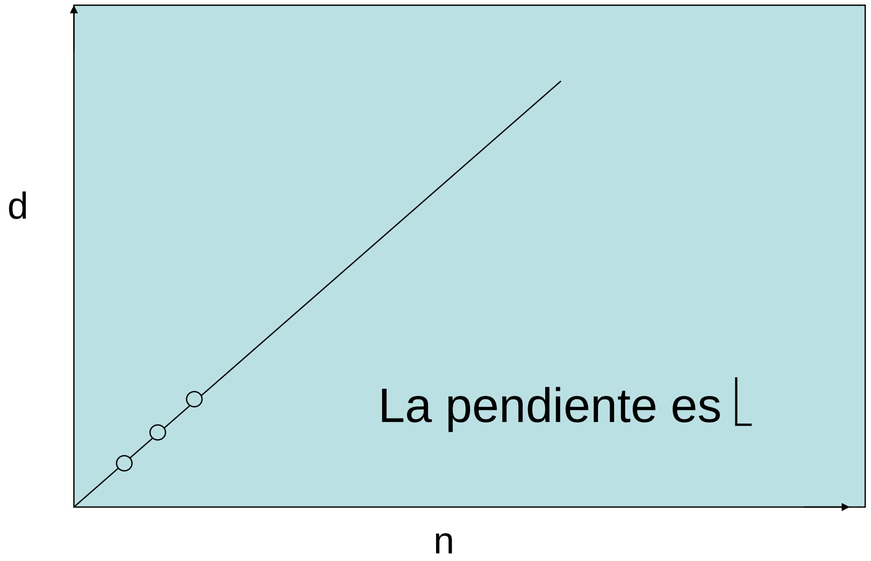
Error en d (cinta métrica)

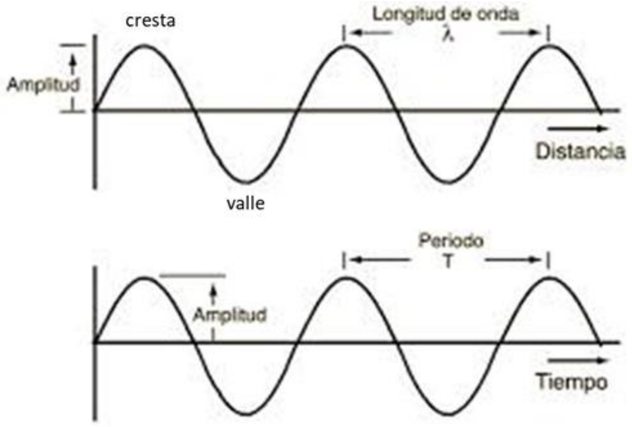
Recorrido muy pequeño de d

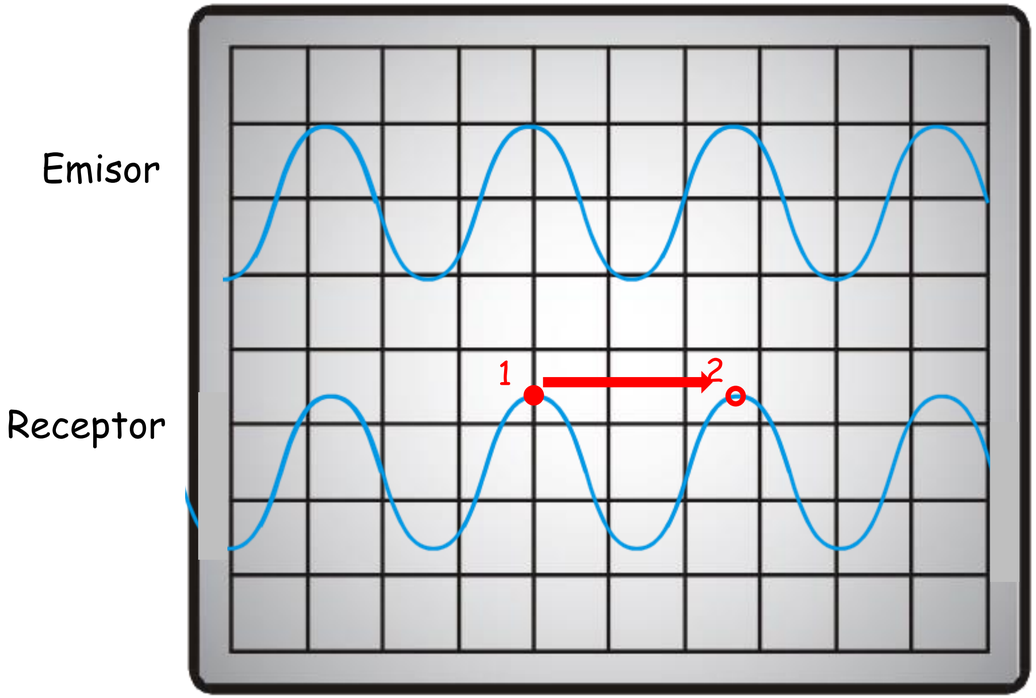


2. Estimación de la longitud de onda

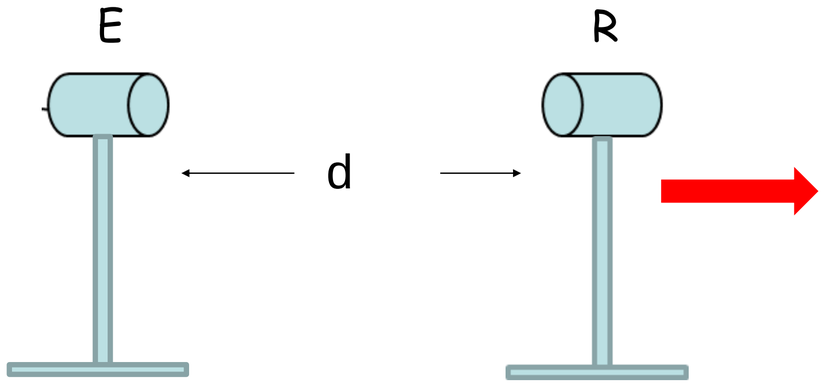




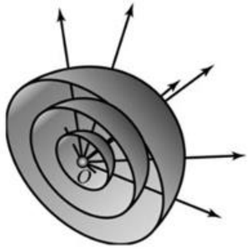




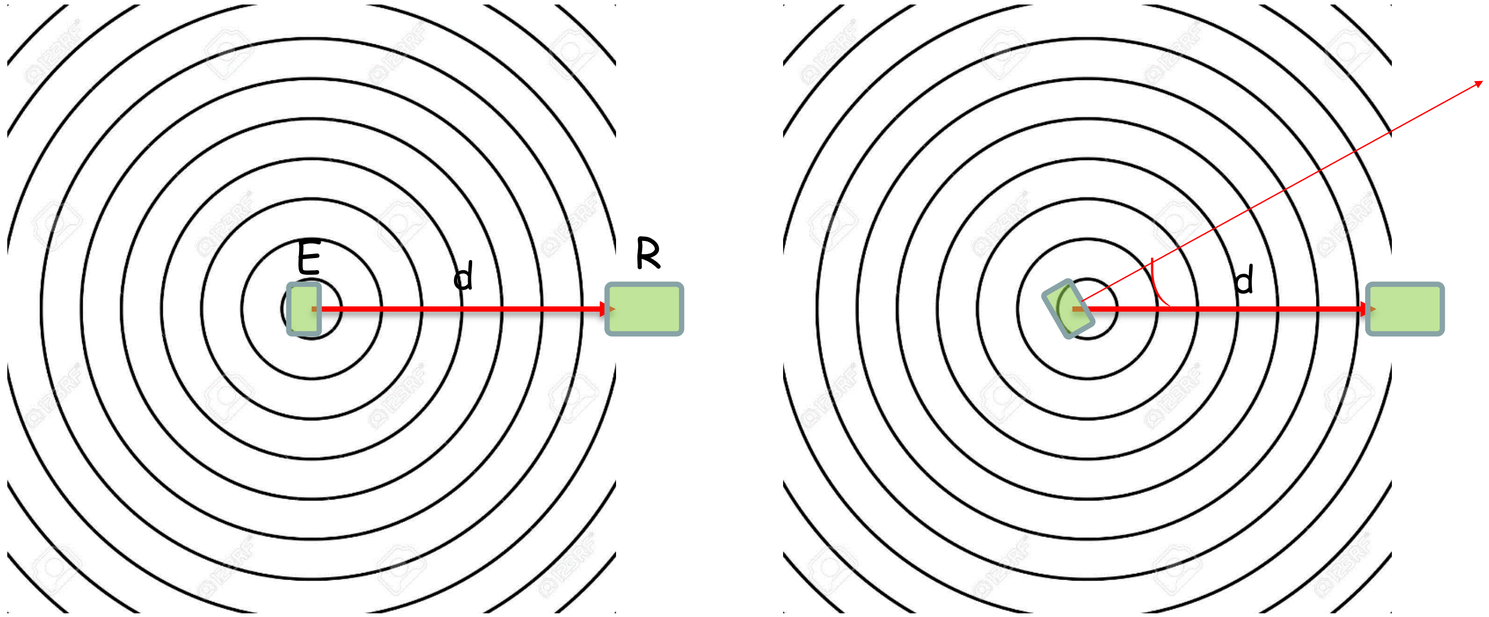
- Si se aleja el detector del emisor, cambia la distancia d.
- Además de una atenuación (si no fuese onda plana) se produce un desfasaje entre la onda emitida y la recibida.
- Se pondrán en fase en 2
- Cuando el punto 1 se ubica en la posición 2 se avanzó 1 en la distancia d



¿ Alcanza solamente con hacer una caracterización con la distancia y la longitud de onda ?

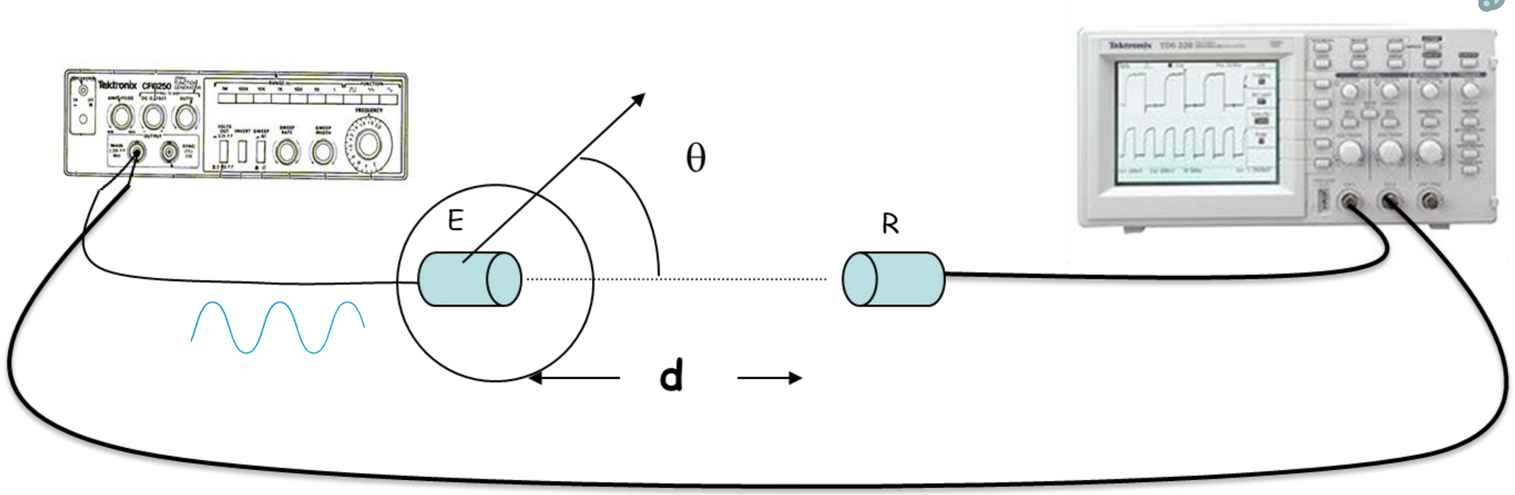


- Supongamos que el frente de ondas fuese esférico.
- Si ambos transductores están en el mismo plano.
- Se aplica una señal senoidal al emisor E.
- Para un frente de onda esférico, si se fija el receptor (R) a una distancia d del emisor (E) y se rota el emisor un ángulo ¿qué debería suceder con la señal detectada en el receptor (R) ?

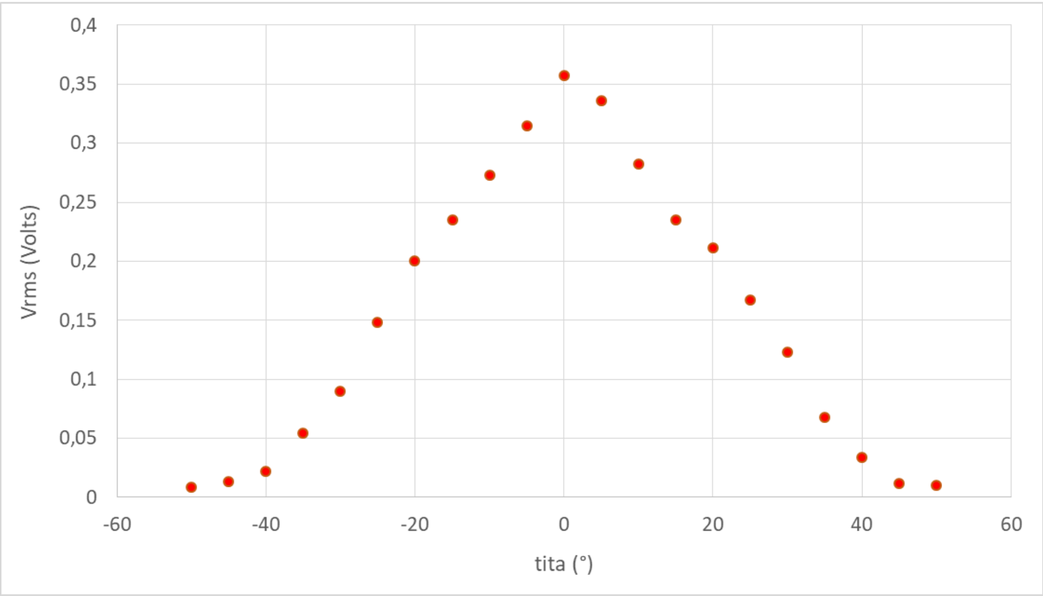


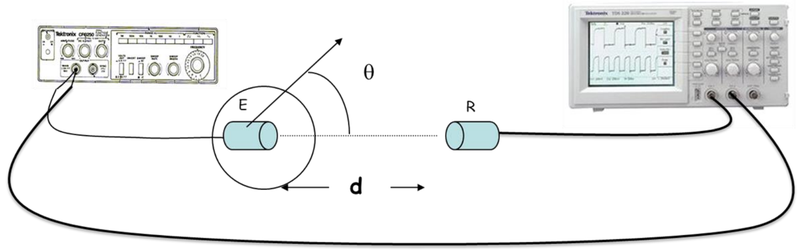
3. Dependencia de la amplitud y fase con el ángulo de emisión. (en el mismo plano)

¿Cómo hacer ahora esta experiencia?

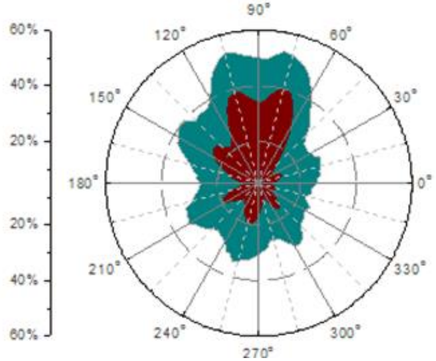


- ¿ Qué conviene medir ?
- Amplitud (Vpp) y fase cuando se rota el emisor un ángulo θ.
- Realizar mediciones entre -90° y 90°.

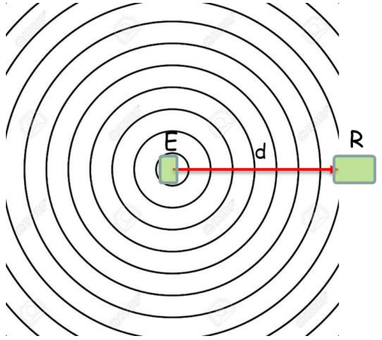


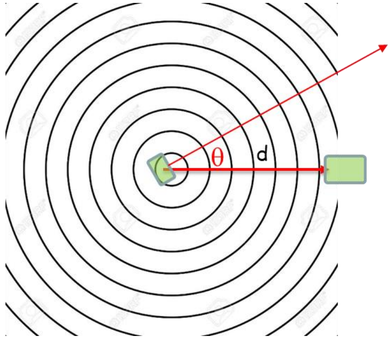


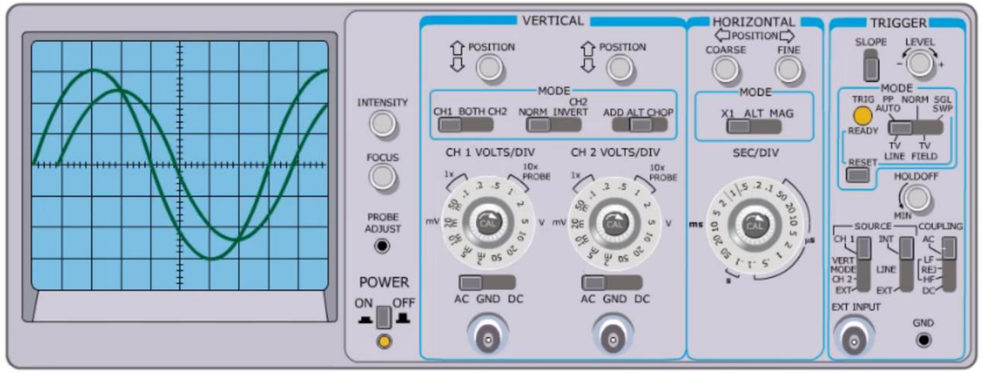
- Agregar errores
- Presentar Vpp vs θ como grafico polar.
- ¿ Que sucede si cambio d ?



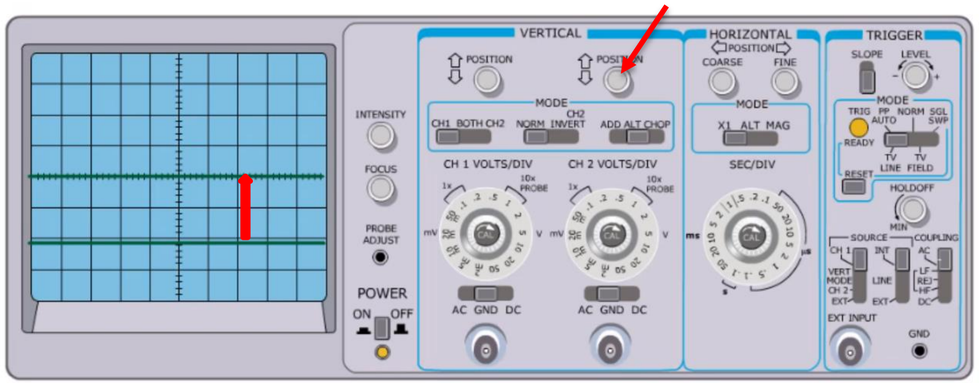
¿Cómo mido la fase?



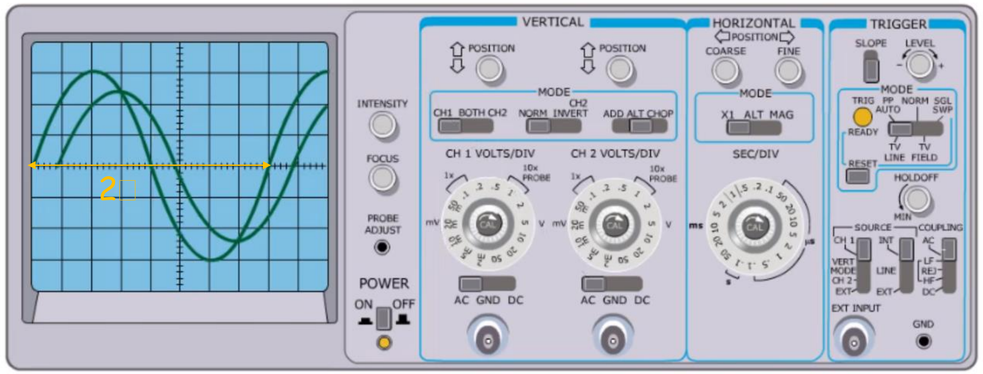




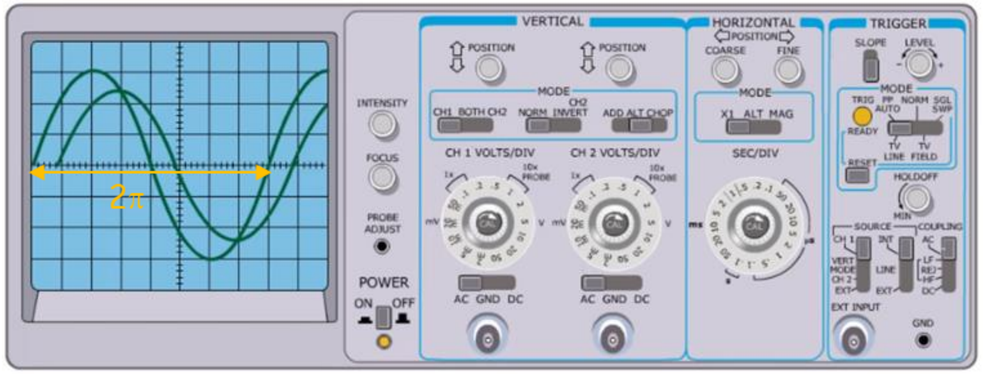
- Tenemos dos señales armónicas , una en el canal 1 y la otra en el canal 2.
- Por ej. , podrían ser el emisor y el receptor.
- Queremos medir su desfasaje.

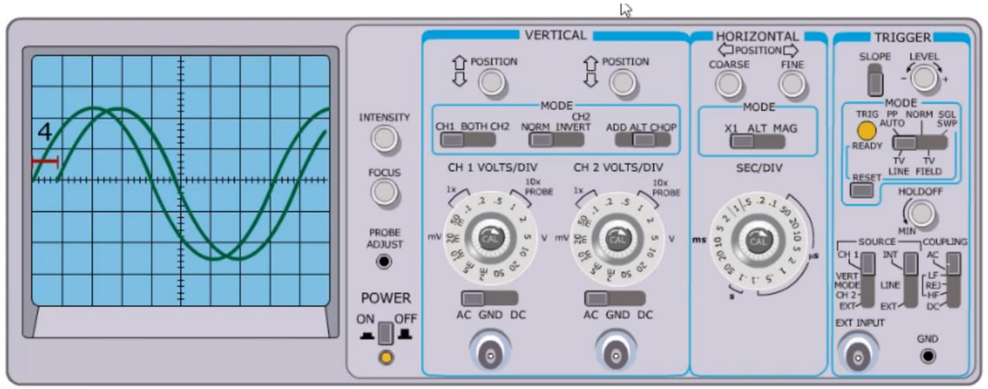


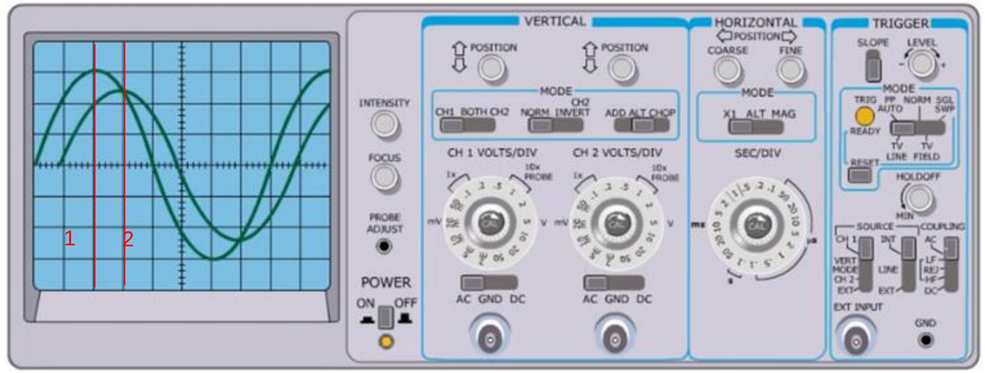
- Ponemos ambos canales a GRN
- Tomamos un canal como referencia y lo centramos
- Con la perilla de Posición Vertical llevamos la señal del canal 2 sobre la del canal 1.
- Seteamos el acopalmiento de ambos canales en AC (para eliminar componentes CC)



- Sobre la señal de referencia, se normaliza el periodo a 2□.
- Se lee la escala horizontal en s/div y se cuentan las divisiones del periodo normalizado.







- Sobre la señal de referencia, se normaliza el periodo a 2□.
- Se lee la escala horizontal en s/div y se cuentan las divisiones del periodo normalizado.
- En el ejemplo el periodo tiene 8,1 div

8,1 div = 2□

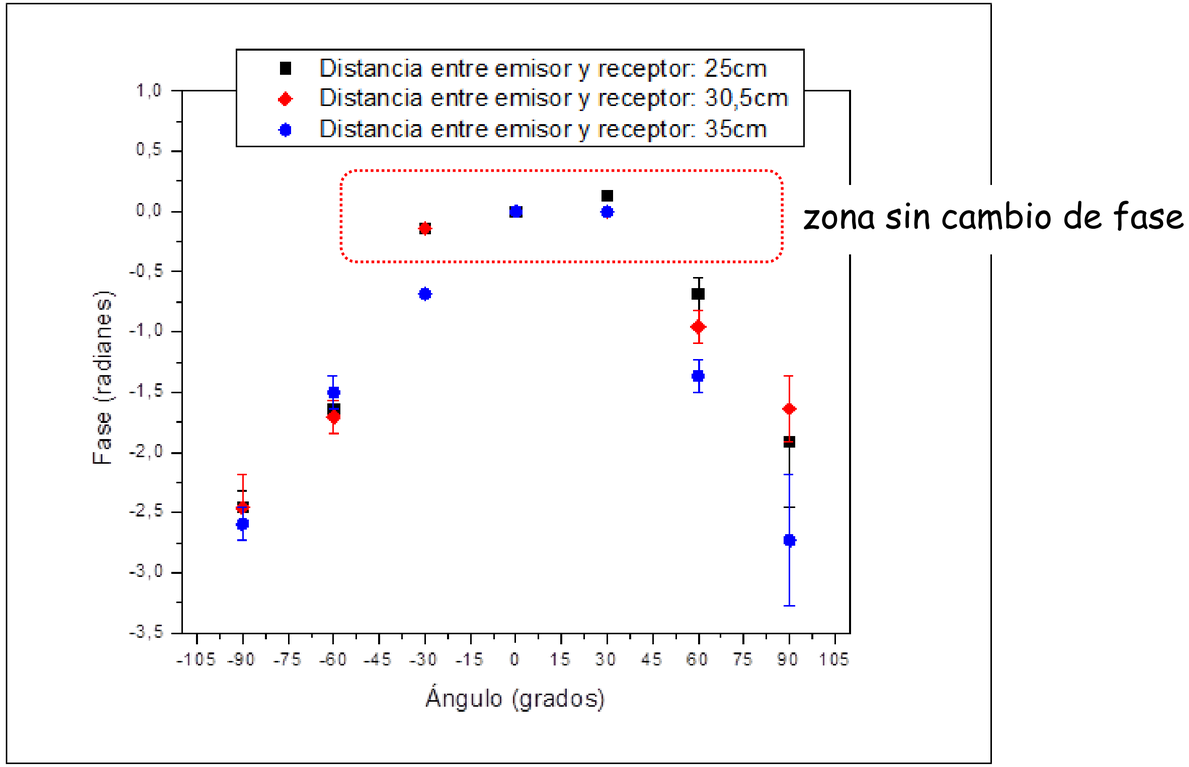
- El corrimiento (desfasaje \) entre la señal del canal 1 y 2 es 0,8 div (4 líneas)

\ = (2□/8,1 div) x 0,8

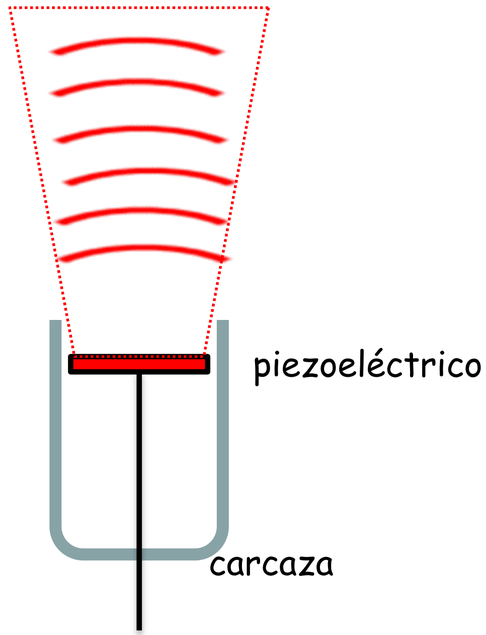
\ = 0,62 rad

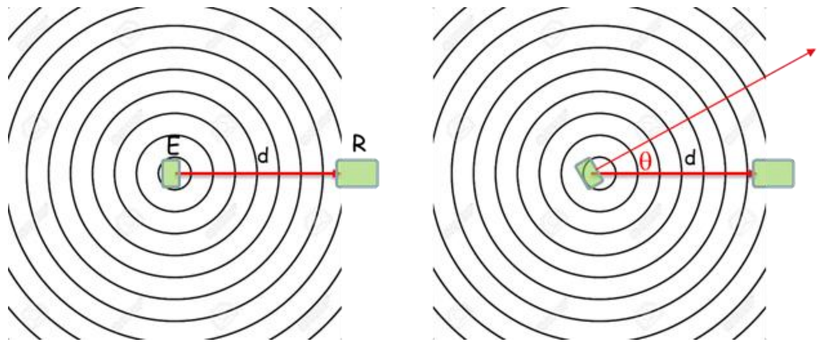
- El método mas rápido es con los cursores (opción tiempo).
- Con los cursores se mide el periodo de la señal de referencia y se normaliza a 2□
- Se ubican los cursores 1 y el 2 en las cresta adyacentes de las señales 1 y 2.
- Se lee ⊗t, diferencia de tiempos entre ambos cursores.

□ \ es el valor convertido a radianes



zona sin cambio de fase





4. Estimación de la velocidad del sonido

Relación de dispersión $c = f\lambda$

Velocidad de propagación del sonido en el medio

Frecuencia del sistema

Longitud de onda

- Calcular c, calculando su error. Se puede calcular para la frecuencia principal, la secundaria (54 kHz) y también par frecuencias entre +- 2kHz de la principal En todos los casos se debe calcular la longitud de onda correspondiente.
- Comparar con el valor de la velocidad del sonido que se presenta en la literatura. Variación con condiciones atmosféricas.
- ¿El medio es dispersivo o no dispersivo ? ¿ Cómo lo comprobarían ?

En base a las experiencia realizadas :

¿Cómo es la onda emitida ?

¿Se puede inferir algo de los resultados?

Estimación de la velocidad de propagación del sonido c en el medio.