

LA POLARIZACIÓN

Objetivo: Visualizar y analizar los distintos tipos de polarización de ondas EM a través de EMANIM.

La práctica se desarrollará haciendo uso del software

EMANIM: <https://emanim.szilab.org/index.html>

Para familiarizarte con el EMANIM, empezaremos con el caso más simple: UNA SOLA ONDA EM. Representa los 4 tipos de polarización que aparecen en el programa (Vertical, Horizontal, Circular (L) y Circular (R)) y para cada uno de los casos prueba lo siguiente:

- Obsérvalos desde diferentes puntos ("view") y a diferentes velocidades ("Animation rate").
 - Varía su amplitud y su longitud de onda.
 - Mira el campo con la opción "components" marcada y sen marcar.
- Con el modo "components" activado, ¿qué diferencias aprecias entre las polarizaciones lineales y las circulares? ¿Qué cambios observas al variar la longitud de onda?

En las polarizaciones circulares la amplitud de la onda se mantiene constante en todo momento. Además, la onda puede descomponerse en dos componentes, vertical y horizontal. Mientras que en las polarizaciones lineales, la amplitud de la onda va variando. Si la polarización lineal es vertical u horizontal, únicamente tendremos una componente.

Al modificar la longitud de onda, modificamos consecuentemente (e inversamente) la frecuencia. De tal manera que al reducir la longitud de onda se aprecia un ciclo más rápido (mayor frecuencia) y al aumentar la longitud de onda se observa un ciclo más lento (menor frecuencia).

1. Interferencia Coherente

Hablamos de INTERFERENCIA COHERENTE cuando dos ondas EM de la misma frecuencia (y/o de la misma longitud de onda) se propagan al mismo tiempo en el medio. Con la ayuda del Emanim vamos a comprobar qué ocurre en este tipo de interferencia según la polarización y el desfase entre ambas. Para ello, configuraremos las dos ondas de manera que tengan la misma Amplitud y la misma Longitud de onda:

Amplitude=5

Wavelength=5

1.1 Interferencia constructiva o en fase

La interferencia coherente es **constructiva** cuando las dos ondas que interfieren tienen un desfase de 0° . Para comprobarlo configuraremos el Emani con

Phase difference = 0.

En la tabla I apunta para cada una de las combinaciones propuestas la amplitud de la onda resultante de la interferencia (**Wave 1 + Wave 2**) y el tipo de polarización, especificando su orientación si es lineal , y su sentido de giro si es elíptica:

Lineal Horizontal (H), Lineal Vertical (V), Lineal de inclinación X° , Circular CW (RHC), Circular CCW (LHC), Elíptica CW o elíptica CCW.

Tabla I: Interferencia coherente constructiva

			Wave1 + Wave2	
	Wave 1	Wave 2	Amplitud	Polarización
a)	V	V	10	VERTICAL
b)		H	7,07	LINEAL (45°)
c)	H	V	7,07	LINEAL (45°)
d)		H	10	HORIZONTAL
f)	RHC	RHC	10	CIRCULAR (R)
g)		LHC	10	LINEAL (H)
h)		H	10	ELÍPTICA (R)
i)	LHC	LHC	10	CIRCULAR (L)
j)		H	10	ELÍPTICA (L)

- En qué casos la amplitud de la onda resultante de la interferencia es la suma de las amplitudes de las ondas interferentes? Por qué hay casos en que no ocurre lo mismo?

En los casos a), d), f), g), h), i) y j).

En los casos en que las ondas están polarizadas perpendicularmente, la amplitud de la onda resultante se calcula según el teorema de Pitágoras.

- Qué ocurre cuando interfieren polarizaciones cruzadas? Qué casos son estos?
El tipo de polarización de la onda resultante de la interferencia es la misma que la de las interferentes?

Cuando se dice que dos ondas tienen polarización cruzada, significa que la dirección de oscilación de sus campos eléctricos es perpendicular entre sí. En otras palabras, si una onda tiene su campo eléctrico oscilando en una dirección horizontal, la onda con

polarización cruzada tendrá su campo eléctrico oscilando en una dirección vertical. En el caso de las ondas polarizadas circularmente, la noción de polarización cruzada no se aplica. El tipo de polarización de la onda resultante es también LINEAL pero no vertical ni horizontal sino que formará un ángulo de 45° con ambos planos, vertical y horizontal.

- Se te ocurre cómo podrías conseguir que la onda resultante de la interferencia fuera lineal con una inclinación aproximada de 30° ? Explica cómo:

Si combinamos una onda polarizada verticalmente y una onda polarizada horizontalmente de forma que la relación de amplitud de ambas sea :

$$\text{Tg}(30^\circ) = 0,57 = A_V / A_H \quad (\text{Se ve fácilmente mediante la vista "Back"}).$$

- Compara la longitud de onda de la onda resultante de la interferencia con la de las interferentes. Hay cambios? Qué conclusión extraes de esta observación?

Al tener ambas ondas igual longitud de onda (λ), tendrán también igual frecuencia (f) e igual periodo (T) \Rightarrow La onda resultante tendrá también la misma Longitud de onda, frecuencia y periodo.

1.2 Interferencia destructiva o en contrafase

La interferencia coherente es destructiva cuando las dos ondas que interfieren tienen un desfase de 180° . Para comprobarlo configuramos el Emanim con

Phase difference = 180

Haz los casos propuestos en la tabla II igual que en el ejercicio 1.1.

Tabla II: Interferencia coherente destructiva

	Wave 1	Wave 2	Wave1 + Wave2	
			Amplitud	Polarización
a)	V	V	0	LINEAL
b)		H	7,07	LINEAL (135°)
c)	H	V	7,07	LINEAL (135°)
d)		H	0	LINEAL
f)	RHC	RHC	0	LINEAL
g)		LHC	10	LINEAL (V)
h)		H	5	LINEAL (V)
i)	LHC	LHC	0	LINEAL
j)		H	5	LINEAL (V)

- En qué casos la amplitud de la onda resultante de la interferencia es cero? Por qué hay casos en que no ocurre lo mismo?

En los casos de igual polarización, ya que ambas ondas se contrarrestan, dando lugar a una interferencia destructiva. En los casos en que la polarización de las ondas no es la misma no se genera una interferencia destructiva en todo momento; dándose instantes de interferencias constructivas e instantes de interferencias destructivas.

- Cuánto va una onda adelantada respecto de la otra si el desfase es 180° ? Y cuánto es el desplazamiento en el tiempo? Calcula ambos valores si $\lambda=5$ m y $c_0=3 \cdot 10^8$ m/s

Teniendo en cuenta que la longitud de onda es la distancia entre dos crestas consecutivas de una onda, la diferencia entre ambas es de media longitud de onda ($\lambda/2$). Con respecto a los periodos, los periodos de las señales son iguales; sin embargo el desplazamiento en el tiempo entre las dos ondas es la mitad de un periodo ($T/2$), lo que equivale a 180° . Para los valores dados:

Desplazamiento entre las ondas = $\lambda/2 = 2,5$ m.

$$\text{Desplazamiento en el tiempo} \Rightarrow c = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{5} = 6 \times 10^7 = 60 \text{ Mhz} \Rightarrow$$

$$T = \frac{1}{f} = 16,6 \text{ ns} \Rightarrow \text{Desplazamiento en el tiempo} = T/2 = 8,33 \text{ ns.}$$

1.3 Ondas Ortogonales o en cuadratura de fase.

Un caso particular de interferencia coherente se da cuando las dos ondas que interfieren tienen un desfase de 90° . Para comprobarlo configuramos el EManim a

Phase difference = 90°

Haz los casos propuestos en la tabla III igual que en el ejercicio 1.1 e 1.2.

Tabla III: Ondas en Cuadratura de fase

			Wave1 + Wave2	
	Wave 1	Wave 2	Amplitud	Polarización
a)	V	V	7,07*	LINEAL (V)
b)		H	5	CIRCULAR (L)
c)	H	V	5	CIRCULAR (R)
d)		H	7,07	LINEAL (H)
f)	RHC	RHC	7,07**	CIRCULAR (R)
g)		LHC	10	LINEAL

*Las dos ondas, desfasadas 90° , representan el seno y el coseno. La amplitud máxima se produce cuando $\sin(x) = \cos(x) \Rightarrow X=45^\circ$. Dado que la Amplitud de cada onda es 5, la Amplitud de la onda resultante será:
 $5 \sin(45^\circ) + 5 \cos(45^\circ) = 7,07$.

** Por el Teorema de Pitágoras.

- Se te ocurre cómo podrías conseguir que la onda resultante de la interferencia fuera elíptica CCW? Explica como:

La resultante de una onda CIRCULAR (L) y una onda HORIZONTAL nos daría como resultado una onda ELÍPTICA (L)

1.4 Conclusión sobre la Interferencia Coherente.

- Según los resultados observados en los apartados anteriores, explica razonadamente cuál estimas que es el caso más y menos favorable de interferencia coherente según las polarizaciones y desfase de las ondas interferentes.

El caso MÁS FAVORABLE lo encontramos cuando las dos ondas están en fase. Se puede comprobar que la Amplitud de la onda resultante es máxima con respecto a los casos de contrafase y cuadratura para todos los casos de polarización estudiados. En la mayoría de polarizaciones obtenidas en este caso, la Amplitud de la onda resultante es igual a la suma de las Amplitudes de las ondas interferentes.

El caso MÁS DESFAVORABLE lo encontramos cuando las ondas están en CONTRAFASE donde además, en los casos de idéntica polarización entre las ondas, la resultante es nula.

2. Suma de Ondas No Coherentes: Multiplexación FDM

Cuando por un mismo medio se propagan al mismo tiempo dos o más ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (ondas no coherentes) no interfieren entre sí, ya que como tienen diferentes frecuencias sus espectros no se solapan. Es el caso de la llamada **multiplexación por división en frecuencia FDM**. En este caso, aunque se recibe una señal resultante de la suma de las ondas, en recepción siempre es posible recuperar las señales originales empleando filtros. Usaremos el Emax para observar el resultado de esta superposición temporal de ondas de diferente frecuencia. Para ello configuramos los siguientes valores:

Wave 1: Wavelength=4

Wave 2: Wavelength=8

Observa el resultado en los siguientes casos:

a) Suma de dos Ondas con polarización Vertical.

b) Suma de dos Ondas con polarización RCH.

- La onda resultante de la superposición sigue pareciendo una onda sinusoidal? Y, tiene la misma polarización que las ondas que se suman?

No, en ninguno de los dos casos obtenemos como resultante una onda sinusoidal y no muestra la misma polarización que las ondas interferentes.

- Sabes como se llaman las figuras que describe la onda resultante de la superposición en los diferentes casos?

Cuando dos o más ondas se superponen y su suma produce una onda diferente, en términos de Amplitud, hablamos de INTERFERENCIA. La figura que describe la onda resultante se conoce como PATRÓN DE INTERFERENCIA.

- En el caso de la **Dispersión por Multitrayecto**, en qué tipo de caso de los vistos encajaría? Por qué?

Hablamos de DISPERSIÓN MULTITRAYECTO (Scattering) cuando una onda EM se propaga desde una fuente hasta un receptor por múltiples trayectos debido a fenómenos como la reflexión, difracción, refracción...

Al ser diferente la distancia que recorre la onda por cada trayecto, tardará más o menos en llegar al receptor, lo que provocará en el receptor una superposición de ondas que podrá dar lugar a interferencias constructivas y/o destructivas.

En el caso de la dispersión por multitrayecto, las interferencias que se producen son

generalmente NO CONSTRUCTIVAS. La razón principal de esto es que las ondas reflejadas que llegan al receptor después de múltiples reflexiones desde diferentes obstáculos y trayectos tienden a no estar en fase, debido a las variaciones en las longitudes de trayecto.

Dado que las fases de las ondas reflejadas no están sincronizadas y pueden ser aleatorias, se consideran NO COHERENTES. Cuando las ondas no son coherentes no exhiben un patrón de interferencia consistente que se pueda predecir o explotar de manera constructiva.