

# Laboratorio 1

## Sesión 1

Ing. Sergio Arriola-Valverde. M.Sc

Escuela de Ingeniería Electrónica  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
EL-5522 Taller de Comunicaciones Eléctricas

II Semestre 2022

Ecuaciones de Maxwell

Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Aplicaciones

Concepto Básicos

Concepto Básicos

Bibliografía

Bibliografía

Ecuaciones de Maxwell

Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Aplicaciones

Concepto Básicos

Concepto Básicos

Bibliografía

Bibliografía

## ¿Qué es la luz?

Para dar respuesta a esto, se partirá de la ecuación de onda de D'Alambert:

$$u = u(x_1, x_2, x_3, t)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 u$$

Donde:  $u$  depende del tiempo y de una o más cantidades espaciales.

Se utilizarán las ecuaciones de Maxwell en forma puntual considerando el caso dinámico:

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

Para iniciar con la demostración se aplicará un operador rotacional a ambos lados:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\frac{\partial(\nabla \times \mathbf{B})}{\partial t}$$

Se deberá reducir la expresión, utilizando identidades de vectoriales:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{F}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{F}) - \nabla^2 \mathbf{F}$$

Recordando que el  $\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left( \mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)$ , sustituyendo se obtiene que:

$$-\nabla^2 \mathbf{E} + \nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) = -\frac{\partial}{\partial t} \mu_0 \left( \mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)$$

Para la reducción de la expresión, contemplando el espacio vacío, se que tiene :

$$-\nabla^2 \mathbf{E} + \underbrace{\nabla(\nabla \cdot \mathbf{E})}_{\rho=0 \rightarrow 0} = -\frac{\partial}{\partial t} \mu_0 \left( \underbrace{\mathbf{J}}_{\rho=0 \rightarrow 0} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)$$

Reduciendo la expresión se obtiene:

$$-\nabla^2 \mathbf{E} = -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

Finalmente se obtiene organizando los términos según la ecuación de D'Alambert:

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 \mathbf{E} \Leftrightarrow \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 u$$

Con lo anterior aplicado para  $\mathbf{B}$ , se **afirma** que la luz es una onda de tipo electromagnética.

## Forma “puntual” de las Ecuaciones de Maxwell para el caso dinámico:

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

### Campos Dinámicos

- ▶ Existe dependencia temporal.
- ▶ Acople E-M completo.
- ▶ Para describir campos que varían rápidamente.
- ▶ Para propagación de ondas y radiación.

Ecuaciones de Maxwell

Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Aplicaciones

Concepto Básicos

Concepto Básicos

Bibliografía

Bibliografía

Maxwell

Ec. Onda

Soluciones  
(Ondas)

Ejemplo onda TEM, caso armónico:

$$E_x(z, t) = f_1(t - \frac{z}{v}) + f_2(t + \frac{z}{v}) \quad E_x(z, t) = |E_{x0}| \cos(\omega t - k_0 z)$$

$$H_y(z, t) = f_1(t - \frac{z}{v}) + f_2(t + \frac{z}{v}) \quad H_y(z, t) = |H_{y0}| \cos(\omega t - k_0 z)$$

Onda viajera → función del tiempo y espacio



Ejemplo onda TEM, caso armónico:

$$E_x(z, t) = \epsilon_x + \epsilon'_x$$

$$k_o = \frac{\omega}{c} \quad \lambda = \frac{2\pi}{k_0} \quad v_p = c$$

$$E_x(z, t) = |E_{x_0}| \cos \left[ \omega \left( t - \frac{z}{v_p} \right) + \phi_1 \right] + |E'_{x_0}| \cos \left[ \omega \left( t + \frac{z}{v_p} \right) + \phi_2 \right]$$

$$E_x(z, t) = \underbrace{|E_{x_0}| \cos \left[ \omega \left( t - \frac{z}{v_p} \right) + \phi_1 \right]}_{z \text{ hacia adelante}} + \underbrace{|E'_{x_0}| \cos \left[ \omega \left( t + \frac{z}{v_p} \right) + \phi_2 \right]}_{z \text{ hacia atras}}$$

Onda viajera → función del tiempo y espacio

# Fenómeno de Propagación

Agenda

S. Arriola

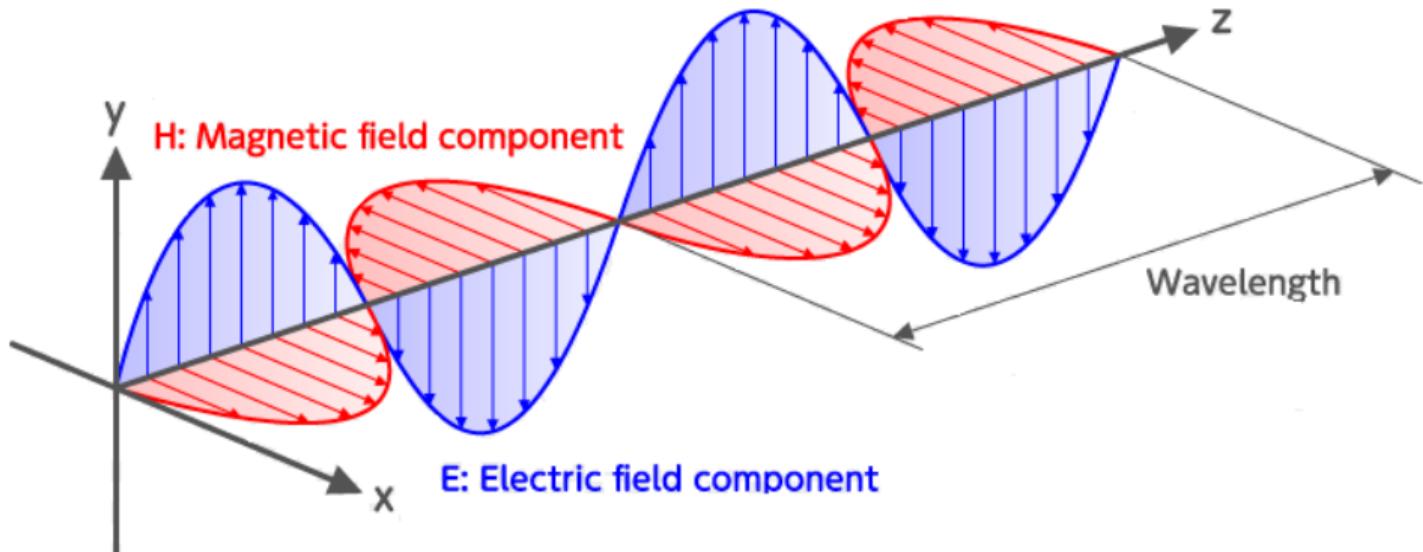
Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

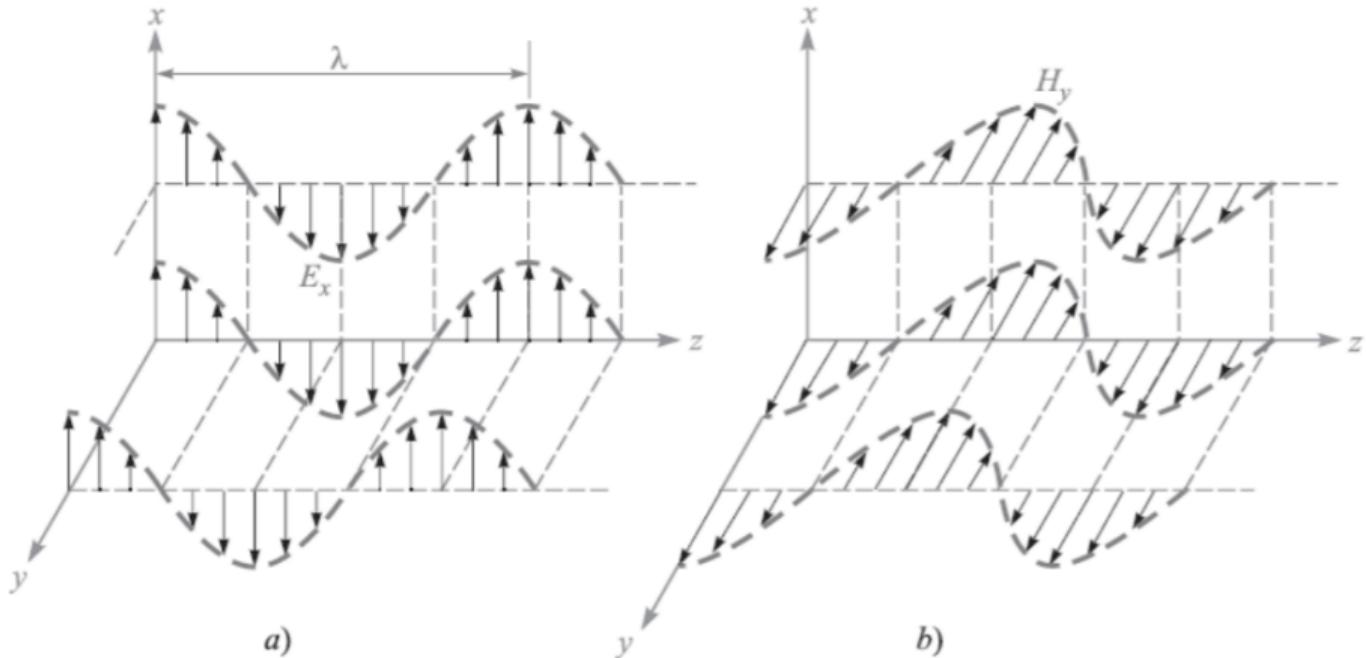
Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía



Tomado de: [http://www.emagtech.com/wiki/images/e/e7/EM\\_wave.png](http://www.emagtech.com/wiki/images/e/e7/EM_wave.png)



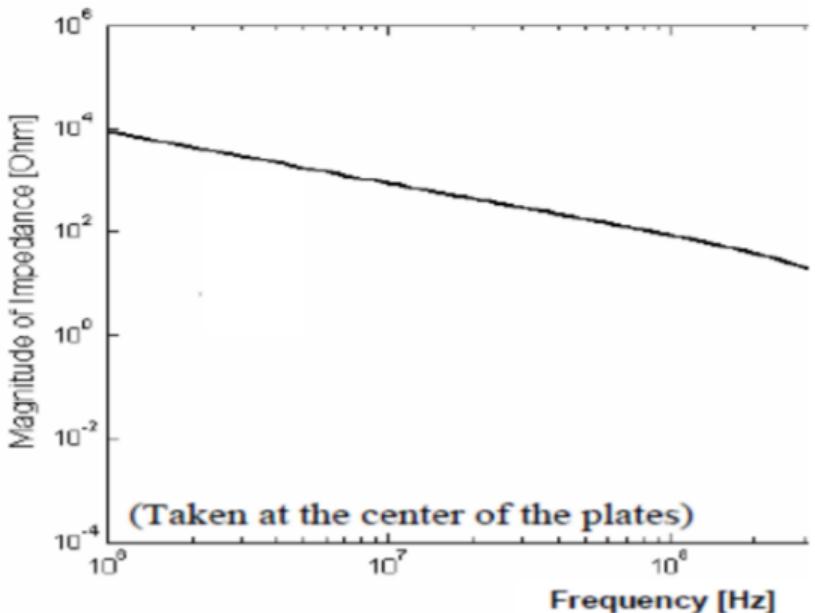
Tomado de: Teoría Electromagnética, Hayt

# Ejemplo: Capacitor Real vs Ideal

Para un capacitor de placas paralelas, con dimensiones de  $10 \times 10$  cm y una separación de 0.5 cm, en el aire. ¿Cuál es su impedancia como una función de la frecuencia?

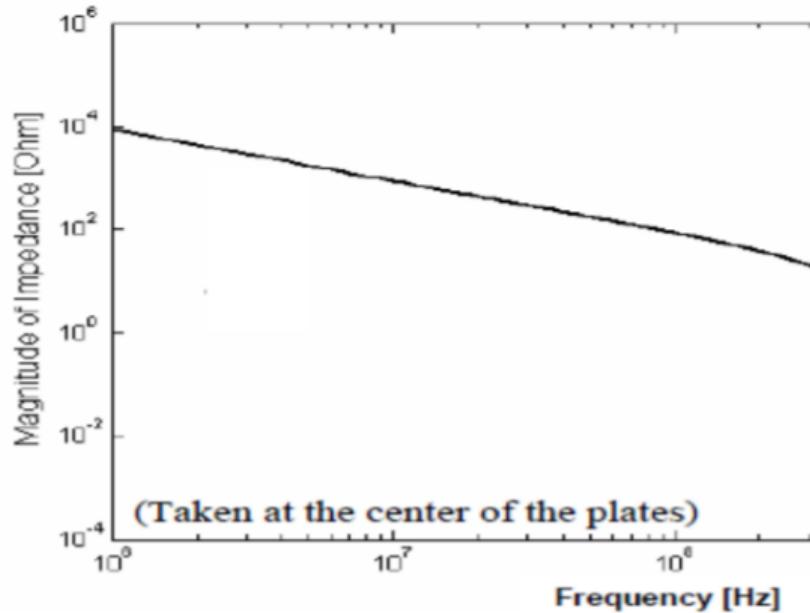
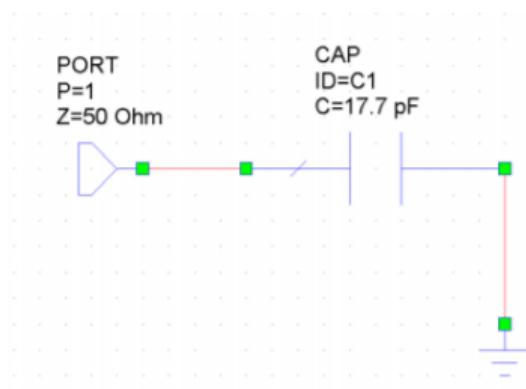
$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d} \approx 17.7 \text{ pF}$$

$$Z = \frac{1}{j2\pi f \cdot C}$$



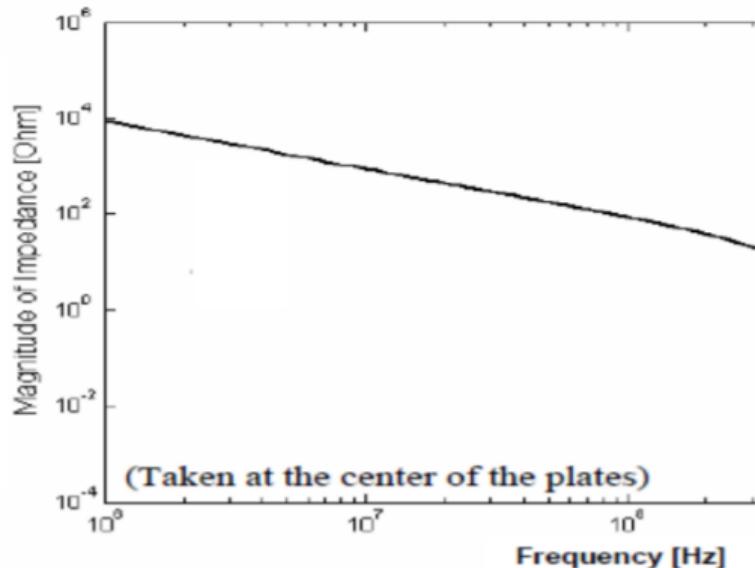
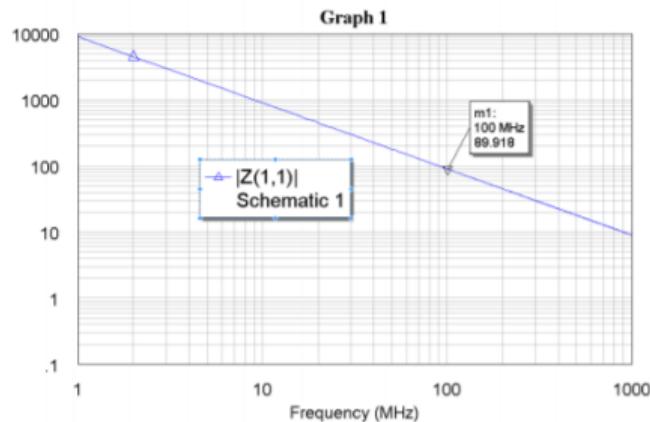
# Ejemplo: Capacitor Real vs Ideal

Para un capacitor de placas paralelas, con dimensiones de  $10 \times 10$  cm y una separación de 0.5 cm, en el aire. ¿Cuál es su impedancia como una función de la frecuencia?



# Ejemplo: Capacitor Real vs Ideal

Para un capacitor de placas paralelas, con dimensiones de 10 x 10 cm y una separación de 0.5 cm, en el aire. ¿Cuál es su impedancia como una función de la frecuencia?



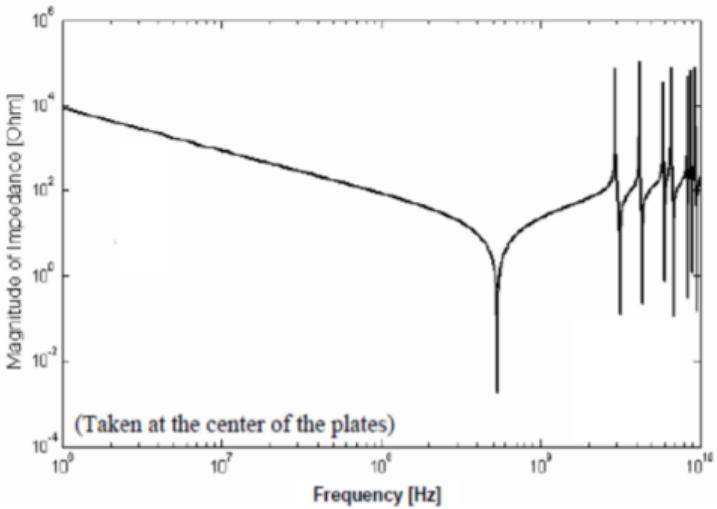
Adaptado de notas de clase de Prof. Dr. C. Schuster,  
Instituto Teoría Electromagnética, TUHH

# Ejemplo: Capacitor Real vs Ideal

Para un capacitor de placas paralelas, con dimensiones de 10 x 10 cm y una separación de 0.5 cm, en el aire. ¿Cuál es su impedancia como una función de la frecuencia?

- ▶ Modelo es únicamente válido para frecuencias relativamente bajas!
- ▶ Relación importante a verificar: Dimensiones vs frecuencia (o longitud de onda).

$$\lambda = \frac{v_p}{f}$$



Ecuaciones de Maxwell

Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Aplicaciones

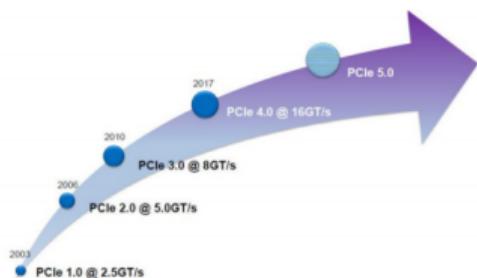
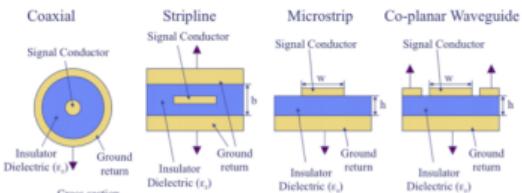
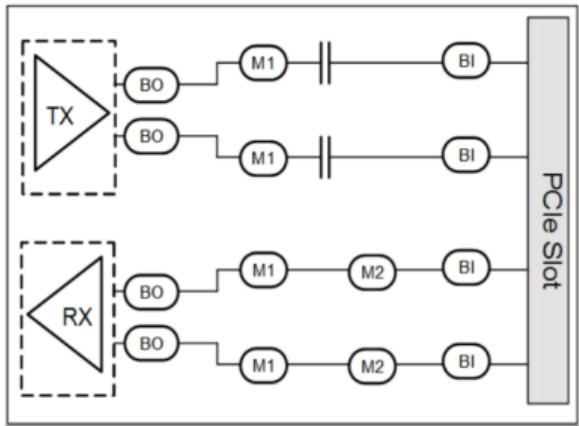
Concepto Básicos

Concepto Básicos

Bibliografía

Bibliografía

- ▶ Comunicaciones Eléctricas.
- ▶ Líneas de Transmisión.
- ▶ Antenas.
- ▶ Enlaces Ópticos.
- ▶ Aplicaciones en Electro-medicina.
- ▶ Compatibilidad Electromagnética.
- ▶ Integridad de Señales.
  - ▶ Interconexiones de alta velocidad.
  - ▶ Diseño de circuitos en alta frecuencia.
- ▶ Dispositivos MEMs.



# 4G-LTE Antena

Agenda

S. Arriola

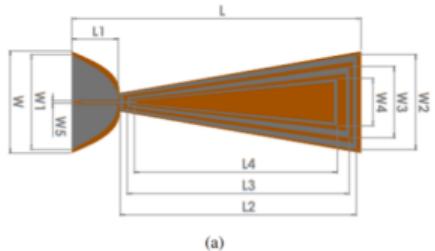
Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

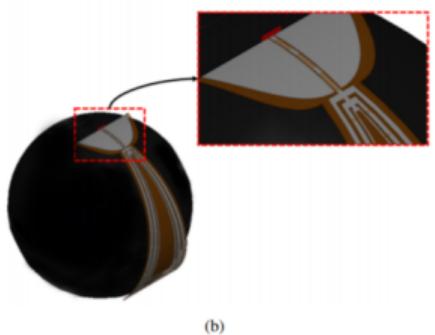
Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía

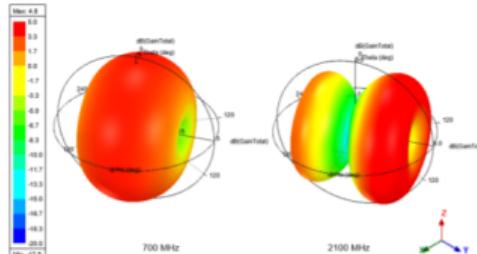


(a)

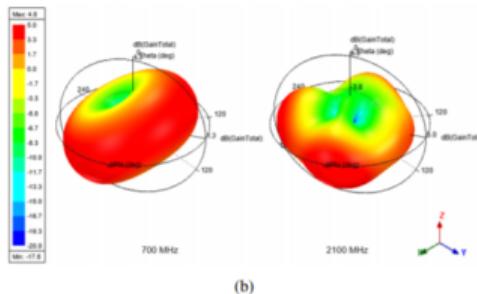


(b)

Fig. 1. Triangular multiband antenna: (a) proposed geometry with design parameters, (b) simulation model on a spherical surface.



(a)



(b)

Fig. 3. Simulated gain radiation pattern for the proposed antenna: (a) on a planar surface, (b) on a spherical surface. Color scale is given in dB (refers to isotropic radiatortropic radiator).

# 4G-LTE Antena

Agenda

S. Arriola

Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía

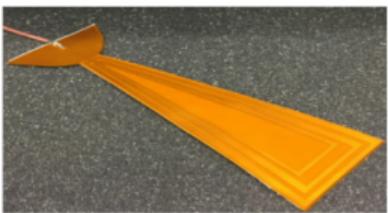
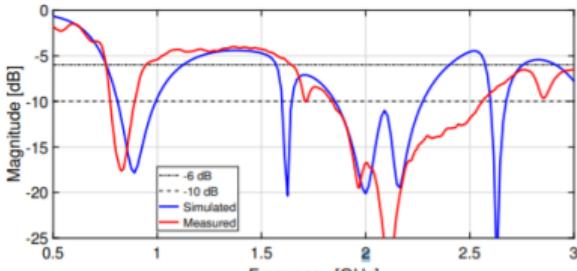
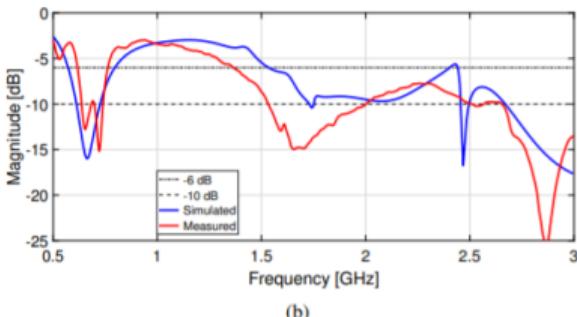


Fig. 4. Fabricated antenna prototype.



(a)



(b)

Fig. 5. Simulated and measured  $|S_{11}|$  curves for the proposed triangular antenna: (a) on planar surface (b) on spheric device.

# SerDes Links FPGA

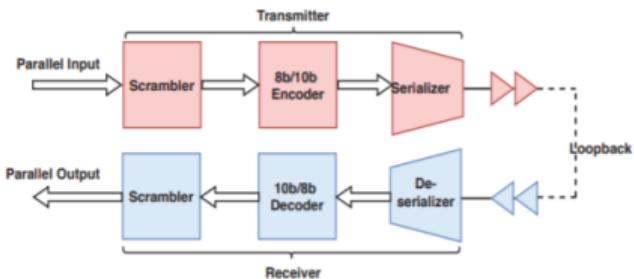
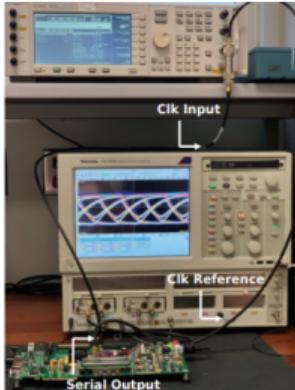
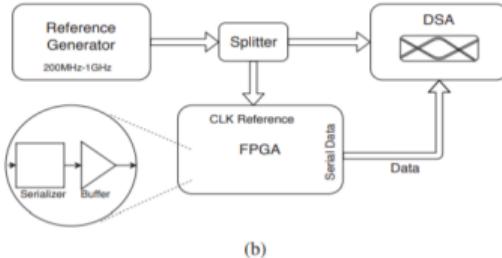


Fig. 1: Simplified block diagram of the implemented SerDes transceiver.



(a)



(b)

Fig. 3: Setup for the evaluation of 8b/10b encoder: a) Evaluation setup and b) diagram of the test setup.

# SerDes Links FPGA

TABLE I: RESOURCES REQUIRED BY THE THREE IMPLEMENTATIONS OF 8B/10B ENCODERS OBTAINED FROM VIVADO SYNTHESIS REPORT

Components	Decoder	Memory	Xilinx's IP
Slice LUTs	18	27	908
Bonded IOB	24	24	113
BUFGCTRL	1	1	0
Slice Registers	21	27	960
F7Muxes	6	0	0
Slice	8	14	0
Block RAM	0	1.5	0
Bonded IPADs	0	0	2
Bonded OPADs	0	0	2
GTX Channel	0	0	1
Total	78	94.5	1986

TABLE II: POWER CONSUMPTION OF THREE IMPLEMENTATIONS OF 8B/10B ENCODERS OBTAINED FROM VIVADO SYNTHESIS REPORT

Implementation	Power (mW)			
	Dynamic	Static	GTX	Total
Decoder	19	158	0	177
Memory	27	158	0	186
Xilinx's IP	46	170	175	421

TABLE III: TIMING REPORT OF THE THREE IMPLEMENTATIONS 8B/10B ENCODERS OBTAINED FROM VIVADO SYNTHESIS REPORT

Implementation	Logic delay (ns)	Net delay (ns)	Total (ns)
Memory	1.929	1.346	3.275
Decoders	0.309	1.059	1.368
Xilinx IP's	-	-	3.03

Tomado de Evaluation of 8b/10b FPGA Encoder Implementations for SerDes Links

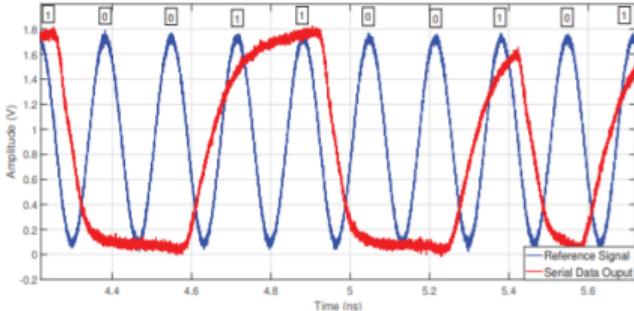


Fig. 4: Serial waveform of the transmitter SerDes link.

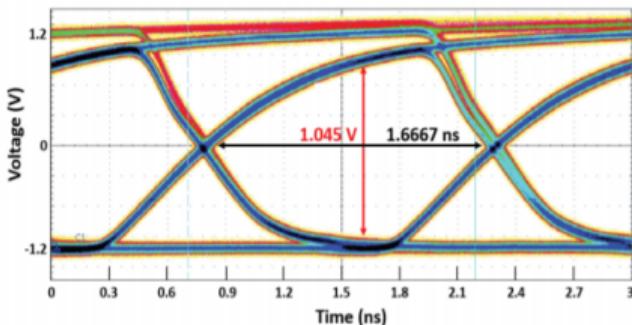


Fig. 5: Eye diagram of the serial out data at 1.2 Gbps.

# Agenda

Agenda

S. Arriola

Ecuaciones de Maxwell

Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Aplicaciones

Concepto Básicos

Concepto Básicos

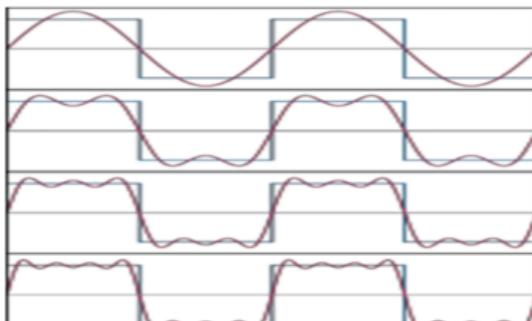
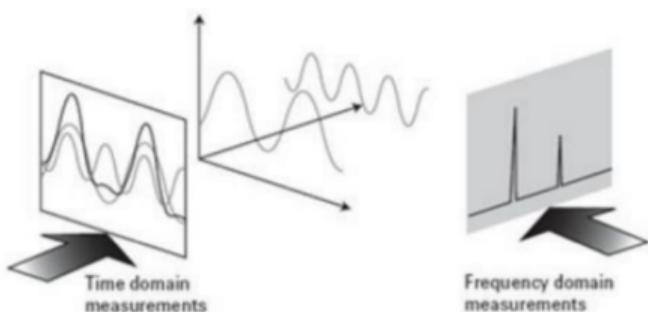
Bibliografía

Bibliografía

Representación de una señal en el dominio de la frecuencia y además se puede interpretar mediante la Transformada de Fourier  $\mathcal{F}$ .

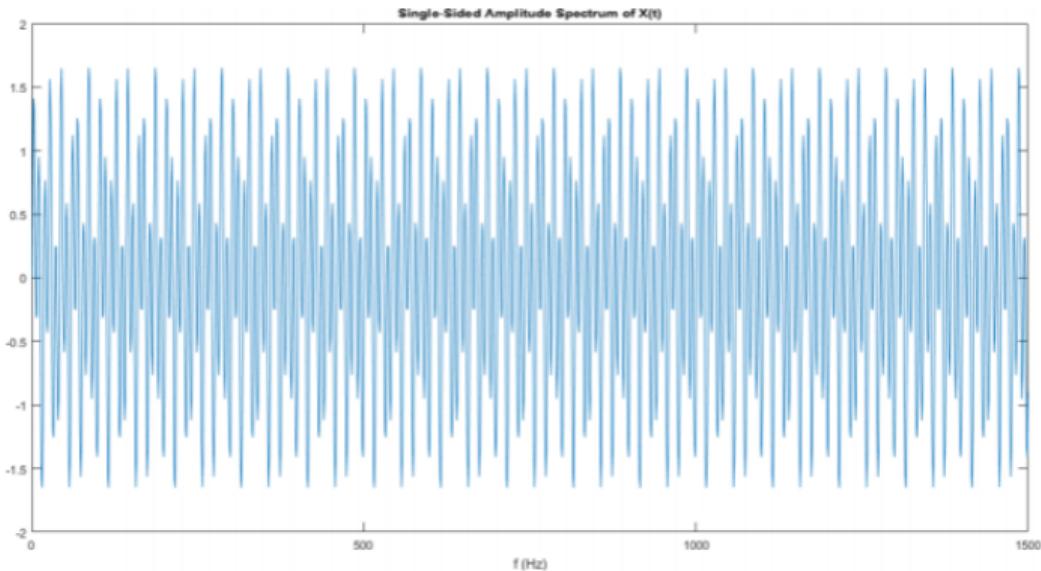
$$f(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} F(\omega)$$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \sin\left(\frac{2\pi n}{T} t\right)$$



Considere que se tiene un par de señales tales como:

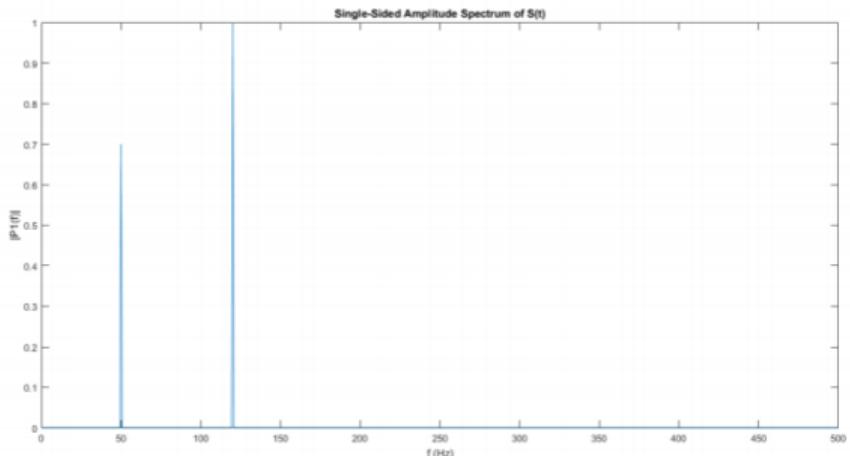
$$s(t) = 0,7 \operatorname{sen}(100\pi t) + 0,7 \operatorname{sen}(240\pi t)$$



Considere que se tiene un par de señales tales como:

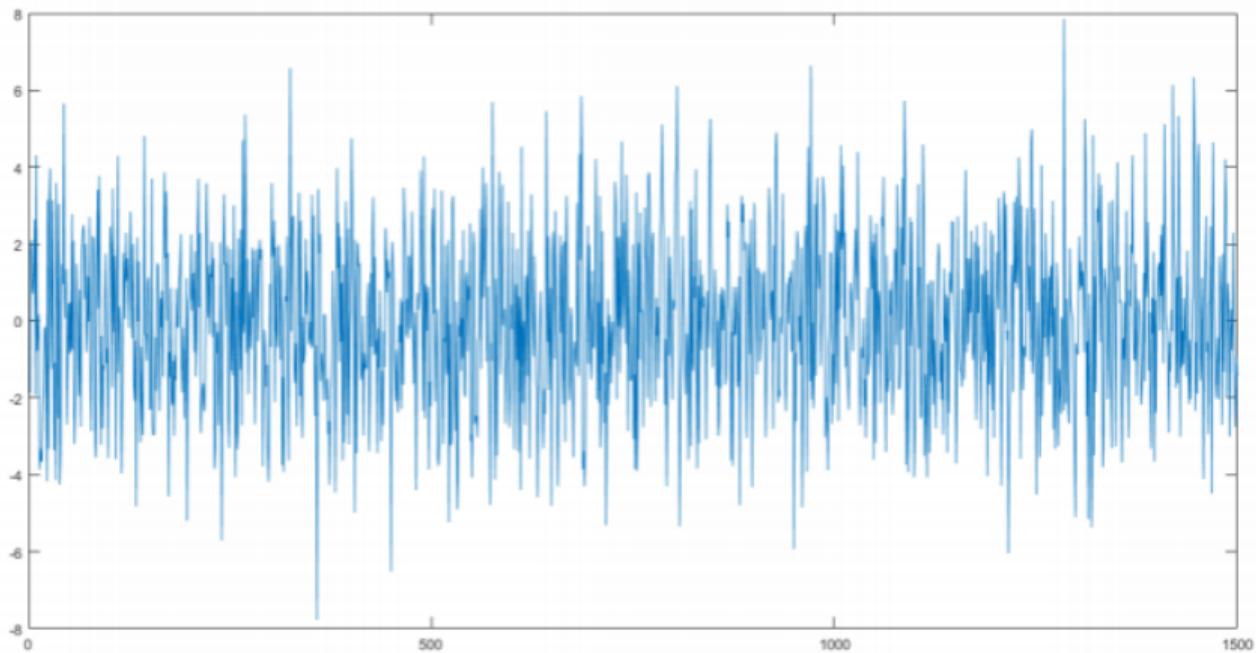
$$s(t) = 0,7 \operatorname{sen}(100\pi t) + 0,7 \operatorname{sen}(240\pi t)$$

Si a la señal  $s(t)$  se le aplica una Transformada Rápida de Fourier  $\mathcal{F}$ .



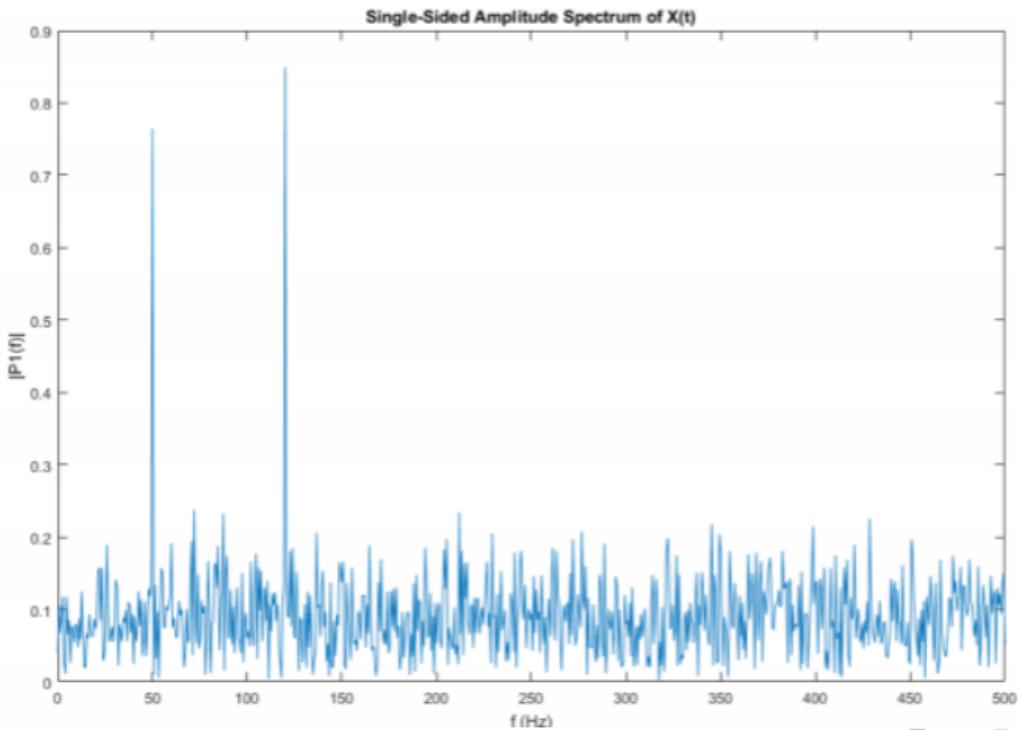
Tomado de: Autoría Propia

Se le agrega una fuente de ruido tal que genere alguna distorsión



Tomado de: Autoría Propia

Y en el dominio de la frecuencia la señal se puede visualizar



Tomado de: Autoría Propia

# Espectro

Agenda

S. Arriola

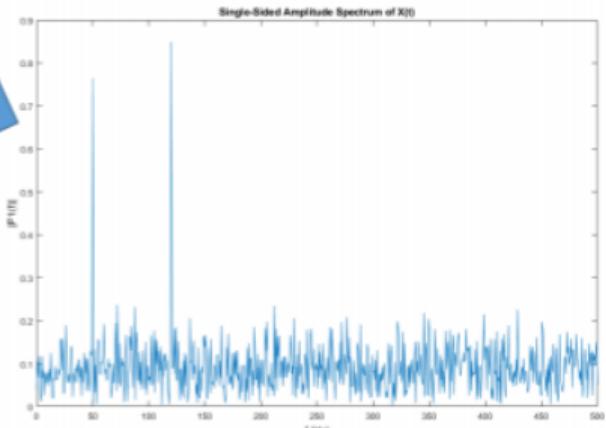
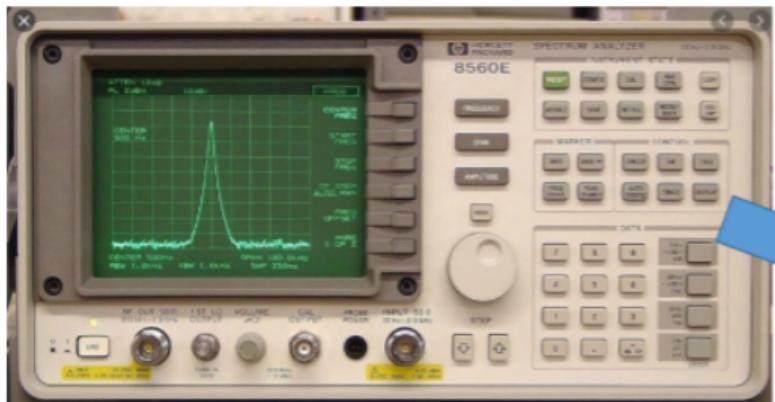
Ecuaciones de  
Maxwell

Fenómeno de  
Propagación

Aplicaciones

Concepto  
Básicos

Bibliografía



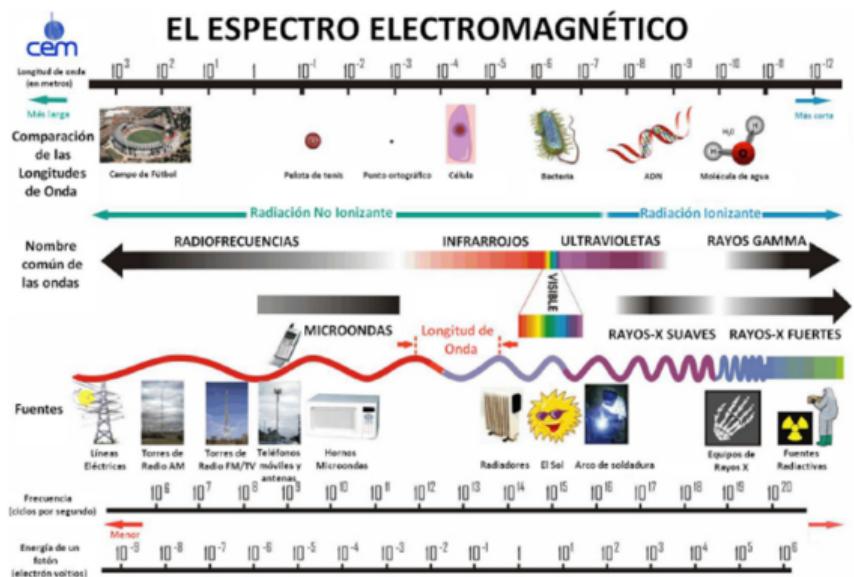
Tomado de: Autoría Propia

# Espectro Electromagnético

Agenda

S. Arriola

Es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles, y en él se describen las ondas electromagnéticas según sea su frecuencia.



Tomado de <http://www.acmor.org.mx/?q=content/hay-de-espectros-espectros>

Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

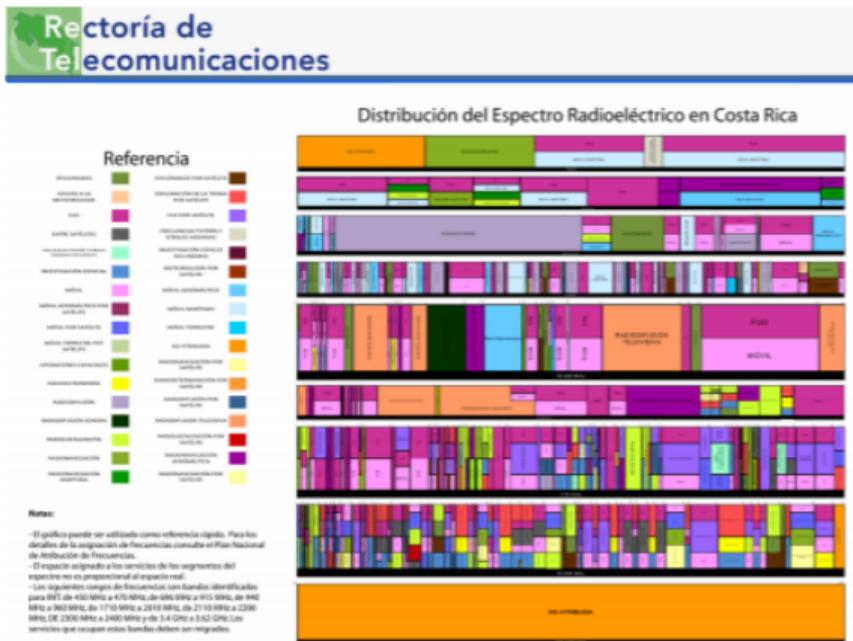
Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía

# Espectro Radioeléctrico

Es la designación de las frecuencias que se pueden utilizar para transmisión de ondas de radio que son capaces de transportar información.



Tomado de SUTEL Costa Rica

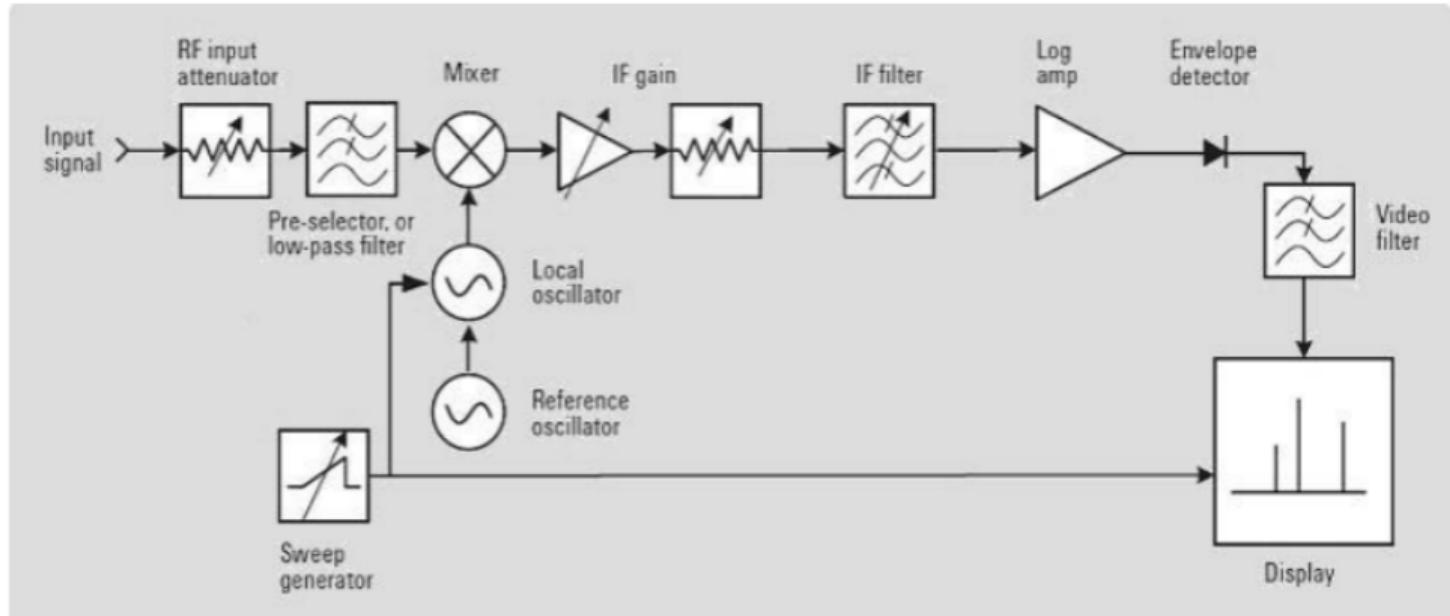
# Analizador de Espectros

Es un instrumento de laboratorio que permite visualizar y medir el espectro de una señal. Es semejante a un osciloscopio, pero es capaz de realizar mediciones en el dominio de la frecuencia en lugar del dominio del tiempo.



Tomado de Manual de Equipo

# Analizador de Espectros



Tomado de Manual de Equipo

# Analizador de Espectros

## Mixer

Agenda

S. Arriola

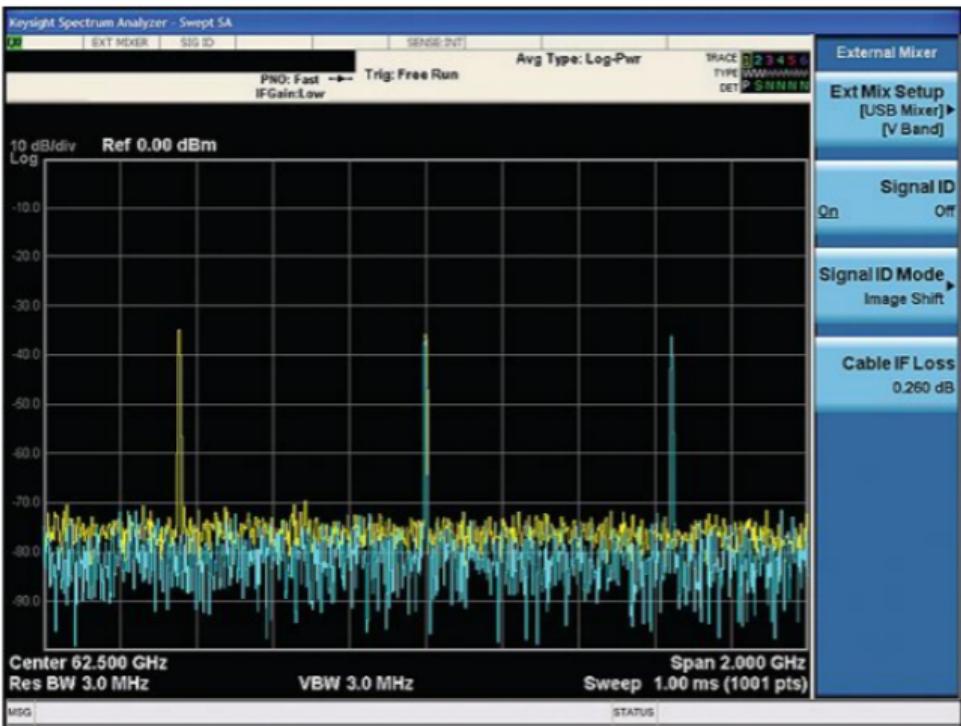
Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Concepto Básicos

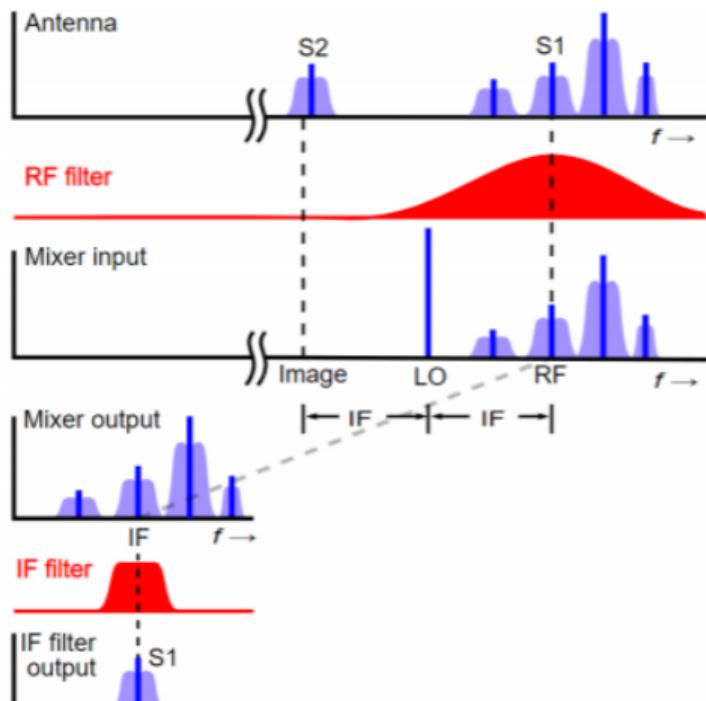
Bibliografía



Tomado de <https://www.analogictips.com/analyzing-millimeter-frequencies-with-external-harmonic-mixing/>

# Analizador de Espectros

## IF Filter



Tomado de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:How\\_a\\_heterodyne\\_receiver\\_works.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:How_a_heterodyne_receiver_works.svg)

Agenda

S. Arriola

Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía

# Analizador de Espectros

VBW

Agenda

S. Arriola

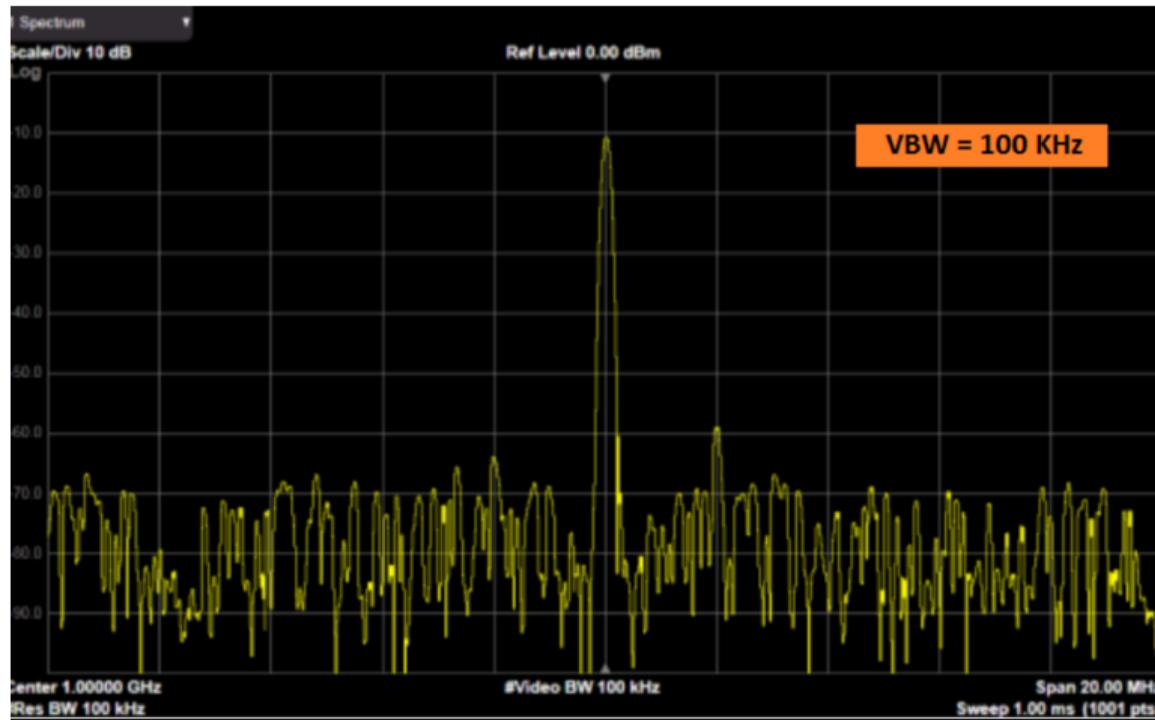
Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía



Tomado de <https://www.techplayon.com/wp-content/uploads/2017/07/VBW - 1.png>

# Analizador de Espectros

VBW

Agenda

S. Arriola

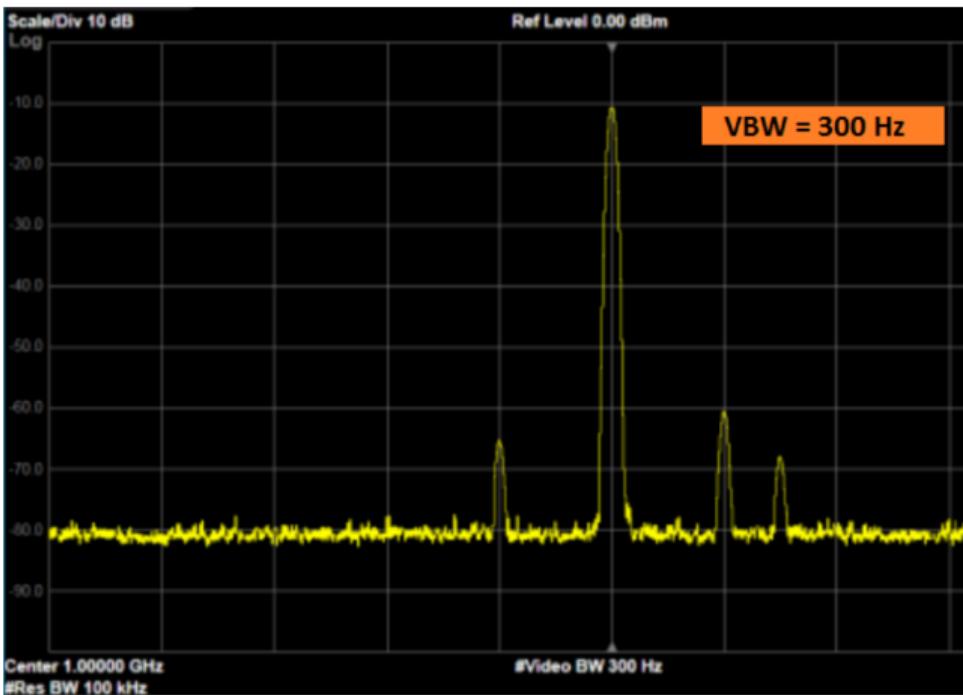
Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía



Tomado de <https://www.techplayon.com/wp-content/uploads/2017/07/VBW-1.png>

**Modulación:** Proceso mediante el cual alguna característica de la portadora (señal que transmite la información) cambia de acuerdo con la moduladora (señal de información), el resultado a este proceso se le llama “onda modulada”.

**Banda base:** Es la banda de frecuencias que representa la señal original tal y como la entrega la fuente de información.

**Banda de transmisión:** Es la banda de frecuencia a las que se traslada la banda base para poder transmitir la información (El espectro se traslada en frecuencia).



Tomado de <https://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=22>

# Canal de Comunicación

Agenda

S. Arriola

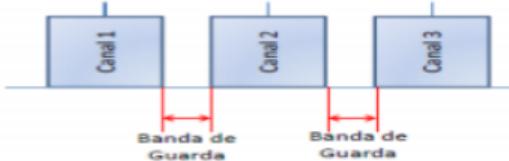
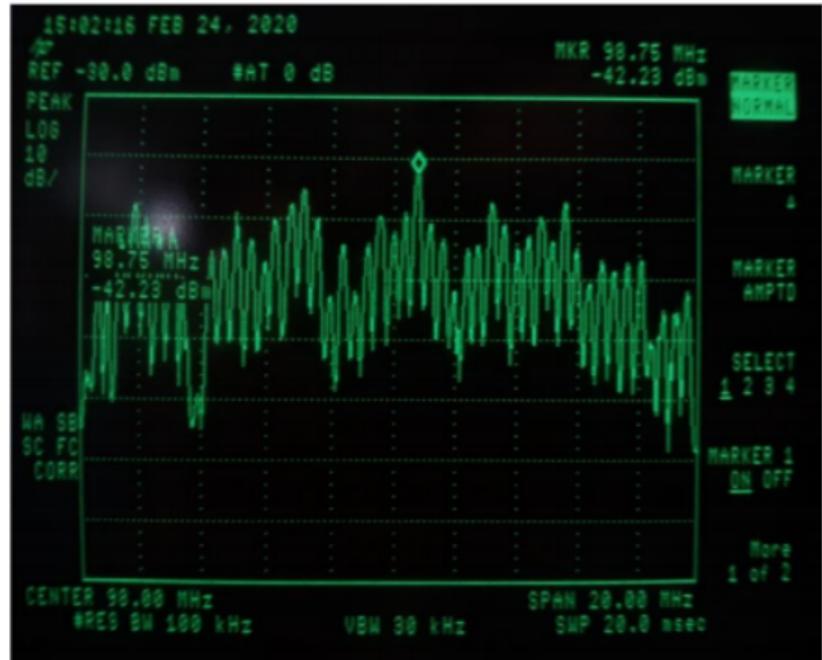
Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía

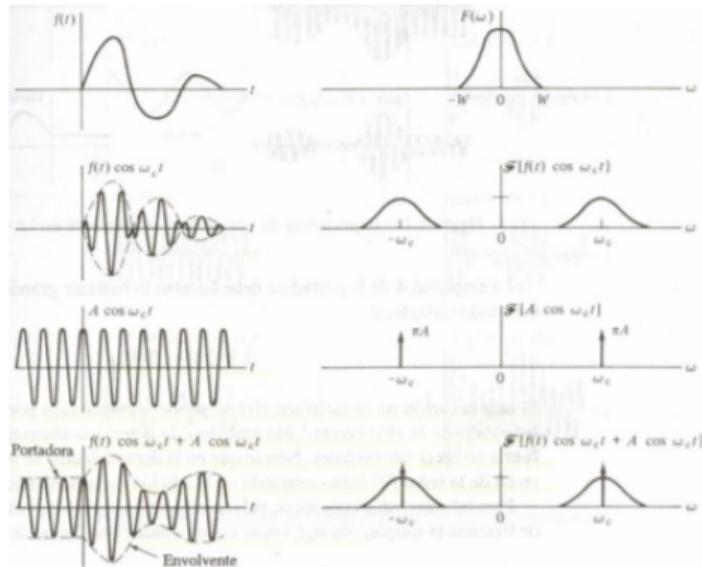


Tomado de Laboratorio 1-IS2020-ITCR

# Modulación

## Modulación AM

La amplitud de la portadora varía según la señal de información: la información de amplitud y frecuencia se “montan” sobre la portadora haciendo que la envolvente varíe de acuerdo a la señal moduladora.



Tomado de <http://webpages.eng.wayne.edu/ece4700/Lecture%20Notes/Lecture – Am.pdf>

Agenda

S. Arriola

Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

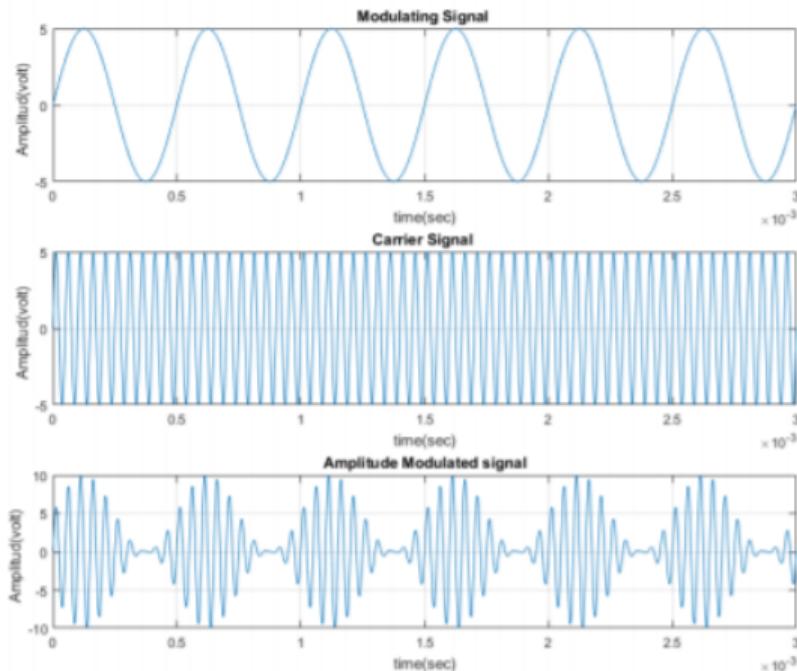
Concepto Básicos

Bibliografía

# Modulación

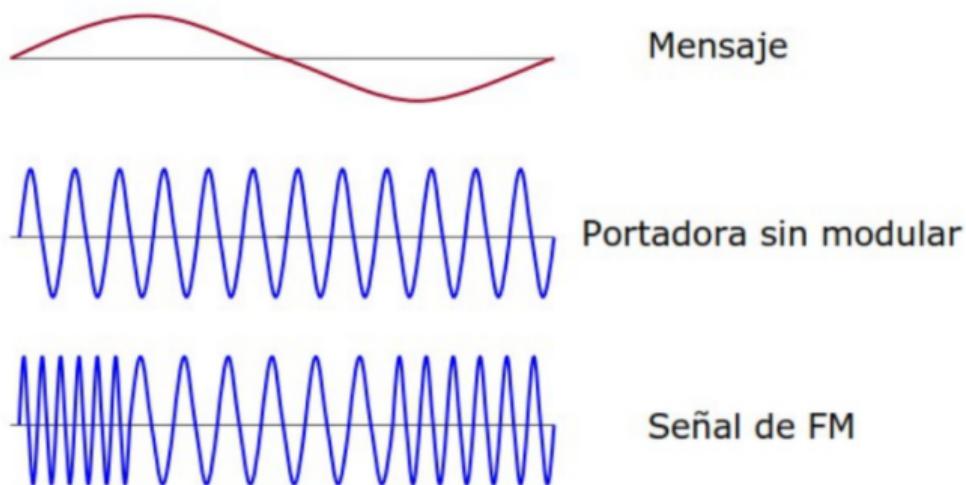
## Modulación AM

Modulación AM, con un índice de modulación de 1:



Tomado de: Autoría Propia

La modulación en frecuencia consiste en variar la frecuencia de la onda portadora de acuerdo con la intensidad de la onda de información, la amplitud de la onda modulada y portadora permanece constante.



# Modulación

## Modulación FM

Agenda

S. Arriola

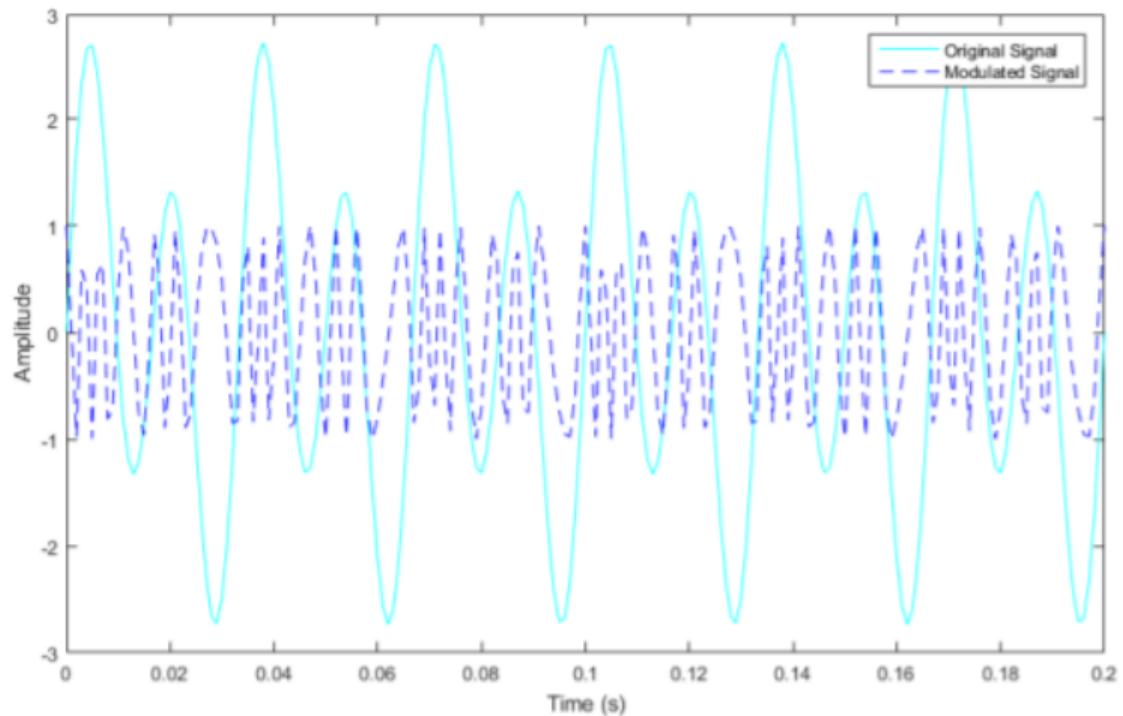
Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

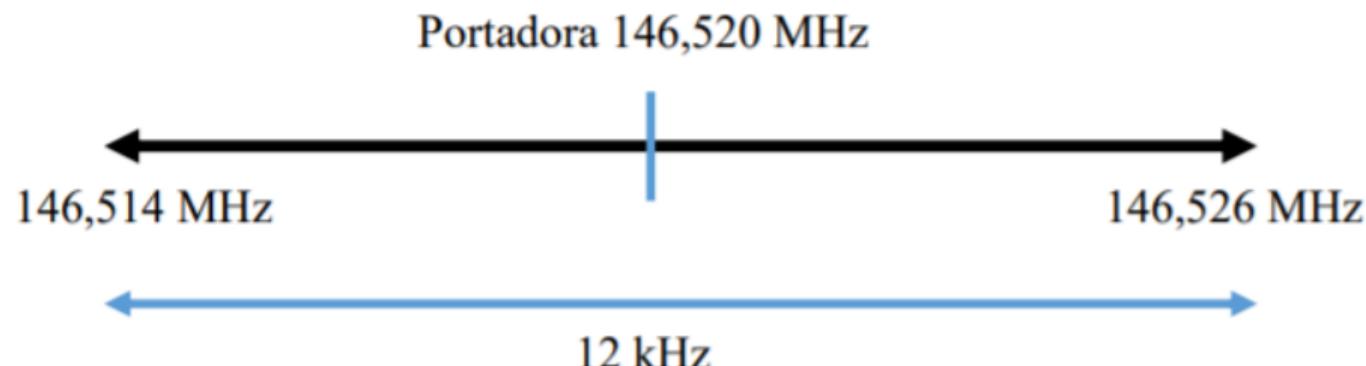
Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía



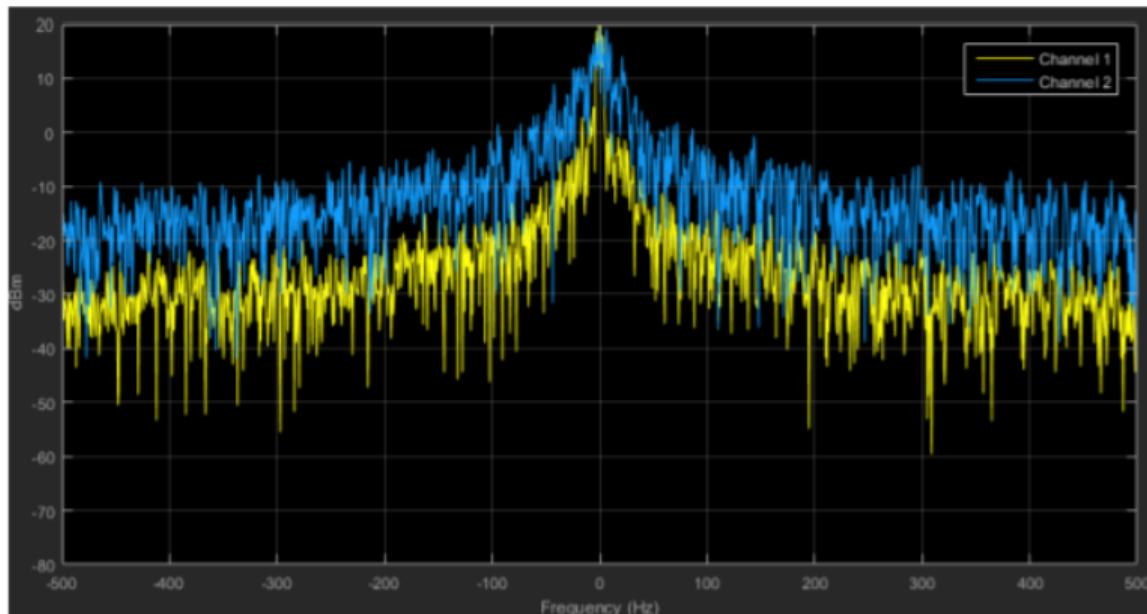
Tomado de: <https://www.mathworks.com/help/comm/ref/fmmod.html>



Tomado de: Autoría Propia

# Desviación de Frecuencia

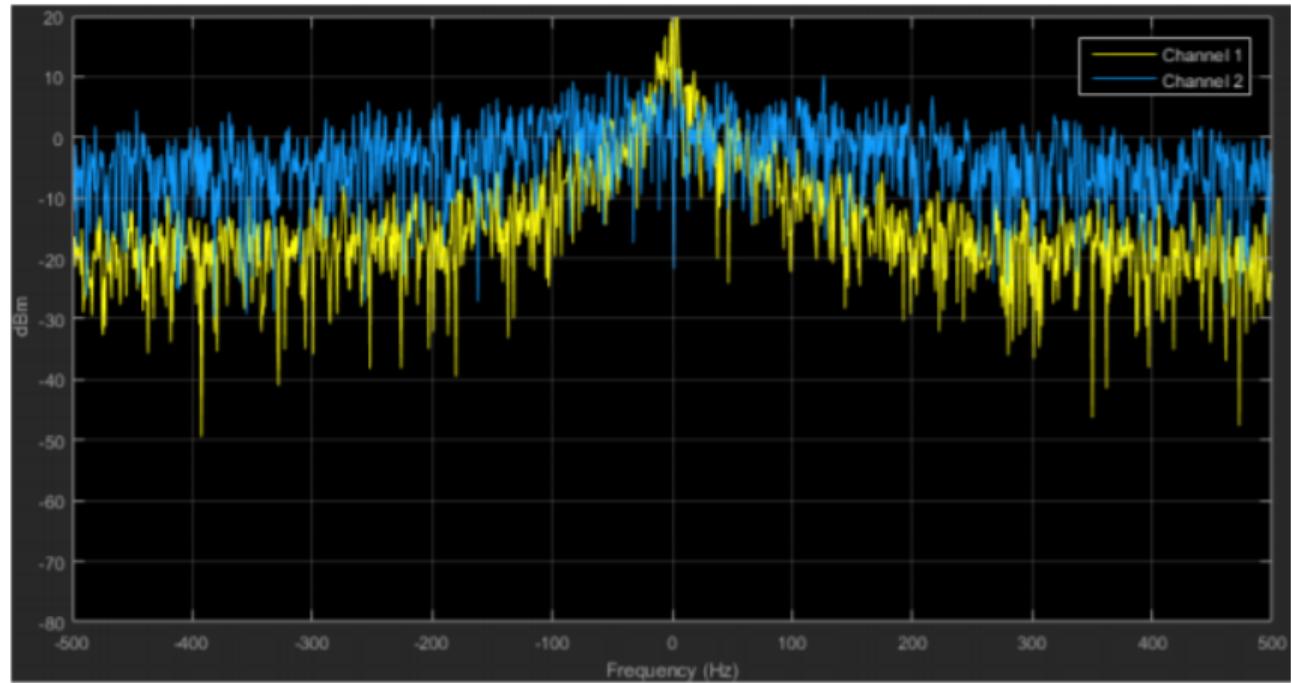
El canal 1 posee la señal ideal, mientras que el canal 2 posee un desvío de 10 Hz y ruido aditivo.



Tomado de: <https://www.mathworks.com/help/comm/ref/comm.fmmodulator-system-object.html>

# Desviación de Frecuencia

El canal 1 posee la señal ideal, mientras que el canal 2 posee un desvío de 40 Hz y ruido aditivo.



# Desviación de Frecuencia

Agenda

S. Arriola

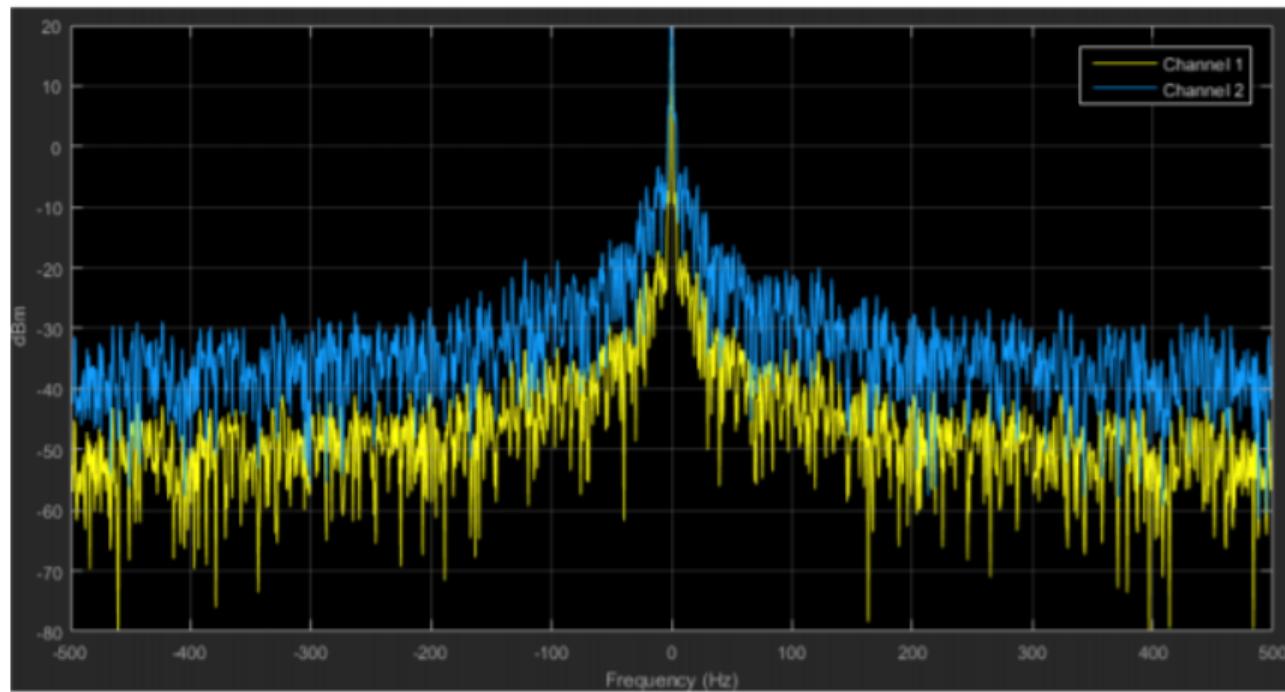
Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía

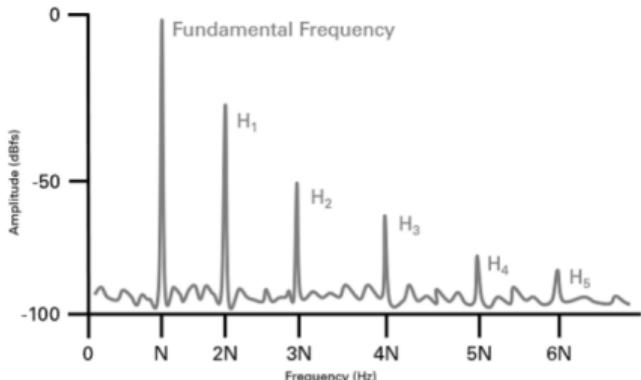


Tomado de: <https://www.mathworks.com/help/comm/ref/comm.fmmodulator-system-object.html>

# THD

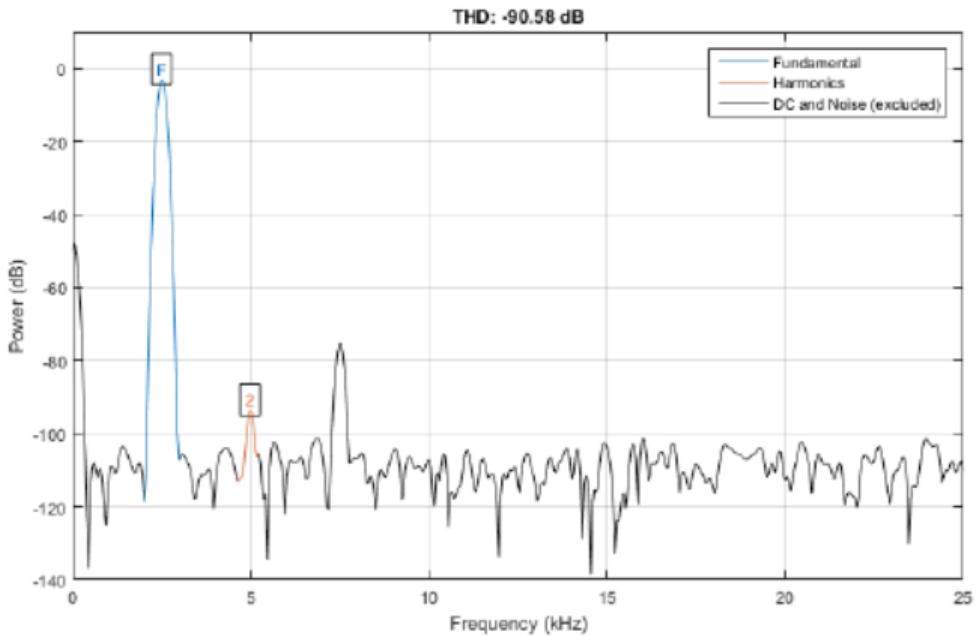
Este parámetro se define como el cociente de la suma de todas potencias de todos los armónicos en relación a la potencia del armónico fundamental. Generalmente este parámetro mide la distorsión armónica total.

$$THD = \frac{\sum \text{Potencia de los armónicos}}{\text{Potencia de la frecuencia fundamental}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N}{P_0}$$



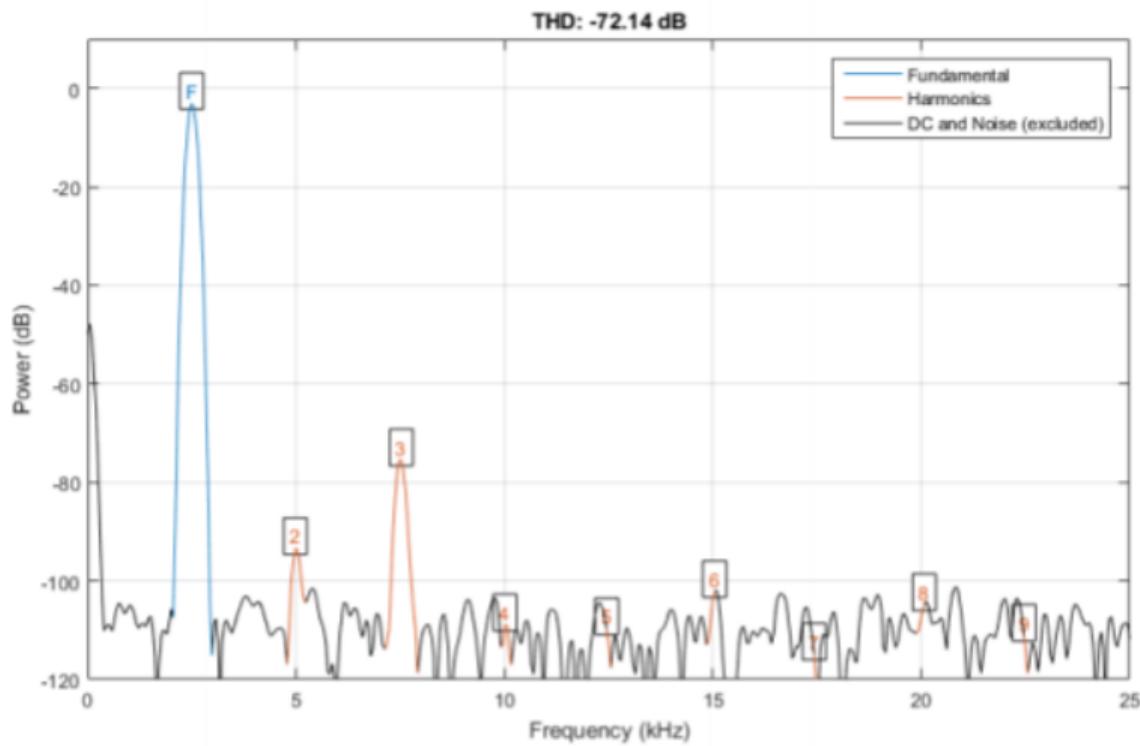
Tomado de: NI

## Caso de análisis con 2 armónicos:



Tomado de: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/thd.html>

Caso de análisis con 10 armónicos:

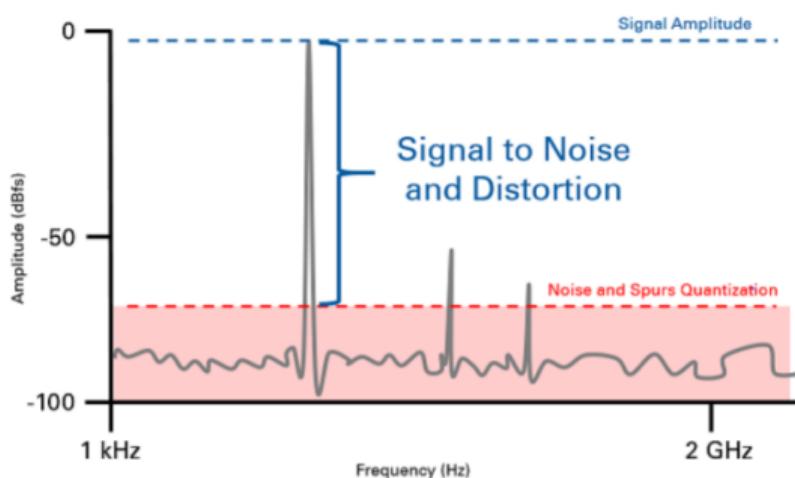


Tomado de: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/thd.html>

# SINAD

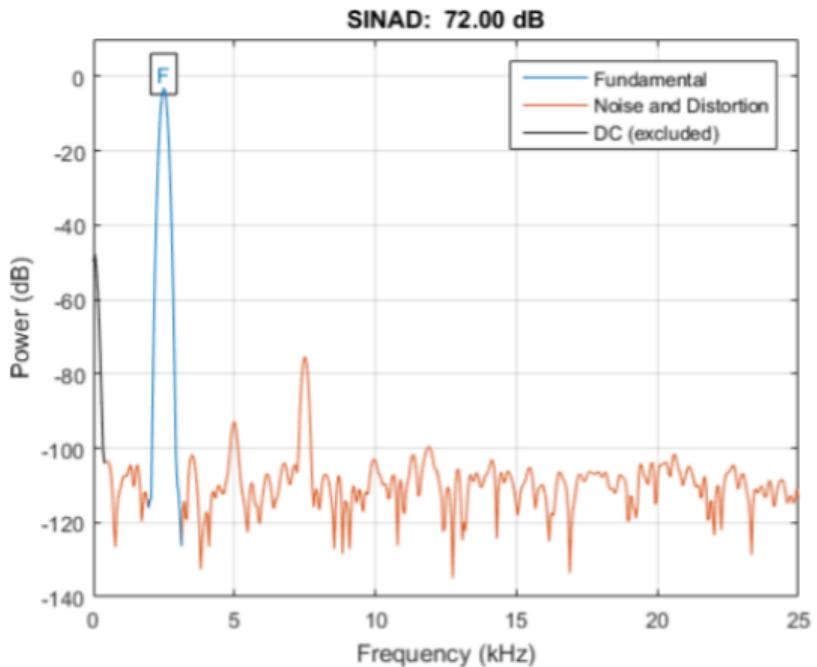
El parámetro SINAD permite medir la calidad de la señal en relación a las perturbaciones existentes tales como ruido y distorsión.

$$SINAD = \frac{Power_{Signal} + Power_{Noise} + Power_{Distortion}}{Power_{Noise} + Power_{Distortion}}$$



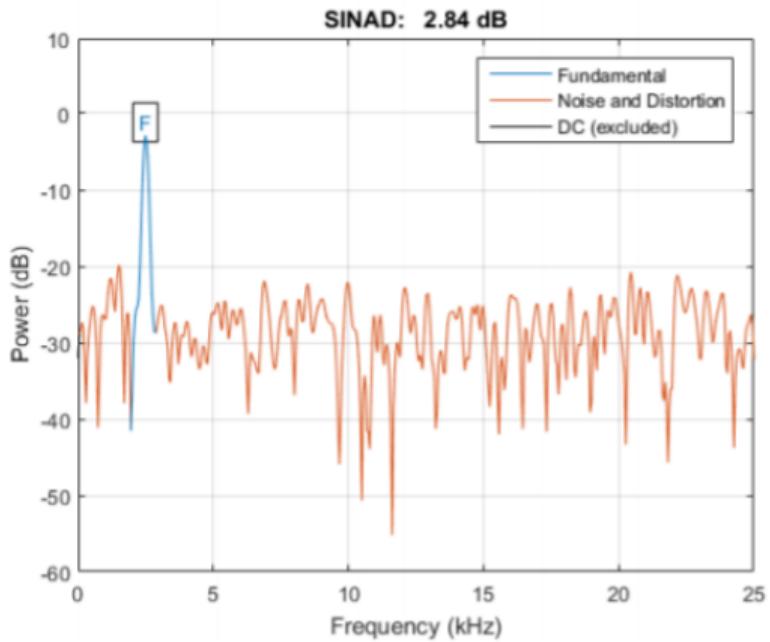
Tomado de: NI

Caso de análisis sin presencia de ruido:



Tomado de: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/sinad.html>

## Caso de análisis con presencia de ruido:

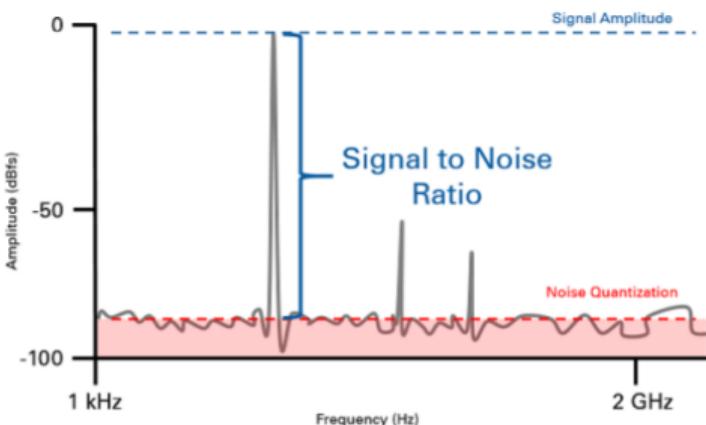


Tomado de: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/sinad.html>

# SNR

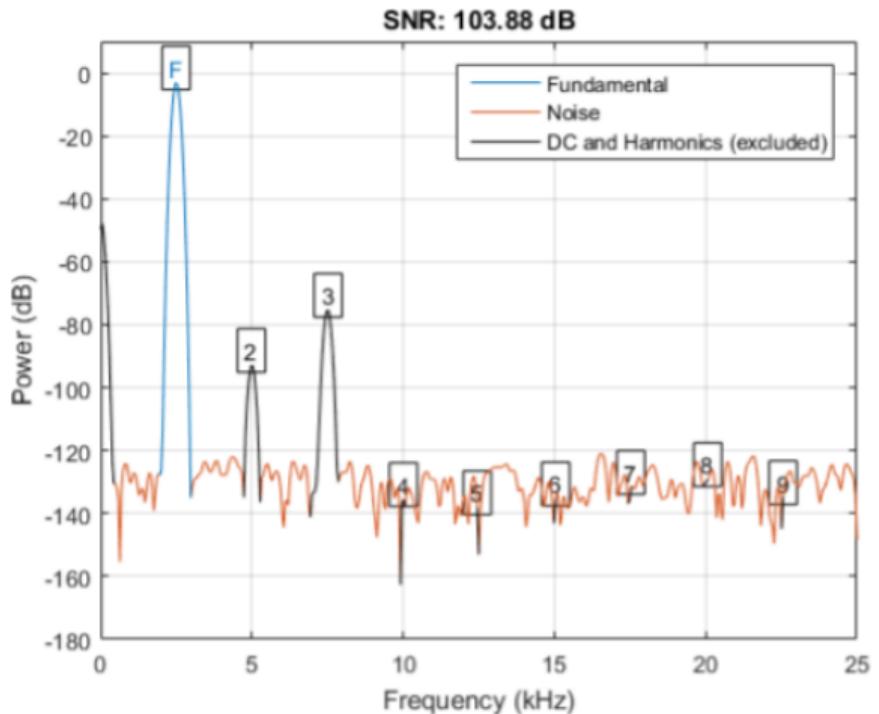
Es un parámetro que relaciona el nivel de potencia de la entrada en función con el nivel de ruido presente.

$$SNR = \frac{Power_{Signal}}{Power_{Noise}}$$



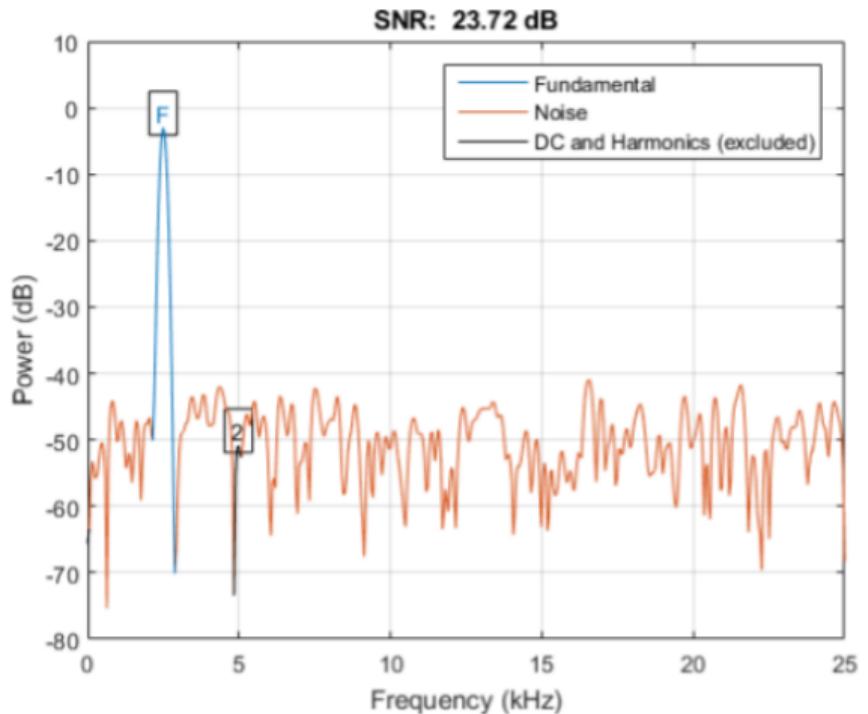
Tomado de: NI

Caso de análisis con presencia de ruido y 10 armónicos:



Tomado de: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/snr.html>

Caso de análisis con presencia de ruido y 2 armónicos:



Tomado de: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/snr.html>

# Televisión Analógica NTSC

Agenda

S. Arriola

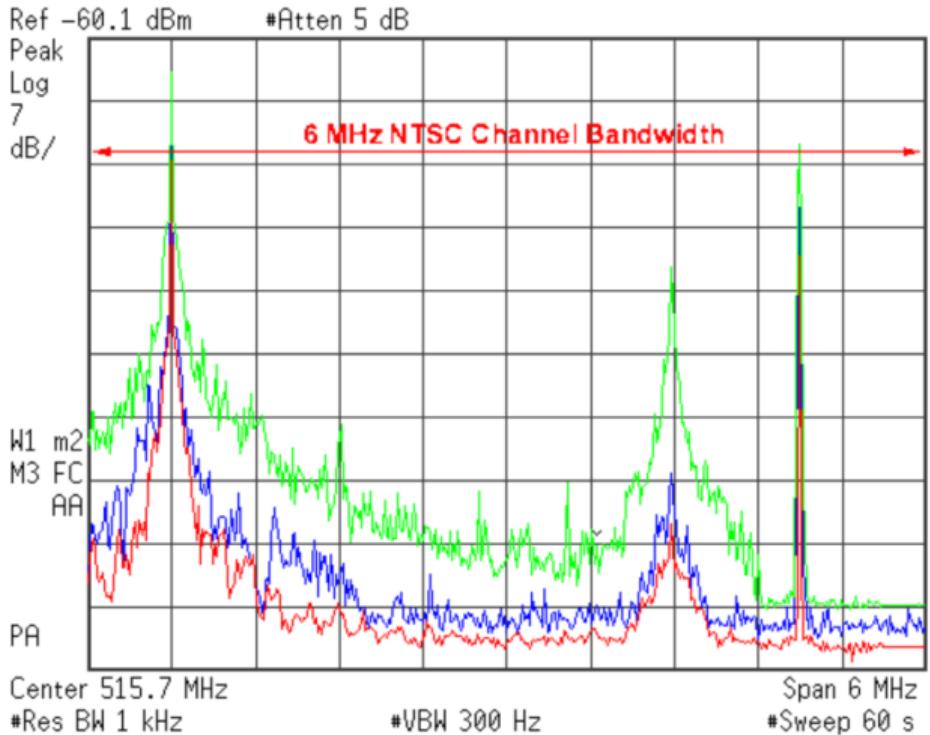
Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía



Tomado de: NTSC

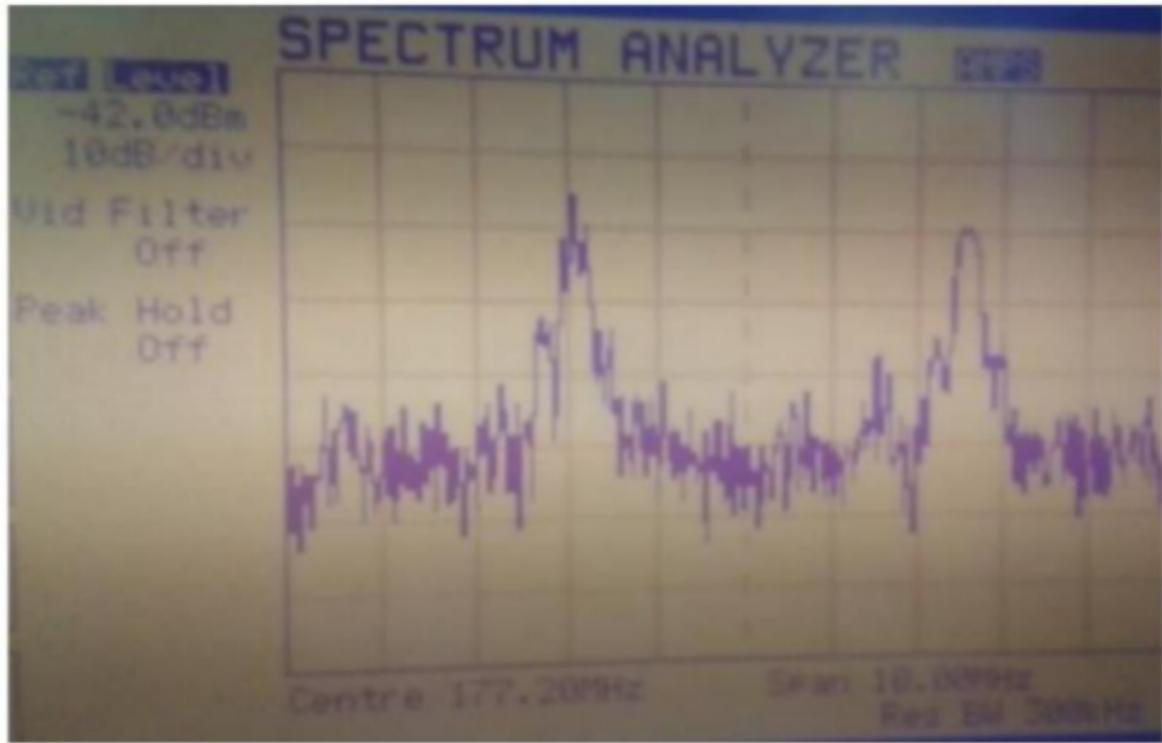
Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Concepto Básicos

Bibliografía



Tomado de: Laboratorio IS2016

# Televisión Digital

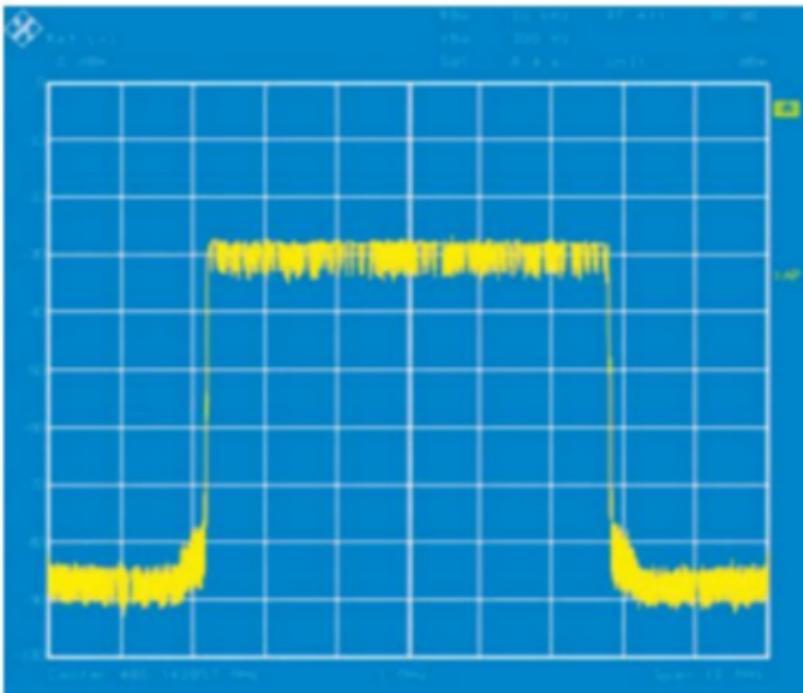
Actualmente se ha dado una nueva tendencia de migrar la televisión analógica a un enfoque digital, no obstante Costa Rica adoptó el estándar de televisión digital ISDB-T.

El estándar ISDB-T es llamado también como Integrated Services Digital Broadcasting según sus siglas en inglés.

No obstante, muchos países han realizado la migración de estándares analógicos a digitales.

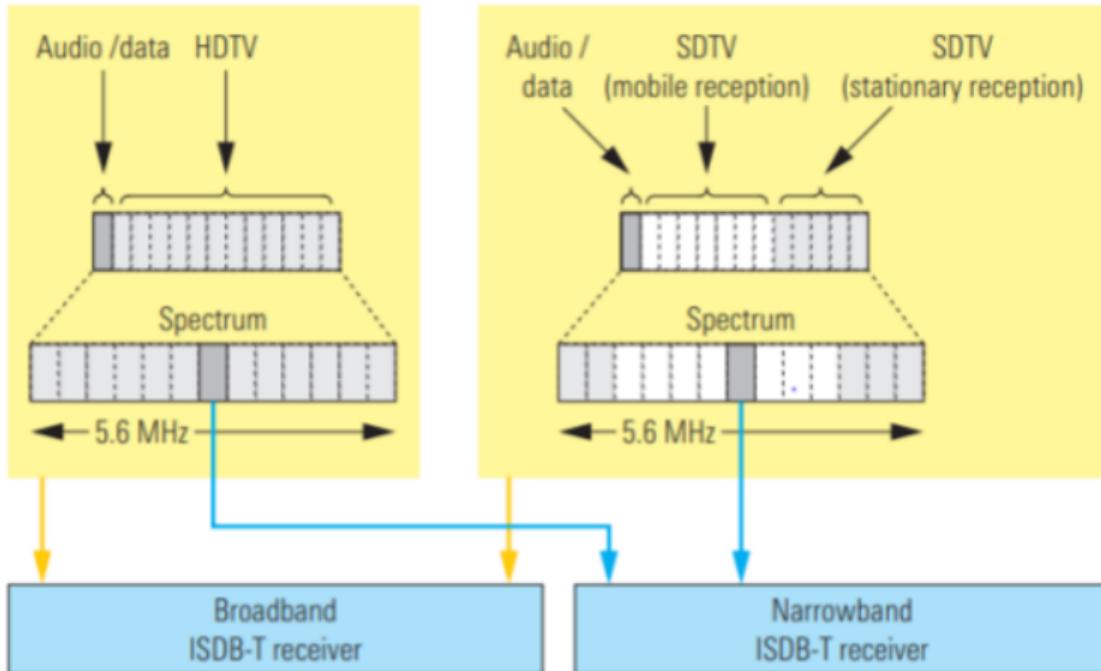
	Mode 1	Mode 2	Mode 3
<b>Number of segments</b>		13	
<b>Bandwidth</b>	5.575 MHz	5.573 MHz	5.572 MHz
<b>Carrier offset</b>	3.968 kHz	1.984 kHz	0.992 kHz
<b>Number of carriers</b>	1405	2809	5617
<b>Carrier modulation</b>	QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK		
<b>Symbols per frame</b>	204		
<b>Symbol duration (actual)</b>	252 µs	504 µs	1008 µs
<b>Guard interval</b>	1/4, 1/8, 1/16, 1/32		
<b>IFFT length</b>	2K	4K	8K
<b>Inner code</b>	Convolutional code (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)		
<b>Outer code</b>	Reed-Solomon (204,188)		

## Espectro ISDB-T



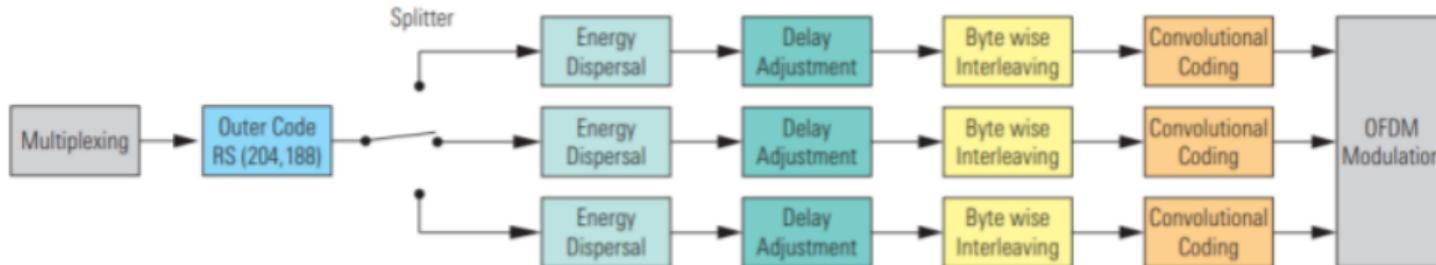
Tomado de: ISDB-T

## Jerarquía de transmisión y recepción parcial



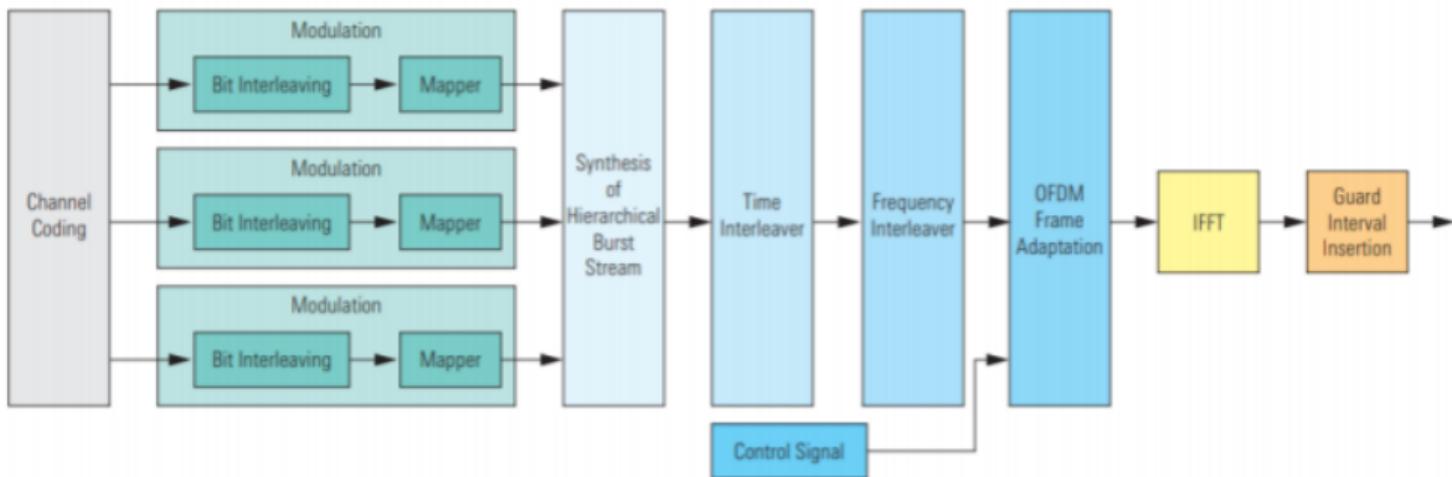
Tomado de: ISDB-T

## Codificación del canal



Tomado de: ISDB-T

## Esquema de modulación



Tomado de: ISDB-T

Decibeles con 1 W como potencia de referencia lo calculamos como:

$$P_{dB} = 10 \log(P)$$

Decibeles con 1 mW como potencia de referencia lo calculamos como:

$$P_{dBm} = 10 \log\left(\frac{P}{1mW}\right)$$

Cálculo en decibeles respecto a 1 V:

$$V_{dB} = 20 \log(V)$$

Cálculo de decibeles respecto a 1  $\mu$ V:

$$V_{dB\mu} = 20 \log\left(\frac{V}{1\mu V}\right)$$

# Agenda

Agenda

S. Arriola

Ecuaciones de Maxwell

Ecuaciones de Maxwell

Fenómeno de Propagación

Fenómeno de Propagación

Aplicaciones

Aplicaciones

Concepto Básicos

Concepto Básicos

Bibliografía

Bibliografía

# Bibliografía

1. Rohde & Schwarz, Spectrum Analysis Fundamentals, Theory and Operation of Modern Spectrum Analyzers, 2013.
2. Stremler, F. Introducción a los Sistemas de Comunicación, 3era. Ed.
3. Haykin, S. Communications Systems. 4th Ed.
4. Tomasi, W. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4th Ed.
5. Kraus, J. Electromagnetismo con Aplicaciones. 5th Ed.

Para más información pueden ingresar a:

TEC-Digital ó <http://www.ie.tec.ac.cr/sarriola/TallerdeComunicaciones/>

Esta presentación se ha basado parcialmente en compilación para semestres anteriores de cursos de Laboratorio de Teoría Electromagnética II y Laboratorio de Comunicaciones Eléctricas por Aníbal Coto-Cortés, Renato Rimolo-Donadio y Sergio Arriola-Valverde

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons “Reconocimiento-NoCommercial-CompartirIgual 3.0 España”.

