



# **Pasos por Telecomunicaciones II**

**Notas de un estudiante**

**Jose Antonio Hancoco M.**



Copyright © 2022 Jose Hanco

LIBRO LIBRE DE USOS

[HTTPS://GITHUB.COM/YASPERTERIAN](https://github.com/YASPERTERIAN)

Con licencia de Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License (la “Licencia”). No puede usar este archivo excepto de conformidad con la Licencia. Puede obtener una copia de la Licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>. A menos que lo exija la ley aplicable o se acuerde por escrito, el software distribuido bajo la Licencia se distribuye “TAL CUAL”, SIN GARANTÍAS NI CONDICIONES DE NINGÚN TIPO, ya sea expresa o implícita. Consulte la Licencia para conocer el idioma específico que rige los permisos y las limitaciones en virtud de la Licencia.

*Primera edición, septiembre 2022*

Si existe algún error, crees que una sección se puede mejorar o dar cualquier tipo de *feedback* acerca del libro no dudes y mándame un correo a [jhanccoma@unsa.edu.pe](mailto:jhanccoma@unsa.edu.pe), te responderé lo más pronto que pueda y gracias por mejorar este libro de todos y para todos.

*Dedicatoria aquí*



# Contenido

I	Samples	
<b>1</b>	<b>Unidad I</b>	<b>8</b>
<b>1.1</b>	<b>Theorems</b>	<b>8</b>
1.1.1	Several equations	8
1.1.2	Single Line	8
<b>1.2</b>	<b>Definitions</b>	<b>8</b>
<b>1.3</b>	<b>Notations</b>	<b>9</b>
<b>1.4</b>	<b>Remarks</b>	<b>9</b>
<b>1.5</b>	<b>Corollaries</b>	<b>9</b>
<b>1.6</b>	<b>Propositions</b>	<b>9</b>
1.6.1	Several equations	9
1.6.2	Single Line	9
<b>1.7</b>	<b>Examples</b>	<b>9</b>
1.7.1	Equation and Text	9
1.7.2	Paragraph of Text	10
<b>1.8</b>	<b>Exercises</b>	<b>10</b>
<b>1.9</b>	<b>Problems</b>	<b>10</b>
<b>1.10</b>	<b>Vocabulary</b>	<b>10</b>
<b>1.11</b>	<b>Table</b>	<b>10</b>
<b>1.12</b>	<b>Figure</b>	<b>10</b>

<b>II</b>	<b>Antenas</b>	
<b>2</b>	<b>Unidad I</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>13</b>
2.1.1	Ancho de banda y capacidad de información	15
2.1.2	Ruido	16
2.1.3	Ruido térmico	16
2.1.4	Ángulo crítico	17
2.1.5	Repaso: Propagación de ondas electromagnéticas	18
<b>III</b>	<b>Internetworking 2</b>	
<b>3</b>	<b>Unidad I</b>	<b>22</b>
3.1	Protocolo spanning tree	22
<b>IV</b>	<b>Control Adaptativo Moderno</b>	
<b>4</b>	<b>Unidad I</b>	<b>24</b>
<b>V</b>	<b>Software de telecomunicaciones</b>	
<b>5</b>	<b>Unidad I</b>	<b>26</b>
<b>VI</b>	<b>Microelectrónica en radiofrecuencia</b>	
<b>6</b>	<b>Unidad I</b>	<b>28</b>
<b>VII</b>	<b>Anexos</b>	
	<b>Bibliography</b>	<b>30</b>
	<b>Articles</b>	<b>30</b>
	<b>Books</b>	<b>30</b>

---

## Libros recomendados:

- Fundamentos de circuitos eléctricos[alexander2013fundamentos]
- Signals and Systems Using MATLAB[chaparro2018signals]
- Procesamiento de señales analógicas y digitales[ambardar1995analog]
- Física Para Ciencias E Ingeniería. Vol 1[serway2018fisica1]
- Física Para Ciencias E Ingeniería. Vol 2[serway2018fisica2]
- Cálculo de una variable: trascendentes tempranas. 7ma edición [stewart12calculo]
- Análisis de Fourier[hsu1998analisis]
- Matemáticas Avanzadas Para Ingeniería[o2014matematicas]
- Métodos numéricos para ingenieros[chapra2013metodos]
- Comunicaciones y redes de computadores[stallings2004comunicaciones]
- Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos[boylestad1989electronica]
- Fundamentos de sistemas digitales[floyd2006fundamentos]
- Tratamiento de señales en tiempo discreto[oppenheim2011tratamiento]
- Tratamiento digital de señales[proakis2007tratamiento]
- Sistemas de comunicación digitales y análogos[couchsistemas]
- Data communication and networking[forouzan2007data]
- Life Pre-Intermediate 2e[hughes2017life]
- Redes de computadoras[tanenbaum2012computer]
- Líneas de transmisión[velalíneas1999]



# Samples

<b>1</b>	<b>Unidad I</b>	<b>8</b>
1.1	Theorems	8
1.2	Definitions	8
1.3	Notations	9
1.4	Remarks	9
1.5	Corollaries	9
1.6	Propositions	9
1.7	Examples	9
1.8	Exercises	10
1.9	Problems	10
1.10	Vocabulary	10
1.11	Table	10
1.12	Figure	10

# 1. Unidad I

## 1.1 Theorems

This is an example of theorems.

### 1.1.1 Several equations

This is a theorem consisting of several equations.

**Teorema 1.1 — Name of the theorem.** In  $E = \mathbb{R}^n$  all norms are equivalent. It has the properties:

$$||\mathbf{x}|| - ||\mathbf{y}|| \leq ||\mathbf{x} - \mathbf{y}|| \quad (1.1)$$

$$||\sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i|| \leq \sum_{i=1}^n ||\mathbf{x}_i|| \quad \text{where } n \text{ is a finite integer} \quad (1.2)$$

### 1.1.2 Single Line

This is a theorem consisting of just one line.

**Teorema 1.2** A set  $\mathcal{D}(G)$  is dense in  $L^2(G)$ ,  $|\cdot|_0$ .

## 1.2 Definitions

This is an example of a definition. A definition could be mathematical or it could define a concept.

**Definición 1.1 — Definition name.** Given a vector space  $E$ , a norm on  $E$  is an application, denoted  $||\cdot||$ ,  $E$  in  $\mathbb{R}^+ = [0, +\infty[$  such that:

$$||\mathbf{x}|| = 0 \Rightarrow \mathbf{x} = \mathbf{0} \quad (1.3)$$

$$||\lambda \mathbf{x}|| = |\lambda| \cdot ||\mathbf{x}|| \quad (1.4)$$

$$||\mathbf{x} + \mathbf{y}|| \leq ||\mathbf{x}|| + ||\mathbf{y}|| \quad (1.5)$$



## 1.3 Notations

■ **Notación 1.1** Given an open subset  $G$  of  $\mathbb{R}^n$ , the set of functions  $\varphi$  are:

1. Bounded support  $G$ ;
2. Infinitely differentiable;

a vector space is denoted by  $\mathcal{D}(G)$ .

## 1.4 Remarks

This is an example of a remark.



The concepts presented here are now in conventional employment in mathematics. Vector spaces are taken over the field  $\mathbb{K} = \mathbb{R}$ , however, established properties are easily extended to  $\mathbb{K} = \mathbb{C}$ .

## 1.5 Corollaries

This is an example of a corollary.

**Corolario 1.1 — Corollary name.** The concepts presented here are now in conventional employment in mathematics. Vector spaces are taken over the field  $\mathbb{K} = \mathbb{R}$ , however, established properties are easily extended to  $\mathbb{K} = \mathbb{C}$ .

## 1.6 Propositions

This is an example of propositions.

### 1.6.1 Several equations

**Proposición 1.1 — Proposition name.** It has the properties:

$$||\mathbf{x}|| - ||\mathbf{y}|| \leq ||\mathbf{x} - \mathbf{y}|| \quad (1.6)$$

$$||\sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i|| \leq \sum_{i=1}^n ||\mathbf{x}_i|| \quad \text{where } n \text{ is a finite integer} \quad (1.7)$$

### 1.6.2 Single Line

**Proposición 1.2** Let  $f, g \in L^2(G)$ ; if  $\forall \varphi \in \mathcal{D}(G)$ ,  $(f, \varphi)_0 = (g, \varphi)_0$  then  $f = g$ .

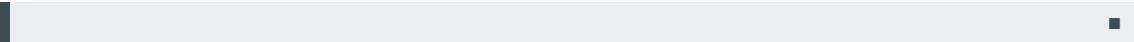
## 1.7 Examples

This is an example of examples.

### 1.7.1 Equation and Text

**Ejemplo 1.1** Let  $G = \{x \in \mathbb{R}^2 : |x| < 3\}$  and denoted by:  $x^0 = (1, 1)$ ; consider the function:

$$f(x) = \begin{cases} e^{|x|} & \text{si } |x - x^0| \leq 1/2 \\ 0 & \text{si } |x - x^0| > 1/2 \end{cases} \quad (1.8)$$



1.7.2 Paragraph of Text

**Ejemplo 1.2 — Example name.** Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

1.8 Exercises

This is an example of an exercise.

**Ejemplo 1.3** This is a good place to ask a question to test learning progress or further cement ideas into students’ minds.

1.9 Problems

**Problema 1.1** What is the average airspeed velocity of an unladen swallow?

1.10 Vocabulary

■ **Vocabulario 1.1 — Word.** Definition of word.

1.11 Table

Treatments	Response 1	Response 2
Treatment 1	0.0003262	0.562
Treatment 2	0.0015681	0.910
Treatment 3	0.0009271	0.296

Table 1.1: Table caption

Referencing Table 1.1 in-text automatically.

1.12 Figure

Referencing Figure 1.1 in-text automatically.



Figure 1.1: Figure caption



# Antenas

<b>2</b>	<b>Unidad I</b> .....	<b>13</b>
2.1	Introducción .....	13





## 2. Unidad I

### 2.1 Introducción

Como siempre, antes de este curso hay que recordar algunos términos o conceptos para poder entender cosas que se vienen. Empezamos con las unidades logarítmicas:

$$Belio = \log \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

$$Decibelio(dB) = 10 \cdot \log \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

$$Decibelio(dB) = 20 \cdot \log \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$$

$$Neper(Np) = \ln \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$$

Asimismo debemos tener en cuenta las demás medidas respecto a un valor como 1mW, 1W, 1V, etc.<sup>1</sup> Otros conceptos importantes a recordar son:

#### Definición 2.1 — Longitud de Onda.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.1)$$

Donde:

$\lambda$ : Longitud de onda. (m)

- $v$ : Velocidad, si el medio es el aire o espacio libre:  $v=c=300000 \text{ km/s}=300000000 \text{ m/s}$  (m/s)
- $f$ : Frecuencia. (Hz)

#### Definición 2.2 — Temperatura.

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5} = \frac{R - 492}{9} \quad (2.2)$$

<sup>1</sup>Estas pueden ser vistas en la sección **Decibelios** en el capítulo de **Ingeniería en mantenimiento**.

Despejando podemos obtener:

$$C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

$$K = C + 273$$

$$R = F + 460$$

Además debemos recordar las bandas y frecuencias designadas por la ITU:

Nº de banda	Rango de frecuencia	Indicativo	Propagación
2	30-300 Hz	ELF	Onda terrestre
3	0.3-3 KHz	SLF	Onda terrestre
4	3-30 KHz	VLF	Onda terrestre
5	30-300 KHz	LF	Onda terrestre y superficial
6	0.3-3 MHz	MF	Onda superficial
7	3-30 MHz	HF	Onda superficial y Ionosférica
8	30-300 MHz	VHF	Onda Ionosférica y directa
9	0.3-3 GHz	UHF	Onda directa
10	3-30 GHz	SHF	Onda directa
11	30-300 GHz	EHF	Onda directa e infrarojo
12	0.3-3 THz		Luz infraroja
13	3-30 THz		Luz infraroja
14	30-300 THz		Luz infraroja
15	0.3-3 PHz		Luz visible
16	3-30 PHz		Luz ultravioleta
17	30-300 PHz		Rayos X
18	0.3-3 EHz		Rayos X
19	3-30 EHz		Rayos cósmicos

Table 2.1: Designación de bandas CCIR por la ITU.

Los medios de transmisión:

Medio de transmisión	Banda de frecuencia	Longitud de onda	Aplicación principal
Par de alambres, cable multipar	30-300 Hz	10000-1000 Km	Comunicación submarina
Par de alambres, cable multipar	0.3-3 KHz	1000-100 Km	Telefonía, transmisión de datos, telex, fax.
Par de alambres, cable multipar, ondas de tierra	3-30 KHz	100-10 Km	Telefonía de onda portadora baja, capacidad, navegación y radiotelegrafía.
Par de alambres, ondas de tierra	30-300 KHz	10-1 Km	Telefonía de onda portadora mediana capacidad, radiofaro, navegación, radiodifusión onda larga.
Cable coaxial, ondas de cielo	0.3-3 MHz	1000-100 m	Radiodifusión, AM, radio aficionados, radio móvil.
Cable coaxial, cable UTP cat 3-4, ondas de cielo	3-30 MHz	100-10m	Radio aficionados, comunicaciones militares, marítimas, radio telefonía móvil.
Cable coaxial, cable UTP cat 5, ondas directas	30-300 MHz	10-1 m	TV, radiodifusión FM, multiacceso radial, radio enlaces, direccionales.
Ondas directas	0.3-3 GHz	100-10 cm	TV, telemetría por radar, comunicaciones militares por satélite, telefonía celular, radio de espectro ensanchado.
Guía de onda, línea visual	3-30 GHz	10-1 cm	Comunicaciones vía satélite, radio enlace direccional analógico y digital, operación aérea por radar.
Guía de onda, línea visual.	30-300 GHz	1-0.1 cm	Comunicación militar por satélite, radio astronomía, aterrizaje por radar.
Fibra óptica	100-1000 THz	3-0.3 pm	Telefonía muy alta capacidad, servicios de banda ancha (SONET, SDH y ATM), video conferencia, CATV por F.O.

### 2.1.1 Ancho de banda y capacidad de información

Las limitaciones más importantes para el funcionamiento de una sistema de comunicaciones son el **ruido** y el **ancho de banda**. El ancho de banda de un canal de comunicación es la diferencia entre la frecuencia máxima y mínima que puede pasar por el canal. El ancho de banda de un canal de comunicación debe ser igual o mayor que el ancho de banda de la información.

**Definición 2.3 — Ley de Hartley.** Es la medida de cuanta información se puede transferir a través de un sistema de comunicaciones en un determinado tiempo.

$$I \approx B \times t \quad (2.3)$$

Donde:

- **I**: Capacidad de información.
- **B**: Ancho de banda. (Hz)
- **t**: Tiempo de transmisión. (s)

■ **Notación 2.1** Se requieren **3 KHz** de ancho de banda para transmitir las señales telefónicas con calidad de voz.

Se asignan 200 KHz para transmisión comercial de FM para música, con alta fidelidad.

Se requieren casi 6 MHz de ancho de banda para emitir señales de televisión de alta calidad

Otra medida que debemos saber es:

**Definición 2.4 — Capacidad de información de un canal digital.** Shannon relacionó la capacidad de información de un canal de comunicaciones, en bits por segundo

(bps), con el ancho de banda y la relación señal a ruido:

$$I = B \cdot \log_2(1 + S/N) \quad (2.4)$$

Donde:

- I: Capacidad de información. (bps)
- B: Ancho de banda. (Hz)
- S/N: Relación señal a ruido.

## 2.1.2 Ruido

Energía eléctrica no deseable presente en la banda útil del circuito de comunicación. Se puede clasificar el ruido en dos categorías:

1. **Correlacionado:** Solo existe cuando hay una señal. Es aquel que se relaciona mutuamente con la señal, y no puede estar en un circuito a menos que haya una señal de entrada. Se produce por amplificación no lineal, e incluye la distorsión armónica (cuando se producen las armónicas no deseadas de una señal, debido a una amplificación no lineal) y de intermodulación (generación de frecuencias indeseables de suma o diferencia), ya que las dos son formas de distorsión no lineal.
2. **No Correlacionado:** Está presente siempre, haya o no señal. El ruido No Correlacionado puede subdividirse en dos categorías generales:
  - a. **El Ruido Externo** es el que se genera fuera del dispositivo o circuito. Hay tres causas principales de ruido Externo:
    - i. **Ruido atmosférico:** Perturbaciones eléctricas naturales. Electricidad estática (rayos)
    - ii. **Ruido extraterrestre:** Señales eléctricas originadas fuera de la atmósfera terrestre (solar y cósmico)
    - iii. **Ruido hecho por el hombre:** Su fuente principal son mecanismos que producen chispas, ruido industrial (conmutadores, generadores, lámparas fluorescentes)
  - b. **El Ruido Interno** es la interferencia eléctrica generada dentro de un dispositivo o circuito. Las causas principales son:
    - i. **Ruido Térmico:** Asociado con el movimiento rápido y aleatorio de electrones libres, producido por la agitación térmica.
    - ii. **Ruido de Tiempo de Tránsito:** Variación irregular y aleatoria, producida por la modificación de una corriente de portadores, cuando pasa de la entrada a la salida de un dispositivo.
    - iii. **Ruido de Disparo:** Se debe a la llegada aleatoria de portadoras al elemento de salida de un dispositivo electrónico (diodo, FET, transistor bipolar).

## 2.1.3 Ruido térmico

Es el movimiento aleatorio de los electrones libres dentro de un conductor, causado por la agitación térmica. Llamado también: Movimiento Browniano por su descubridor Robert Brown, Ruido de Johnson en honor a quien lo relacionó con el movimiento de los electrones y Ruido Blanco porque se produce en todas las frecuencias.



**Definición 2.5 — Potencia de ruido térmico.**

$$P_{tn} = K \cdot T \cdot B \quad (2.5)$$

Donde:

- $P_{tn}$ : Potencia del ruido. (W) térmico<sup>a</sup> (W)
- **K**: Constante de Boltzmann=  $1.38 \times 10^{-23} J/K$ .
- **T**: Temperatura absoluta. (°K)
- **B**: Ancho de banda. (Hz)

Alternativamente, el ruido térmico puede ser expresado en dBm, para ello debemos usar la siguiente expresión:

$$P_{tn}(dBm) = 10 \cdot \log \left( \frac{K \cdot T \cdot B}{0.001} \right) \quad (2.6)$$

En temperatura ambiente, el ruido térmico ambiente:

$$P_{tn}(dBm) = -174dBm + 10\log(B) \quad (2.7)$$

<sup>a</sup>tn:thermal noise o ruido térmico.

**Definición 2.6 — Voltaje ruido térmico.**

$$V_{tn} = \sqrt{4 \cdot R \cdot K \cdot T \cdot B} \quad (2.8)$$

Donde:

- R**: Resistencia interna. ( $\Omega$ )
- $V_{tn}$ : Voltaje RMS del ruido. (V)

■ **Notación 2.2** Para la máxima potencia transferencia de potencia  $R_L = R_I$ .

**Definición 2.7 — Relación señal a ruido-SNR.** Es la relación en decibelios entre la potencia de la señal(S) y la potencia del ruido(N):

$$SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{S}{N} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{V_s}{V_n} \right) \quad (2.9)$$

**R** El **factor a ruido** se define como el cociente entre la potencia SNR de entrada y potencia SNR de salida. Por consecuencia, la **cifra de ruido** es el factor de ruido expresado en dB.

■ **Notación 2.3** Para voltaje, 6dB indica que la salida es dos veces el valor de la entrada, es decir: Si la entrada es 1, la salida será 2. Para potencia, 3dB indica lo mismo: el valor de la salida es dos veces el valor de la entrada.

## 2.1.4 Ángulo crítico

Debemos recordar ecuaciones como Ley de Snell,

**Definición 2.8 — Ley de Snell.**

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.10)$$

$$\sqrt{\epsilon_1} \sin \theta_1 = \sqrt{\epsilon_2} \sin \theta_2 \quad (2.11)$$

Donde:

- $n$ : Índice de refracción.
- $\theta$  Ángulo de refracción.
- $\epsilon$ : Permitividad relativa del material.

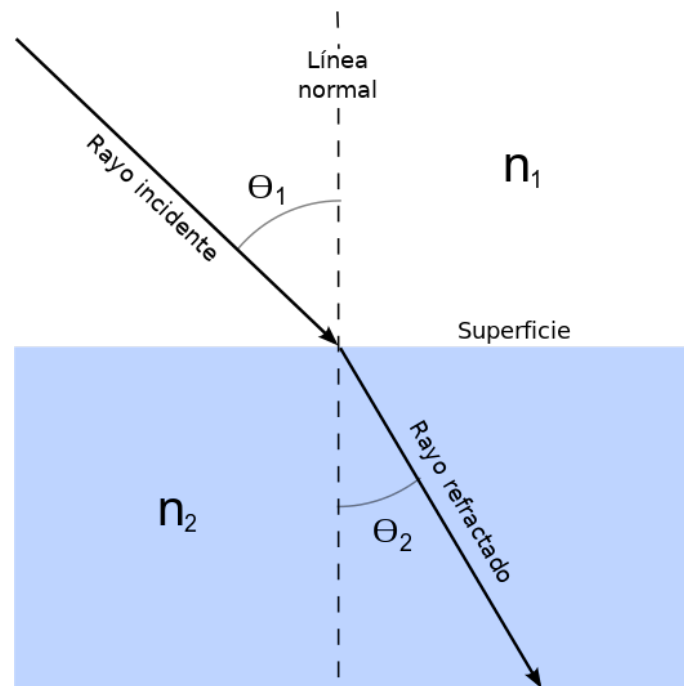
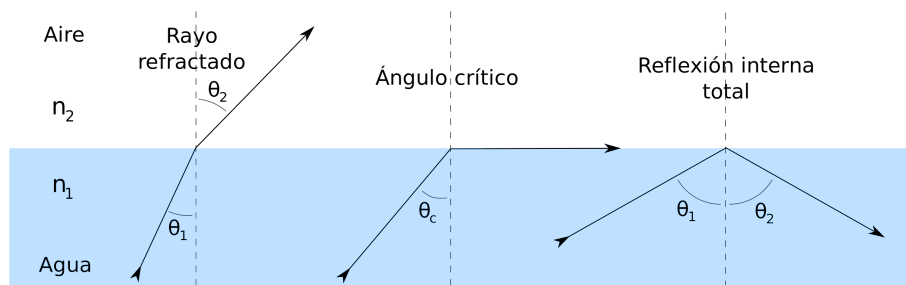


Figure 2.1: Ley de Snell

dentro de ella una que usaremos es la del *ángulo crítico*:



La forma de obtener el ángulo crítico es:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.12)$$

■ **Notación 2.4** El índice de refracción está definido como el cociente de la **velocidad de la luz en el vacío** entre la **velocidad de la luz del medio donde se propaga**. Generalmente se utiliza la velocidad de la luz en el vacío ( $c$ ) como medio de referencia para cualquier

materia, aunque durante la historia se han utilizado otras referencias, como la velocidad de la luz en el aire. En el caso de la luz, es igual a  $n = \sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}$ . Para la mayoría de los materiales, la **permeabilidad magnética relativa** ( $\mu_r$ ) es muy cercano a 1 en frecuencias ópticas, es decir, luz visible, por lo tanto,  $n$  es aproximadamente  $\sqrt{\epsilon_r}$

### 2.1.5 Repaso: Propagación de ondas electromagnéticas

La propagación de OEM por el espacio libre se suele llamar propagación de radiofrecuencia o radio propagación. Las OEM, en el espacio libre se propagan en línea recta a la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8 m/s$ ).

#### Definición 2.9 — Distancia máxima de línea.

$$d_{max} = \sqrt{2 \cdot h} \quad (2.13a)$$

$$d_{max} = \sqrt{17 \cdot h} \quad (2.13b)$$

Donde:

$d_{max}$ : Distancia máxima de línea de vista. (millas ó Km)

- $h$ : Altura (Pies ó m)<sup>a</sup>

<sup>a</sup>La distancia será en millas si se trabaja con la ecuación ??, donde la altura debe ser introducida en pies. Para la ecuación ??, la distancia estará en metros y la altura en metros.

Hablemos también de las **pérdidas por trayectoria**. El modelo de pérdida por trayectoria en el espacio libre es usado para predecir la intensidad del nivel de recepción cuando el transmisor y receptor tienen una trayectoria de línea de vista clara, sin obstrucciones entre ellos.

#### Definición 2.10 — Pérdidas por trayectoria.

$$L_p = \left( \frac{4\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi \cdot d \cdot f}{c} \right)^2 \quad (2.14a)$$

$$L_p = 20 \cdot \log \left( \frac{4\pi \cdot d \cdot f}{c} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{4\pi}{c} \right) + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) \quad (2.14b)$$

Donde:

- $d$ : Distancia. (m)
- $f$ : Frecuencia. (Hz)
- $c$ : Velocidad de la luz.
- $\lambda$ : Longitud de onda. (m)

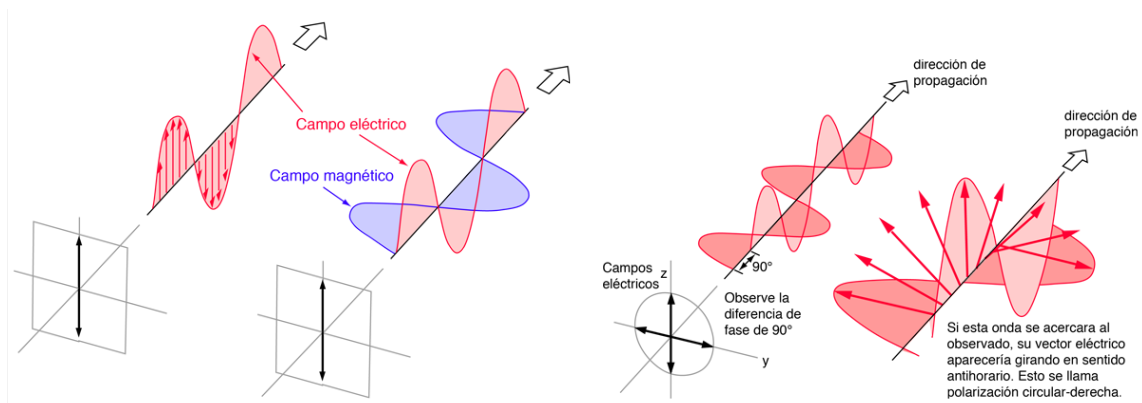
Si la distancia se expresa en Km y la frecuencia en MHz:

$$L_p(dB) = 32.4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \log(d) \quad (2.15)$$

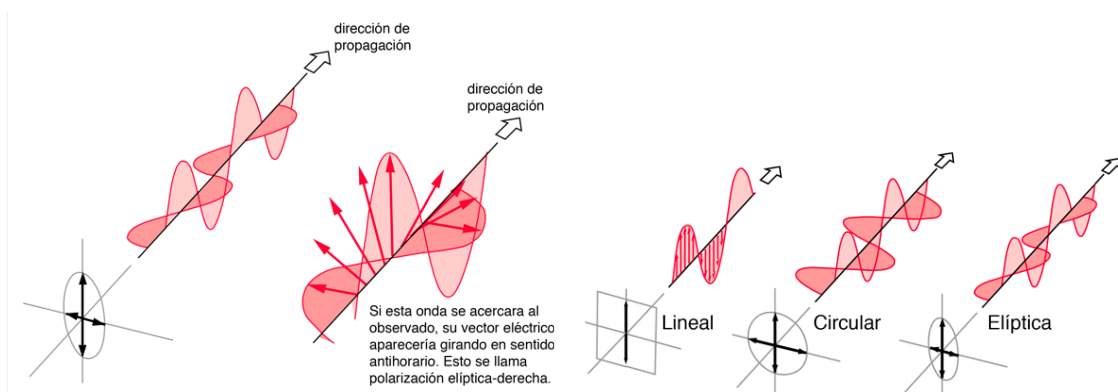
Otro término usado es la **polarización**, recordando que una OEM contiene un campo eléctrico y un campo magnético que forman 90° entre sí. Por lo tanto, la polarización de una OEM plana, no es mas que la orientación del vector campo eléctrico respecto a la superficie de la tierra.

#### Tipos de polarización:

1. **Polarización lineal**: Si la polarización permanece constante. Las formas lineales son: (Fig. 2.1a)



(a) El campo eléctrico transversal de la onda va acompañado de un campo magnético como el que se ilustra. (b) El vector de polarización gira 360° a medida que la onda recorre una longitud de onda en el espacio.



(c) Cuando la Intensidad de Campo varía con cambios en la polarización, se dice que es una Polarización Elíptica.

(d) Tipos de polarizaciones.

Figure 2.2: Polarización de ondas.

- a. **Polarización Horizontal:** Campo eléctrico paralelo a la superficie de la tierra.
- b. **Polarización Vertical:** Campo eléctrico perpendicular a la superficie terrestre.
2. **Polarización Circular:** Luz polarizada circularmente consta de dos ondas electromagnéticas planas perpendiculares con una diferencia de fase de 90°. (Fig. 2.1b)
3. **Polarización elíptica:** La luz polarizada elípticamente consiste de dos ondas perpendiculares de amplitudes desiguales y con una diferencia de fase de 90°. (Fig. 2.1c)

■ **Notación 2.5** Si el vector gira en sentido de las manecillas del reloj, se dice que es Derecho, si es contrario se dice que es Izquierdo

### 2.1.5.1 Densidad de potencia radiada

La **rapidez** con que la energía pasa a través de una **superficie** dada en el espacio libre se llama **Densidad de Potencia**. La **Densidad de Potencia Radiada** se define como la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección. Las unidades son **Watt por Metro Cuadrado** ( $W/m^2$ ). Se puede calcular a partir de los valores eficaces de los campos eléctrico o magnéticos.



**Definición 2.11 — Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.**

$$PIRE = P_r \cdot D = P_A \cdot G \quad (2.16)$$

Donde:

PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente. (W)

- $P_R$ : Potencia de radiación.
- $P_A$ : Potencia suministrada a la antena. (W)
- $G$ : Ganancia.
- $D$ : Directividad de la antena.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Estos conceptos se detallan más adelante.

**Definición 2.12 — Intensidad de campo.** Es la intensidad de los campos eléctrico y magnético de una onda electromagnética que se propaga por el espacio libre.

$$\mathbb{P} = E \cdot H = \frac{PIRE}{4\pi r^2} = Z_s \times H^2 = \frac{E^2}{Z_s} \quad (2.17)$$

Donde:

- $\mathbb{P}$ : Densidad de potencia. (W/m<sup>2</sup>)
- $E$ : Intensidad de campo eléctrico. (V/m)
- $H$ : Intensidad del campo magnético. (A/m)
- $r$ : Radio de la esfera. (m)
- **PIRE**: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente. (W)

**Definición 2.13 — Impedancia en el espacio libre.** La relación entre el módulo del campo eléctrico y el módulo del campo magnético es la impedancia característica del medio. La impedancia característica de un medio de transmisión **sin pérdidas** es igual a la raíz cuadrada de la relación de su permeabilidad magnética entre su permitividad eléctrica:

$$Z_s = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377\Omega \quad (2.18)$$

Donde:

- $Z_s$ : Impedancia en el espacio libre. ( $\Omega$ )
- $\mu_0$ : Permeabilidad magnética ( $1.26 \times 10^{-6}$  H/m ó  $4\pi \cdot KN/A^2$  donde  $K = \times 10^{-7}$ ).
- $\epsilon_0$ : Permitividad eléctrica del vacío ( $8.85 \times 10^{-12}$  F/m).

La **Intensidad de Radiación** es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección.

### 2.1.5.2 Ley de cuadrado inverso

La **densidad de potencia** es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente.

$$\frac{\mathbb{P}_2}{\mathbb{P}_1} = \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \quad (2.19)$$

Para que se cumpla esta ley, la velocidad de propagación en todas las direcciones debe ser uniforme (Medio Isotrópico)

### Atenuación y absorción

**Atenuación** es la reducción de la Densidad de Potencia con la distancia. La atenuación se debe al esparcimiento esférico de la onda, se le llama “atenuación espacial” de la onda. Se expresa generalmente en términos del logaritmo de la relación de densidad de potencia (pérdida en dB)

**Absorción** solo se presenta cuando los CEM se propagan por la atmósfera. Es la energía transferida de la OEM a los átomos y las moléculas de la atmósfera. La absorción de radiofrecuencias en una atmósfera normal, es relativamente insignificante a frecuencias por debajo de 10 GHz.

## 2.2 Antenas

Las dos funciones primordiales de la antena son:

1. Convertir la energía electromagnética, procedente del generados a través de la línea de transmisión, en energía electromagnética que se propaga libremente por el espacio.
2. Adapta la impedancia interna del generador a la impedancia del espacio.

En las líneas de transmisión se propagan ondas electromagnéticas **guiadas**, es decir campos electromagnéticos variables entre cargas y corrientes. Las antenas convierten estas ondas electromagnéticas guiadas en **libres y viceversa**. Tanto las ondas guiadas como las libres son señales de radio.

En el proceso de su propagación, las ondas de radio se **dispersan** más allá de las líneas de radio-comunicación y son absorbidas por el medio circundante. Si la dirección de radiocomunicación es conocida y limitada, las pérdidas pueden reducirse concentrando las ondas emitidas en direcciones definidas.

### 2.2.1 Tipos de antenas

A grandes rasgos existen dos tipos de antenas: antenas de **transmisión** y antenas de **recepción**.

#### Antenas de transmisión

La antena de transmisión transforma energía de un campo electromagnético estacionario producido por la señal de radio, en energía de un campo electromagnético de radiación, añadiendo además que este último debe emitirse en unas direcciones dadas.

#### Antenas de recepción

La antena de recepción está destinada a la transformación de la energía de una radioseñal consistente en un campo de radiación que procede de una dirección dada, en energía de un campo estacionario de ondas electromagnéticas.



La antena de transmisión y recepción tienen procesos **recíprocos**. Esto quiere decir que existe la posibilidad de utilizar la misma antena en calidad de transmisora y de receptora, y de conservar invariables los parámetros principales de la antena.

### 2.2.2 Características y parámetros de las antenas transmisoras

**Definición 2.14 — Potencia de radiación y resistencia de radiación.** Representa

la característica de la antena para la emisión energía electromagnética.

$$R_r = \frac{P_r}{i^2} \quad (2.20)$$

Donde:

- $R_r$ : Resistencia de radiación. ( $\Omega$ )
- $P_r$ : Potencia de radiación. (W)
- $i$ : Valor eficaz de la corriente de la antena. (A)

Cuantitativamente la resistencia de radiación se define como aquella resistencia pura en la que se libera una potencia numéricamente igual a la potencia de radiación, para una corriente en la resistencia igual a la corriente en la antena.

**Definición 2.15 — Potencia de Pérdidas y resistencia de pérdidas.** Potencia que se pierde por el calentamiento del conductor, en los aisladores, en la tierra y en los objetos situados cerca de la antena.

$$R_p = \frac{P_p}{i^2}$$

Donde:

- $R_p$ : Resistencia de pérdidas. ( $\Omega$ )
- $P_p$ : Potencia de pérdidas. (W)
- $i$ : Valor eficaz de la corriente de la antena.

**Definición 2.16 — Potencia de una antena y resistencia activa total o resistencia de antena.** Resistencia que corresponde a potencia suministrada a la antena. Potencia de antena es la suministrada a la antena por el transmisor, a través de la línea de transmisión, se obtiene con la suma de la potencia de **radiación** y la potencia de **pérdidas**.

$$P_A = P_r + P_p = i^2 (R_r + R_p) \quad (2.21)$$

$$R_A = R_r + R_p \quad (2.22)$$

Donde:

- $P_A$ : Potencia suministrada a la antena. (W)
- $P_r$ : Potencia de radiación. (W)
- $P_p$ : Potencia de pérdidas. (W)
- $i$ : Valor eficaz de la corriente de la antena. (A)
- $R_r$ : Resistencia de radiación. ( $\Omega$ )
- $R_p$ : Resistencia de pérdidas. ( $\Omega$ )
- $R_A$ : Resistencia activa total. ( $\Omega$ )

**Definición 2.17 — Rendimiento o Eficacia de una antena.** Es la relación entre la

Potencia de Radiación y la Potencia Suministrada a la Antena.

$$\eta_A = \frac{P_r}{P_A} = \frac{R_r}{R_r + R_p} = \frac{R_r}{R_A} = \frac{G}{D}$$

$$0 \leq \eta_A \leq 1$$

Donde:

- $\eta_A$ : Rendimiento de antena.
- $P_A$ : Potencia suministrada a la antena. (W)
- $P_r$ : Potencia de radiación. (W)
- $R_r$ : Resistencia de radiación. ( $\Omega$ )
- $R_p$ : Resistencia de pérdidas. ( $\Omega$ )
- $R_A$ : Resistencia activa total. ( $\Omega$ )
- $G$ : Ganancia.
- $D$ : Directividad.

## 2.2.3 Parámetros de acción directiva de antenas

### 2.2.3.1 Directividad

La característica de directividad de antena muestra la **dependencia** de la intensidad de campo de radiación respecto a la dirección, con la condición que este campo sea medido siempre a igual distancia de la antena. Para el estudio de la radiación de una antena, se supone que la antena está situada en el punto medio de una “esfera” y en el origen de un sistema de coordenadas espaciales. En la superficie de la “esfera” se calcula E y H en cualquier punto de esta, alejado una distancia  $r$  del centro del dipolo.

**Características:**

1. **Propiedad Directiva:** Todas las antenas reales tienden a concentrar los campos radiado en alguna dirección.
2. **Característica de Directividad:** Depende de la intensidad de campo de radiación, respecto a la dirección, medido siempre a igual distancia de la antena.
3. **Función de Directividad:** Expresión matemática de la directividad.

$$f^2(\theta, \phi)$$

4. **Diagrama de Directividad:** Representación gráfica de la función de directividad. Normalmente se expresa en proyecciones:
  - a. Plano Horizontal (  $\phi$  varía y  $\theta = 90^\circ$  )
  - b. Plano Vertical (  $\theta$  varía y  $\phi = 0^\circ$  )

**Definición 2.18 — Factor de directividad.** Factor de Directividad es la relación entre la densidad del flujo de potencia emitido por la antena dada en una **determinada dirección**, y la densidad de flujo de potencia que emitiría una antena absolutamente **no direccional** en cualquier dirección, siendo iguales las potencias totales de radiación de ambas antenas y medido a igual distancia.

$$D = \frac{\mathbb{P}_{max}}{\mathbb{P}_{ref}} = \frac{E_{max}^2}{E_0^2} \quad (2.23)$$

Donde:

- **D**: Factor de directividad.
- $\mathbb{P}_{max}$ : Densidad de potencia en un punto, en la dirección de máxima radiación. ( $W/m^2$ )
- $\mathbb{P}'_{ref}$ : Densidad de potencia en el mismo punto, con una antena no direccional o de referencia. ( $W/m^2$ )

**Definición 2.19 — Ganancia de potencia.**

$$G = \eta_A \cdot D = \frac{\mathbb{P}_{max}}{\mathbb{P}'_{ref}} \quad (2.24)$$

Donde:

**G**: Ganancia.

- $\eta_A$ : Rendimiento de la antena.
- **D**: Directividad de la antena.
- $\mathbb{P}_{max}$ : Densidad de potencia en un punto, en la dirección de máxima radiación. ( $W/m^2$ )
- $\mathbb{P}'_{ref}$ : Densidad de potencia en el mismo punto, con una antena no direccional o de referencia sin pérdidas. ( $W/m^2$ )

**Definición 2.20 — Factor de calidad.**

$$Q = \frac{f_r}{BW} \quad (2.25)$$

Donde:

**Q**: Factor de calidad.

- $f_r$ : Frecuencia de resonancia. (Hz)
- $BW$ : Ancho de banda. (Hz)

## 2.2.4 Antenas receptoras

**Definición 2.21 — Área de captura.** Mientras que la **ganancia de potencia** es el parametro natural para describir la mayor densidad de potencia de una señal transmitida, por las propiedades direccionales de la antena transmisora, para describir las propiedades receptoras de una antena se usa una cantidad relacionada: **área de captura**

$$A_{cap} = \frac{G_r \cdot \lambda^2}{4\pi} \quad (2.26)$$

Donde:

- $A_{cap}$ : Área efectiva de captura. ( $m^2$ )
- $G_r$ : Ganancia del receptor.
- $\lambda$ : Longitud de onda de la señal recibida. (m)

**Definición 2.22 — Potencia capturada.** Potencia disponible en las terminales de salida de la antena receptora. La potencia capturada es directamente proporcional a la

densidad de potencia recibida y al área de captura de la antena receptora.

$$P_{cap} = \mathbb{P} \cdot A_{cap} \quad (2.27)$$

Donde:

- $P_{cap}$ : Potencia capturada. (W)
- $\mathbb{P}$ : Densidad de potencia capturada. ( $W/m^2$ )
- $A_{cap}$ : Área capturada. ( $m^2$ )





Internetworking 2



### 3.1 Protocolo spanning tree

El algoritmo **Spanning Tree** (árbol de expansión) se utiliza en los switches para prevenir los bucles lógicos que pueden aparecer en una red. Los bucles se producen cuando existen varios caminos distintos entre dos puntos de la red y su efecto es que las tramas pueden circular de forma indefinida atrapadas en un bucle sin conseguir alcanzar su destino, lo que además afectará negativamente al rendimiento de la red. El algoritmo *Spanning Tree* ayuda a los switches a elegir el camino más idóneo y, por tanto, elimina los bucles.

■ **Notación 3.1** El protocolo *spanning tree* esta detallado especificado en el estándar *IEEE 802.1D*. Existe su variante con funcionamiento optimizado: *spanning tree rápido-IEEE 802.1w*

# Control Adaptativo Moderno



# Software de telecomunicaciones





Microelectrónica en radiofrecuencia

VI



VII

Anexos

**Articles**

**Books**