



Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

Universidad de Vigo

Sistemas de Radiocomunicaciones

Práctica 1 Curso 2015/16





Práctica 1

Refuerzo de conceptos fundamentales de radiocomunicación

Contenidos

Parte 1 Repaso Ondas y parámetros

- Introducción. Repaso de lo estudiado en Física II y F. Electrotecnia.
- Soluciones de la Ecuación de Onda. Dominio temporal y fasorial.
- Parámetros de una onda con variación temporal armónica.
- Concepto de polarización.
- **Actividades.** [Cálculos, Preguntas Test/Abiertas] [[Recurso Applets/MatLab](#)]

Parte 2 Decibelios y conversión de unidades

- Introducción. Repaso de lo estudiado en F. Electrónica.
- Unidades.
- Fórmulas en Radiocomuniación.
- **Actividades.** [Cálculos, Transformaciones, Operaciones] [[Recurso MatLab](#)]

Parte 3 Legislación en Radiocomunicaciones

- Introducción. Repaso de lo estudiado en las clases de teoría.
- El reglamento de Radiocomunicaciones.
- Reales Decretos, Normas UNE e ITU. Enlaces de interés.
- **Actividades.** [Consulta y síntesis] [[Recurso Internet](#)]

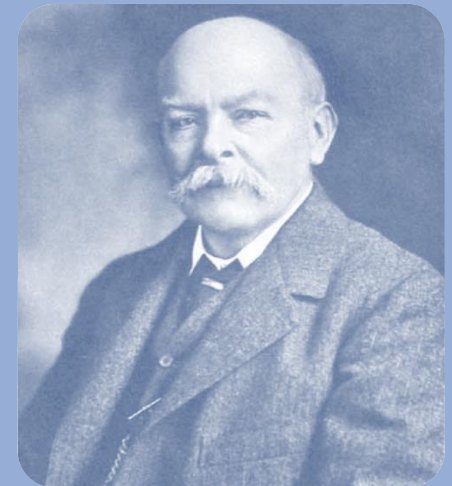


Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

Universidad de Vigo

Parte 1

Repaso Ondas y Parámetros





- El bloque de "**Campos y Ondas**" presenta el primer contacto del estudiante de la titulación con el fenómeno de la onda electromagnética, que es el soporte físico de la transmisión de la información a velocidad casi instantánea. Se introducirán los modelos matemáticos de los campos electromagnéticos que permiten comprender el comportamiento de las ondas electromagnéticas en entornos reales.
- Los **sistemas de telecomunicación** son sistemas de comunicación a distancia que se caracterizan por la utilización de señales eléctricas como soporte de la información. Todo sistema de comunicación requiere tres elementos constitutivos fundamentales: emisor, canal y receptor.





- En los sistemas de telecomunicación existen dos tipos de canales que permiten transferir señales eléctricas del emisor al receptor: las **líneas de transmisión** y los **canales radioeléctricos**.



- En el caso de las líneas de transmisión existe una conexión física entre el emisor y el receptor que guía la propagación de las **ondas electromagnéticas**.
- En los canales radioeléctricos la señal que lleva la información enlaza emisor y receptor por medio de **ondas electromagnéticas** que se propagan en el medio existente entre ambos.

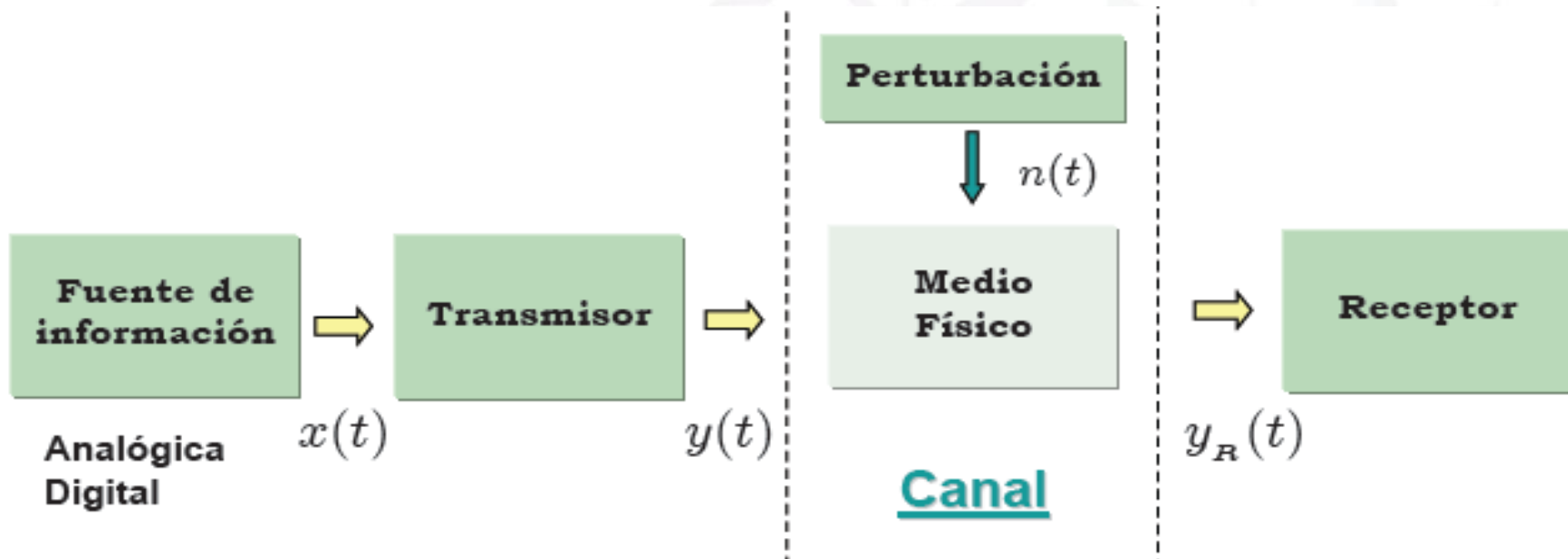


- Se requiere la aplicación de la **Teoría Electromagnética** en el estudio del comportamiento de las señales en los canales (propagación en espacio y en líneas), y en el diseño de los procedimientos de acoplamiento entre estos canales y los emisores y receptores (antenas).
- El objetivo de esta asignatura será dotar al alumno de una serie de conocimientos de **Teoría Electromagnética**, que conozca y comprenda las ecuaciones que rigen el comportamiento de los campos electromagnéticos con variación temporal, y en particular de las **ondas electromagnéticas**, pues constituyen la base de los sistemas de telecomunicación actuales.
- Su estudio se completará en la asignatura de Radiocomunicaciones.



Práctica 1 – Parte 1. Introducción

Esquema de un sistema de telecomunicación



El soporte de la información en cualquier sistema de radiocomunicación, y en general de telecomunicaciones, es la onda electromagnética.



Práctica 1 – Parte 1. Introducción

La Ecuación de Onda. Dominios del tiempo y de la frecuencia

Aptdo C.1 – La Ecuación de Onda
Punto de Partida

- Para medios lineales, homogéneos e isotropos:
 - Densidad de corriente de conducción: $\vec{J}(\vec{r}, t) = \sigma \vec{E}(\vec{r}, t)$
 - Vector de Desplazamiento Eléctrico: $\vec{D}(\vec{r}, t) = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}(\vec{r}, t) = \epsilon \vec{E}(\vec{r}, t)$
 - Vector de Inducción Magnética: $\vec{B}(\vec{r}, t) = \mu_0 \mu_r \vec{H}(\vec{r}, t) = \mu \vec{H}(\vec{r}, t)$
- Ecuaciones de Maxwell en forma diferencial:
 - Ley de Gauss para el campo eléctrico: $\nabla \cdot \vec{D}(\vec{r}, t) = \rho(\vec{r}, t)$
 - Ley de Gauss para el campo magnético: $\nabla \cdot \vec{B}(\vec{r}, t) = 0$
 - Ley de Faraday: $\nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial \vec{B}(\vec{r}, t)}{\partial t}$
 - Ley de Ampère-Maxwell: $\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) = \vec{J}(\vec{r}, t) + \frac{\partial \vec{D}(\vec{r}, t)}{\partial t}$

210



Aptdo C.1 – La Ecuación de Onda
En el dominio del tiempo

- Aplicando el operador rotacional a la Ley de Faraday, y después de hacer varias operaciones vectoriales y sustituir en el resultado la Ley de Gauss y la Ley de Ampère-Maxwell:

$$\nabla^2 \vec{E}(\vec{r}, t) - \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = \nabla \frac{\rho(\vec{r}, t)}{\epsilon} + \mu \frac{\partial \vec{J}(\vec{r}, t)}{\partial t}$$
- De forma análoga, aplicando el operador rotacional a la Ley de Ampère-Maxwell, y después de hacer varias operaciones vectoriales y sustituir en el resultado la Ley de Gauss y la Ley de Faraday:

$$\nabla^2 \vec{B}(\vec{r}, t) - \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{B}(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = -\mu \nabla \times \vec{J}(\vec{r}, t)$$
- En un medio sin fuentes ambas tienen la misma forma:

$$\nabla^2 \vec{A}(\vec{r}, t) = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{A}(\vec{r}, t)}{\partial t^2}$$

211

Aptdo C.1 – La Ecuación de Onda
En el dominio de los fasores

- Consideraremos variación temporal armónica:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0(\vec{r}) \cos[wt + \phi_E(\vec{r})]$$
- El fasor del campo se escribiría como:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}_0(\vec{r}) e^{j\phi_E(\vec{r})}$$
- Ecuaciones de Maxwell en forma fasorial:
 - $\nabla \cdot \vec{D}(\vec{r}) = \rho(\vec{r})$
 - $\nabla \cdot \vec{B}(\vec{r}) = 0$
 - $\nabla \times \vec{E}(\vec{r}) = -j\omega \vec{B}(\vec{r})$
 - $\nabla \times \vec{H}(\vec{r}) = \vec{J}(\vec{r}) + j\omega \epsilon \vec{E}(\vec{r})$

213



Aptdo C.1 – La Ecuación de Onda
En el dominio de los fasores

- Hipótesis:
 - Variación temporal armónica
 - Medio lineal, homogéneo, isotropo y no dispersivo
 - Medio sin fuentes
- Ecuación de onda para el campo eléctrico:

$$\nabla^2 \vec{E}(\vec{r}) = \gamma^2 \vec{E}(\vec{r})$$
- Se define la constante de propagación como:

$$\gamma = \sqrt{-\omega^2 \mu \epsilon + j\omega \mu \sigma} = \alpha + j\beta$$
- En un medio sin pérdidas ($\sigma=0$ S/m):
 - Constante de atenuación $\alpha = 0$ Np / m
 - Constante de fase $\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon}$ rad / m

214



Práctica 1 – Parte 1. Introducción

Dominios del tiempo y de la frecuencia en F. Electrotecnia

Aptdo 3.1 – Formas de onda periódicas
Parámetros de las señales periódicas senoidales

- Señal alterna:

$$f(t) = f_m \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

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

ω , pulsación o frecuencia angular
 T , período (segundos, s)
 φ , ángulo de fase (radianes, rad)
 f , frecuencia (hertzios, Hz)

El ángulo de fase en ocasiones se expresará en grados pero no es correcto.

- La frecuencia de red común en Europa es de 50Hz.
- En los Estados Unidos y en la mayoría de los demás países del continente americano, la tensión de red tiene una frecuencia de 60 Hz.

4

Aptdo 3.1 – Formas de onda periódicas
Parámetros de las señales periódicas senoidales

- Valor instantáneo: $y(t) = Y_m \cdot \cos(\omega t + \varphi)$
- Valor máximo: Y_m
- Valor pico a pico: $Y_{pp} = 2 \cdot Y_m$
- Valor medio: $Y_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt = 0$

Se puede interpretar como la componente de continua de la onda sinusoidal. Como en una señal sinusoidal el semiciclo positivo es idéntico al negativo, su valor medio es nulo.

- Valor eficaz: $Y = Y_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} = \frac{Y_m}{\sqrt{2}}$

Su importancia se debe a que este valor es el que produce el mismo efecto calorífico que su equivalente en corriente continua.

5

Aptdo 3.3 – Representación fasorial
Analogía senoides fasores

- Existe una correspondencia entre una función sinusoidal y un vector complejo.
- Una función sinusoidal es la proyección de un vector giratorio sobre los ejes de un sistema coordenado (eje real y eje imaginario).

Una función sinusoidal queda representada unívocamente por su **fasor equivalente**.

11

Aptdo 3.3 – Representación fasorial
Concepto de Fasor

- Existe una correspondencia entre una función sinusoidal $y(t)$ y un número complejo Y :

$$y(t) = \sqrt{2} Y \cdot \cos(\omega t + \varphi) \Leftrightarrow Y = Y \angle \varphi$$
- Se denomina **fasor** a la cantidad compleja Y que contiene la información del valor eficaz y fase de una señal sinusoidal.

$$Y = Y \cdot e^{j\varphi} = Y \angle \varphi$$
- En corriente alterna representaremos las funciones sinusoidales $v(t)$ e $i(t)$ mediante fasores equivalentes:

$$V \cdot e^{j\omega t} = V \angle \varphi_v \quad \left(V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \right)$$

$$I \cdot e^{j\omega t} = I \angle \varphi_i \quad \left(I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \right)$$

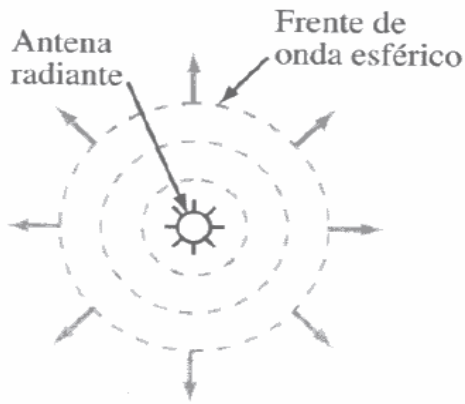
12



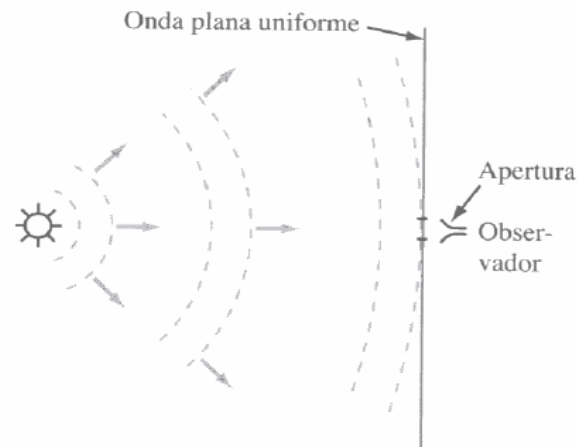
Práctica 1 – Parte 1. La Ecuación de Onda

Soluciones de la ecuación de onda

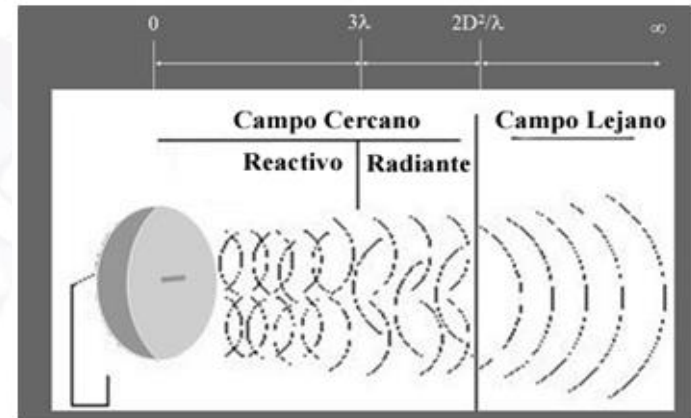
- Tres tipos de soluciones:
 - Ondas esféricas
 - Ondas cilíndricas
 - Ondas planas



(a) Onda esférica



(b) Onda aproximadamente plana



- Principales características de una onda plana:
 - Las ondas planas son ondas transversales
 - compuestas por un campo eléctrico y magnético simultáneamente.
 - ambos campos oscilan perpendicularmente entre sí;
 - ambos campos son perpendiculares a la dirección de propagación
 - la dirección de propagación es la dirección del producto vectorial $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$.



Práctica 1 – Parte 1. Polarización de la Onda

Concepto y tipos de polarización

- A una distancia lo suficientemente grande de la fuente todas las ondas pueden considerarse **ondas planas**.
 - ✓ Los campos eléctrico y magnético son perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación.
 - ✓ Los campos oscilan sólo en un determinado plano.
 - ✓ La forma trazada sobre un plano fijo por el vector campo puede ser:
 - una recta → polarización lineal
 - un círculo → polarización circular
 - una elipse → polarización elíptica



- Fasor de intensidad de campo eléctrico asociado a una onda plana:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}_0(\vec{r}) e^{-\gamma \hat{v} \cdot \vec{r}}$$

donde:

- γ es la constante de propagación $\gamma = \alpha + j\beta$
- \hat{v} es el vector unitario que identifica la dirección de propagación
- \vec{r} es el vector de posición en coordenadas cartesianas $\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$
- E_0 es un vector complejo perpendicular a la dirección de propagación $\vec{E}_0 \perp \hat{v}$



Práctica 1 – Parte 1. Polarización de la Onda

Concepto y tipos de polarización

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

es la constante de propagación de una onda donde

$$\alpha = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} \left\{ \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right)^2} - 1 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{Np/m} \quad \text{es la constante de atenuación}$$

$$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} \left\{ \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right)^2} + 1 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{rad/m} \quad \text{es la constante de fase}$$

σ, μ, ε son los parámetros constitutivos del medio a la frecuencia de variación del campo (ω) y por lo tanto dependerán del valor de dicha frecuencia. Estos parámetros serán, en general, dependientes de la frecuencia.



Práctica 1 – Parte 1. Polarización de la Onda

Concepto y tipos de polarización

- En un medio sin pérdidas $\alpha = 0$ por lo que $\gamma = j\beta$ con $\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$
Se observa que el campo en un punto fijo del espacio ($z=\text{cte}$) varía (**progresiva**) como un coseno de amplitud constante y frecuencia ω ; independientemente del valor de "z"
- En un medio con pérdidas $\alpha \neq 0$ se observa que el campo en un punto del espacio ($z=\text{cte}$) varía (**progresiva**) como un coseno de frecuencia ω y amplitud que decrece a medida que la coordenada "z" aumenta.
- Existe un caso en el que la onda se encuentra con una discontinuidad y parte o la totalidad de la onda se ve reflejada en dicha discontinuidad con lo que en el medio se propaga la onda progresiva y la regresiva dando lugar a la aparición de lo que se conoce como **onda estacionaria**.



Práctica 1 – Parte 1. Parámetros de la Onda

Casos según las condiciones de contorno

Aptdo C.2 – Soluciones de la Ecuación de Onda
Caso 1: Onda Progresiva

- La onda se propaga.

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \hat{x} |A| \cos(\omega t - \beta z + \phi_A)$$

Sólo en medios SIN pérdidas

Velocidad de propagación $v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\lambda}{T}$	Longitud de onda $\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$	Periodo $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$	Cte de Fase $\beta = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$
--	--	--	--

218

Aptdo C.2 – Soluciones de la Ecuación de Onda
Caso 2: Onda Estacionaria

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \hat{x} |C| \cos(\beta z) \cos \omega t + \phi_C$$

distancia mínimos y máximos consecutivos $\frac{\lambda}{2}$

distancia máximo-mínimo consecutivos $\frac{\lambda}{4}$

222

Aptdo C.2 – Soluciones de la Ecuación de Onda
Caso 1: Onda Progresiva

- Si el medio tuviese pérdidas ($\sigma \neq 0 \rightarrow \alpha \neq 0$) la onda se propaga atenuándose.

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \hat{x} |A| e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z + \phi_A)$$

Velocidad de propagación $v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\lambda}{T}$	Longitud de onda $\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$	Periodo $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$	Cte de Fase $\beta = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$
--	--	--	--

219

Aptdo C.2 – Soluciones de la Ecuación de Onda
Caso 2: Onda Estacionaria

- Los puntos que no vibran que permanecen inmóviles, estacionarios, se denominan nodos, mientras que los puntos de amplitud de vibración máxima, igual al doble de la de las ondas que interfieren, se denominan vientos o antinodos.
- Relación de Onda Estacionaria (ROE o SWR), es la relación entre los valores máximo y mínimo de la onda estacionaria.
- El Coeficiente de Reflexión, Γ , es la relación entre la amplitud reflejada sobre incidente. Es un valor complejo (módulo y fase).

$$ROE = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

223



Práctica 1 – Parte 1. Parámetros de la Onda

Frecuencia, longitud de onda, velocidad de propagación

■ Período

- Duración, en el dominio temporal, del ciclo
- Símbolo y unidades: T , segundos (s)

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

■ Frecuencia

- Número de ciclos en un segundo. $f = 1/T$
- Símbolo y unidades: f , hertzios (Hz)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

■ Longitud de onda

- Duración, en distancia, del ciclo.
- Símbolo y unidades: λ , metros (m)

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$$

Cte de Fase $\beta = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$

en medios sin pérdidas

■ Velocidad de propagación

- Símbolo y unidades: c , metros/segundos (m/s)

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

■ Amplitud o intensidad de campo

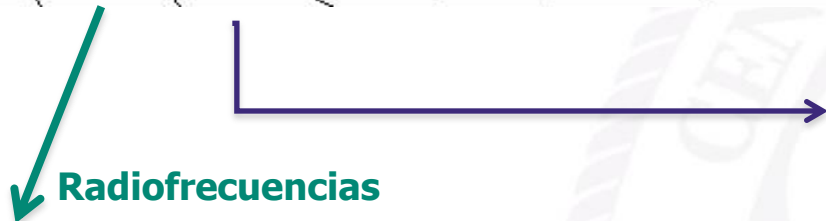
- Símbolo y unidades: E_0 (V/m) o H_0 (A/m)



Práctica 1 – Parte 1. Parámetros de la Onda

Espectro de radiaciones electromagnéticas

No ionizante						Ionizante			
$hf < 12,4 \text{ eV}$						$hf < 12,4 \text{ eV}$			
Subradio frecuencias	Radio frecuencias	Microondas	Infrarrojos	Luz visible	Ultravioletas no ionizantes	Ultravioletas ionizantes	Rayos X	Rayos γ	Rayos cósmicos
0	30 kHz	1 GHz	300 GHz	385 THz	750 THz	3 Phz	30 PHz	3 EHz	>3000 EHz
30 kHz	1 GHz	300 GHz	385 THz	750 THz	3000 THz	30 PHz	300 EHz	3000 EHz	< 0,1 pm
∞	100 km	300 mm	1 mm	780 nm	400 nm	100 nm	10 nm	100 pm	< 0,1 pm
100 km	300 mm	1 mm	780 nm	400 nm	100 nm	10 nm	1 pm	0,1 pm	



Bandas de frecuencia de microondas

Banda	P	L	S	C	X	K _u	K	K _a	Q	U	V	E	W	F	D
Inicio (GHZ)	0,2	1	2	4	8	12	18	26,5	30	40	50	60	75	90	110
Final (GHZ)	1	2	4	8	12	18	26,5	40	50	60	75	90	110	140	170

Nombre	Abreviatura inglesa	Banda ITU	Frecuencias	Longitud de onda
			Inferior a 3 Hz	> 100.000 km
Extra baja frecuencia	ELF	1	3-30 Hz	100.000–10.000 km
Super baja frecuencia	SLF	2	30-300 Hz	10.000–1000 km
Ultra baja frecuencia	ULF	3	300–3000 Hz	1000–100 km
Muy baja frecuencia	VLF	4	3–30 kHz	100–10 km
Baja frecuencia	LF	5	30–300 kHz	10–1 km
Media frecuencia	MF	6	300–3000 kHz	1 km – 100 m
Alta frecuencia	HF	7	3–30 MHz	100–10 m
Muy alta frecuencia	VHF	8	30–300 MHz	10–1 m
Ultra alta frecuencia	UHF	9	300–3000 MHz	1 m – 100 mm
Super alta frecuencia	SHF	10	3-30 GHz	100-10 mm
Extra alta frecuencia	EHF	11	30-300 GHz	10–1 mm



Práctica 1 – Parte 1. Parámetros de la Onda

Espectro de radiaciones electromagnéticas



Figura 1: Rangos de ondas y de frecuencias utilizadas por el radar.



Práctica 1 – Parte 1. Polarización de la Onda

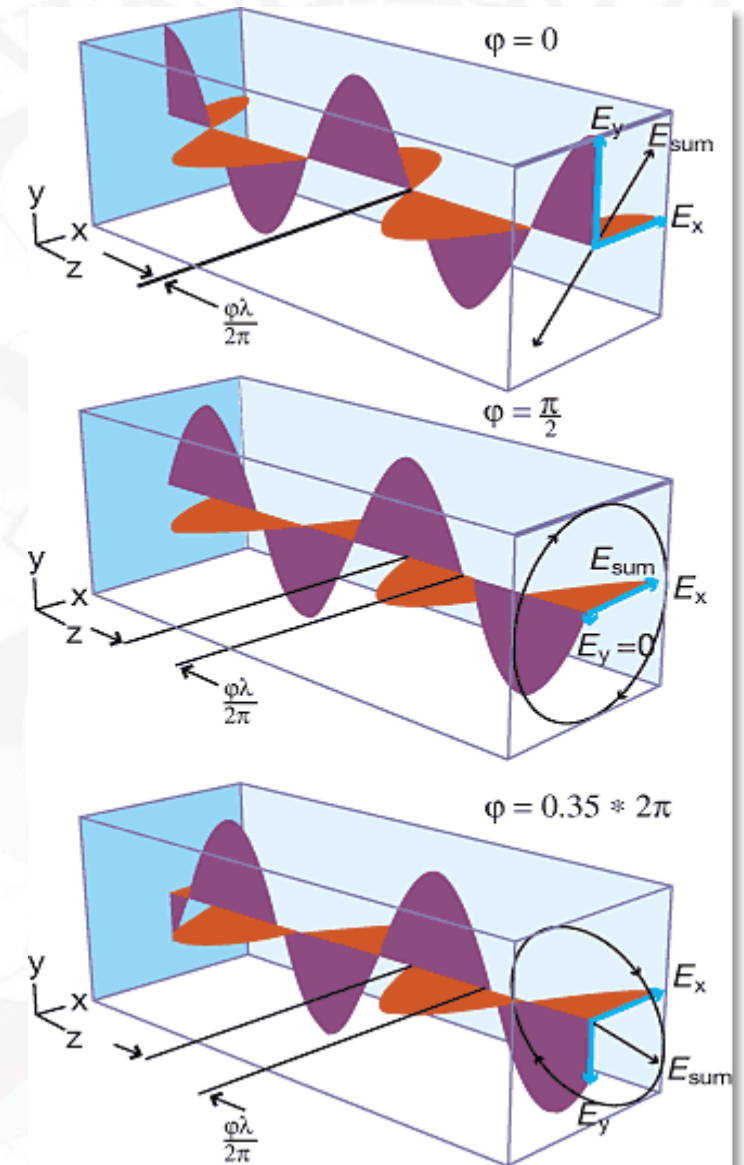
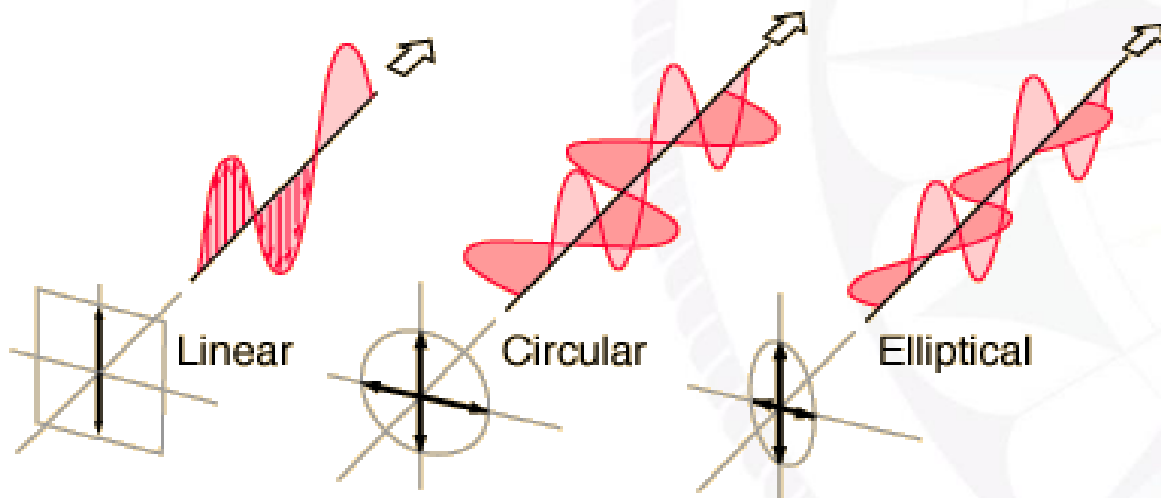
Concepto y tipos de polarización

■ Polarizaciones:

– Lineal: $|\vec{E}_R| = 0$ ó $|\vec{E}_I| = 0$ ó $\vec{E}_R \parallel \vec{E}_I$

– Circular: $|\vec{E}_R| = |\vec{E}_I|$ y $\vec{E}_R \wedge \vec{E}_I$

– Elíptica: Resto de los casos





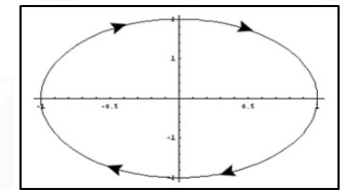
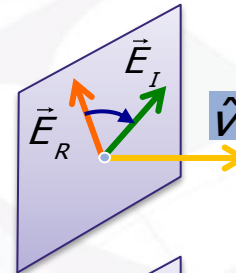
Práctica 1 – Parte 1. Polarización de la Onda

Concepto y tipos de polarización

- **Sentido de giro** del campo cuando describe la elipse de polarización.

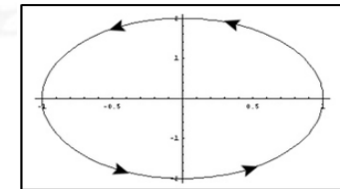
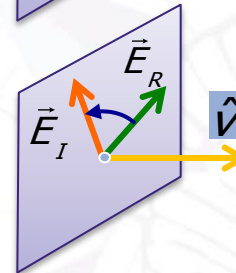
- Dextrógira, a derechas o positiva:

$$(\vec{E}_R \cdot \vec{E}_I) \times \hat{v} < 0$$



- Levógira, a izquierdas o negativa:

$$(\vec{E}_R \cdot \vec{E}_I) \times \hat{v} > 0$$



- **Relación Axial**, relación entre el eje mayor y el eje menor de la elipse. Esta relación se corresponde con el cociente entre el módulo máximo del vector campo y su módulo mínimo:

$$\text{r.a.} = \frac{|\vec{E}|_{\max}}{|\vec{E}|_{\min}} = \frac{|\vec{H}|_{\max}}{|\vec{H}|_{\min}}$$

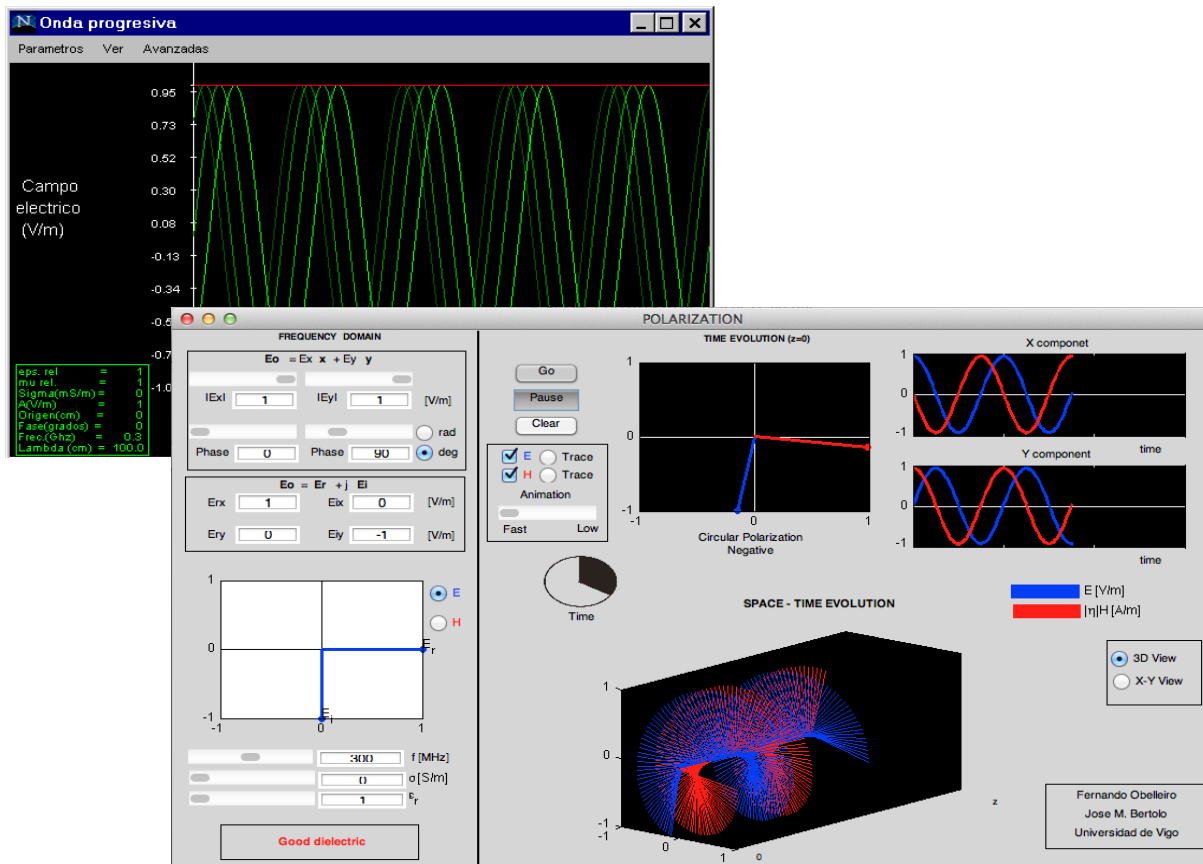
- Casos particulares:

- Polarización Lineal: r.a.= ∞ ó 0
- Polarización circular: r.a.=1

Práctica 1 – Parte 1. Actividades

Actividades propuestas y ejercicios puntuables

- Cálculos básicos
- Análisis de polarizaciones
- Preguntas de control/evaluación
- Ejercicios 1 al 4



Centro Universitario De La Defensa
Escuela Naval Militar de Marín
Sistemas de Radiocomunicaciones

LABORATORIO DE SRCOM – CURSO 2013/2014
Cuestionario Práctica 1: Refuerzo conceptos fundamentales

GRUPO ___ NOMBRE _____

GRUPO ___ NOMBRE _____

Parámetros de las Ondas

Ejercicio 1

Calcule la longitud de onda asociada a las siguientes frecuencias, tanto en el vacío como en un medio de permitividad relativa $\epsilon_r=4$:

Frecuencia	λ_0	$\lambda (\epsilon_r=4)$
1 KHz		
3 MHz		
2 GHz		

Ejercicio 2

En referencia a las ondas electromagnéticas ¿qué proposición es falsa?

- Están formadas por un campo eléctrico y otro magnético perpendiculares entre sí.
- La velocidad de propagación es constante e independiente del medio considerado.
- Transportan energía de un punto a otro sin que exista un transporte neto de materia.

Ejercicio 3

Indique la polarización de los siguientes fasores de campo eléctrico:

- $\vec{E}(\vec{r}) = E_0 \hat{x} e^{-j\beta z}$
- $\vec{E}(\vec{r}) = E_0 (\hat{x} + j\hat{y}) e^{-j\beta z}$
- $\vec{E}(\vec{r}) = E_0 (2\hat{x} + j3\hat{y}) e^{-j\beta z}$

¿En qué dirección se propagan las ondas anteriores?

Ejercicio 4

Abra el applet correspondiente a las ondas progresivas con pérdidas. Especifique en primer lugar los siguientes parámetros: Medio: $\epsilon_r=1$, $\mu_r=1$, $\sigma=0$ y Excitación: $A=1V/m$, $f=300MHz$. Aumente progresivamente la conductividad del medio material y comente que observa, por ejemplo utilizando la secuencia $\sigma=0, 1, 2, 4, 8, 16$.

¿Observa variación de la longitud de onda? ¿y de la frecuencia? ¿A qué se debe?

Parámetros de las Ondas 1

Fernando Obelleiro
Jose M. Bertolo
Universidad de Vigo



Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

Universidad de Vigo

Parte 2

El decibelio: unidades y cálculos





Medidas en decibelios

- La ganancia de potencia se suele expresar en decibelios (dB), siendo $G_{dB} = 10 \log G = 10 \log (P_o / P_i)$
 - Si la salida es mayor que la entrada (amplificador), la ganancia en dB es positiva.
 - Si la salida es menor que la entrada (atenuador), la ganancia en dB es negativa.
- En amplificadores en cascada, la ganancia total es el producto de sus ganancias: $G = G_1 * G_2$; aplicando log en ambos miembros se obtiene
$$G_{dB} = 10 \log(G) = 10 \log(G_1 * G_2) = 10 \log(G_1) + 10 \log(G_2) = G_{1dB} + G_{2dB}$$
 - Ventajas al trabajar en dB: se suman las ganancias y atenuaciones de cada etapa.
- Si $G = P_o/P_i = (V_o I_o)/(V_i I_i) = A_v A_i = (A_v)^2 (R_i/R_L)$; siendo $A_i = A_v (R_i/R_L)$ convirtiendo a dB:
 - $G_{dB} = 10 \log A_v^2 + 10 \log R_i - 10 \log R_L$
 - Si $R_i = R_L$, entonces se simplifica a $A_{v,dB} = 20 \log |A_v|$
- No confundir dB con dBmV, dBW, dBmW igual a dBm. Son diferentes notaciones que dependen del nivel de referencia establecido. Ejemplos:
 - dBV = $20 \log (V / 1V)$
 - dBW = $10 \log (P / 1w)$
 - dBmW = dBm = $10 \log (P / 1 mW)$





- El decibelio es una unidad logarítmica que debe su nombre a Alexander Graham Bell.
- Si comparamos dos potencias p_1 y p_2 , la relación de potencias evaluada en dB es:

$$10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \quad [dB]$$

- Por tanto el decibelio es una unidad de medida relativa
- Cuando se comparan tensiones o intensidades de campo eléctrico debe tenerse en cuenta que la potencia es proporcional V^2 o a $|E|^2$. Por ello, si comparamos dos tensiones o dos intensidades de campo eléctrico E_1 y E_2 , la relación evaluada en dB es:

$$20 \cdot \log_{10} \left(\frac{|E_2|}{|E_1|} \right) \quad [dB]$$



- También se emplea el decibelio como medida del nivel de señal. Se toma entonces como referencia un nivel determinado, lo cual se indica con una letra después de dB.
- Por ejemplo, para niveles de potencia es habitual tomar el valor en decibelios referido a 1 W y se habla entonces de dBW.

$$P[dBW] = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p[W]}{1W} \right) = 10 \cdot \log_{10}(p)$$

- En consecuencia:

$$Potencia [dBW] = 10 \cdot \log_{10}(p[W]) \Rightarrow p[W] = 10^{\frac{P[dBW]}{10}}$$

$$Potencia [dBm] = 10 \cdot \log_{10}(p[mW]) \Rightarrow p[mW] = 10^{\frac{P[dBm]}{10}}$$

$$Potencia [dB\mu] = 10 \cdot \log_{10}(p[\mu W]) \Rightarrow p[\mu W] = 10^{\frac{P[dB\mu]}{10}}$$



- Lo mismo es aplicable a intensidades de campo:

$$E[dBV / m] = 20 \cdot \log_{10} \left(e[V / m] \right)$$

$$E[dBmV / m] = 20 \cdot \log_{10} \left(e[mV / m] \right)$$

- Equivalencias:

$$E[dBmV / m] = E[dBV / m] + 120$$

$$E[dBV / m] = E[dBmV / m] - 120$$

- Relación tensión/potencia:

$$p = v \cdot i = \frac{v^2}{R} \Rightarrow 10 \cdot \log_{10}(p) = 20 \cdot \log_{10}(v) - 10 \cdot \log_{10}(R)$$

$$P[dBW] = V[dBV] - 10 \cdot \log_{10}(R)$$

- O de otra forma:

$$P[dBm] - 30 = V[dBm] - 120 - 10 \cdot \log_{10}(R)$$

$$P[dBm] = V[dBm] - 10 \cdot \log_{10}(R) - 90$$



- Equivalencias:

$$P[dBm] = P[dBW] + 30$$

$$P[dBW] = P[dBm] - 30$$

- Algunos ejemplos:

- Teléfono GSM: 27 dBm (500 mW)
- WiFi portátil: 15 dBm (32 mW)
- Potencia recibida de un satélite GPS: 0,2 fW (-127 dBm)
- Radar AN/SPY-1D: 6 MW (68 dBW)

- Valores prácticos:

- Un valor de dB > 0 significa **ganancia** o amplificación ($p_2 > p_1$)
- Un valor de dB = 0 significa ganancia unidad ($p_2 = p_1$)
- Un valor de dB < 0 significa pérdida o **atenuación** ($p_2 < p_1$)
- Un valor de dB = 3 significa doble de potencia ($p_2 = 2 * p_1$)
- Un valor de dB = -3 significa mitad de potencia ($p_2 = p_1 / 2$)



- Otras consideraciones importantes:

- $\text{dBm} + \text{dB} = \text{dBm}$
- $\text{dBW} + \text{dB} = \text{dBW}$
- $\text{dB}\mu\text{V} + \text{dB} = \text{dB}\mu\text{V}$

- ¡No se pueden sumar directamente dBW o dBm!

$$0\text{dBm} + 0\text{dBm} \neq 0\text{dBm} \Rightarrow 0\text{dBm} + 0\text{dBm} \approx 3\text{dBm}$$

- El dBm o el dBW pueden ser negativos y eso no es malo
- No es correcto decir “en este punto tengo 3dB” pero si “tengo 3dBm”

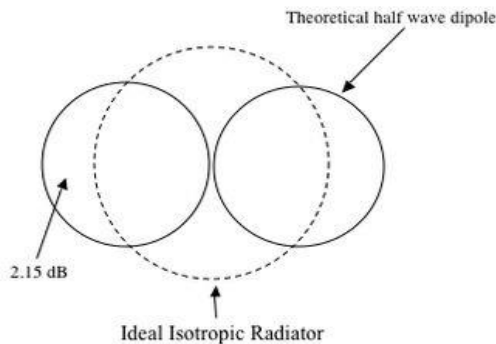


Práctica 1 – Parte 2. El deciBelio

Fórmulas en Radiocomunicación

■ Primer caso:

la **ganancia de una antena** se suele medir como la relación entre el máximo del vector de poynting puesto en el aire y el de la antena isótropa, cuando a ambas se le entrega la misma potencia. En este caso se habla de **dB*i***



$$G [dB_i] = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{g}{g_{iso}} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{g}{1} \right) = 10 \cdot \log_{10} g$$

■ Segundo caso:

la **ecuación de Friss** puede utilizarse en unidades naturales pero lo más habitual es aplicarla en su forma logarítmica:

$$P_R = P_T \frac{g_T g_R}{l_1 l_2 l_3}$$

$$P_R [dBW] = P_T [dBW] + G_R [dB] + G_T [dB] - L_1 [dB] - L_2 [dB] - L_3 [dB]$$

$$G_i [dB] = 10 \cdot \log_{10} g_i$$


$$P_i [dB] = 10 \cdot \log_{10} p_i$$

$$L_i [dB] = 10 \cdot \log_{10} \ell_i$$

Práctica 1 – Parte 2. Actividades

Actividades propuestas y ejercicios puntuables

- Cálculos básicos
- Transformación de ecuaciones
- Ejercicios 5y 6



Centro Universitario De La Defensa
Escuela Naval Militar de Marín
Sistemas de Radiocomunicaciones

LABORATORIO DE SRCOM – CURSO 2013/2014
Cuestionario Práctica 1: Refuerzo conceptos fundamentales

GRUPO ____ NOMBRE _____
GRUPO ____ NOMBRE _____

Parámetros de las Ondas

Ejercicio 1
Calcule la longitud de onda asociada a las siguientes frecuencias, tanto en el vacío como en un medio de permitividad relativa $\epsilon_r=4$:

Frecuencia	λ_0	$\lambda_c (\epsilon_r=4)$
1 KHz		
3 MHz		
2 GHz		

Ejercicio 2
En referencia a las ondas electromagnéticas ¿qué proposición es falsa?
a) Están formadas por un campo eléctrico y otro magnético perpendiculares entre sí.
b) La velocidad de propagación es constante e independiente del medio considerado.
c) Transportan energía de un punto a otro sin que exista un transporte neto de materia.

Ejercicio 3
Indique la polarización de los siguientes fasores de campo eléctrico:
a) $E(\vec{r}) = E_0 \hat{x} e^{-j\beta z}$
b) $E(\vec{r}) = E_0 (\hat{x} + j\hat{y}) e^{-j\beta z}$
c) $E(\vec{r}) = E_0 (2\hat{x} + j3\hat{y}) e^{-j\beta z}$
¿En qué dirección se propagan las ondas anteriores?

Ejercicio 4
Abra el applet correspondiente a las ondas progresivas con pérdidas. Especifique en primer lugar los siguientes parámetros: Medio: $\epsilon_r=1$, $\mu_r=1$, $\sigma=0$ y Excitación: $A=1V/m$, $f=300MHz$. Aumente progresivamente la conductividad del medio material y comente que observa, por ejemplo utilizando la secuencia $\sigma=0, 1, 2, 4, 8, 16$.
¿Observa variación de la longitud de onda? ¿y de la frecuencia? ¿A qué se debe?

Parámetros de las Ondas 1



Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

Universidad de Vigo

Parte 3

Legislación y Reglamento de Radiocomunicaciones





■ Internacionales

- ISO – Organización Internacional de Normalización, www.iso.org
- IEC – Comisión electrotécnica Internacional, www.iec.ch
- ITU – Unión Internacional de Telecomunicaciones, www.itu.int
- OTAN – Nato Standardization Agency, <http://nsa.nato.int/nsa/>
- Reglamento de Radiocomunicaciones de la IUT, <http://www.itu.int/pub/R-REG-RR/es>

■ Europeas

- CEN – Comité Europeo de Normalización, www.cenorm.be
- CENELEC – Comité Europeo de Normalización Electrotécnica www.cenelec.org
- ETSI – Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación, www.etsi.org

■ Nacionales

- Aenor (España), www.aenor.es
- Afnor (Francia), www.afnor.fr
- Din (Alemania), www.din.de
- BSI (Reino Unido), www.bsi.org.uk
- ANSI (Estados Unidos), www.ansi.org
- Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)

<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/Paginas/CNAF.aspx>



■ OTRAS

- EEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers, www.ieee.org
- ASTM – American Society for Testing and Materials, www.astm.org
- Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, www.coit.es
- Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones, www.cmt.es
- Asoc. de Empresas de Electrónica, Tecs. información y Telec., www.aetic.es
- Association of Computing Machinery, www.acm.org
- IEE/IET (Institution of Electrical Engineers ...) , www.theiet.org
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, www.mityc.es
www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/es-ES/Paginas/index.aspx
- Unión Europea, http://europa.eu/pol/infso/index_es.htm
- Entidad Nacional de Acreditación,
www.enac.es/web/enac/sectorTelecomunicaciones
- Ministerio Defensa
www.defensa.gob.es/politica/infraestructura/sistemas-cis/legislacion-normativa
- Un buen directorio, www.cellular-news.com/regulator

Práctica 1 – Parte 3. Actividades

Actividades propuestas y ejercicios puntuables

- Localización de servicios
- Cuadro CNAF
- Ejercicio 7

ATRIBUCIÓN A LOS SERVICIOS según el RR de la UIT		
8,3 - 110 kHz		
Región 1	Región 2	Región 3
Inferior a 8,3 kHz (No atribuida)	(No atribuida)	
	5.53 5.54	
8,3 - 9	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA 5.54A 5.54B 5.54C	
9 - 11,3	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA 5.54A RADIONAVEGACIÓN	
11,3 - 14	RADIONAVEGACIÓN	
14 - 19,95	FIJO MÓVIL MARÍTIMO 5.57	
	5.55 5.56	
19,95 - 20,05	FRECUENCIAS PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS (20 kHz)	
20,05 - 70	FIJO MÓVIL MARÍTIMO 5.57	
	5.56 5.58	

ATRIBUCIÓN NACIONAL	USOS	OBSERVACIONES
8,3 - 110 kHz		
Inferior a 8,3 kHz (No atribuida)		5.53 5.54
8,3 - 9 AYUDAS A LA METEOROLOGÍA	R	5.54A 5.54B 5.54C UN-117
9 - 11,3 AYUDAS A LA METEOROLOGÍA RADIONAVEGACIÓN	R	5.54A UN-0, UN -114, UN-117
11,3 - 14 RADIONAVEGACIÓN	R	UN-114, UN-117
14 - 19,95 FIJO MÓVIL MARÍTIMO	M M	5.56 5.57 UN-0, UN -114, UN-117
19,95 - 20,05 FRECUENCIAS PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS (20 kHz)	R	UN-114, UN-117
20,05 - 70 FIJO MÓVIL MARÍTIMO	M M	5.56 5.57 UN-0, UN -114, UN-117



Centro Universitario De La Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

Sistemas de Radiocomunicaciones

LABORATORIO DE SRCOM – CURSO 2013/2014
Cuestionario Práctica 1: Refuerzo conceptos fundamentales

GRUPO ___ NOMBRE _____

GRUPO ___ NOMBRE _____

Parámetros de las Ondas

Ejercicio 1

Calcule la longitud de onda asociada a las siguientes frecuencias, tanto en el vacío como en un medio de permitividad relativa $\epsilon_r=4$:

Frecuencia	λ_0	$\lambda (\epsilon_r=4)$
1 KHz		
3 MHz		
2 GHz		

Ejercicio 2

En referencia a las ondas electromagnéticas ¿qué proposición es falsa?

- Están formadas por un campo eléctrico y otro magnético perpendiculares entre sí.
- La velocidad de propagación es constante e independiente del medio considerado.
- Transportan energía de un punto a otro sin que exista un transporte neto de materia.

Ejercicio 3

Indique la polarización de los siguientes **fasores** de campo eléctrico:

- $\vec{E}(\vec{r}) = E_0 \hat{x} e^{-j\beta z}$
- $\vec{E}(\vec{r}) = E_0 (\hat{x} + j\hat{y}) e^{-j\beta z}$
- $\vec{E}(\vec{r}) = E_0 (2\hat{x} + j3\hat{y}) e^{-j\beta z}$

¿En qué dirección se propagan las ondas anteriores?

Ejercicio 4

Abra el **applet** correspondiente a las ondas progresivas con pérdidas. Especifique en primer lugar los siguientes parámetros: Medio: $\epsilon_r=1$, $\mu_r=1$, $\sigma=0$ y Excitación: $A=1V/m$, $f=300MHz$. Aumente progresivamente la conductividad del medio material y comente que observa, por ejemplo utilizando la secuencia $\sigma=0, 1, 2, 4, 8, 16$.

¿Observa variación de la longitud de onda? ¿y de la frecuencia? ¿A qué se debe?