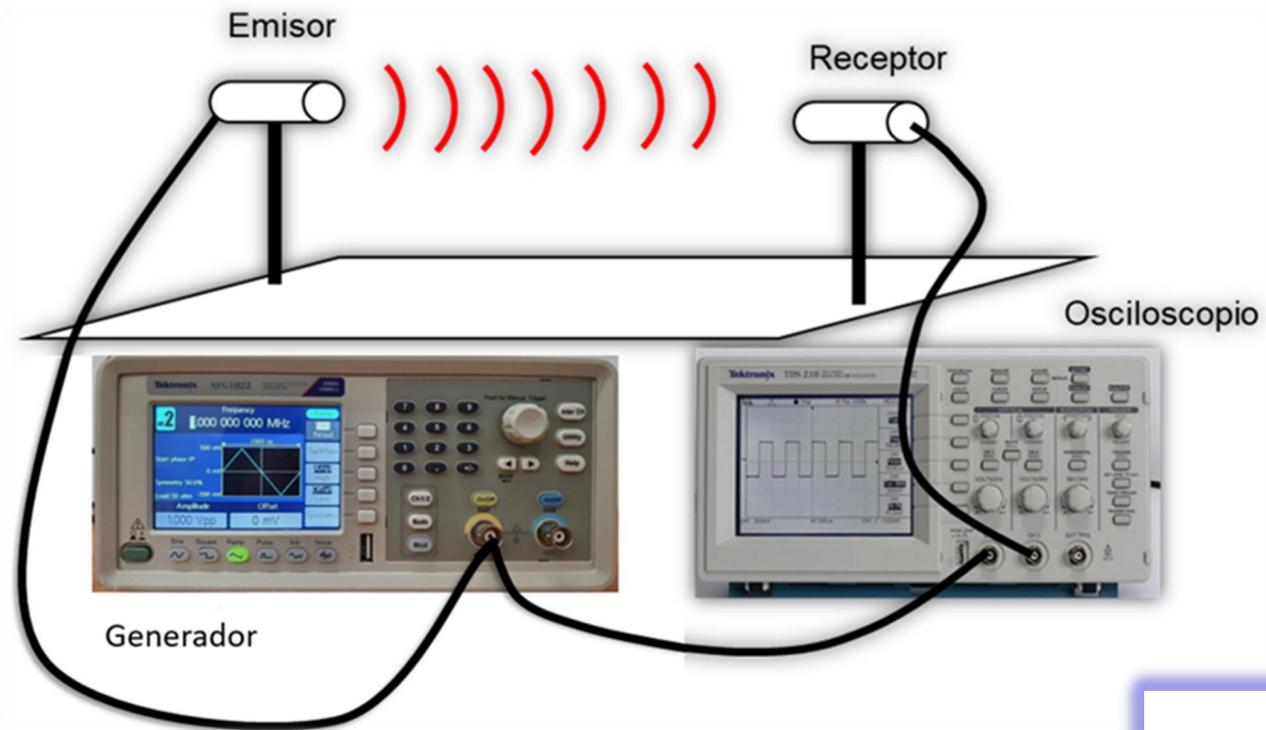
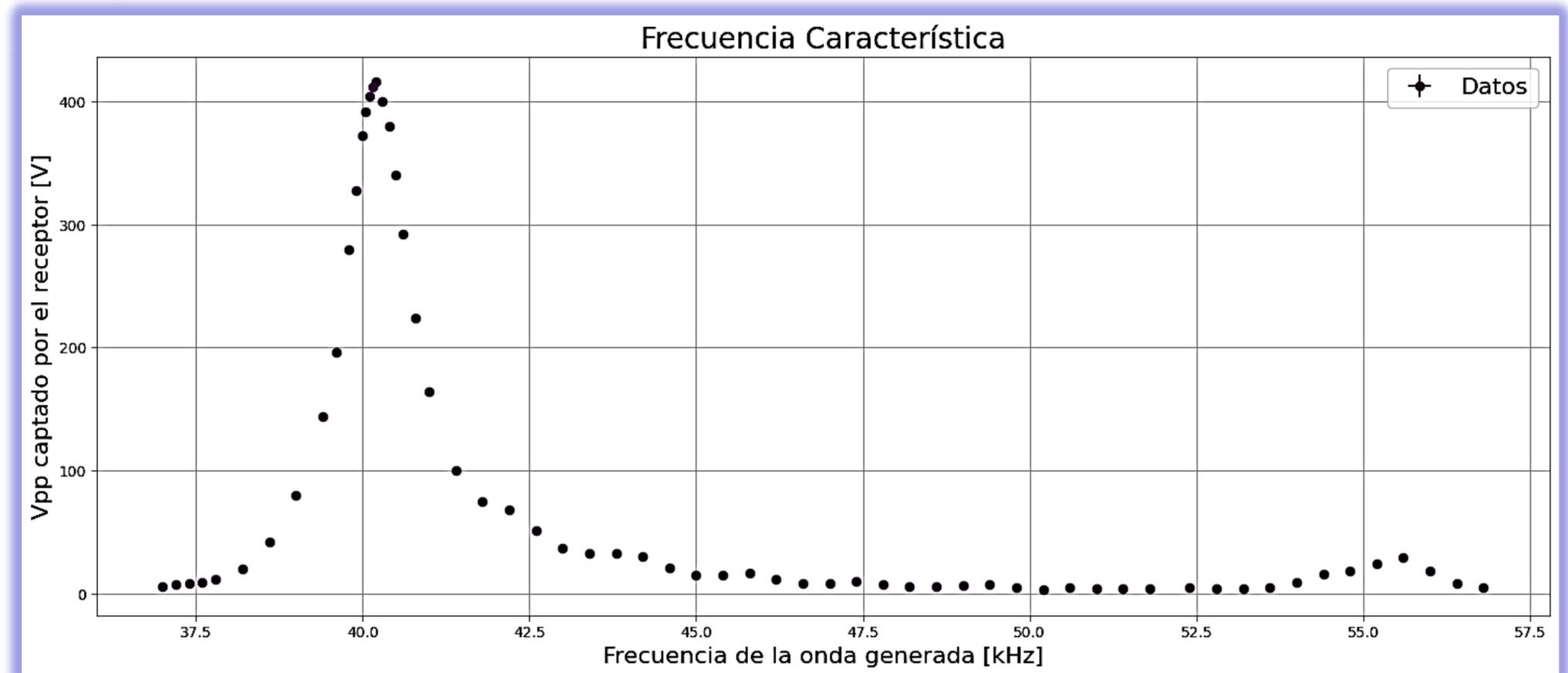


Emisor - receptor en rango de ultrasonido



- 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.



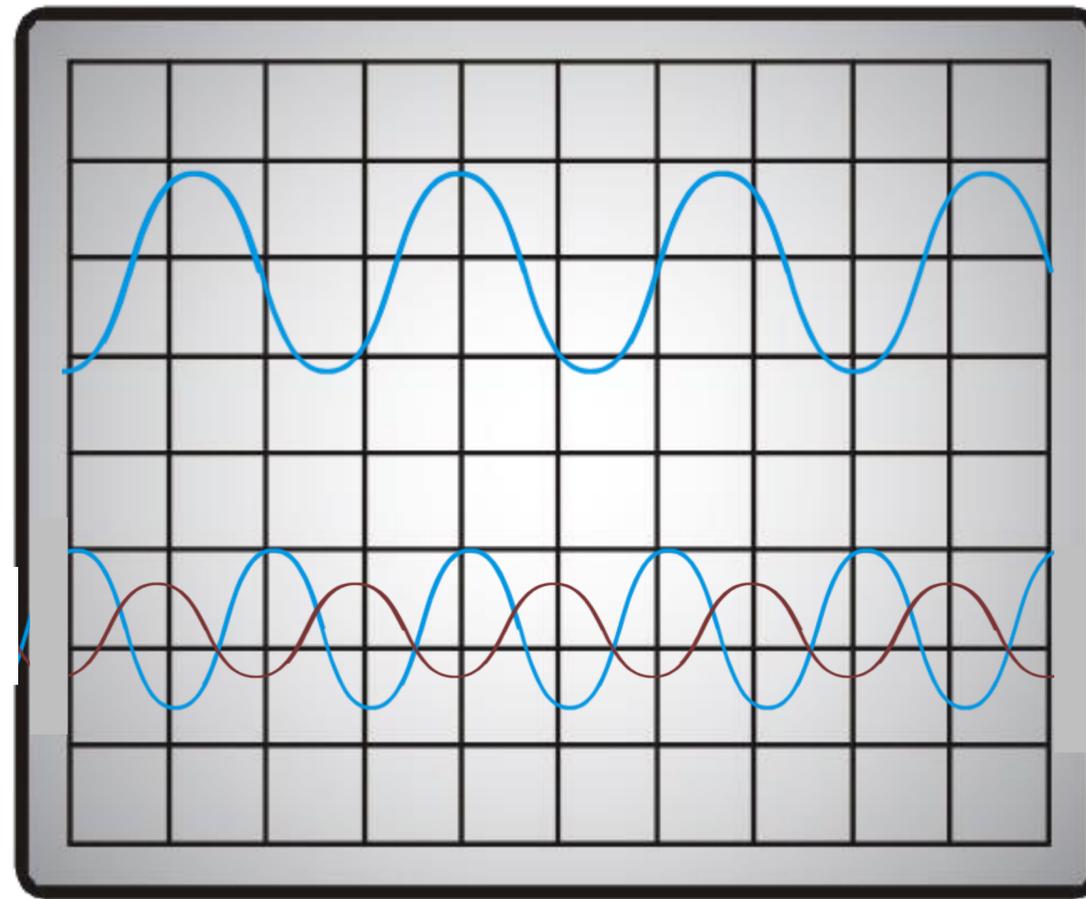
Datos Grupo 4

Emisor

f_0

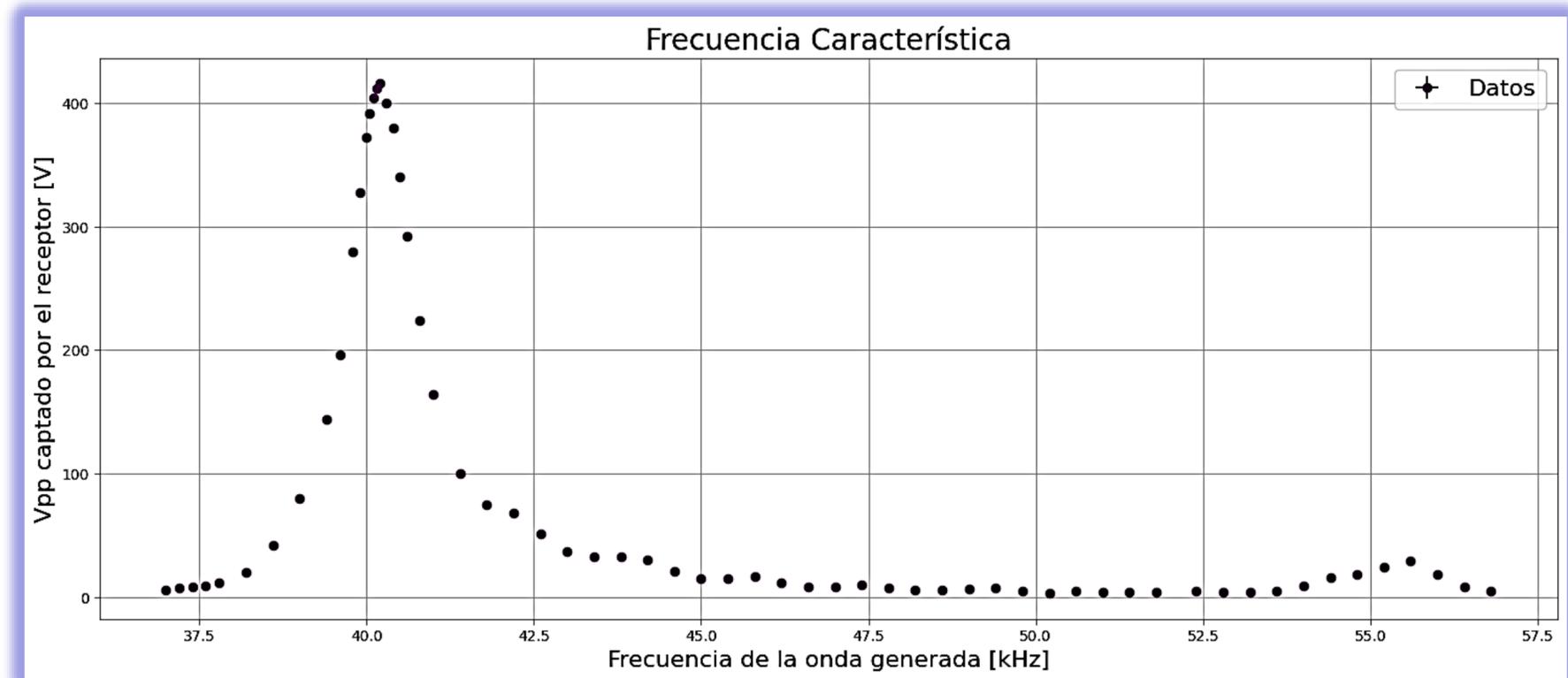
Receptor

$f \neq f_0$



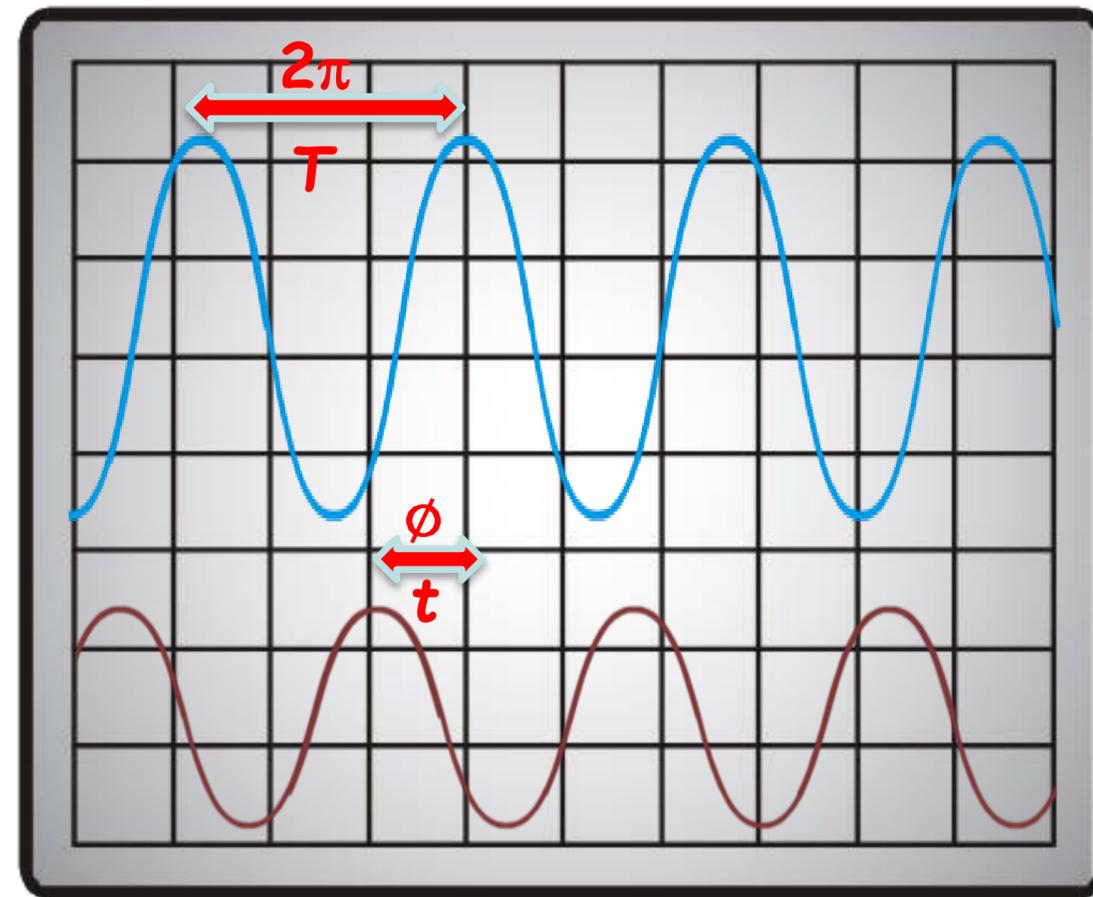
- En la frecuencia característica f_0 se observa una señal en el receptor.
- Si varía la frecuencia del emisor alrededor de la frecuencia característica, se reduce la señal en que se detecta en receptor.
- Se puede construir un gráfico de V_{pp} vs frecuencia

- ¿ Se produce un desfase ϕ entre la onda emitida y la recibida ?
- ¿ Cómo les parece que se podría medir ?



Emisor

f_0



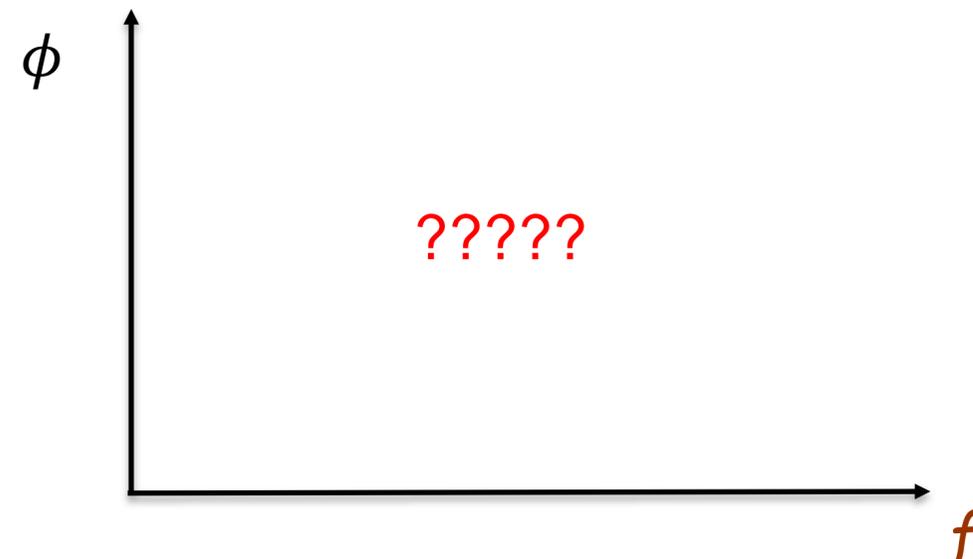
Receptor

$f \neq f_0$

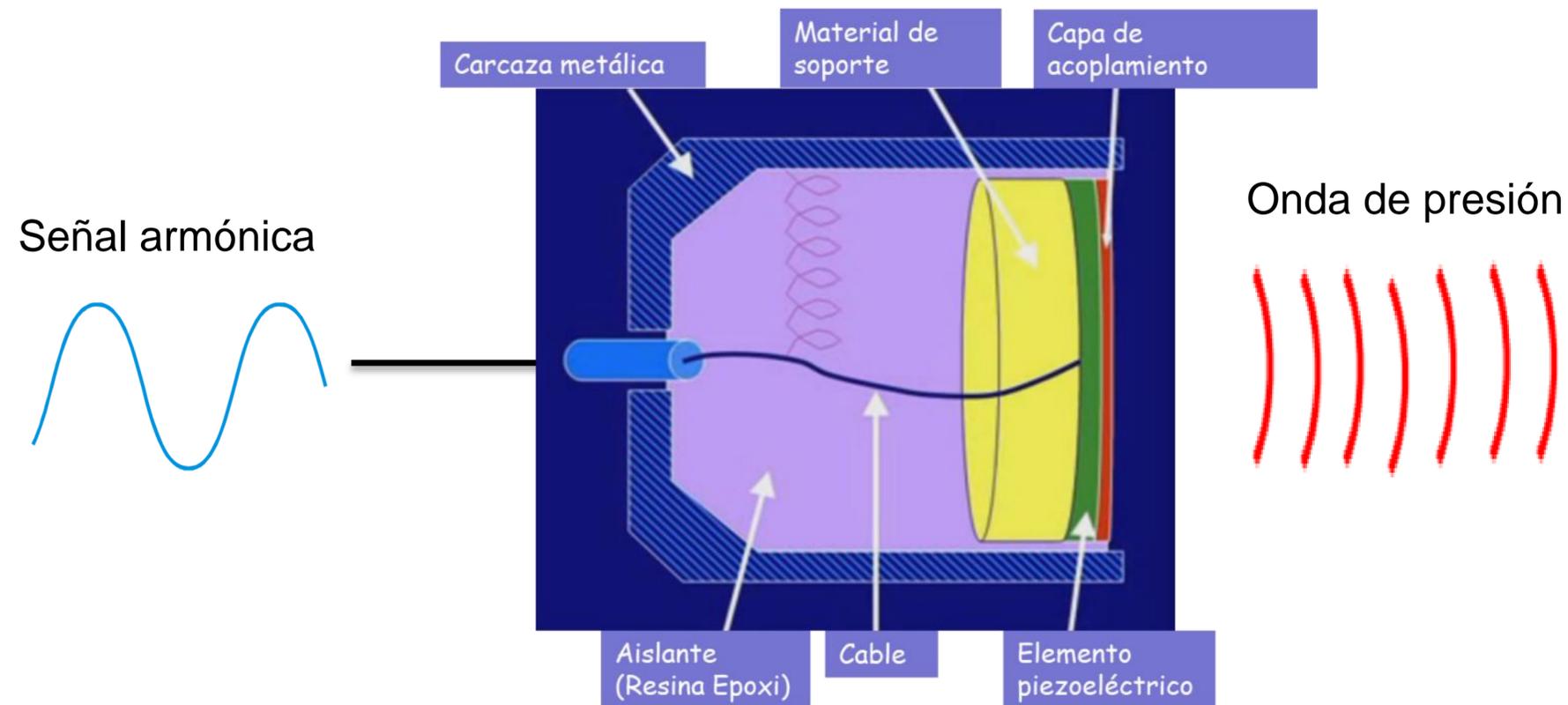
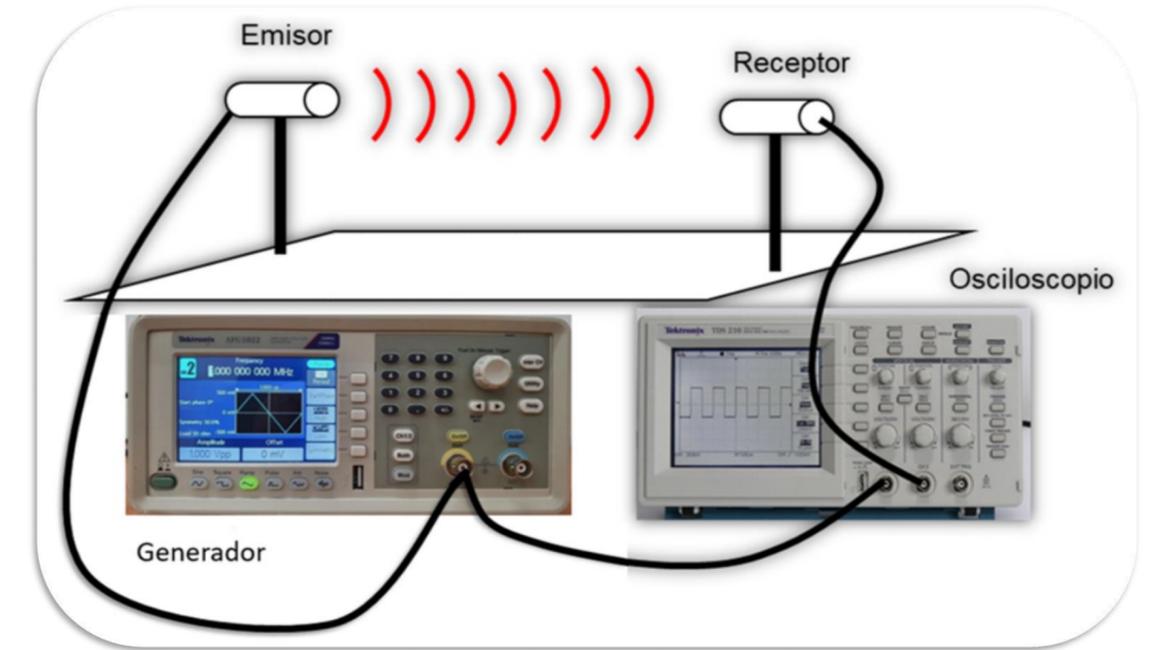
- ✓ En una señal armónica, la onda se repite al recorrer un periodo T de la misma. Se repite la señal cada 2π .
- ✓ Se puede normalizar el periodo T a 2π .
- ✓ El corrimiento temporal entre la onda de referencia (emisor) y la del receptor es t .

- ✓ Se puede medir el corrimiento de fase ϕ respecto de la onda que se mide en el receptor respecto de la onda que llega al emisor en función de la frecuencia de la onda

$$\phi = \frac{t}{T} 2\pi$$



- 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

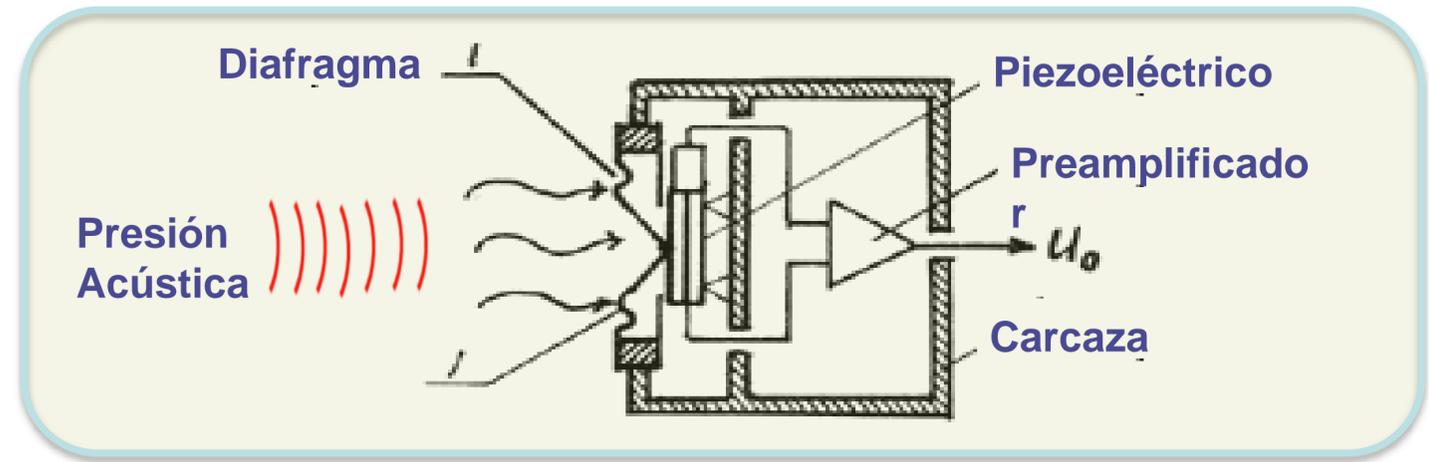
$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0$$

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

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



$\gamma < \omega_o$	$x = Ae^{-\gamma \frac{t}{2}} \cos(\omega t + \alpha)$	$\omega^2 = \omega_o^2 - \frac{\gamma^2}{4}$
$\gamma = \omega_o$	$x = (A + Bt)e^{-\gamma \frac{t}{2}}$	
$\gamma > \omega_o$	$x = Ae^{-\gamma \frac{t}{2}} \sinh(\omega t + \alpha)$	



Osc. forzado amortiguado

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

$$x = x_{hom}(t) + x_{part}(t)$$

$$x = x_{hom}(t) + A_p \cos(\omega t + \alpha)$$

$$\downarrow$$

$$x_{hom}(t \gg 1) \rightarrow 0$$

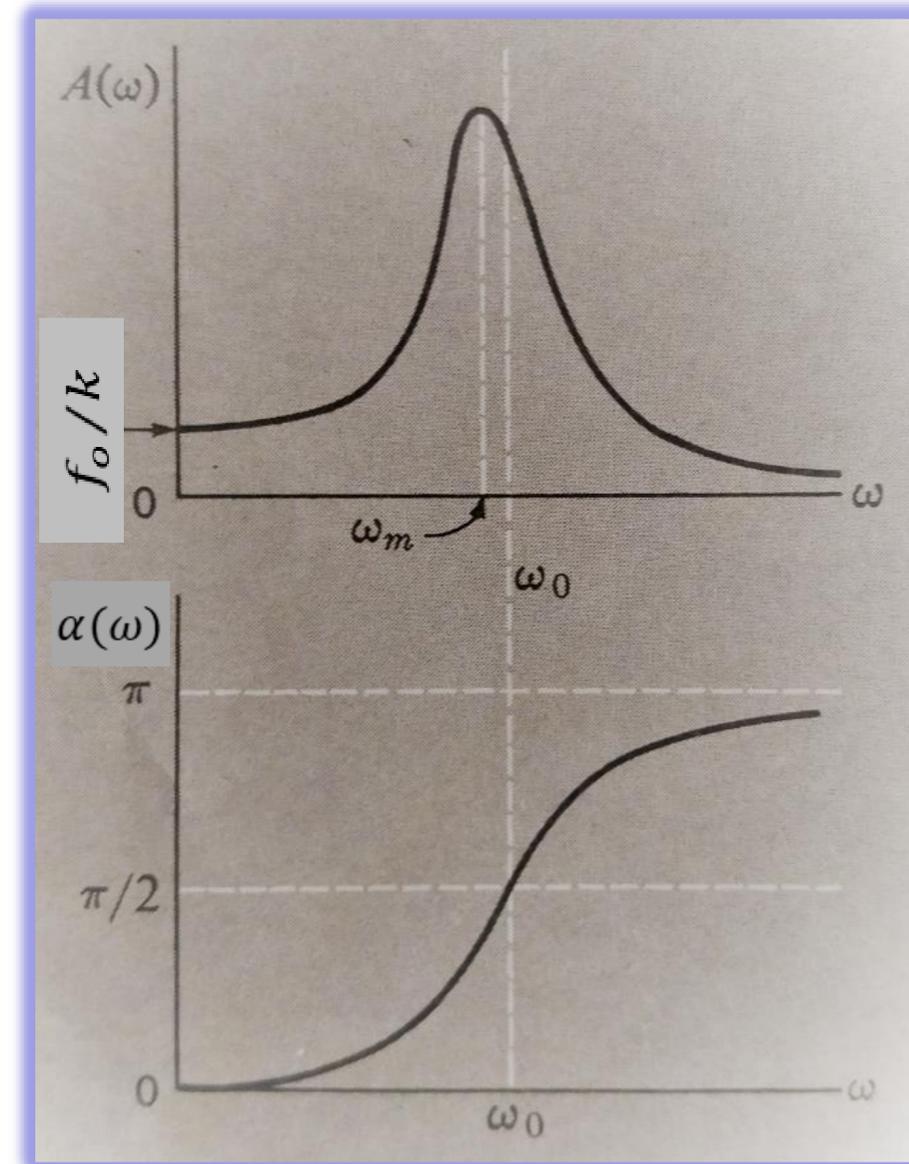
$$\left\{ \begin{array}{l} A_p = \frac{f_o/m}{[(\omega_o^2 - \omega^2)^2 + (\gamma\omega)^2]^{1/2}} \\ \alpha = \arctg \frac{\gamma\omega}{\omega_o^2 - \omega^2} \end{array} \right.$$

¿ 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 ?

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



Podemos ajustar la campana de resonancia obtenida al modelo del oscilador forzado amortiguado y obtener los parámetros del modelo.

$$|x_1(\omega)| = A \frac{1}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega\gamma)^2}}$$

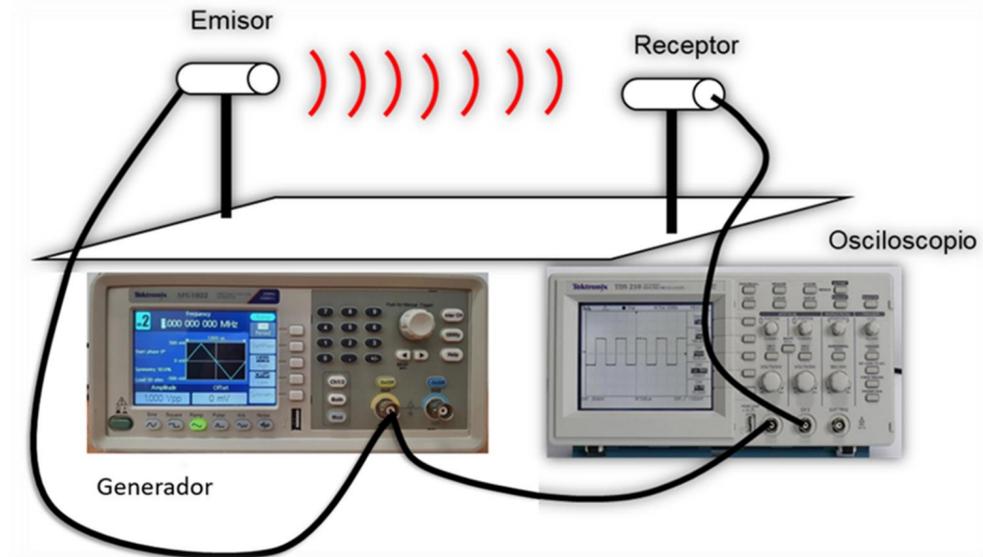
Planteamos la ecuación en el piezoeléctrico del receptor donde se lo fuerza con

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

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

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

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



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

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

Si los piezoeléctricos de emisor y receptor son iguales

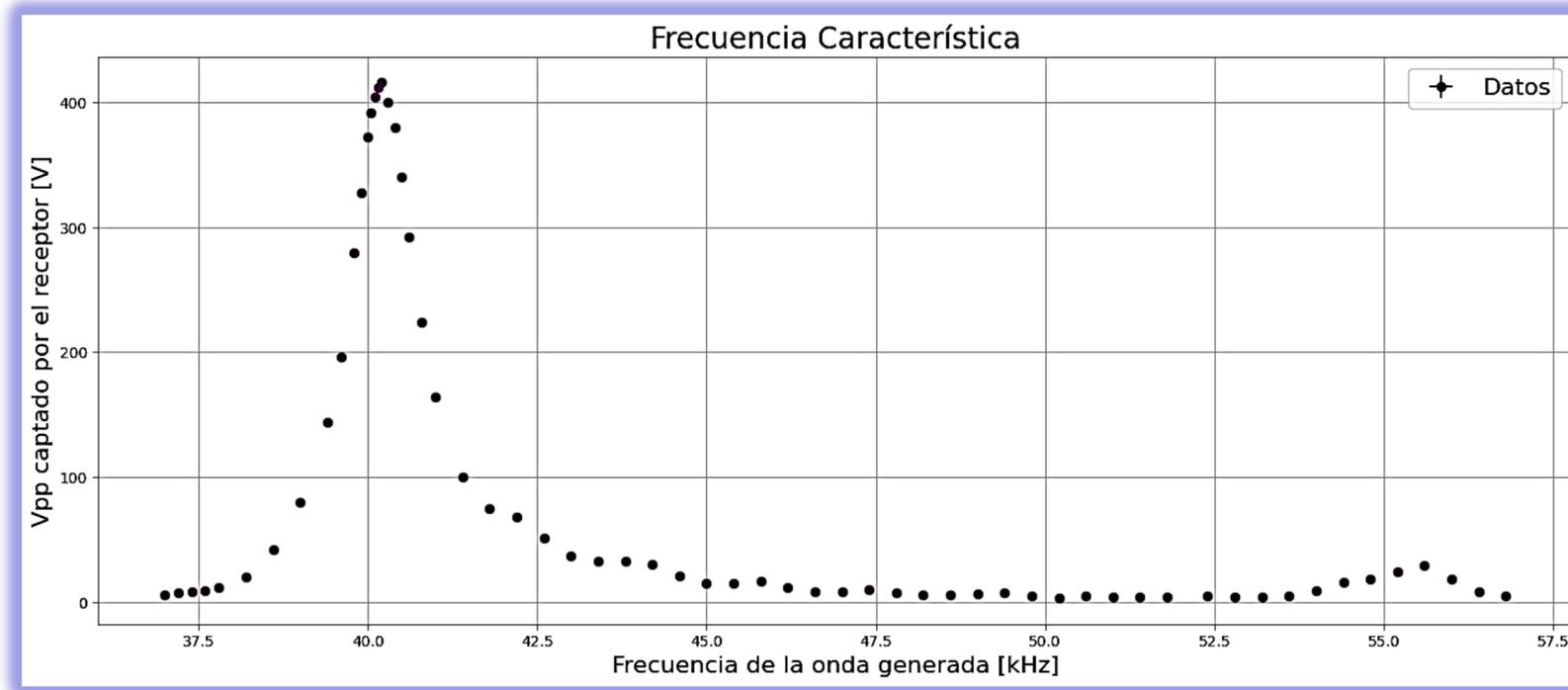
$$\left. \begin{aligned} \omega_{o1} &= \omega_{o2} = \omega_o \\ \gamma_1 &= \gamma_2 = \gamma \end{aligned} \right\}$$



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

Caracterización temporal del sistema Emisor - Receptor

- Armar la configuración experimental de la clase pasada cuando se midió la campana de resonancia.
- Alimentar el emisor con la misma onda senoidal que en esa experiencia.



- Medir el desfase ϕ para frecuencia en el entorno de la frecuencia característica (f_0) del sistema en un intervalo $[f_0 - 2 \text{ kHz} ; f_0 + 2 \text{ kHz}]$.
- Presentar un gráfico ϕ vs frecuencia de la onda aplicada al emisor.

- Para el informe :

- Analizar si los datos experimentales V_{pp} vs frecuencia ajustan al modelo mecánico presentado para el este sistema Emisor-Receptor.

$$A_p = \frac{f_0/m}{[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\gamma\omega)^2]^{1/2}}$$

Evaluar los parámetros del modelo

Caracterización espacial del frente de onda

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

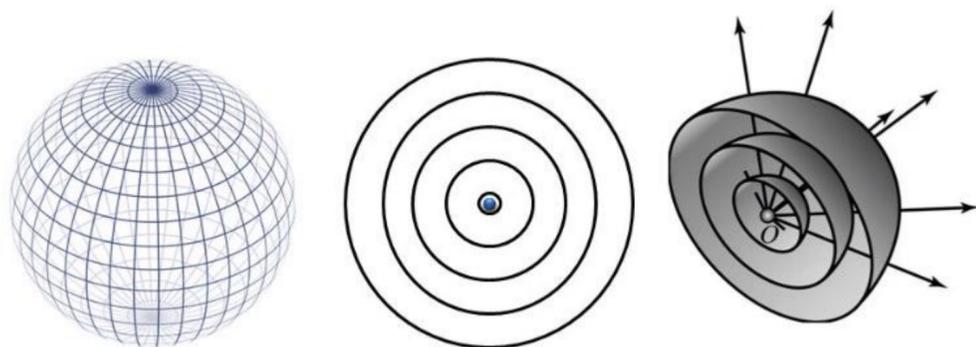
$$\psi(r, t) = A(r) \text{sen}(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \phi)$$

$$k = 2\pi/\lambda$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$$

$$v = f\lambda$$

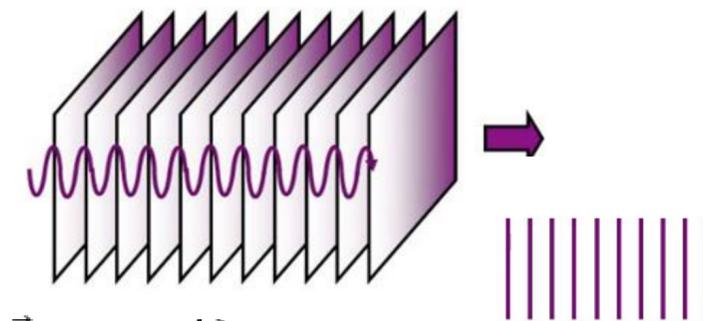
- La representación del frente de ondas de **una onda esférica** es de cáscaras esféricas concéntricas (en el foco/fuente puntual) separadas por una longitud de onda λ .
- Esos planos son perpendiculares al radio de las cáscaras esféricas.



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

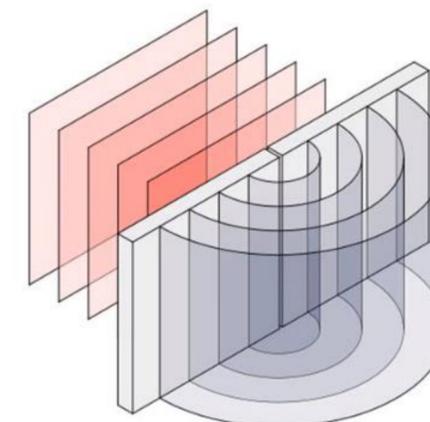
- **Frente de onda**: El lugar geométrico que une todos los puntos que, en un instante dado, se encuentran en idéntico estado de vibración: **tienen igual fase**.

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



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

- 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

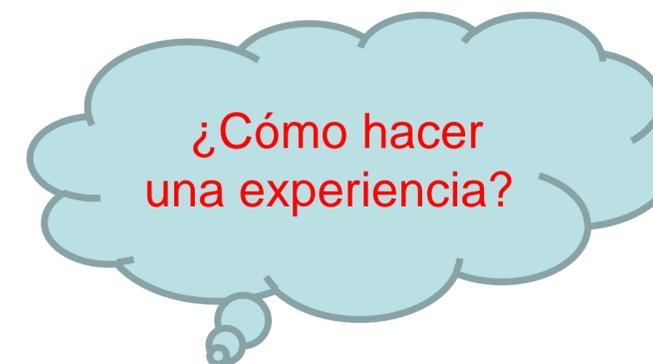
¿Cómo es espacialmente la onda emitida?

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

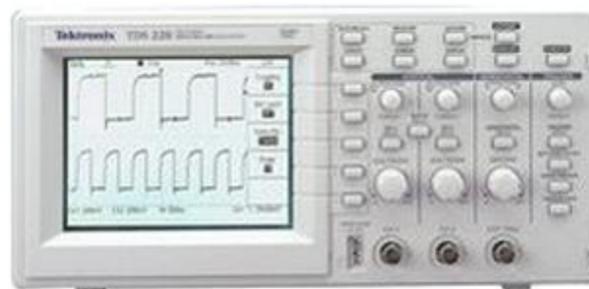


- esférica → La amplitud $\sim 1/r$
- cilíndrica → La amplitud $\sim 1/r^{0.5}$
- plana → La amplitud no depende de r
- ¿otra forma?

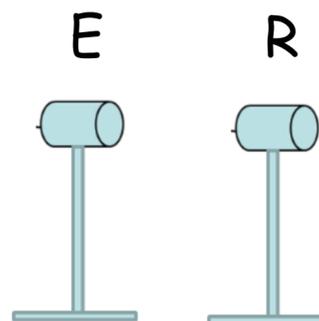
1. Dependencia de la amplitud con la distancia



Generador de funciones



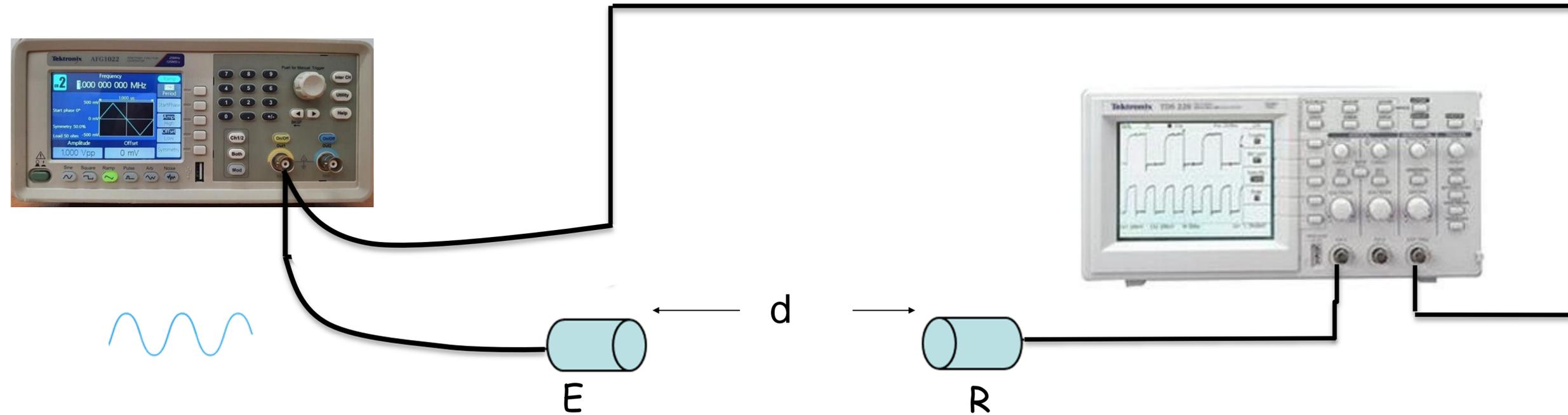
Osciloscopio



Transductores de ultrasonido

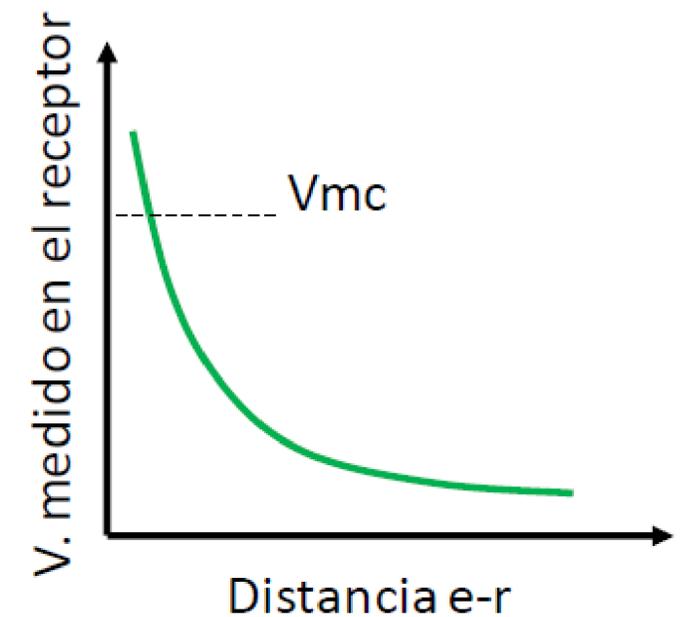
¿Como los conectarían?

1. Dependencia de la amplitud con la distancia

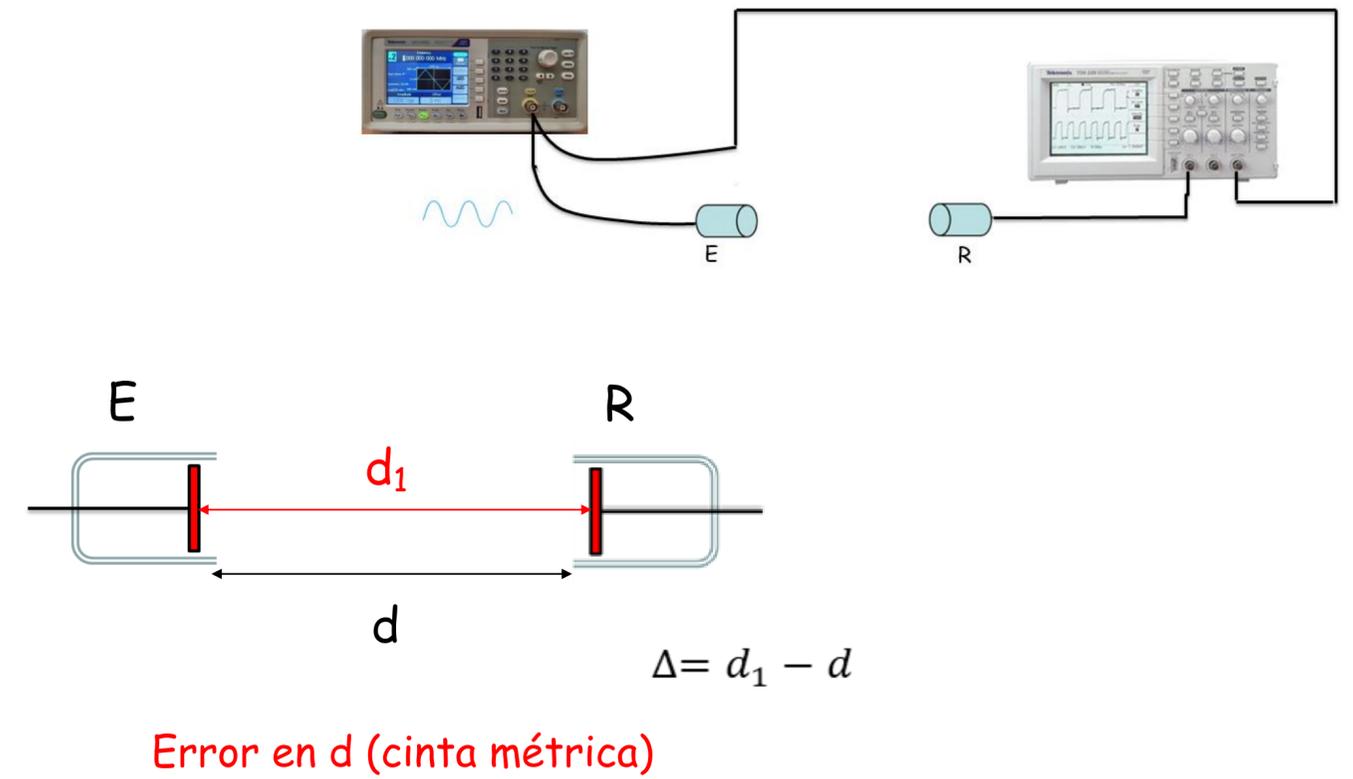
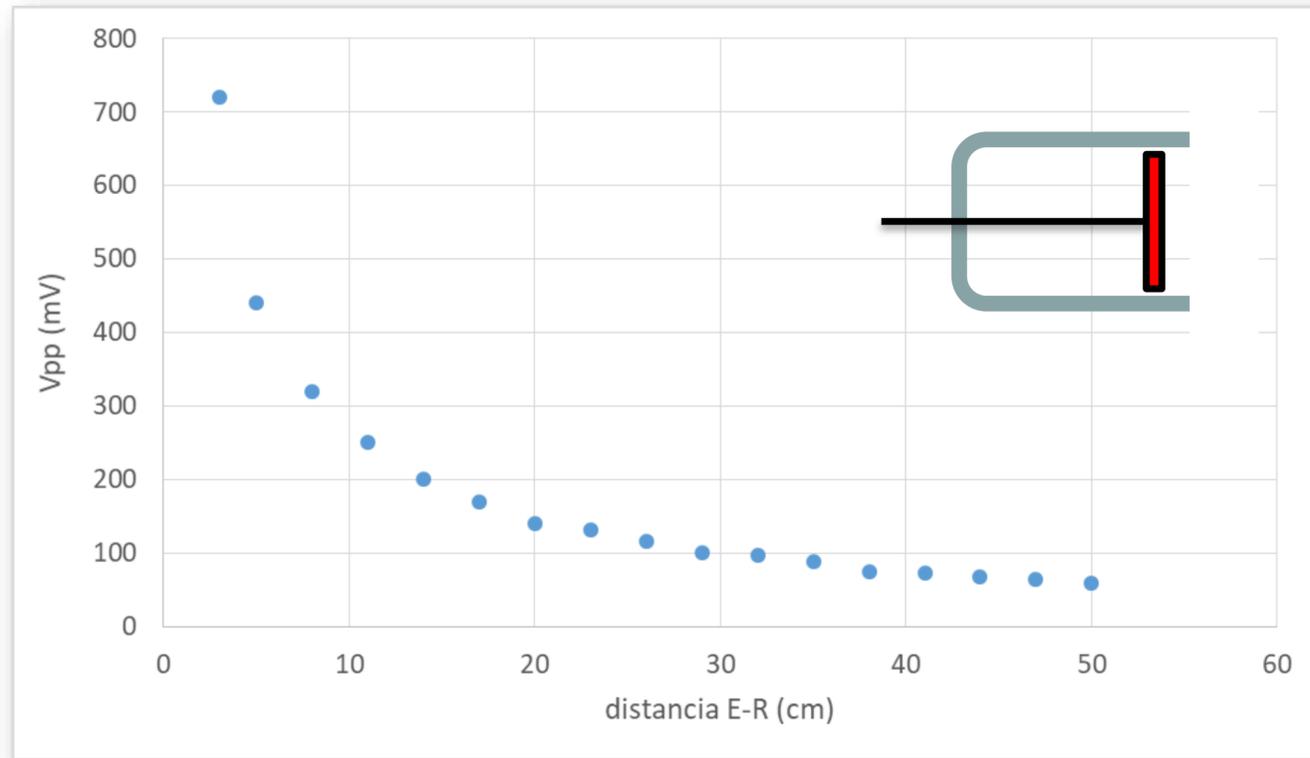


¿ En que condiciones me conviene trabajar?

- 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,
 $V_{pp} = f(d)$
 $d [5 \text{ cm} - 50 \text{ cm}]$
- ¿ 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

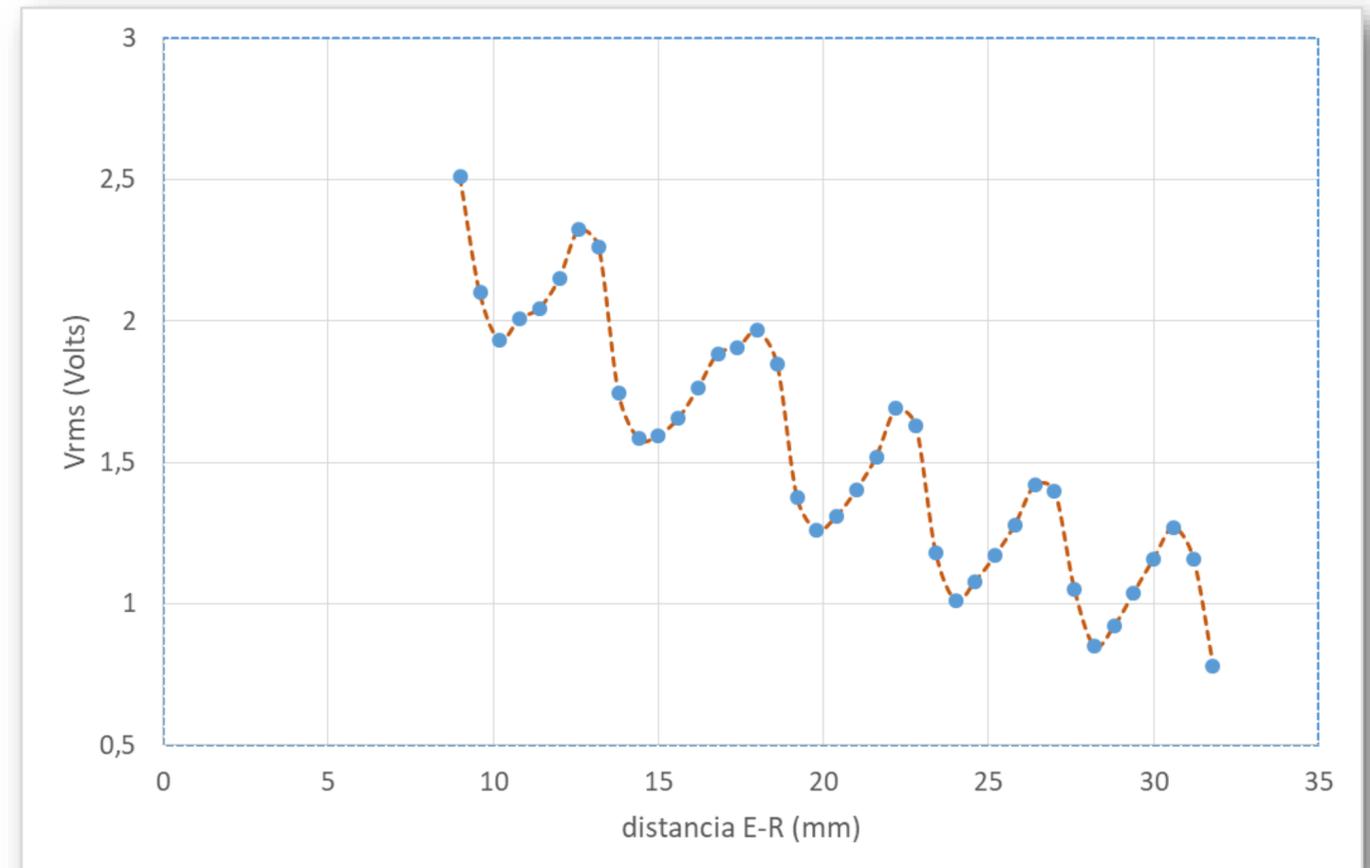


Recorrido extenso de d

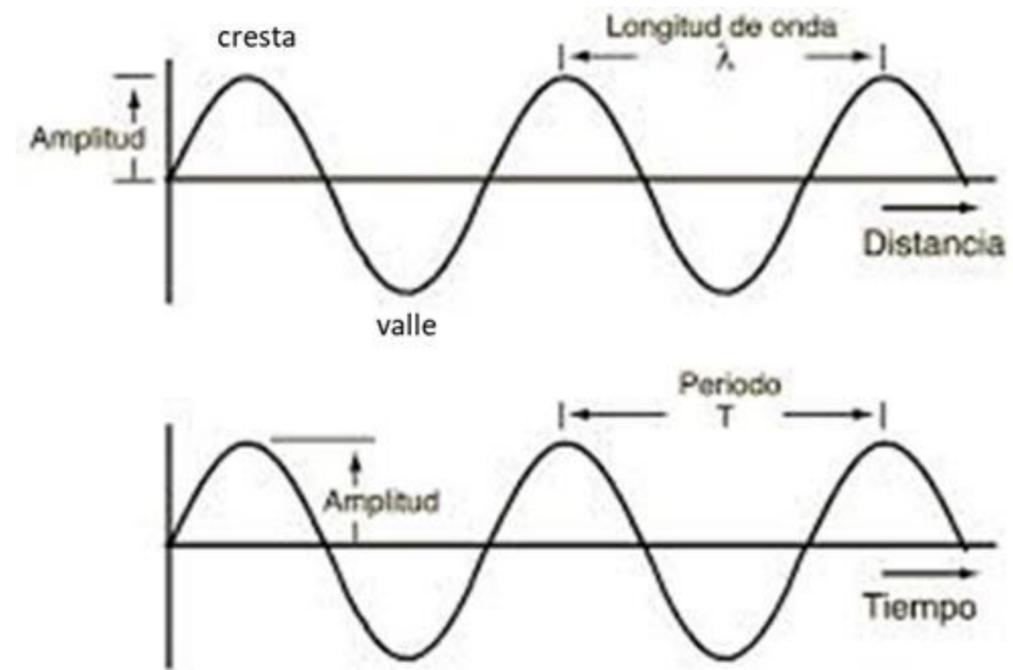
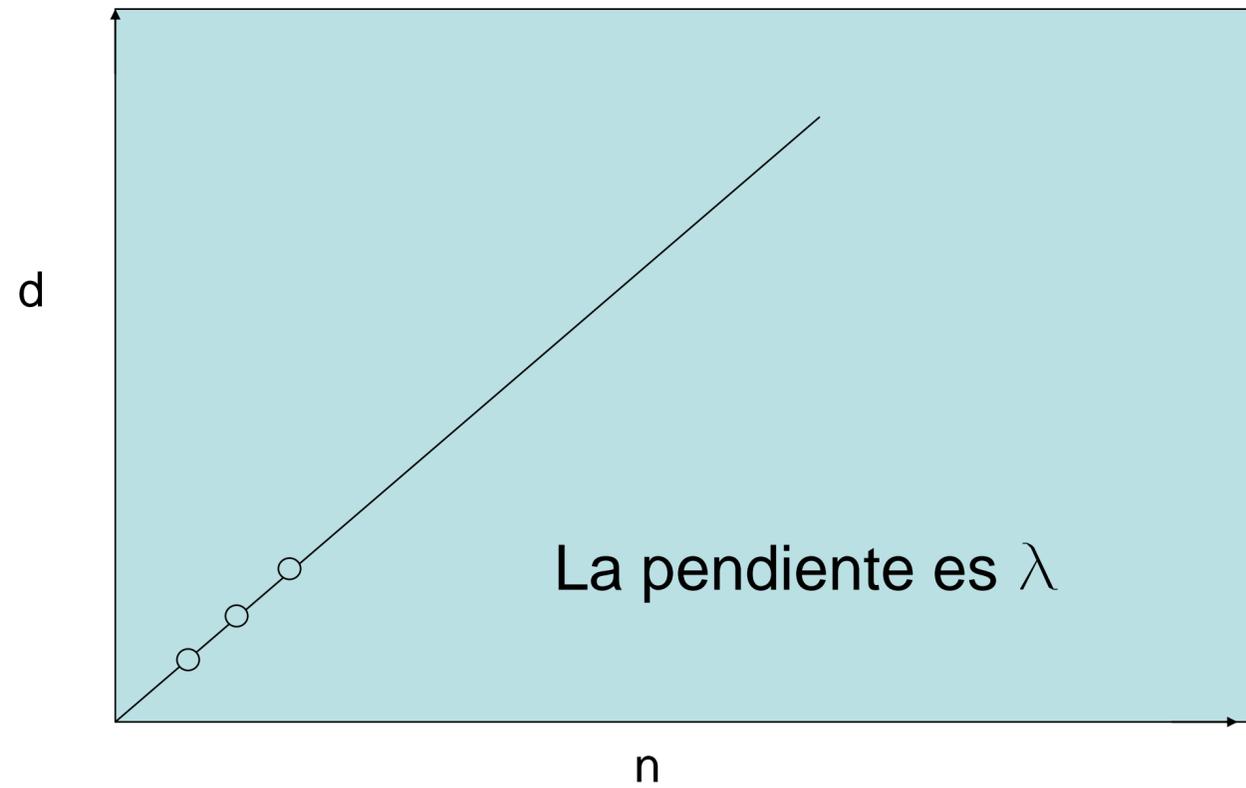
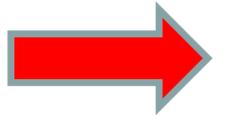
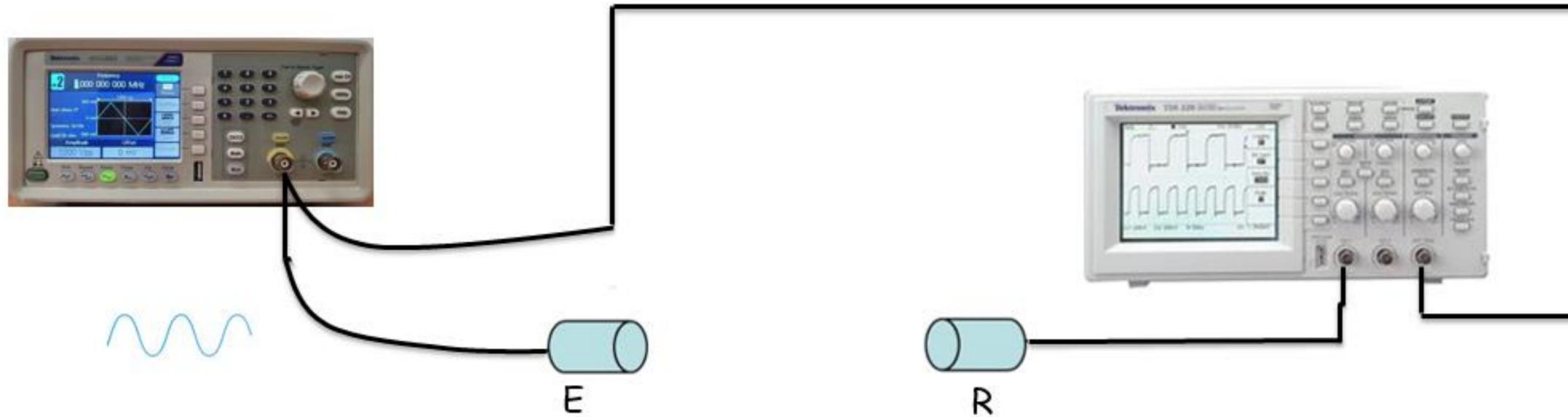


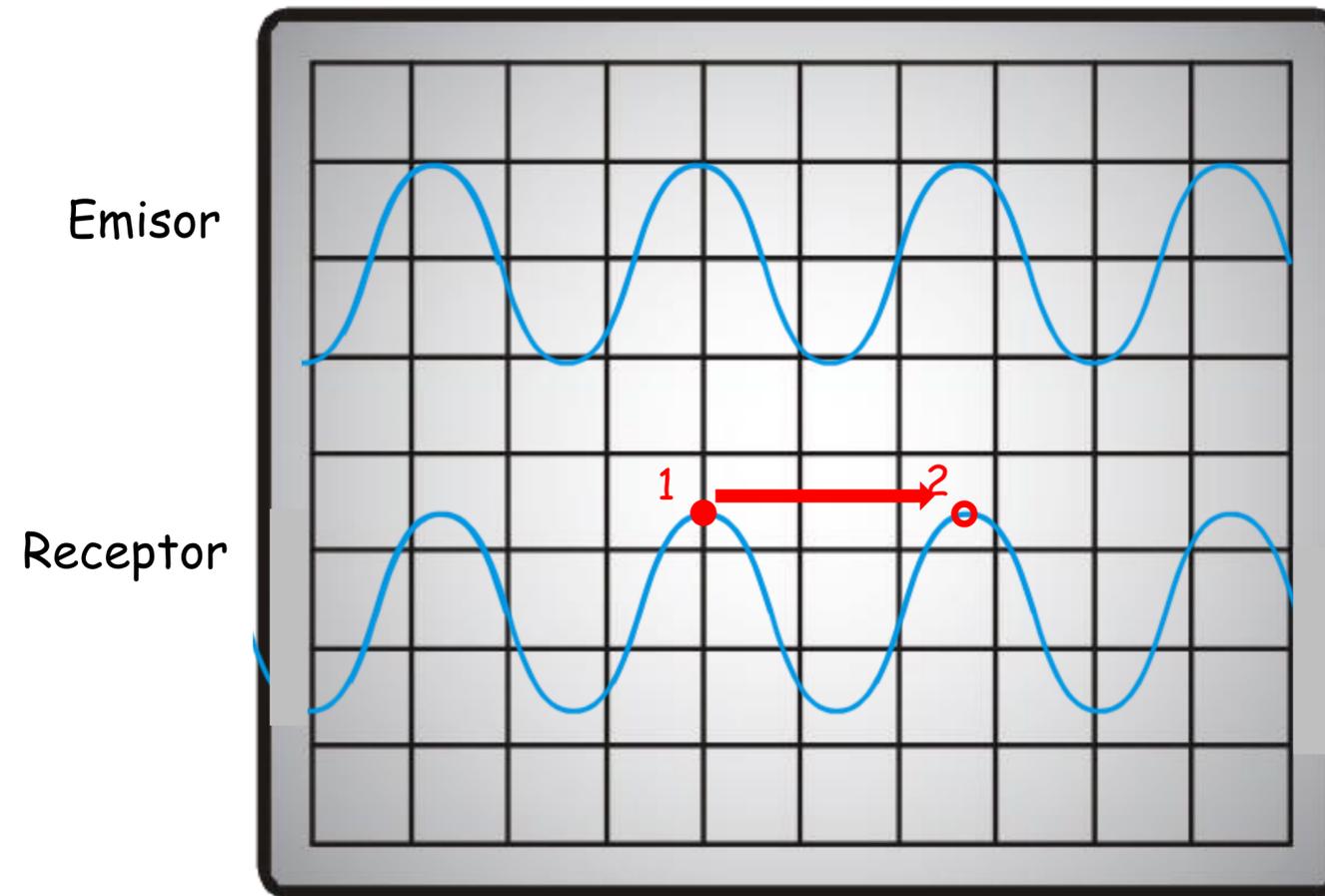
Recorrido muy pequeño de d

- Realizar una medición más detallada con d [10 mm - 15 mm]
- ¿Qué se observa?
- ¿Cómo se podría evaluar la longitud de onda a partir de estos datos ?

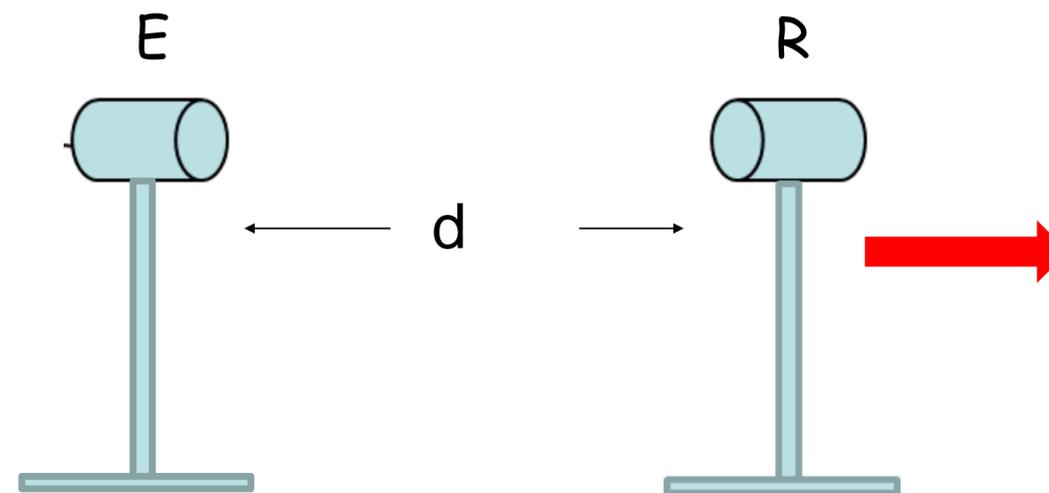


2. Estimación directa de la longitud de onda





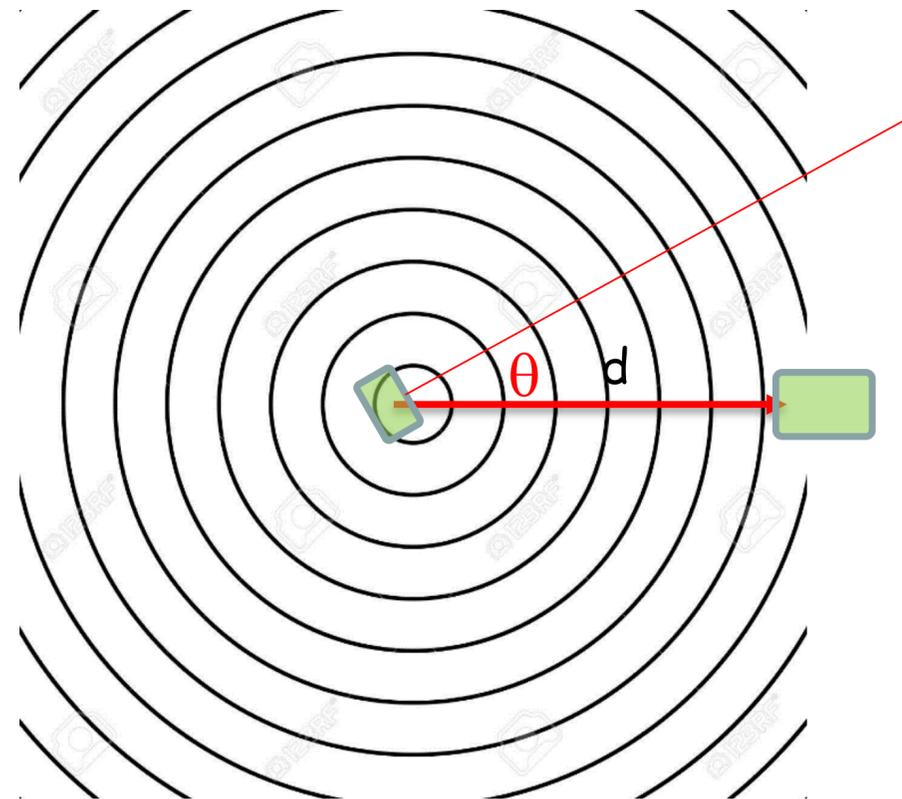
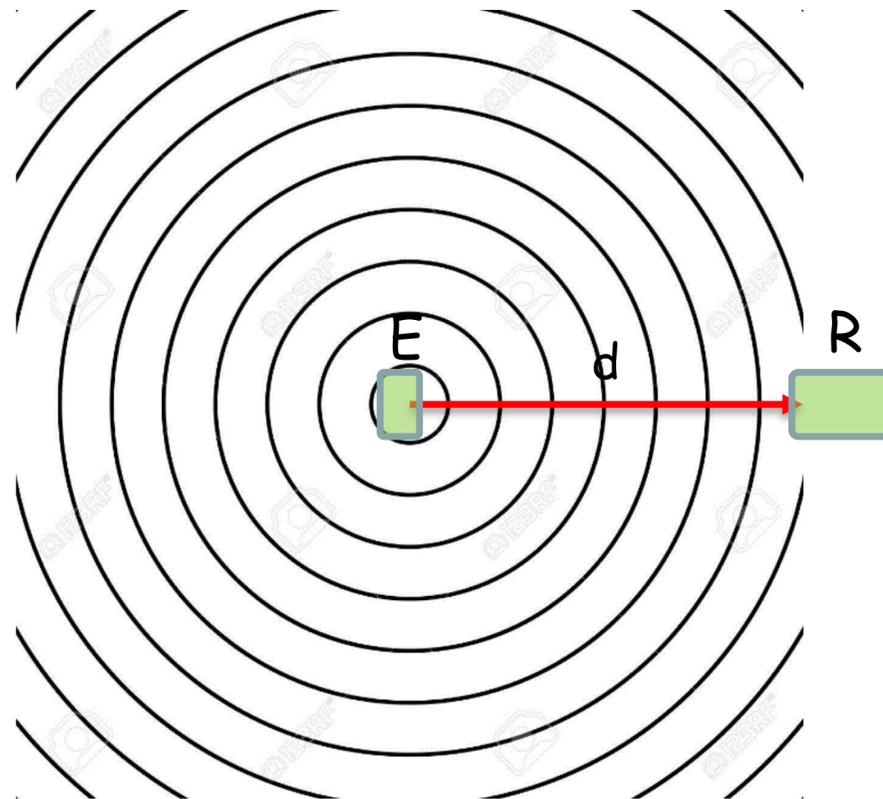
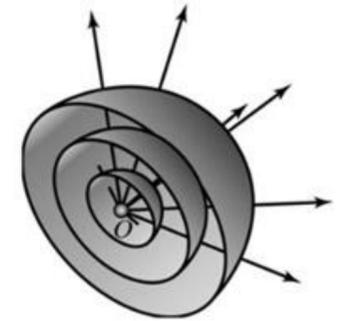
- Si se aleja el detector del emisor, cambia la distancia d .
- Además de una atenuación (si no fuese onda plana) se produce un desfase entre la onda emitida y la recibida.
- Se pondrán en fase en 2π .
- Cuando el punto **1** se ubica en la posición **2** se avanzó 1λ en la distancia d



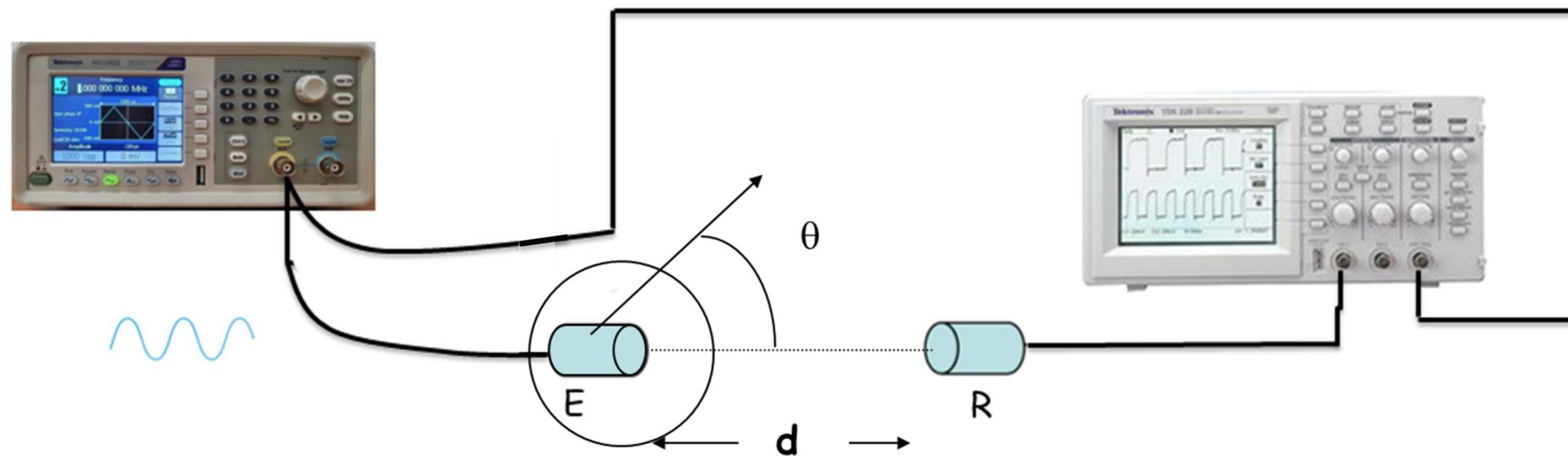
3. Dependencia de la amplitud y fase con el ángulo de emisión. (en el mismo plano)

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

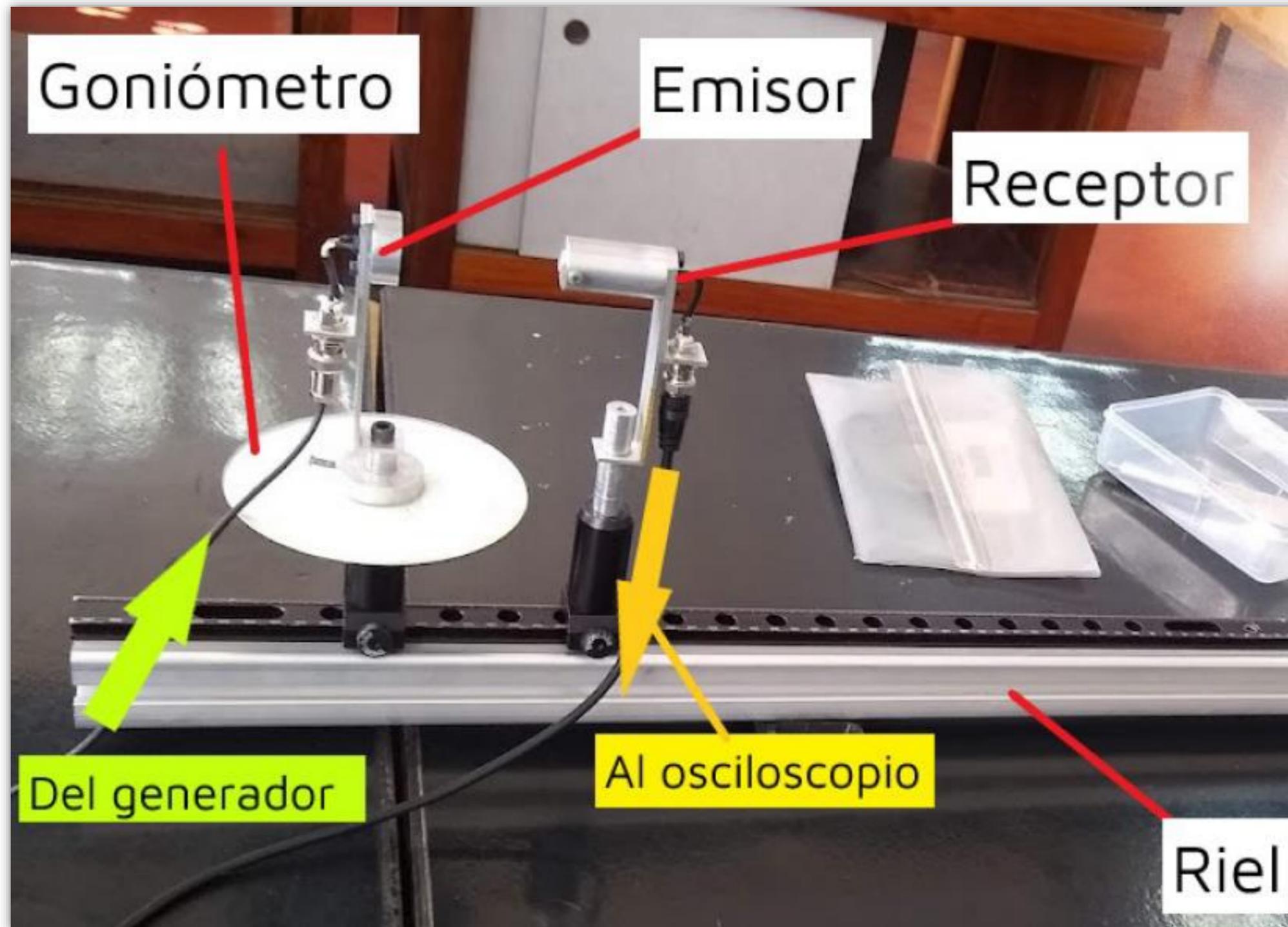
- Supongamos que el frente de ondas fuese esférico.
- Si ambos transductores están en el mismo plano.
- Se aplica una señal senoidal al emisor E.
- Para un frente de onda esférico, si se fija el receptor (R) a una distancia d del emisor (E) **y se rota el emisor un ángulo θ** ¿qué debería suceder con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



¿Cómo hacer
ahora esta
experiencia?

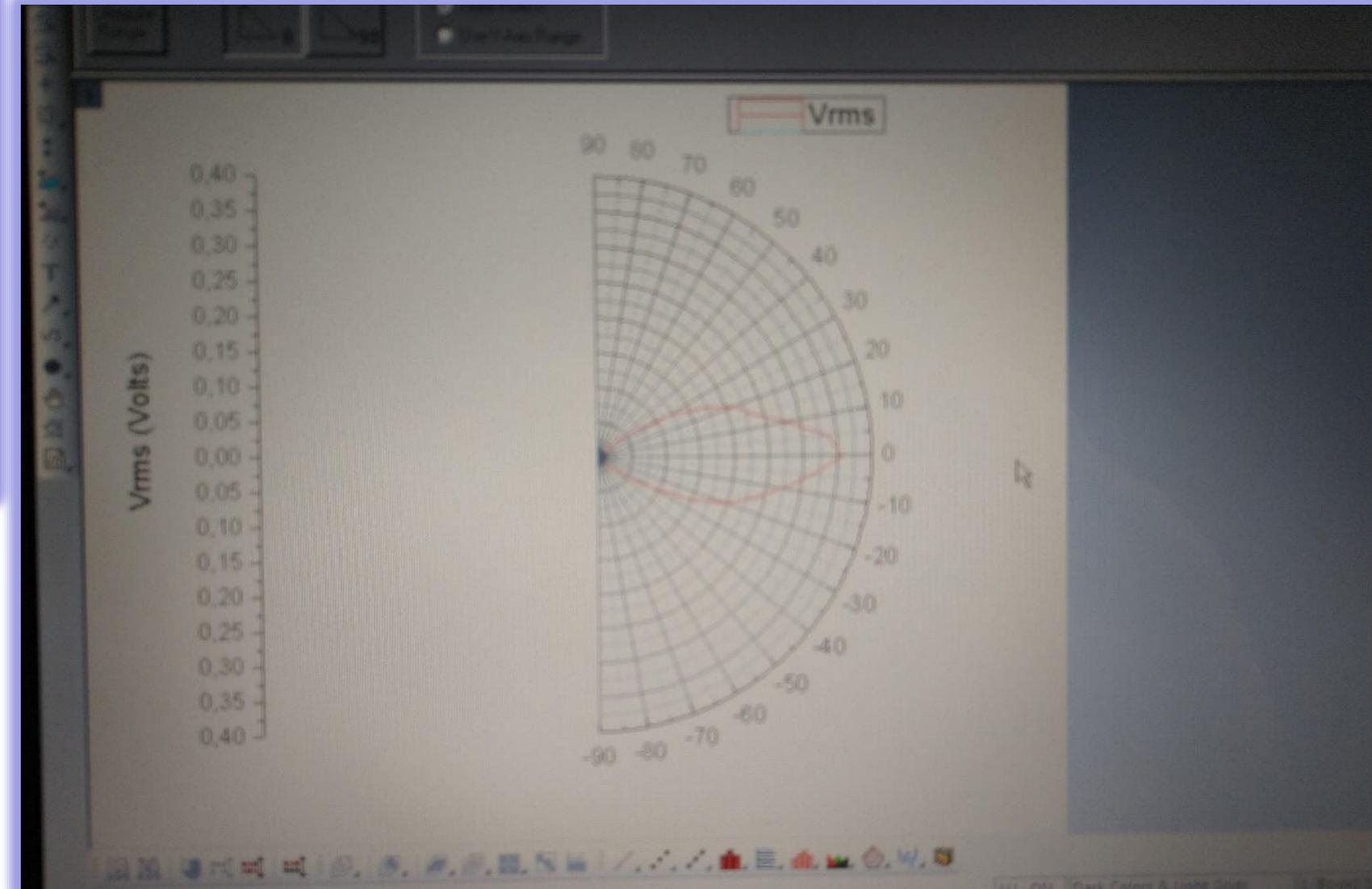
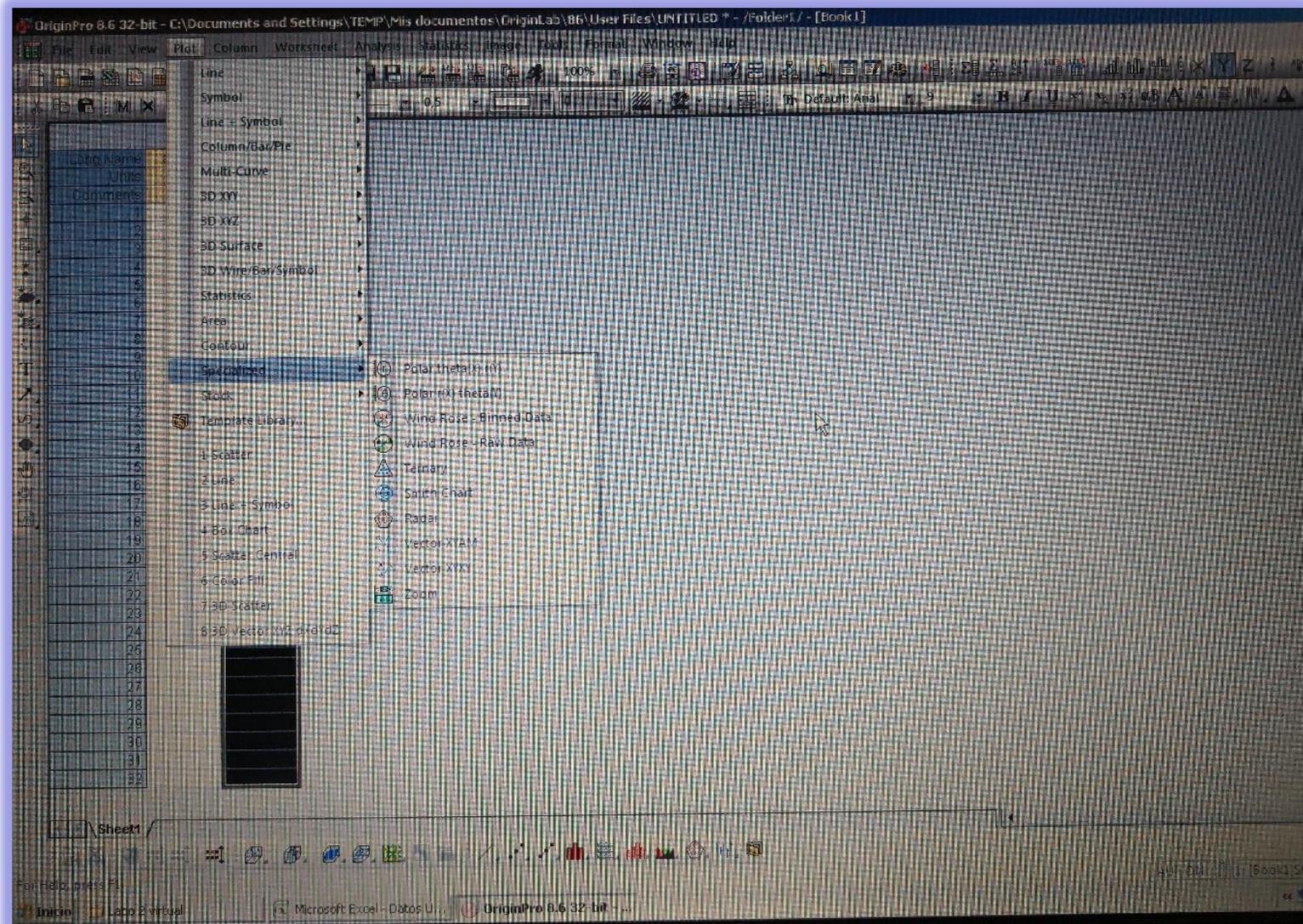


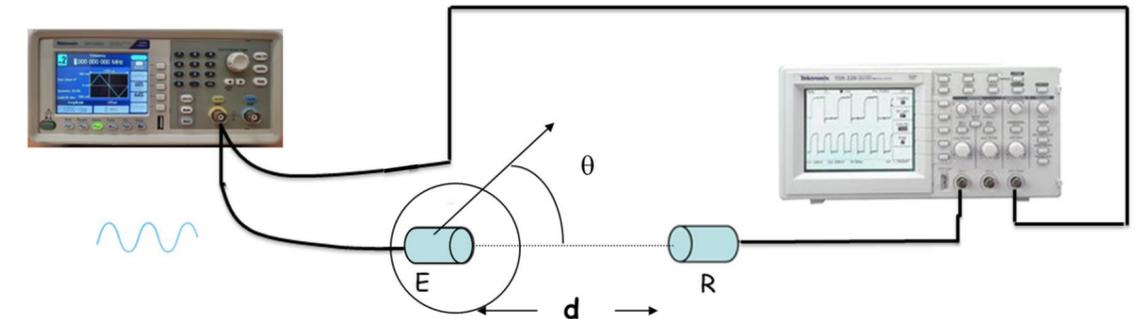
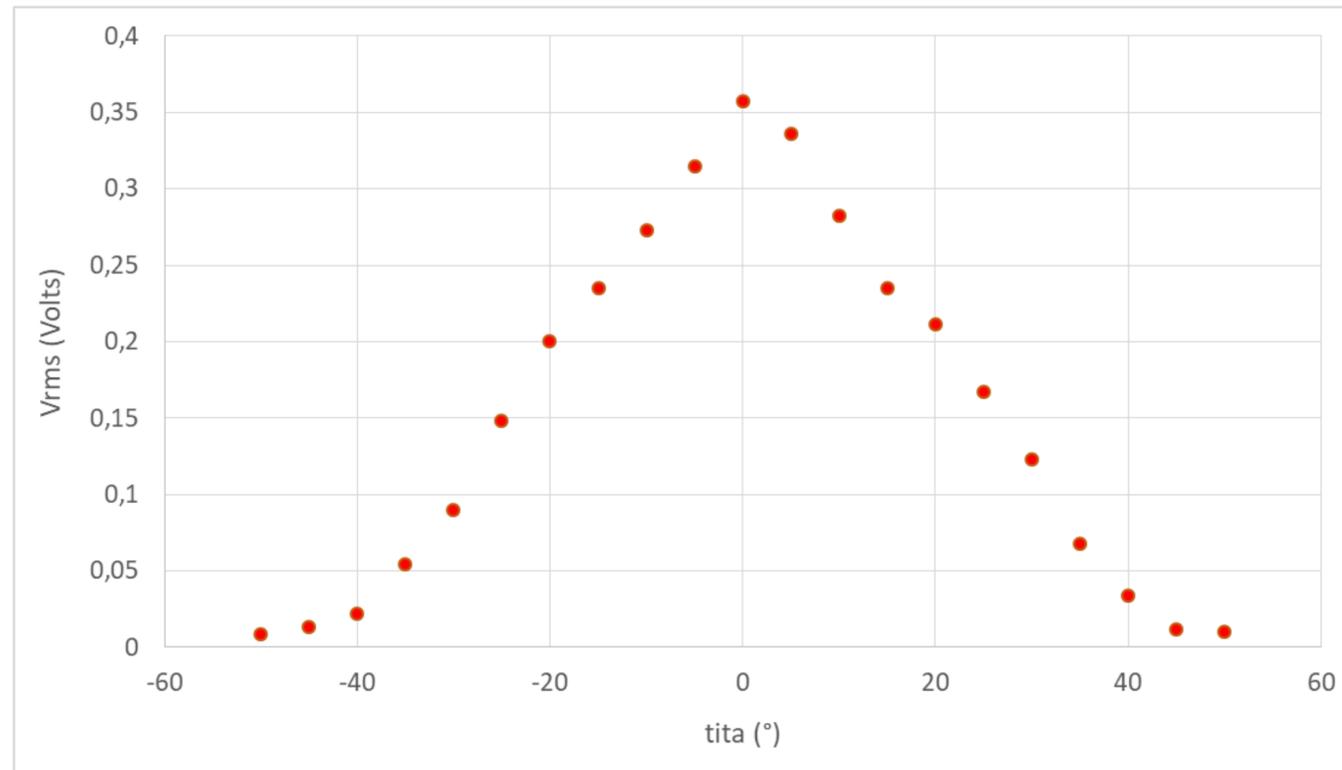
- ¿ Qué conviene medir ?
- Amplitud (Vpp) y fase cuando **se rota el emisor un ángulo θ** .
- Realizar mediciones entre -90° y 90° .



- Se alinean emisor y receptor a una distancia fija entre estos.
- Se establece en el emisor señal senoidal a la frecuencia característica con un V_{pp} grande (10 V).
- Se registra en una tabla el ángulo entre emisor y receptor y la V_{pp} de la señal observada en el receptor.
- Se varía en ángulo del emisor entre -90° y 90° (intervalos de 5°) y se mide V_{pp} del receptor en cada caso
- Se repite la experiencia para otras dos distancias entre emisor y receptor

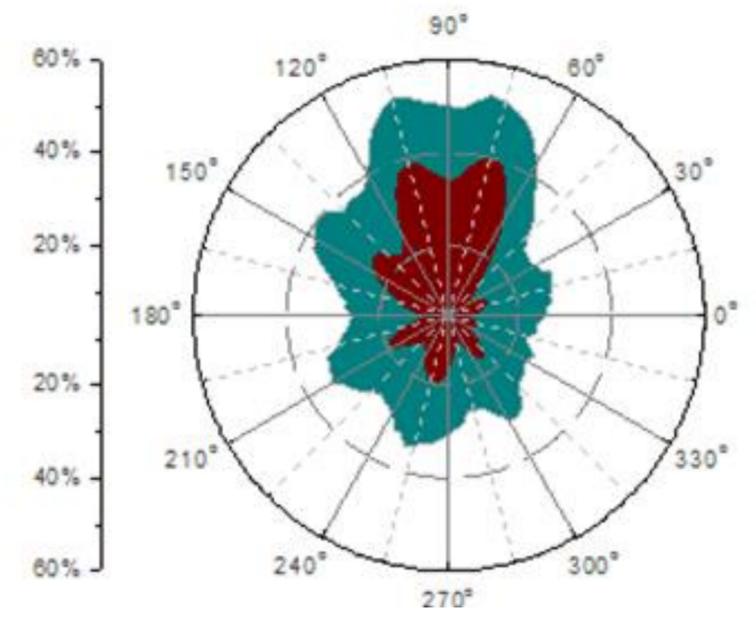
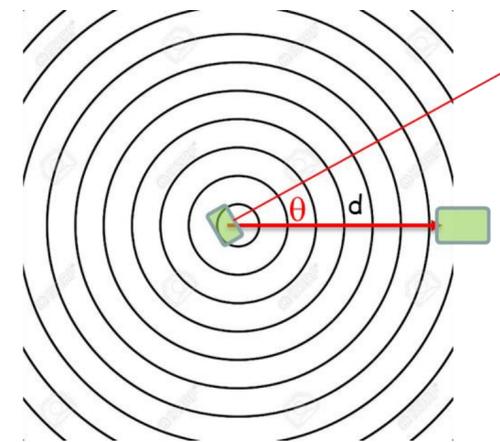
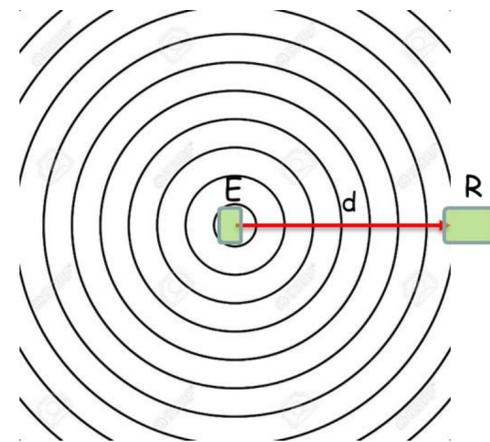
Representación en coordenadas polares usando Origin

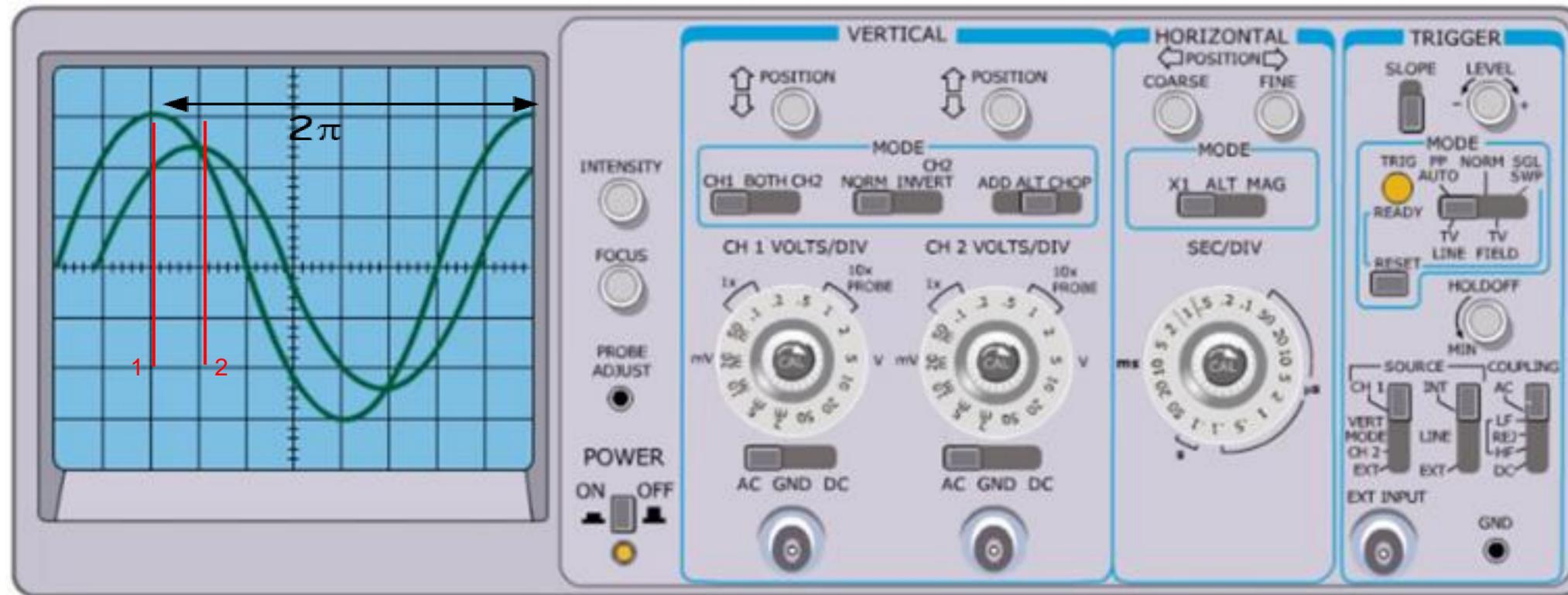




- Agregar errores
- Presentar Vpp vs θ como grafico polar.
- ¿ Que sucede si cambio d ?

¿Cómo mido la fase?

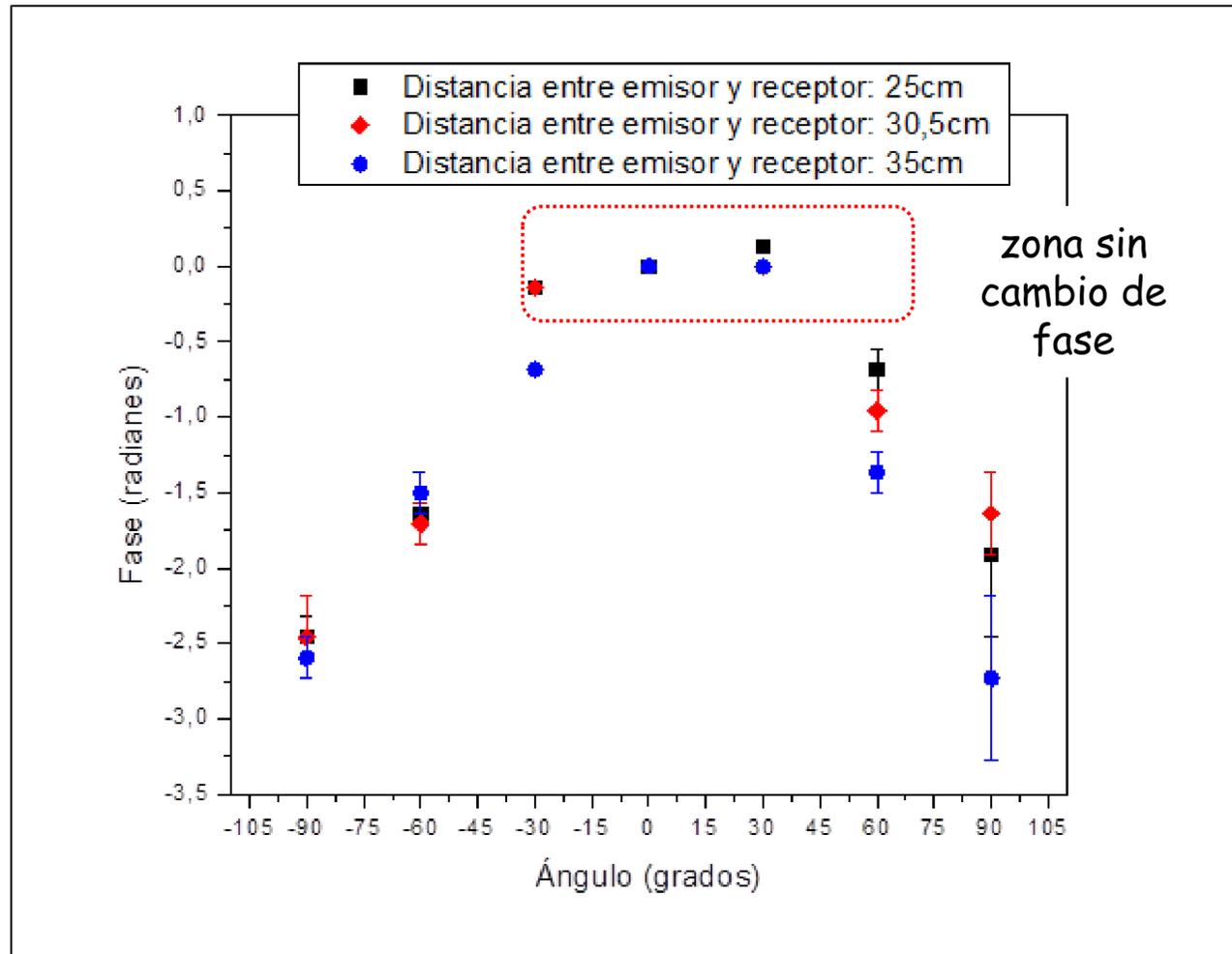




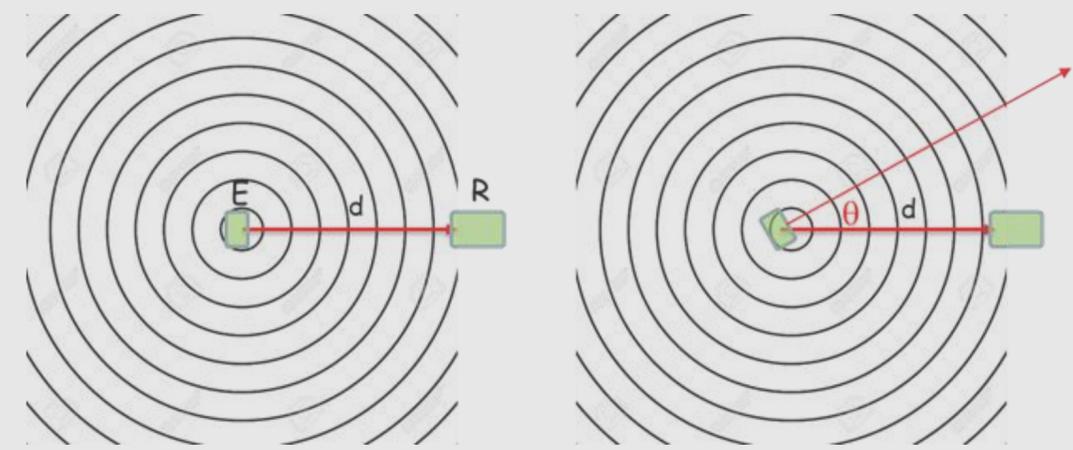
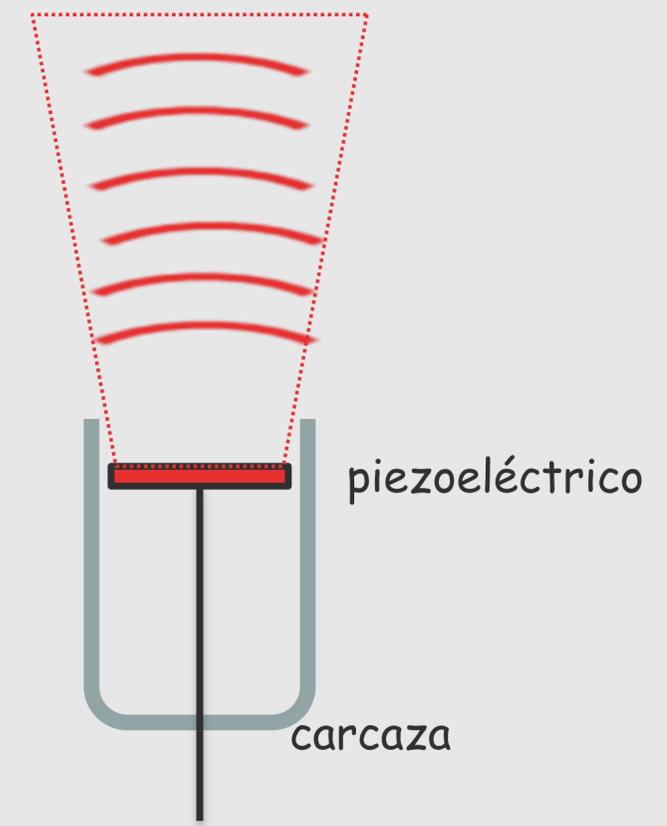
- El método más rápido es con los cursores (opción tiempo).
- Con los cursores se mide el periodo de la señal de referencia y se normaliza a 2π .
- Se ubican los cursores 1 y el 2 en las cresta adyacentes de las señales 1 y 2.
- Se lee Δt , diferencia de tiempos entre ambos cursores.
- Se convierte a la diferencia de fase a radianes (con la normalización).

$$\phi = \frac{\Delta t}{T} 2\pi \quad \text{es el valor de la fase convertido a radianes}$$

- Se cambia el ángulo entre emisor y receptor. Se vuelve a medir el Δt entre los mismos picos que en caso anterior y se calcula el nuevo desfase.



Efecto de la carcasa del piezoeléctrico



4. Estimación de la velocidad del sonido

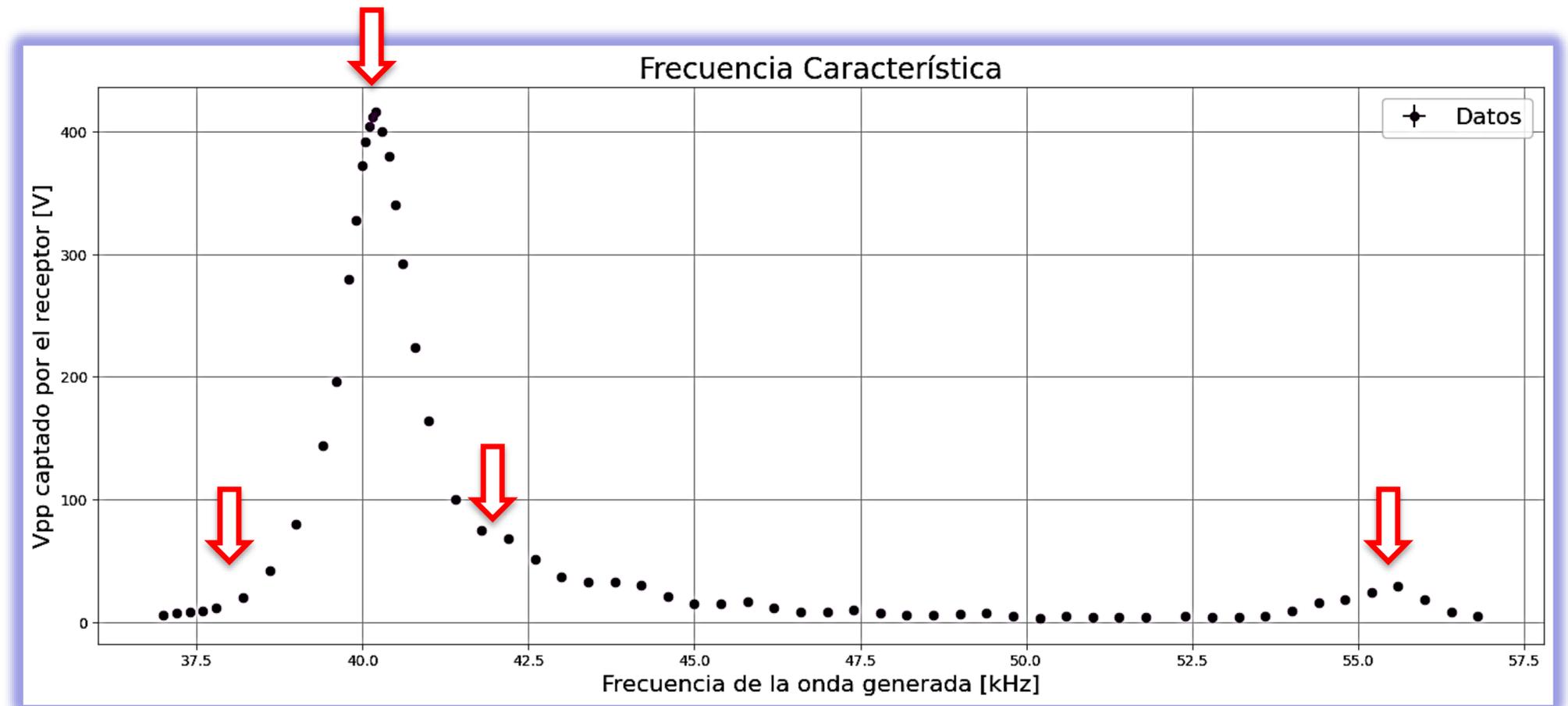
Relación de dispersión

$$v = f\lambda$$

Velocidad de propagación del sonido en el medio

Frecuencia del sistema

Longitud de onda



- ✓ Calcular v , calculando su error.
- ✓ Se puede calcular para la frecuencia principal, la secundaria (~ 54 kHz) y también para frecuencias entre ± 2 kHz 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?

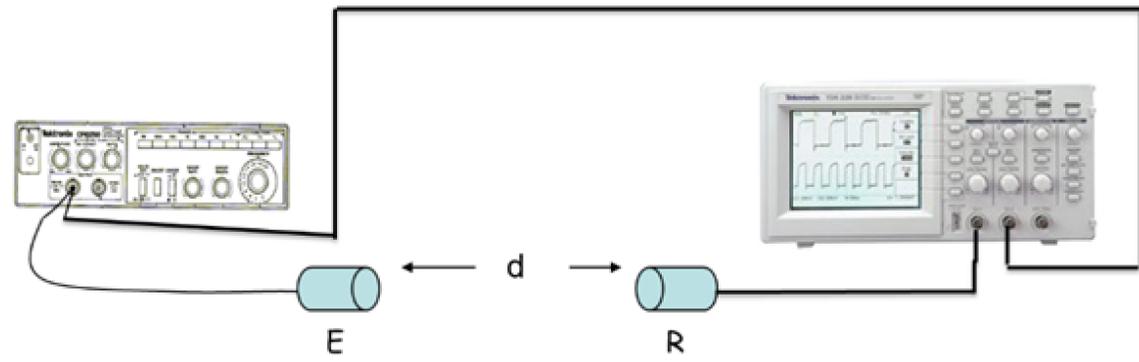
En base a las experiencia realizadas :

- ✓ ¿Cómo es la onda emitida ?
- ✓ ¿Se puede inferir algo de los resultados?
- ✓ Estimación de la velocidad de propagación del sonido v en el medio.

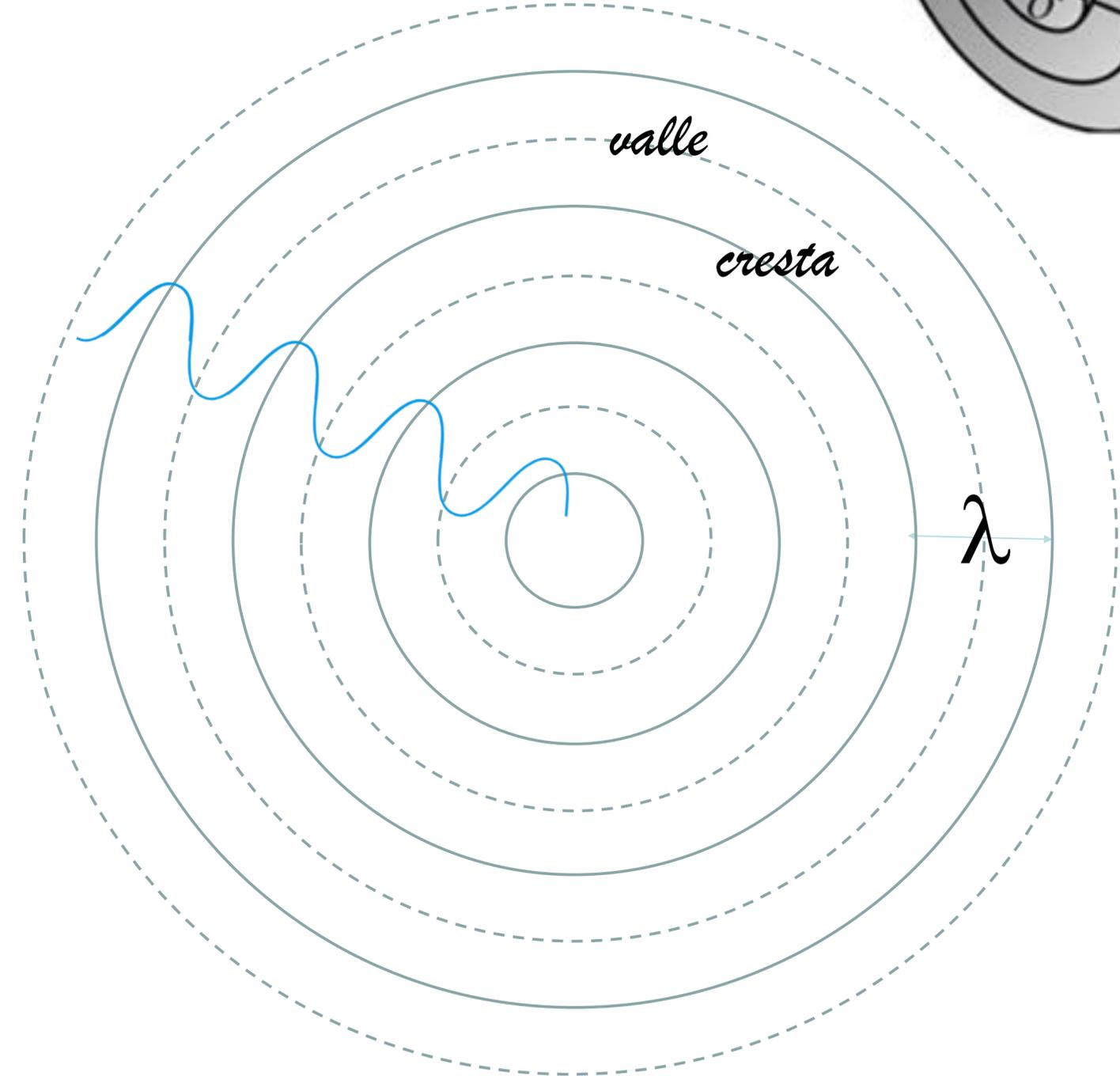
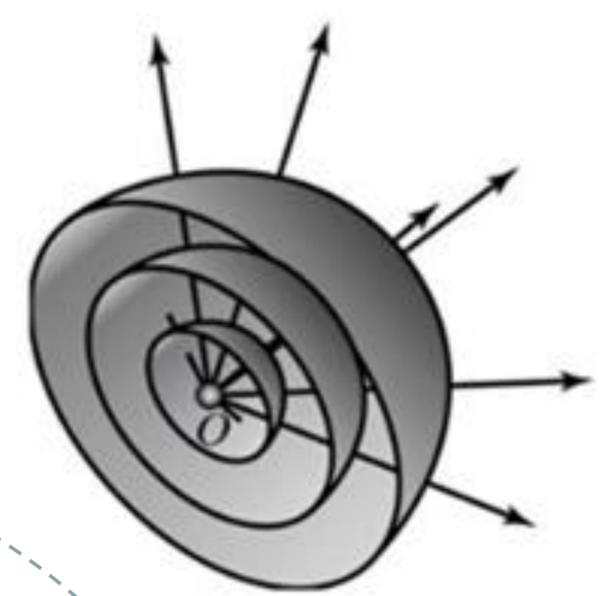
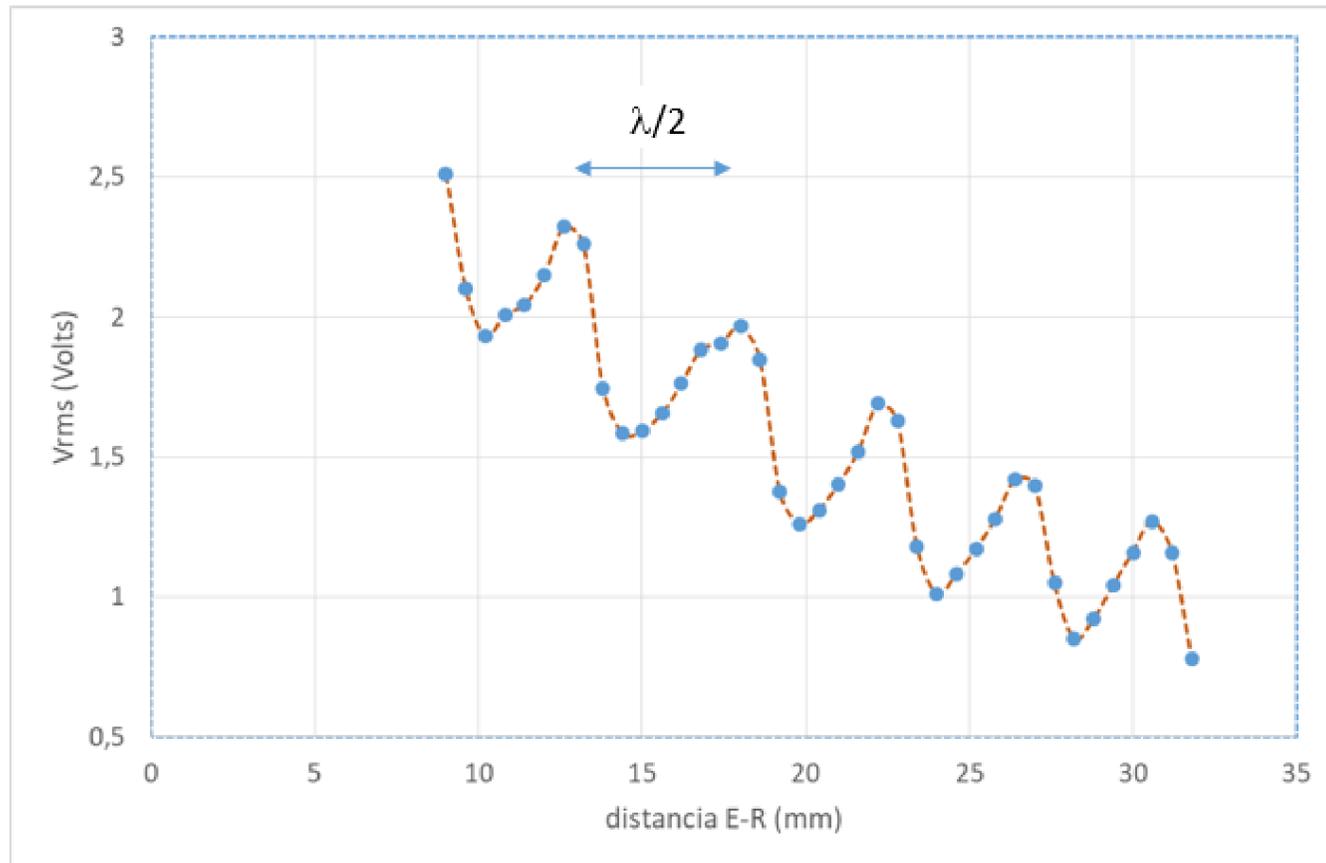


¿ Preguntas ?

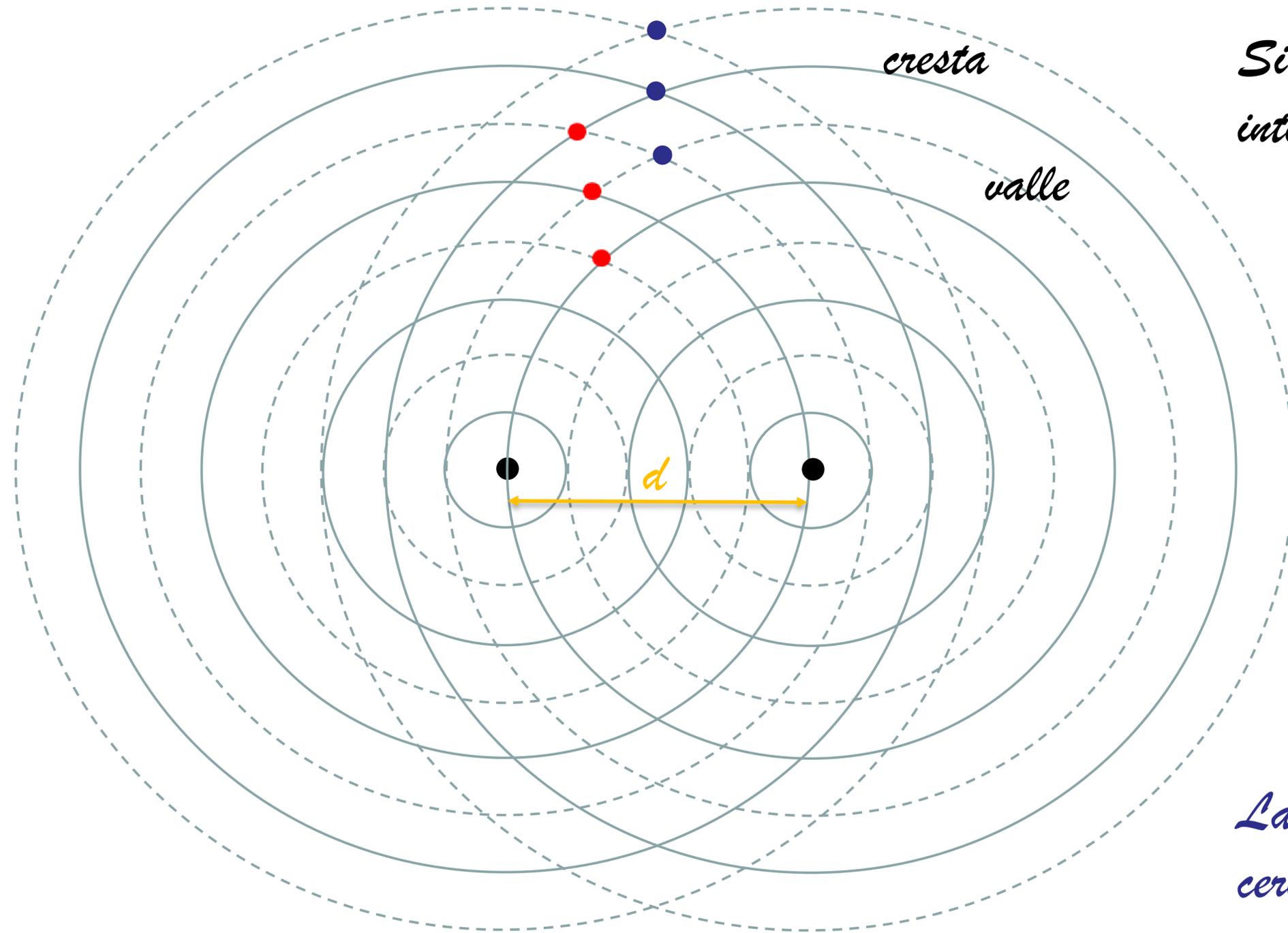
Fuente puntual



$$V_{pp} = y_0 + \left(\frac{A}{r}\right) + B \sin\left(2\pi \frac{r}{\lambda}\right)$$



Dos fuentes puntuales sonoras iguales (misma frecuencia y amplitud)



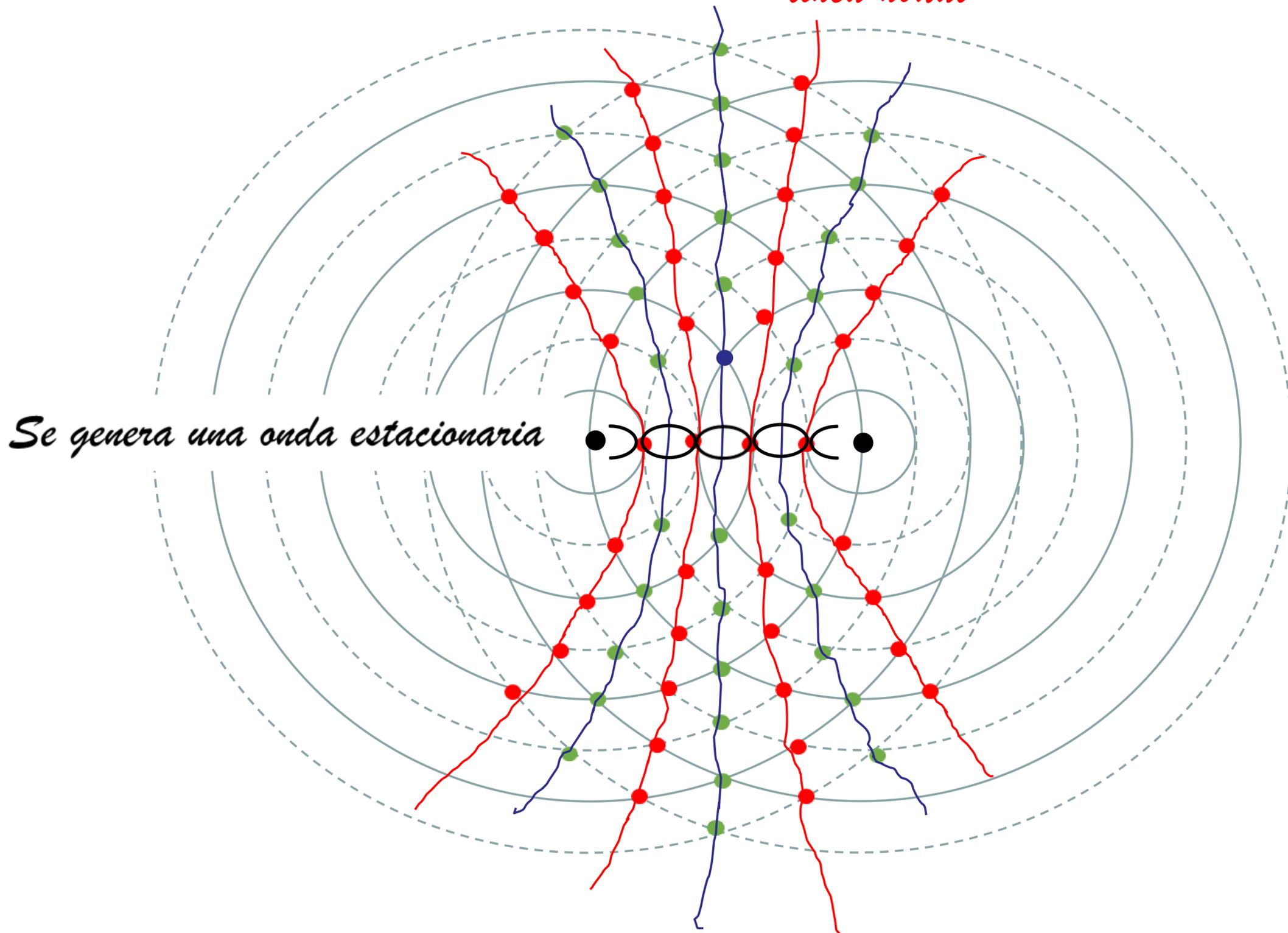
Si se intersectan un valle con una cresta hay interferencia destructiva (no hay sonido)

La unión de los puntos de intersección mas cercanos generan una línea nodal

Si se intersectan un valle con otro valle o cresta con cresta hay interferencia constructiva (intensidad sonora máxima)

La unión de los puntos de intersección mas cercanos generan una línea anti-nodal

línea anti-nodal *línea nodal*



Se genera una onda estacionaria

Cada $\lambda/2$ se tiene un nodo (o antinodo) en la onda estacionaria

