



GRADO EN FÍSICA
PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Curso 2022/2023

ELECTROMAGNETISMO Y COMUNICACIONES

Ginés González Guirado
Beatriz Carrasco Torres

Índice

1. EXPERIMENTO 1: REFLEXIÓN	2
2. EXPERIMENTO 2: ONDAS ESTACIONARIAS - MEDICIÓN LONGITUDES DE ONDA	5
3. EXPERIMENTO 3: FIBRAS ÓPTICAS	7
4. EXPERIMENTO 4: COMUNICACIONES POR MICROONDAS	9
4.1. Salida de onda triangular del modulador	9
4.2. Salida de audio de la computadora	11

1. EXPERIMENTO 1: REFLEXIÓN

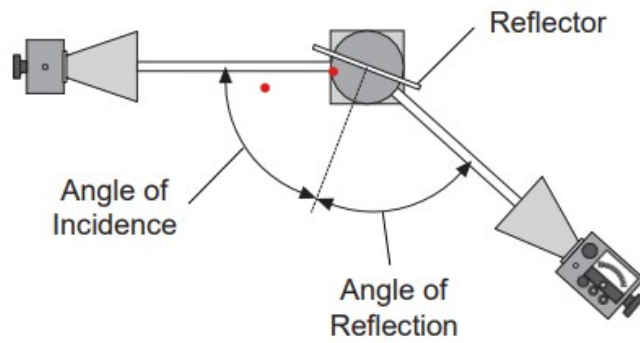


Figura 1

- Mostramos el ángulo de reflexión para cada uno de los ángulos de incidencia mostrados en la tabla siguiente:

43°	59°	77°	99°	118°	138°	160°	160°
-----	-----	-----	-----	------	------	------	------

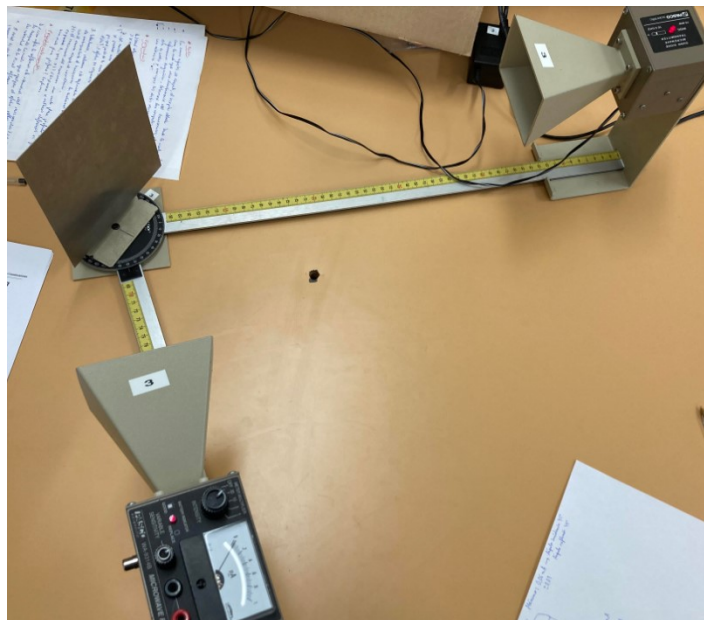


Figura 2

Y restando a estos el ángulo de incidencia, obtenemos el ángulo de reflexión

Ángulo de incidencia	Ángulo de reflexión
20°	23°
30°	29°
40°	37°
50°	49°
60°	58°
70°	68°
80°	80°
90°	70° *

El último punto es sospechoso debido a la dispersión del patrón de salida del transmisor

• **¿Qué relación existe entre el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión? ¿Se muestra esta relación para todos los ángulos de incidencia?**

El ángulo de reflexión es aproximadamente igual al ángulo de incidencia, excepto para el último ángulo. Teóricamente deberían de ser iguales, pero la diferencia se debe al error en la medida. En el último ángulo no se cumple esta relación.

• **Al medir el ángulo de reflexión, midió el ángulo en el que se produce una lectura máxima del medidor. ¿Puedes explicar por qué parte de la onda se refleja en diferentes ángulos? ¿Cómo funciona esto? ¿Afecta su respuesta a la pregunta 1?**

El ángulo en el que se produce una lectura máxima es de 45° a 0.06mA

Parte de la onda pareció reflejarse en diferentes ángulos, particularmente cuando el ángulo de incidencia es de 90°. Este es en realidad un efecto de difracción y no de reflexión.

Esto se produce cuando la luz incide en una superficie opaca, pero no pulimentada, la cual presenta una serie de irregularidades, que hacen que la luz se refleje en distintas direcciones. Cuando se refleja en diferentes ángulos se debe a que las diferentes longitudes de onda se ralentizan a diferentes velocidades, lo que hace que se doblen en diferentes ángulos.

• **Lo ideal sería realizar este experimento con una onda plana perfecta, de modo que toda la radiación del transmisor incida sobre el reflector con el mismo ángulo de incidencia. ¿Es la onda emitida por el transmisor de microondas una onda plana perfecta? ¿Esperaría resultados diferentes si fuera una onda plana perfecta?**

El transmisor no produce una onda plana perfecta y esto afecta los resultados. Si fuese una onda plana perfecta, la frecuencia tendría que ser constante en todo momento y con propagación en una sola dirección, y no tendría componentes de onda que no fuesen estrictamente en planos paralelos a la

dirección de propagación. Entonces, tendríamos que los ángulos de reflexión e incidencia serían iguales.

- **¿Cómo afecta la reflexión a la intensidad de las microondas? ¿Se refleja toda la energía de la onda que golpea el reflector? ¿Varía la intensidad de la señal reflejada con el ángulo de incidencia?**

La intensidad de las microondas que golpean un reflector se reflejan de manera similar. La intensidad de la señal reflejada varía con el ángulo de incidencia. Cuánto más se aleja de los 45° menor es la intensidad, excepto cuando los ángulos de reflexión e incidencia son cercanos a los 90° , donde llega parte de la onda transmitida y reflejada al receptor, por lo que la intensidad aumenta, aunque es menor que para 45° . Y de esto podemos deducir que el reflector no es al 100 % eficiente.

- **El metal es un buen reflector de microondas. Investigar las propiedades reflectantes de otros materiales. ¿El material absorbe algo? Compare las propiedades reflectantes de los materiales conductores y no conductores.**

Materiales de carbono de biomasa nanoporosos por carbonización con una posterior activación de hidróxido de potasio de cáscaras de nuez y también se han investigado las propiedades de absorción de microondas. Las muestras obtenidas tienen grandes áreas de superficie específicas con numerosos microporos y nanoporos.

En general, los materiales conductores reflejarán las microondas mucho mejor que los no conductores. Además, la alta reflectancia de la luz en frecuencias más bajas se asocia con una alta conductividad del metal, según la relación Hagens-Ruben.

2. EXPERIMENTO 2: ONDAS ESTACIONARIAS - MEDICIÓN LONGITUDES DE ONDA

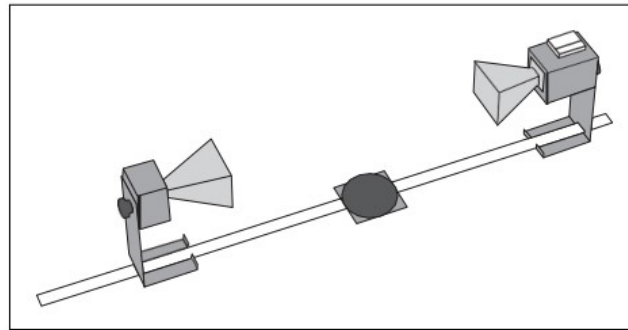


Figura 3

- Instale el equipo como se muestra en la figura. Ajuste los controles del receptor para obtener una lectura del medidor a escala completa con el transmisor y el receptor lo más juntos posible. Mueva lentamente el receptor a lo largo del brazo del goniómetro, alejándolo del transmisor. ¿Cómo afecta este movimiento a la lectura del medidor?

Se puede ver que hay variaciones en la intensidad, se tienen máximos y mínimos, pero teniendo en cuenta la intensidad entre 2 máximos, ésta disminuye conforme alejamos el emisor y el receptor.

- Deslice el receptor uno o dos centímetros a lo largo del brazo del goniómetro para obtener una lectura máxima del medidor. Registre la posición del receptor a lo largo de la escala métrica del brazo del goniómetro.

Posición inicial del receptor: $90 - 43 = 47\text{cm}$

- Mientras observa el medidor, deslice el receptor lejos del transmisor. No pares hasta que el receptor pase por al menos diez posiciones en las que vea una lectura mínima del medidor y vuelva a una posición donde la lectura sea máxima. Escribe la nueva posición del receptor y el número de mínimos que fueron atravesados.

Mínimos atravesados $\equiv n = 10$

Posición final del receptor: $90 - 30,1 = 59,9\text{cm}$

- Utilice los datos que ha recopilado para calcular la longitud de onda de la radiación de microondas.

$$\lambda = \frac{2d}{n} = \frac{2(59,9-47)}{10} = 2,58\text{cm}$$

- Repite las medidas y vuelve a calcular λ

Posición inicial del receptor: $43,1 - 90 = 46,9\text{cm}$

Mínimos atravesados $\equiv n = 10$

Posición final del receptor: $90 - 30 = 60\text{cm}$

$$\lambda = \frac{2d}{n} = \frac{2(60-46,9)}{10} = 2,62\text{cm}$$

- Use la relación $\text{velocidad} = \lambda \nu$ para calcular la frecuencia de la señal de microondas (suponiendo que la velocidad de propagación en el aire es de $3 \cdot 10^8 \text{m/s}$). ν es la frecuencia esperada de la radiación de microondas, 10,525 GHz.

$$\nu = \frac{3 \cdot 10^8 \text{m/s}}{2,6 \cdot 10^{-2} \text{m}} = 1,15 \cdot 10^{10} \text{Hz}$$

3. EXPERIMENTO 3: FIBRAS ÓPTICAS

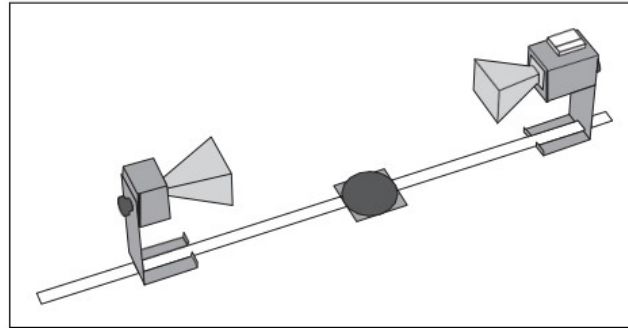


Figura 4

Primero, alineamos el transmisor y el receptor directamente uno frente al otro en el goniómetro como se ve en la figura 4 y ajustamos los controles del receptor para obtener una señal legible.

- Cuando pones un extremo de la bolsa tubular de plástico en el transmisor de microondas, ¿qué ocurre con la lectura de intensidad en el receptor?

La señal no llega al receptor, ya que por reflexión total es conducida a través de la bolsa tubular de plástico por los gránulos de estireno.

- Ahora con el otro extremo de la bolsa en el receptor. ¿Cómo se compara la intensidad de la señal detectada con la intensidad cuando no se usa la bolsa?

La intensidad aumenta con la bolsa tubular de plástico. Con la bolsa llega al receptor una intensidad de $I = 0,26\text{mA}$ y sin ella la intensidad en el receptor es $I = 0,06\text{mA}$. Estos datos son con un aumento de $30X$.

- Retire la bolsa de plástico y gire el brazo del goniómetro giratorio hasta que no aparezca ninguna desviación del medidor. Coloque un extremo de la bolsa en el transmisor y el otro en el receptor.

Para un ángulo de 149° no se recibe ninguna señal en el receptor de forma directa. Entonces, al colocar la bolsa obtenemos una intensidad de $0,6\text{mA}$ para un aumento de $10X$.

- Varíe el radio de curvatura de la bolsa de plástico. ¿Cómo afecta esto a la intensidad de la señal? ¿Varía la señal de manera gradual o repentina a medida que cambia la cur-

vatura radial de la bolsa de plástico? Encuentre el radio de curvatura en el que la señal comienza a caer significativamente.

Cuánto mayor es el radio de curvatura, menor es la intensidad de la señal en el receptor. Al cambiar la curvatura radial la medida de la intensidad varía gradualmente, hasta que llega un punto en el que se hace 0. Esta variación gradual de la intensidad con el radio de curvatura se debe a que cada vez se refleja menos onda electromagnética y se refracta más, ya que se supera el ángulo de reflexión total.

• **Consulte su libro de texto para obtener información sobre la reflexión interna total. Con base en la curvatura radial cuando la señal comienza a mostrar atenuación a medida que pasa a través de la bolsa de plástico, determine el ángulo de reflexión interna total para los gránulos de estireno. ¿Puedes usar este valor para determinar el índice de refracción de los gránulos de estireno?**

Cuando la luz incide sobre un medio de menor índice de refracción, el rayo se desvía de la normal, de tal manera que el ángulo de salida es mayor que el ángulo incidente. Cuando el ángulo de salida alcanza los 90° , para algún ángulo de incidencia crítico θ_c , y para todos los ángulos de incidencia mayor que este ángulo crítico, se tiene reflexión interna total.

Midiendo el radio de curvatura (R) y la distancia (x) desde el centro de la circunferencia a la trayectoria del rayo de la onda, de manera que forman un ángulo de 90° y un triángulo rectángulo, podemos obtener el ángulo de reflexión interna total θ_c . Con

$$\text{sen}\theta_c = \frac{x}{R} \implies \theta_c = \arcsen\left(\frac{x}{R}\right)$$

Con este valor podemos calcular el índice de refracción de los gránulos de estireno, mediante la fórmula de Snell-Descartes teniendo en cuenta que $n_{\text{aire}} = 1$ y que $\text{sen}(90) = 1$:

$$n_{\text{estireno}}\text{sen}(\theta_c) = n_{\text{aire}}\text{sen}(90) \implies n_{\text{estireno}} = \frac{1}{\text{sen}(\theta_c)}$$

• **¿Esperaría que la bolsa de plástico llena de bolitas de estireno funcionara igual con radiación a frecuencias ópticas? ¿Por qué?**

No, porque el índice de refracción varía con la frecuencia de las ondas electromagnéticas. De esta forma, el ángulo de reflexión interna total será diferente, por lo que la bolsa de plástico llena de bolitas de estireno no funcionara igual.

4. EXPERIMENTO 4: COMUNICACIONES POR MICROONDAS

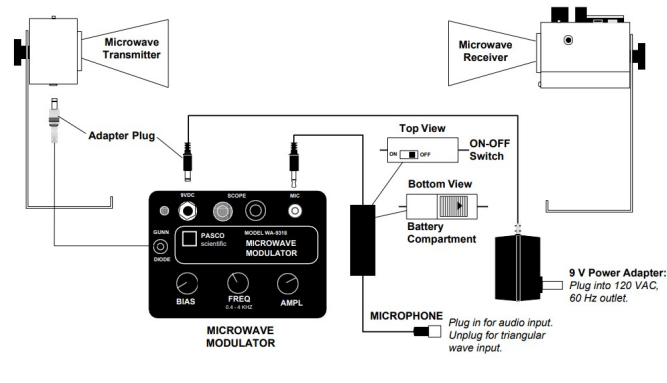


Figura 5

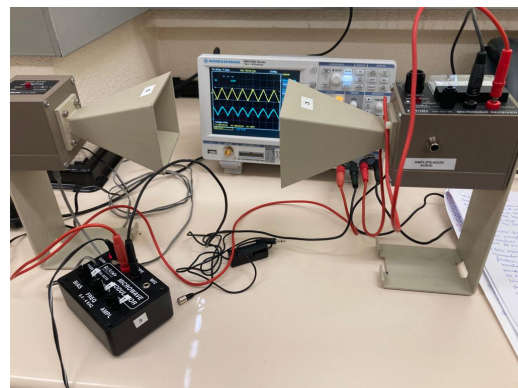
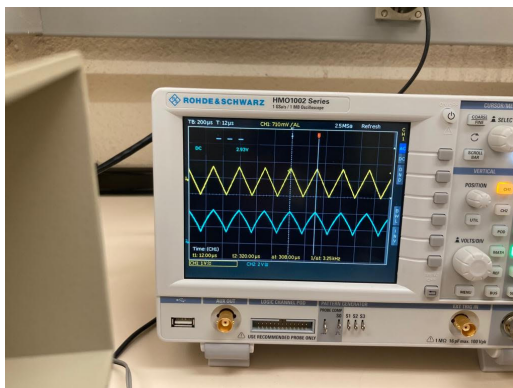
Instalamos el equipo como se muestra en la figura. Apuntamos el transmisor de microondas hacia el receptor de microondas. Conectamos también el micrófono y enchufamos el osciloscopio en los conectores tipo OUTPUT en el modulador de microondas.

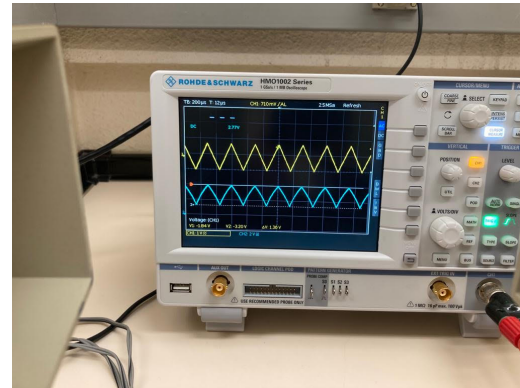
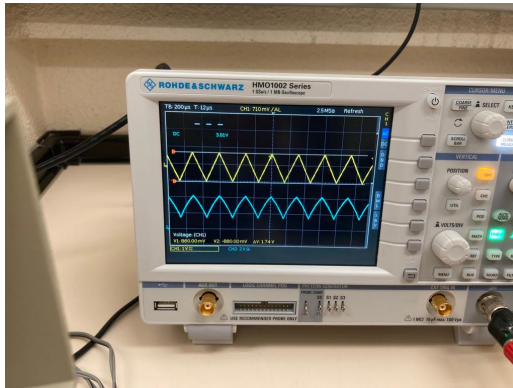
Para monitorizar la señal conectamos el osciloscopio en los conectores tipo OUTPUT en la parte superior del receptor de microondas.

Desconectamos el micrófono para modular un señal de onda triangular. Ajustamos adecuadamente la frecuencia, amplitud y polarización de la señal de modulación mediante los controles del modulador de microondas. Es necesario un ajuste adecuado del BIAS para producir un señal de microondas lineal y señal de microondas no recortada del diodo Gunn.

Con el uso simultáneo de un osciloscopio y un amplificador de onda y altavoz, este sistema es excelente para ver las comunicaciones por microondas. La señal de entrada puede ser la salida de onda triangular del modulador, o puede provenir del micrófono o de una salida de audio de computadora.

4.1. Salida de onda triangular del modulador





- Datos tomados (mostrados en las imágenes de arriba).

Entrada: 1.74V

Salida: 1.36V

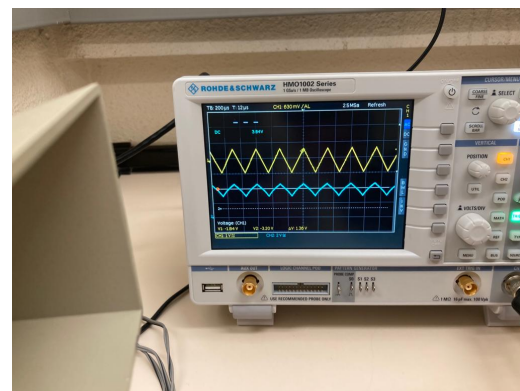
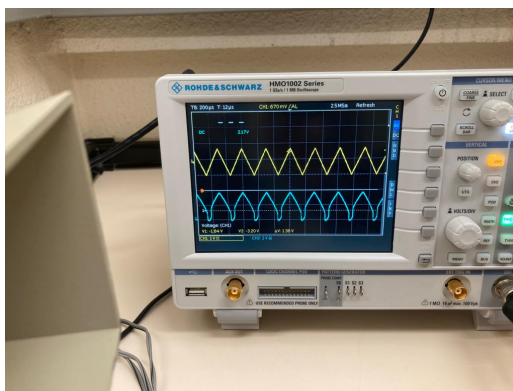
$f = 3.25\text{KHz}$

1 V/div

$200\mu\text{s}/\text{div}$

Se puede ver en las imágenes que la frecuencia de la señal de entrada (amarilla) es la misma que la de la señal de salida (azul).

- Si disminuimos (imagen izquierda) y aumentamos (imagen derecha) BIAS ocurre lo siguiente:



En la imagen izquierda podemos apreciar como al disminuir BIAS, la onda de salida (azul) no se representa con la forma triangular bien definida si no que está deformada en los bordes. Por otro lado, en la imagen derecha se puede ver que si aumentamos BIAS demasiado, la amplitud de la onda de salida disminuye.

4.2. Salida de audio de la computadora

Ahora usamos un generador de tonos en línea <https://www.szynalski.com/tone-generator/> . Configuramos la frecuencia, la forma de a señal y la intensidad del sonido.

Pulsamos el botón Play y observamos las señales en el osciloscopio del transmisor y el receptor.

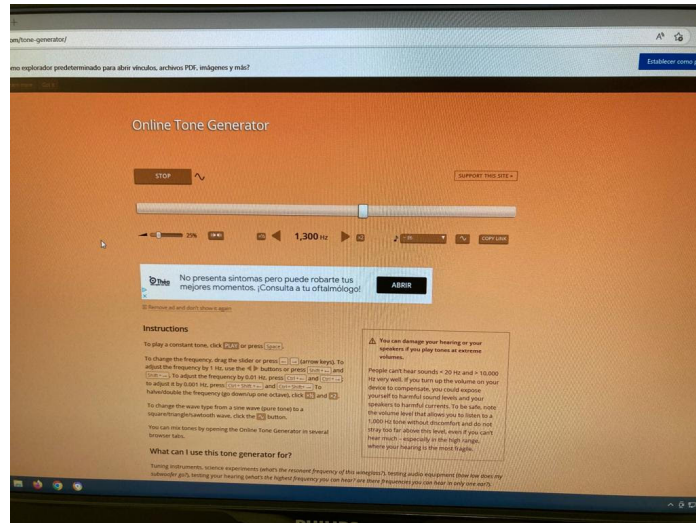
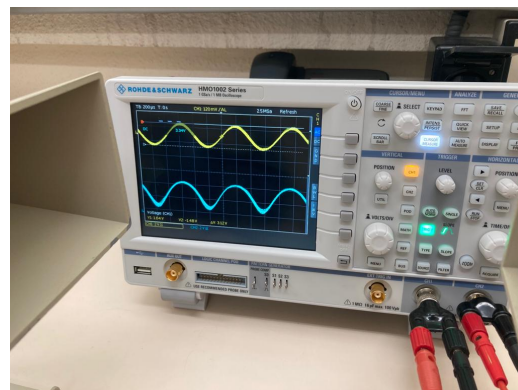
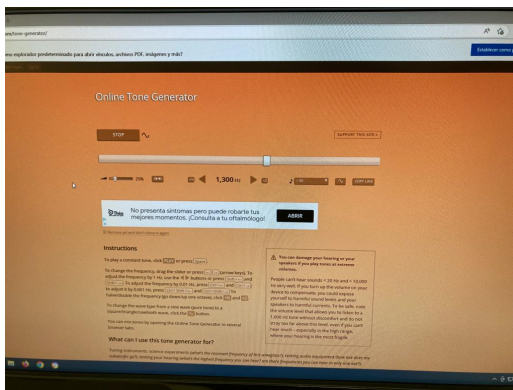


Figura 6

- Toma una imagen del osciloscopio para demostrar la comunicación entre el transmisor y el receptor. Utilizando el osciloscopio, verifique que la frecuencia de la señal recibida sea la misma que la transmitida.

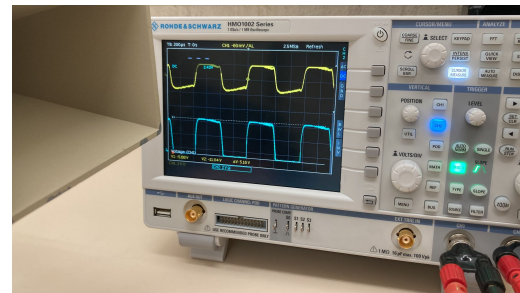
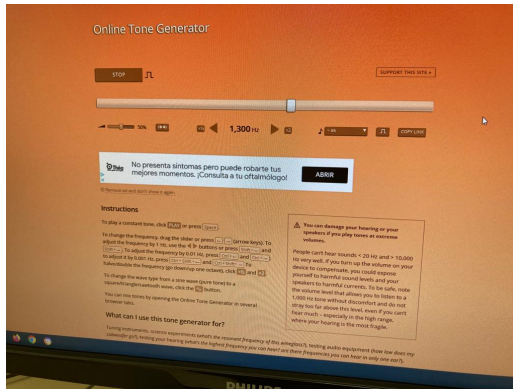
Esto lo hemos hecho para varios tipos de señales.

- Señal sinusoidal:



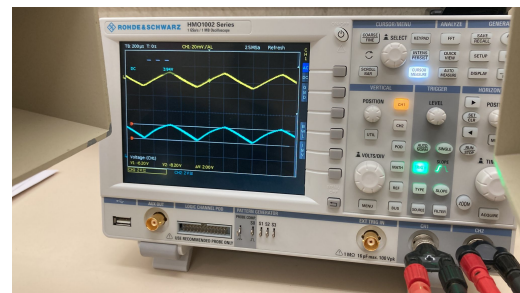
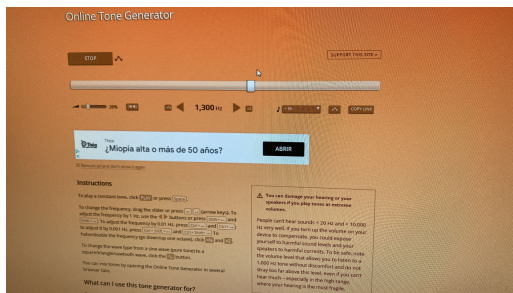
Como se puede observar en las imagen derecha la frecuencia, $\nu = 1,3\text{Hz}$, es la misma para la señal de entrada (amarilla) y para la señal de salida (azul). Ambas señales son sinusoidales.

- Señal cuadrada:



Como se puede observar en las imagen derecha la frecuencia, $\nu = 1,3\text{Hz}$, es la misma para la señal de entrada (amarilla) y para la señal de salida (azul). Ambas señales son cuadradas.

- Señal triangular:



Como se puede observar en las imagen derecha la frecuencia, $\nu = 1,3\text{Hz}$, es la misma para la señal de entrada (amarilla) y para la señal de salida (azul). Ambas señales son triangulares.

- Abra 2 ventanas simultáneas con el generador de tonos en línea y reproduzca sonidos que difieren solo en unos pocos Hz. Luego, escuchará un patrón de sonido particular. ¿Qué tipo de superposición de ondas has creado?

Se produce un batimiento, como se muestra en la figura, al interferirse entre sí dos ondas sinusoidales con frecuencias ligeramente distintas. La diferencia de frecuencia entre los dos tonos son 2Hz.

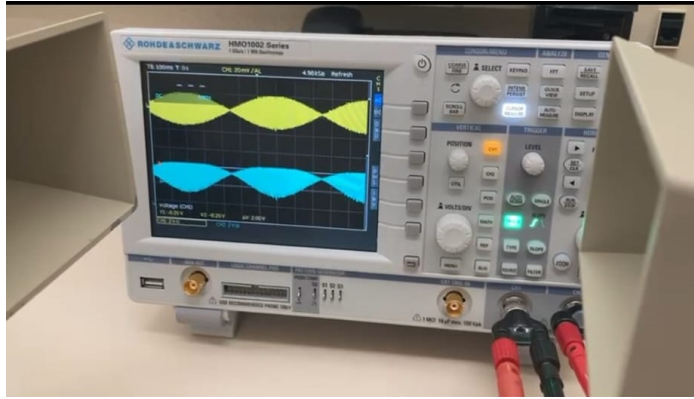


Figura 7

- Abra Matlab y use la ventana del editor para escribir los siguientes comandos que producirán una onda sinusoidal a una frecuencia de 1 khz:

```
for n=1:100
    Fs = 14400;
    t = linspace(0, 1, Fs);
    w = 2*pi*1000;
    s = sin(w*t);
    sound(s, Fs)
end
```

Aquí se muestra la representación en el osciloscopio de la señal producida en Matlab:

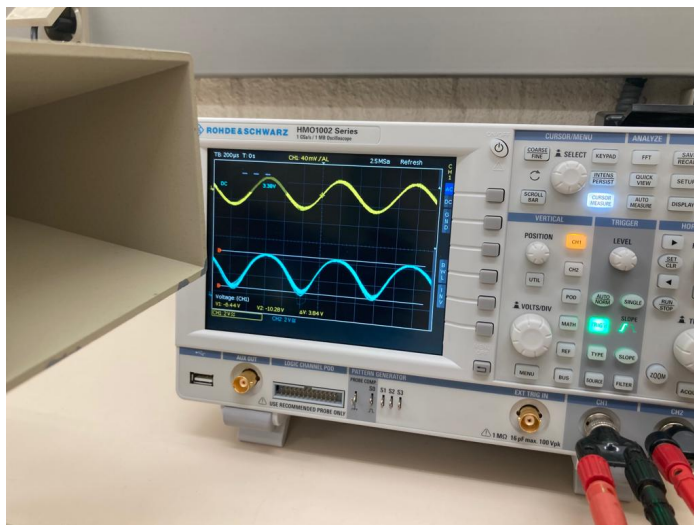


Figura 8

- Ahora, cree su propio tipo de onda cambiando el valor de la variable 's'. Puede elegir uno entre estos tipos: cuadrado, triángulo o diente de sierra. Capture una imagen de la pantalla del osciloscopio que muestre las señales transmitidas y recibidas.

Hemos elegido la onda con forma de diente de sierra y su representación en el osciloscopio es la siguiente:

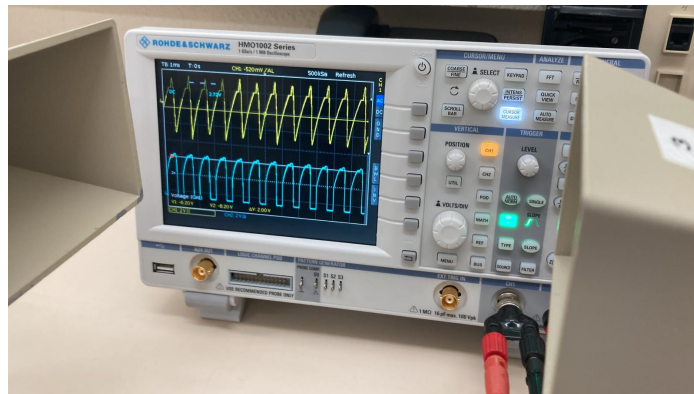


Figura 9