

Taller de Comunicaciones Eléctricas

Introducción Laboratorio 1

Ing. Sergio Arriola-Valverde. M.Sc

Ing. Néstor Hernández Hostaller. M.Sc

Escuela de Ingeniería Electrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica

II Semestre 2020

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Contenidos y Cronograma

- Introducción al curso.
- Ecuaciones de Maxwell y el Fenómeno de Propagación.
- Introducción Laboratorio 1.

Contenidos y Cronograma

- Introducción al curso.
- Ecuaciones de Maxwell y el Fenómeno de Propagación.
- Introducción Laboratorio 1.

Descripción del Curso

Nombre del curso: Taller de Comunicaciones Eléctricas

Tipo de curso: Práctico

Código: EL-5522

Requisitos: No posee

Créditos: 3

Nº Horas/Semana: 4 horas

Nº Horas extraclase/Semana: 5 horas

Asistencia: Obligatoria. Según grupo y horario de medición reservado.

Evaluación: Laboratorio guiados, evaluaciones cortas, presentaciones y proyecto final

Programa del curso: tec-digital ó

www.ie.tec.ac.cr/sarriola/TallerdeComunicaciones/Programa

Descripción del Curso

La evaluación del curso está distribuida de la siguiente manera:

Parte A : Laboratorios y teoría

Exámenes cortos (6)	10%
Reporte de Prácticas Guiadas (6)	10%
Exposición Tema Teórico (1)	5%
Tutoriales en RF (2)	10%
Tarea (1)	5%
Exposición Laboratorio	5%

Parte B :Trabajo Final de Diseño

Avance (3)	30%
Informe Final	15%
Exposición	10%

Aspectos operativos y administrativos

El curso utiliza una modalidad no presencial ó virtual, donde:

- Clases.
- Tutorías.
- Consultas.
- Elementos de enseñanza.

Están basados mediante el empleo de herramientas tecnológicas, videoconferencias que el(la) profesor(a) considere utilizar.

Aspectos operativos y administrativos

El material generado por el(la) profesor(a) podrán ser consultados de manera sincrónica ó asincrónica con el objetivo de que el(la) estudiante pueda hacer uso del material para repaso.

El material el(la) profesor(a) deberá establecer la metodología para acceder al mismo.

Aspectos operativos y administrativos

En cuanto a prácticas de laboratorio se utilizar entornos de simulación para microondas y radio frecuencia u otros software que permitan la obtención de información que permitirá sustituir el uso de equipo de laboratorio.

El profesor mediante material digital u otro deberá complementar etapas o aspectos importantes de cada práctica al con grupo, con el objetivo de orientar y clarificar conceptos relevantes.

Aspectos operativos y administrativos

En relación al proyecto final del curso el profesor ó grupo de estudiantes podrá definir un tema en el cual se utilice un proceso de investigación que permita comprobar algún concepto, teoría o ley que este orientado en el área de comunicaciones eléctricas o teoría electromagnética.

Para este caso es posible utilizar software de simulación o en su defecto hardware que considere necesario para el desarrollo del proyecto final.

Aspectos operativos y administrativos

Debido a la modalidad no presencial, es necesario que los(as) estudiantes profundicen conceptos mediante la consulta de materiales bibliográficos:

- Artículos.
- Tesis.
- Manuales u otros que se consideren

Aspectos operativos y administrativos

El curso consta de 3 créditos por lo tanto exige 9 horas trabajo semanal de las cuales se estructuran de la siguiente manera:

- 4 horas de clases virtuales (no presencial) (profesor – estudiantes)
- 5 horas de trabajo extraclases (Fuera de clases)

Aspectos operativos y administrativos

En cuanto a entregas de documentos:

- Preferiblemente se utilizará el TEC-Digital para entregas de documentos por parte de los grupos, el profesor podrá cambiar la forma de entregas.
- Los informes de laboratorio-proyecto y avances de proyectos deberán ser entregados en PDF. Para los informes de laboratorio, avances de proyecto y presentaciones (slides) deberán ser entregados antes de cada sesión magistral.
- Los cuestionarios previos, deberán ser presentados según la semana de asignación, en ausencia del mismo el grupo no podrá llevar acabo la práctica guiada de laboratorio.

Bibliografía Recomendada

Obligatoria:

D. Pozar, Microwave Engineering, 4ed, Wiley, 2011.

C. A. Balanis: Antenna Theory. Analysis and Design. 3a Edición, John Wiley and Sons, 2005.

S. Haykin, M. Moher: Communication Systems, 5 Ed., Wiley, 2012.

Complementaria:

W. H. Hayt, J. A. Buck: Teoría Electromagnética, Mc Graw-Hill, 8^a Edición, 2012.

M. N. O. Sadiku. Elementos de Electromagnetismo. 3^a Edición, Editorial Alfaomega/Oxford. México, 2005.
es, Alfaomega, 2013.

Bibliografía Recomendada

Obligatoria:

J. D. Kraus, D. A. Fleisch: Electromagnetismo, Mc Graw-Hill, Quinta Edición, México, 2000.

V. R. Neri: Líneas de Transmisión, Mc Graw-Hill Interamericana, México, 1998.

B. P. Lathi, Z. Ding: Modern Digital and Analog Communications Systems, 4 Ed. Oxford, 2009.

J. M. Huidobro, Comunicaciones Móviles, Alfaomega, 2012.

A. R. Castro-Lechtnaler, R. J. Fusario: Comunicaciones, Alfaomega, 2013.

Profesores

Ing. Sergio Arriola Valverde. M.Sc

Email: sarriola@tec.ac.cr

Teléfono: 2550 2725

Oficina: Edificio K1, 509

Consulta: Virtual L 9 – 11 am, o a convenir (Por Zoom)

Grupo 1, Sede Cartago

Portal web: <http://www.ie.tec.ac.cr/sarriola/TallerdeComunicaciones/>

Profesores

Ing. Nestor Hernandez Hostaller. M.Sc

Email: nhernandez@tec.ac.cr

Teléfono: 2550 9170

Oficina: Edificio K-1 513

Consulta: Virtual (Profesor definirá el medio)

Grupo 2, Sede Cartago

Profesor

Ing. Sergio Arriola-Valverde. M.Sc

Cursos Impartidos:

- Elementos Activos (2015).
- Circuitos Eléctricos en Corriente Alterna (2016 – 2018).
- Laboratorio de Elementos Activos (2017).
- Teoría Electromagnética I (Verano 2017-2018).
- Laboratorio de Teoría Electromagnética II (2016-2018).
- Circuitos Eléctricos en Corriente Continua (Verano 2018-2019).
- Sistema Empotrados de Alto Desempeño (Maestría en Electrónica 2019-2020)
- Taller de Comunicaciones Eléctricas (**I Semestre 2019 – Actualmente**)

Profesor

Ing. Nestor Hernandez Hostaller. M.Sc

Cursos Impartidos:

- Comunicaciones Eléctricas I.
- Laboratorio de Comunicaciones Eléctricas.
- Teoría Electromagnética I.
- Teoría Electromagnética II.
- Laboratorio de Teoría Electromagnética II.
- Probabilidad y Estadística.
- Taller de Comunicaciones Eléctricas (**Actualmente**)

Sistema de alarma contra incendio



- Estas estaciones están diseñadas únicamente para ser accionadas para casos de emergencias, dentro del laboratorio.
- Un accionamiento negligente de estos sistemas de supresión de incendios, acarrea un costo de reposición elevado.

Contenidos y Cronograma

- Introducción al curso.
- Ecuaciones de Maxwell y el Fenómeno de Propagación.
- Introducción Laboratorio 1.

Ecuaciones de Maxwell

¿Qué es la luz?

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

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

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 u = \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} \right)$$

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

Ecuaciones de Maxwell

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

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

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

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

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

Ecuaciones de Maxwell

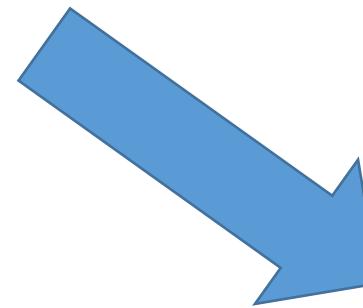
Se utilizarán las ecuaciones de Maxwell en forma puntual
considerando el caso dinámico

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

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

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

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



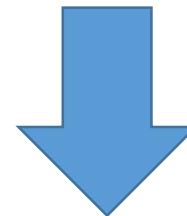
$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

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

Ecuaciones de Maxwell

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

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

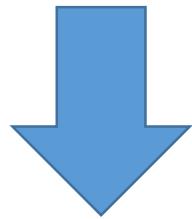


$$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = -\frac{\partial}{\partial t}(\nabla \times \vec{B})$$

Ecuaciones de Maxwell

Se deberá reducir la expresión, utilizando identidades de vectoriales

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



Se sustituye el rotacional de B para ir reduciendo la ecuación

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

Ecuaciones de Maxwell

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

Espacio libre de carga

donde $\rho = 0$, no densidad de carga.

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

~~0~~ ~~0~~

Donde se obtiene el resultado simplificado tal como:

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

Ecuaciones de Maxwell

Finalmente se obtiene

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

Donde c corresponde la velocidad de la luz, y finalmente se tiene que

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 u = \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} \right) \nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

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

Ecuaciones de Maxwell

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

Concepto de Propagación de Onda



Ejemplo onda TEM, caso armónico:

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

$$H_y(z, t) = f_1 \left(t - \frac{z}{v} \right) + f_2 \left(t + \frac{z}{v} \right) \quad H_y(z, t) = |H_{x0}| \cos(\omega t - k_0 z)$$

Onda Viajera → función del tiempo y espacio

Concepto de Propagación de Onda

Maxwell

Ec. Onda

Soluciones
(Ondas)

Ejemplo onda TEM, caso armónico:

$$\begin{aligned} E_x(z, t) &= \mathcal{E}_x(z, t) + \mathcal{E}'_x(z, t) \\ &= |E_{x0}| \cos [\omega(t - z/v_p) + \phi_1] + |E'_{x0}| \cos [\omega(t + z/v_p) + \phi_2] \\ &= \underbrace{|E_{x0}| \cos [\omega t - k_0 z + \phi_1]}_{\text{propagación } z \text{ hacia adelante}} + \underbrace{|E'_{x0}| \cos [\omega t + k_0 z + \phi_2]}_{\text{propagación } z \text{ hacia atrás}} \end{aligned}$$

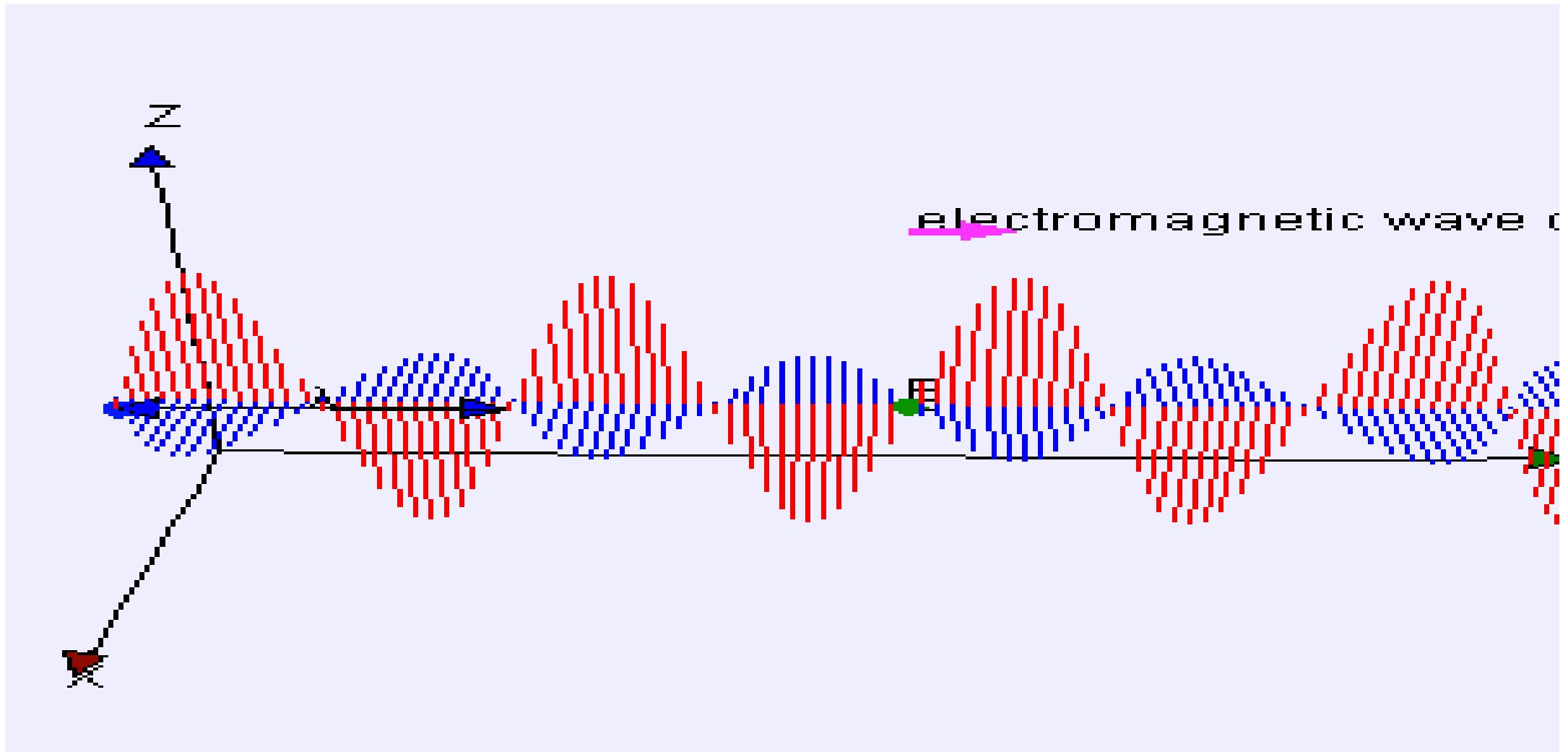
Onda Viajera → función del tiempo y espacio

$$k_0 \equiv \frac{\omega}{c} \text{ rad/m}$$

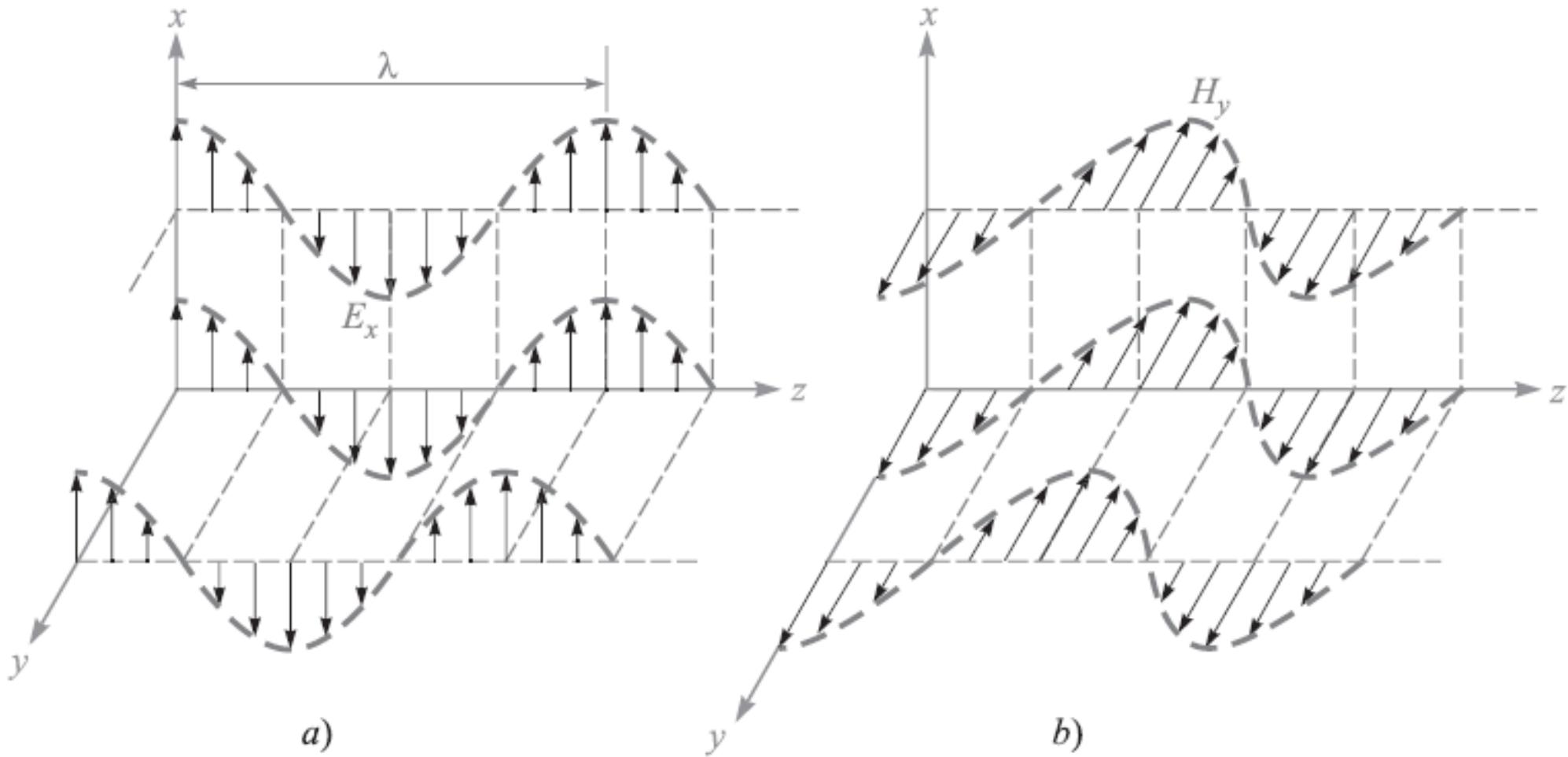
$$\lambda = \frac{2\pi}{k_0} \text{ (espacio libre)}$$

$$v_p = c$$

Concepto de Propagación de Onda



Concepto de Propagación de Onda

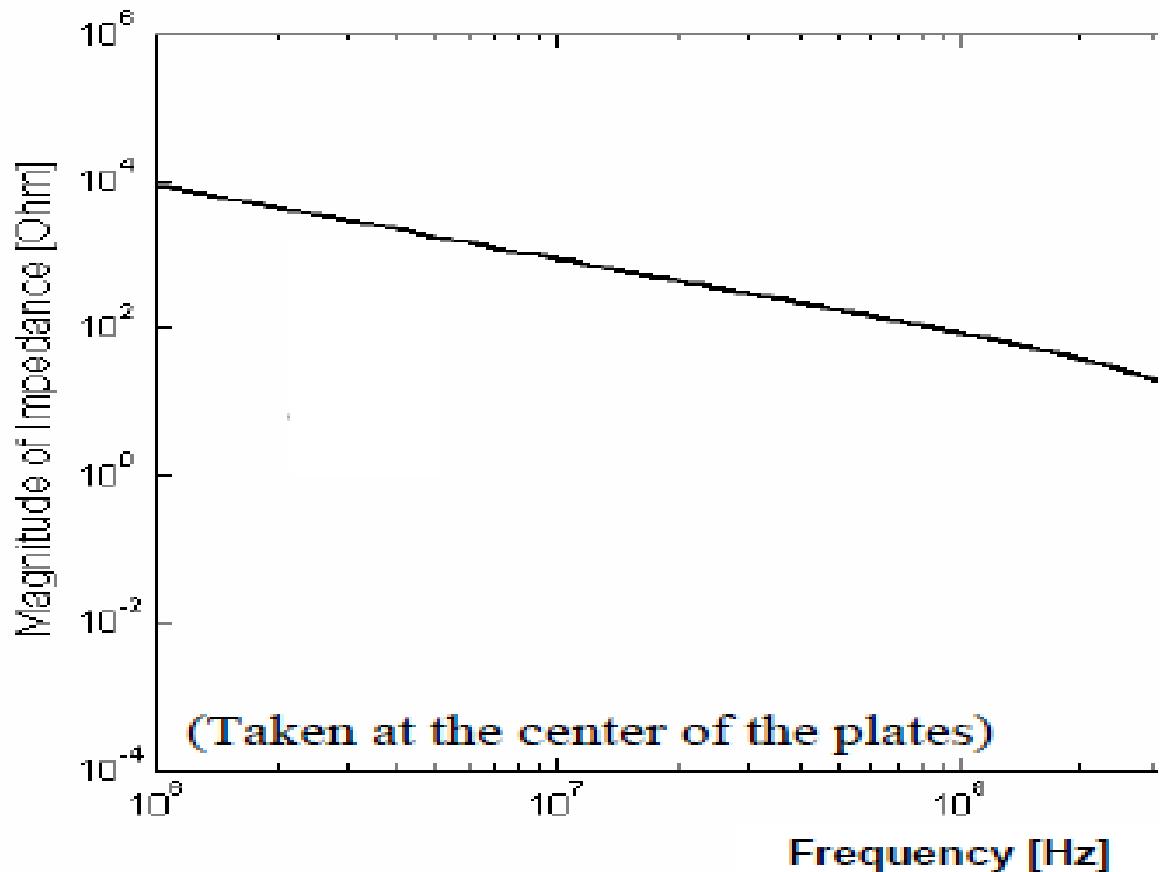


Ejemplo: Capacitor Real vs Ideal

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?

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

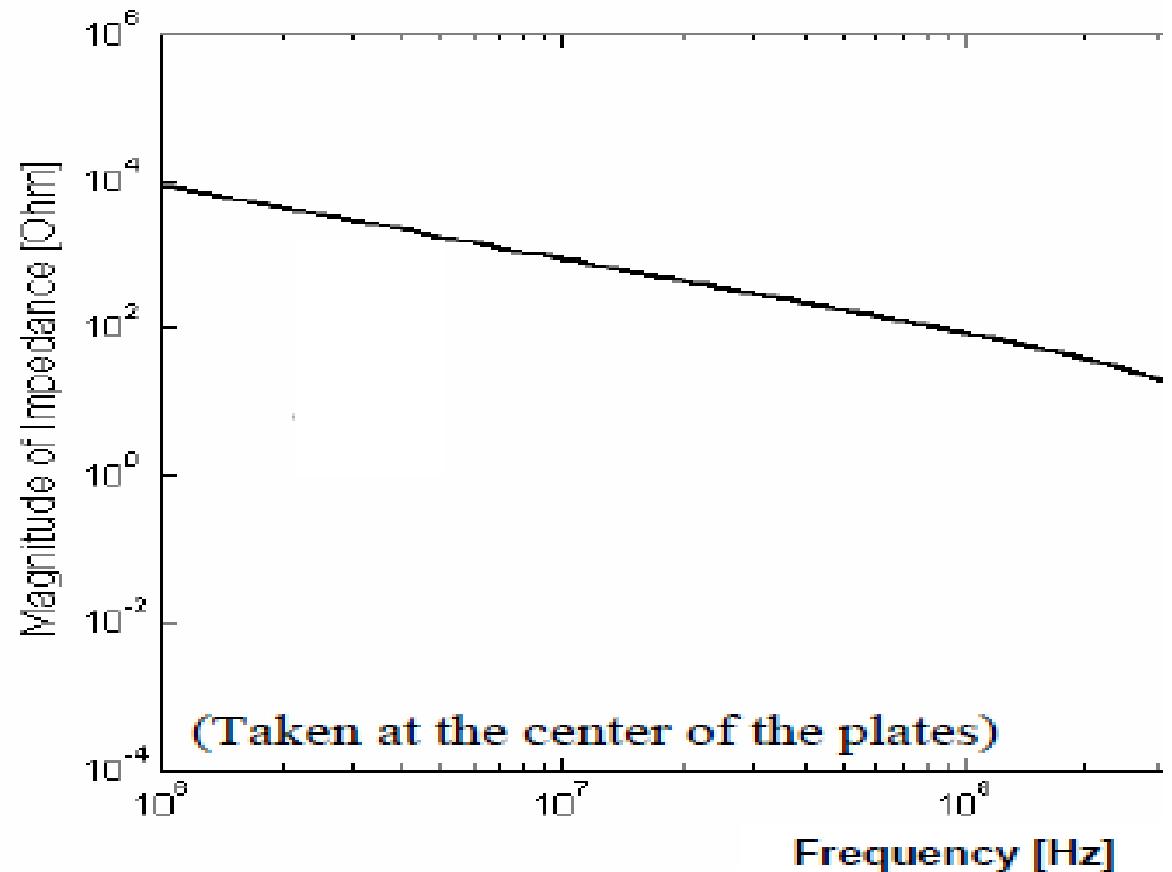
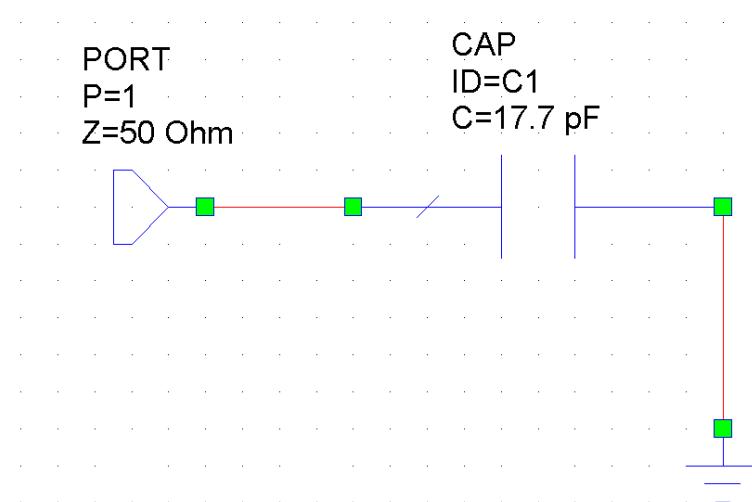
$$Z = \frac{1}{j2\pi f \cdot C}$$



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

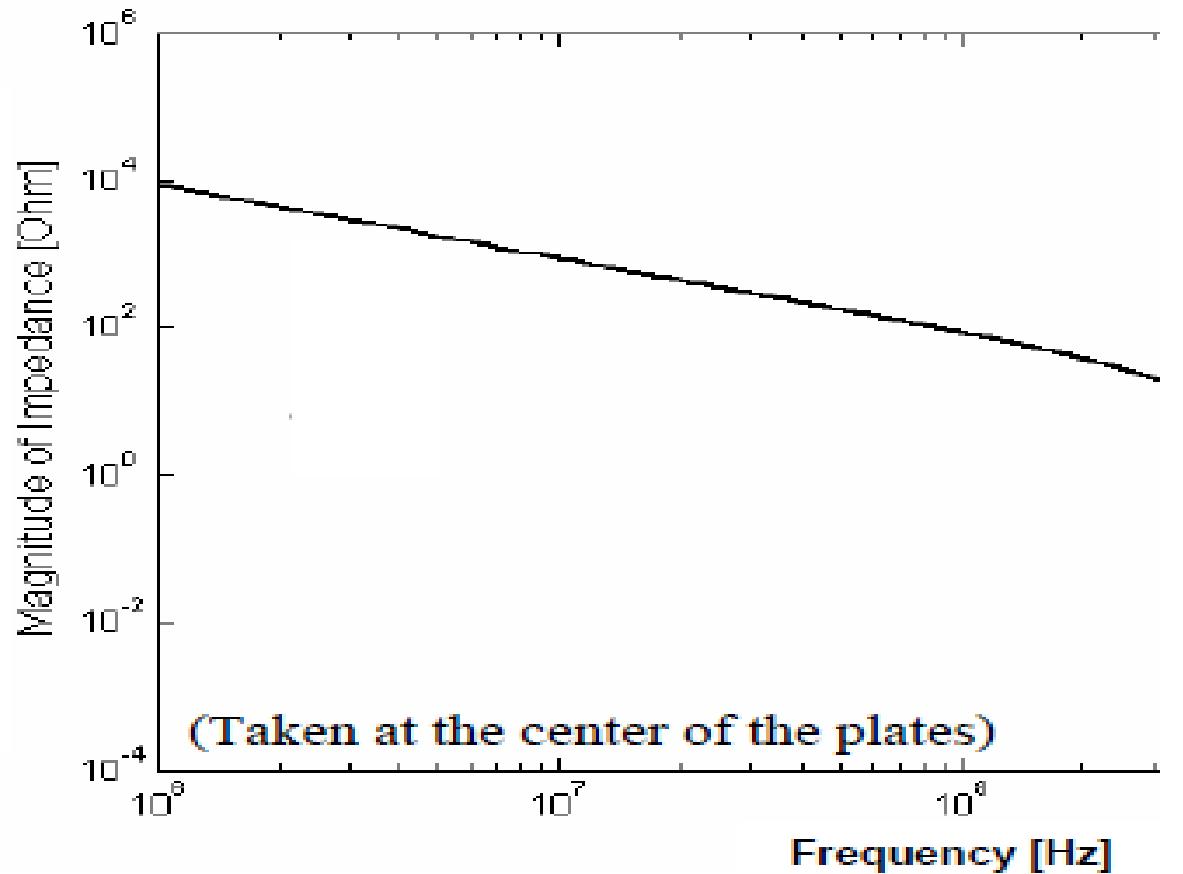
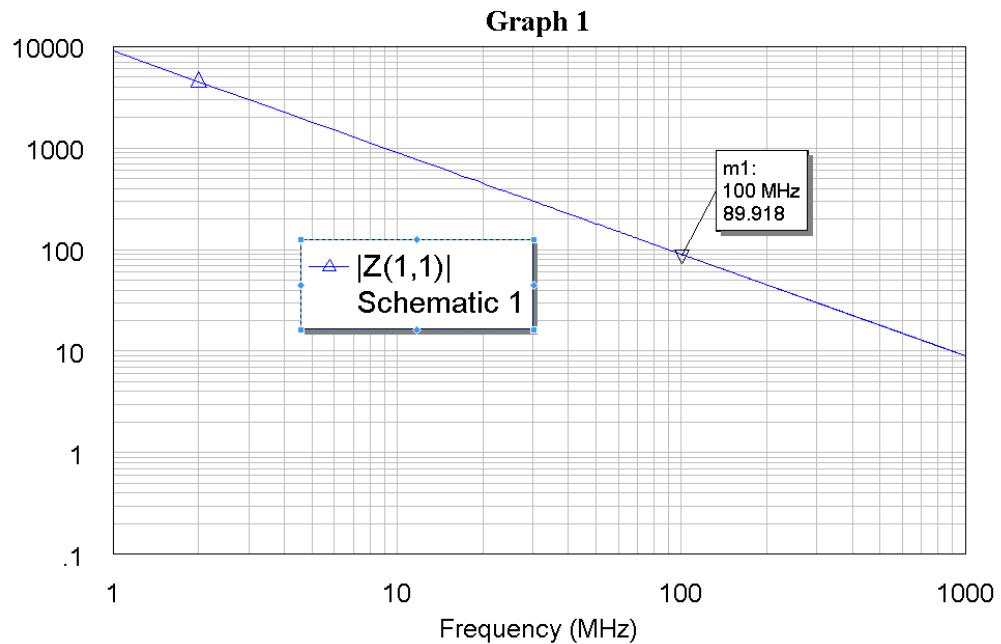
Ejemplo: Capacitor Real vs Ideal

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?



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?



Ejemplo: Capacitor Real vs Ideal

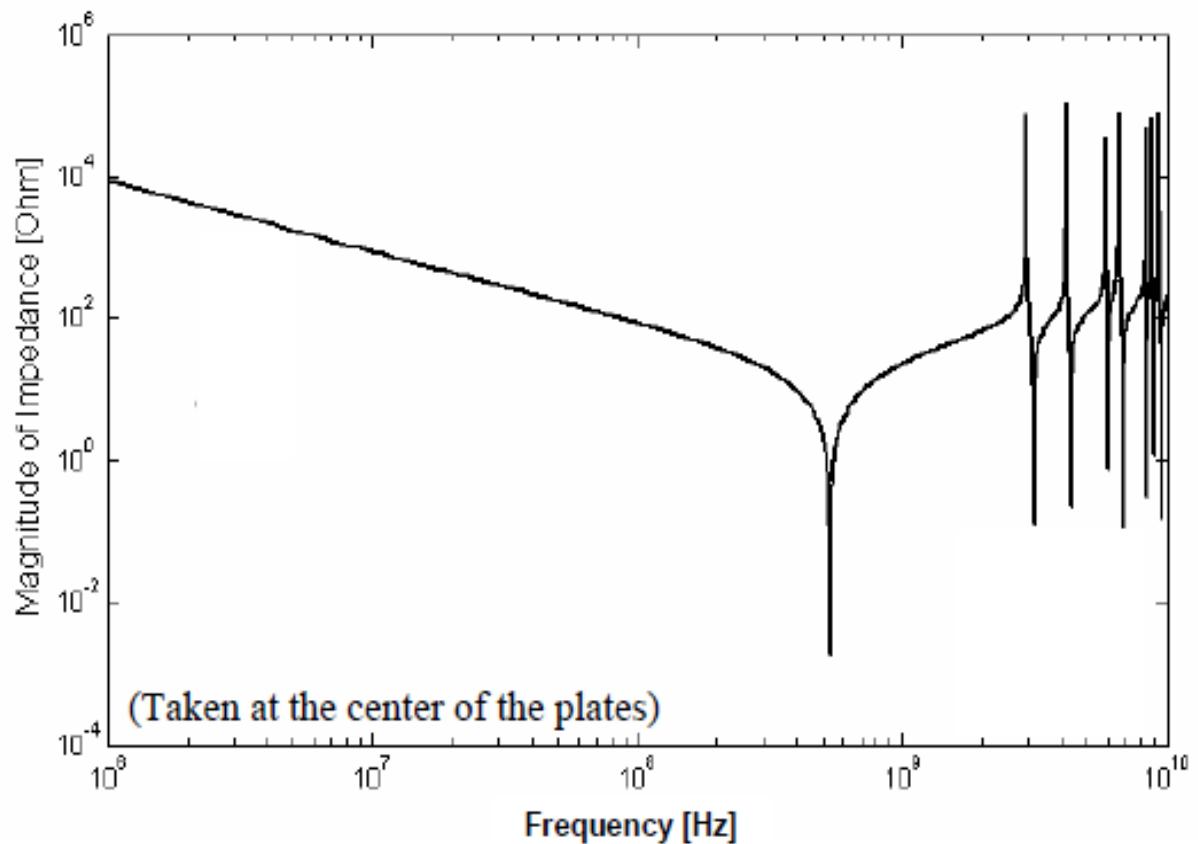
Para un capacitor de placas paralelas, con dimensiones de 10 x 10 cm y una separación de 0.5 cm, en el aire. ¿Cuál es su impedancia como una función de la frecuencia?

Modelo es únicamente válido para frecuencias relativamente bajas!

Relación importante a verificar:

Dimensiones vs frecuencia
(o longitud de onda)

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



Algunas Aplicaciones

Comunicaciones Eléctricas

- Líneas de Transmisión
- Antenas
- Guías de Ondas
- Enlaces Ópticos ...

Aplicaciones en Electro-medicina

Compatibilidad Electromagnética

Integridad de Señales

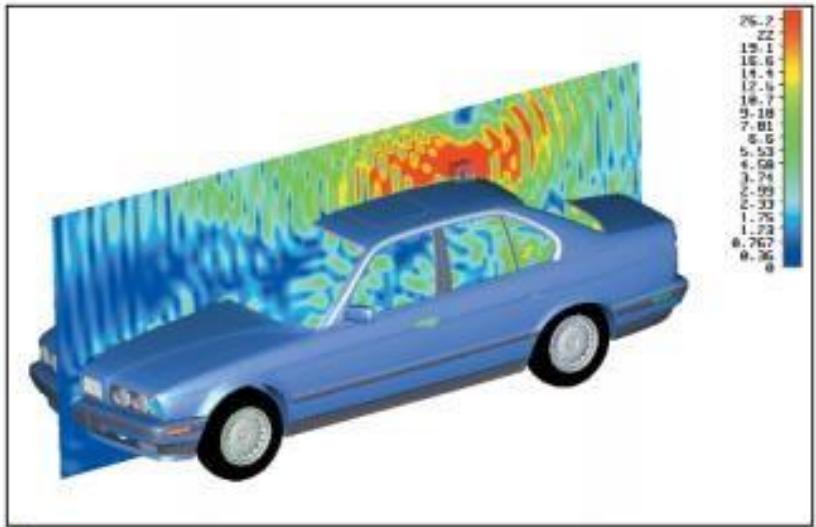
- Interconexiones de alta velocidad
- Diseño de circuitos en alta frecuencia

Dispositivos MEMs

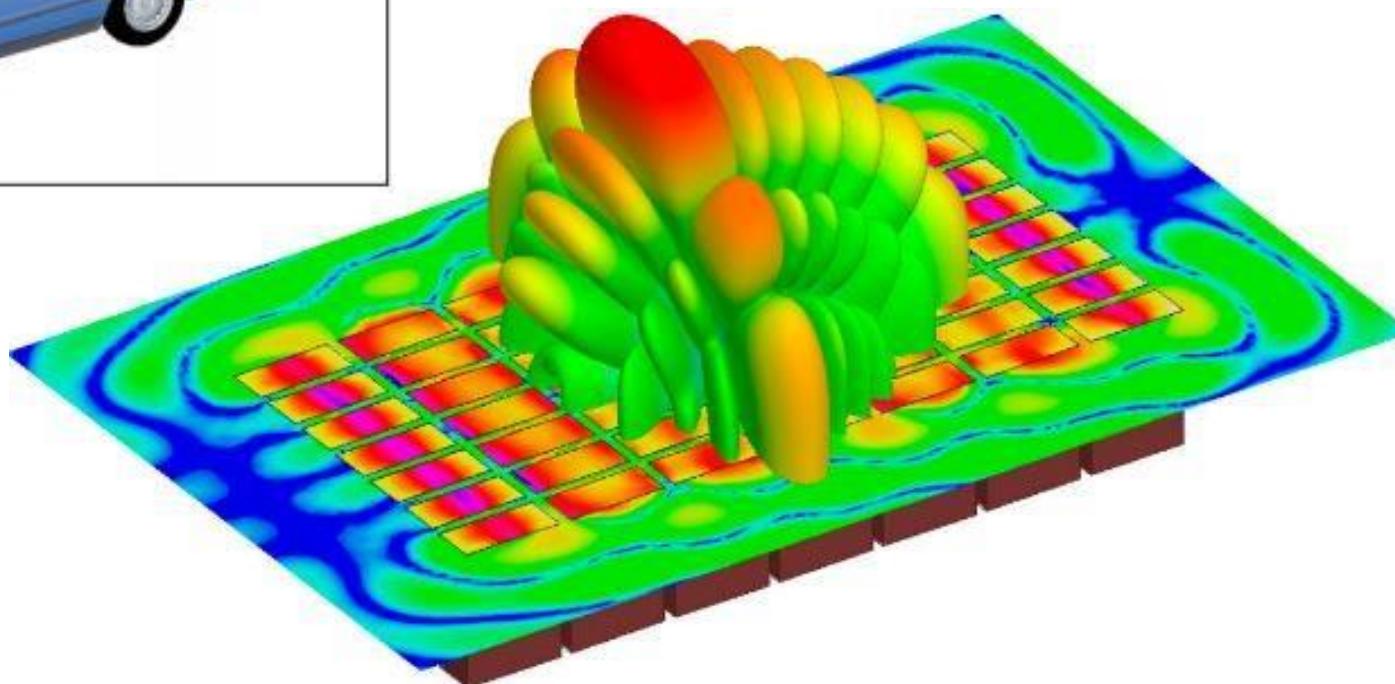
Sistemas Aéreos No Tripulados....



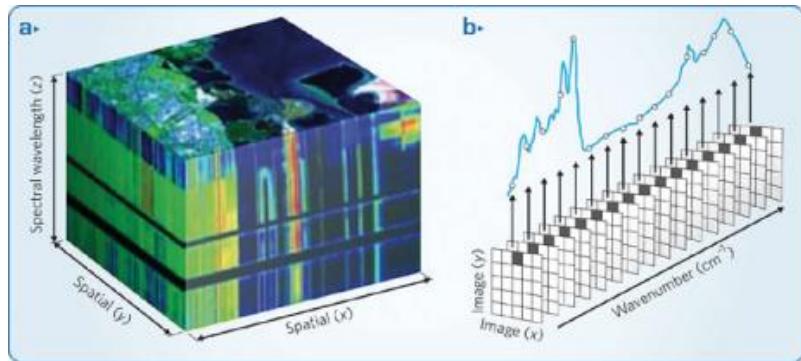
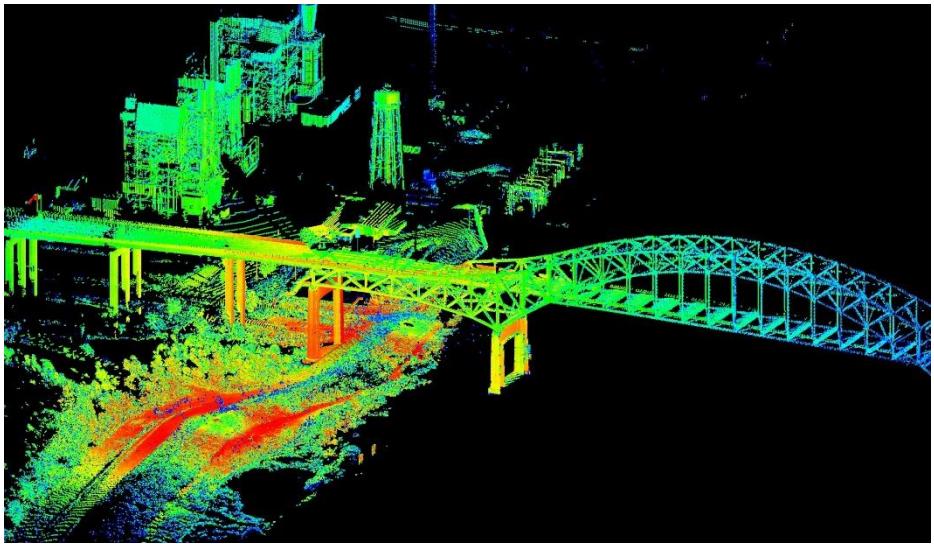
Algunas Aplicaciones



Herramientas CAD para
simulaciones electromagnéticas

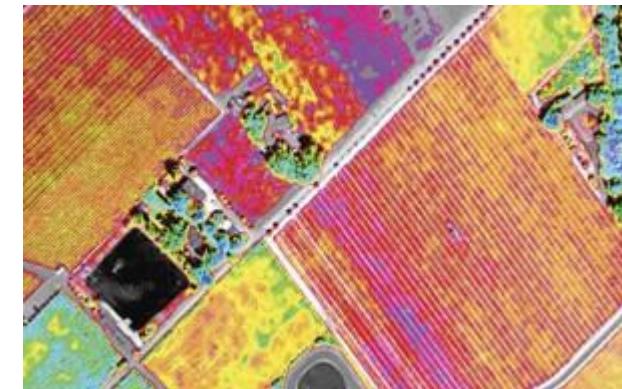
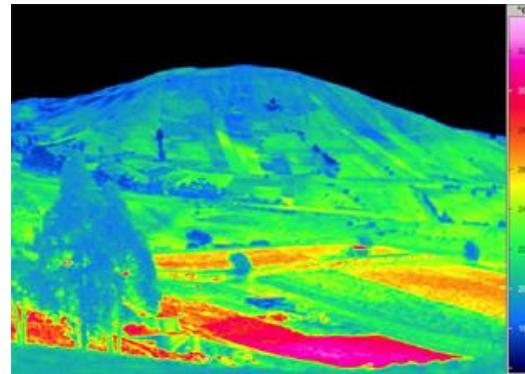


Algunas Aplicaciones



Sistemas UAS con:

- LiDAR,
- Cámara multiespectral,
- hiperespectral,
- Infrarojo,
- Térmica



<https://youtu.be/dKb-PVt5PBC>

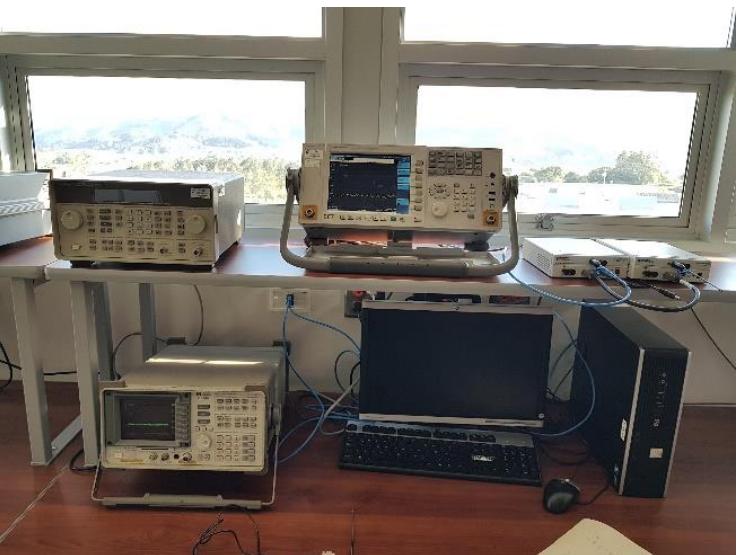
Contenidos y Cronograma

- Introducción al curso
- Ecuaciones de Maxwell y el Fenómeno de Propagación
- Introducción Laboratorio 1

Laboratorio 1

Parte 1

Analizador Espectros, Generador RF,
Monitor Comunicaciones

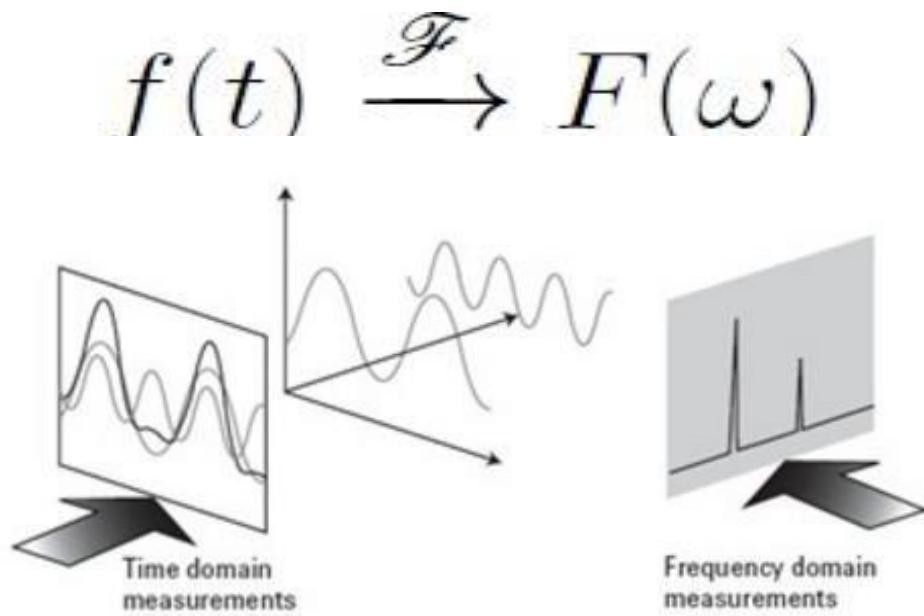


Parte 2
Transceptor RF

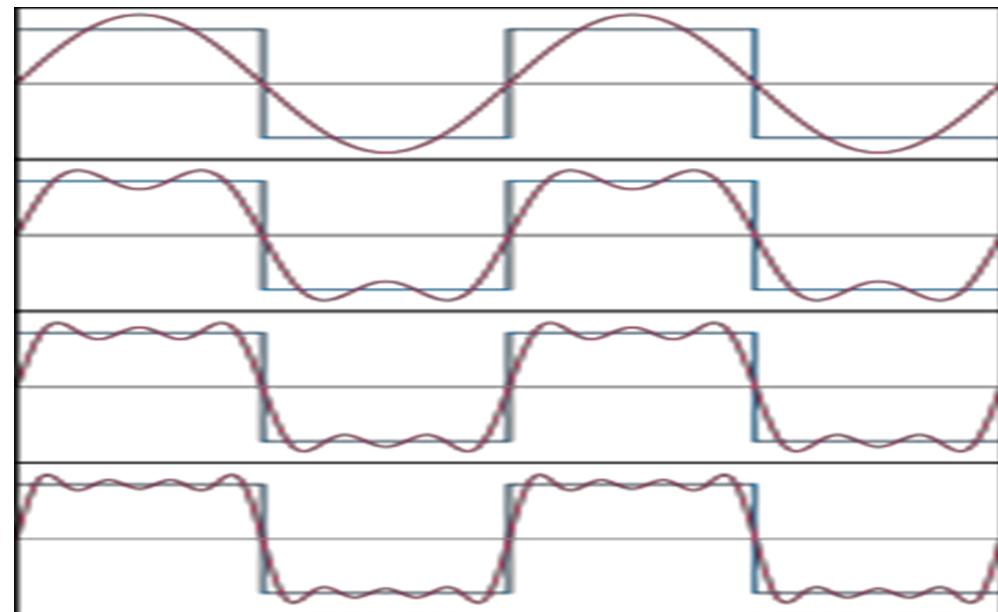


Espectro

Representación de una señal en el dominio de la frecuencia y además se puede interpretar mediante la transformada de Fourier.



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



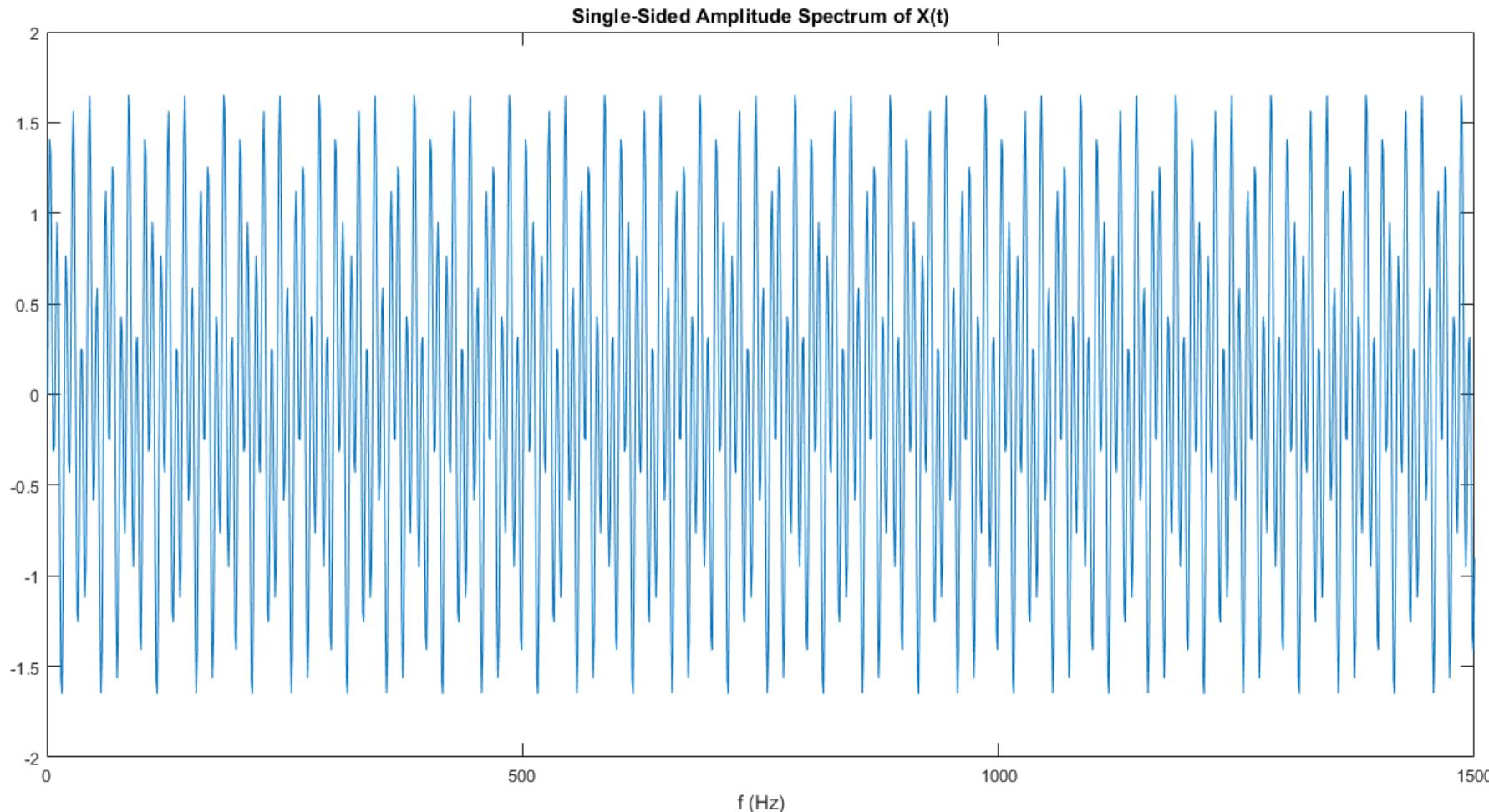
Espectro

Considere que se tiene un par de señales tales como:

$$s(t) = 0.7\sin(100\pi t) + \sin(240\pi t)$$

Espectro

Considere que se tiene un par de señales tales como:



Espectro

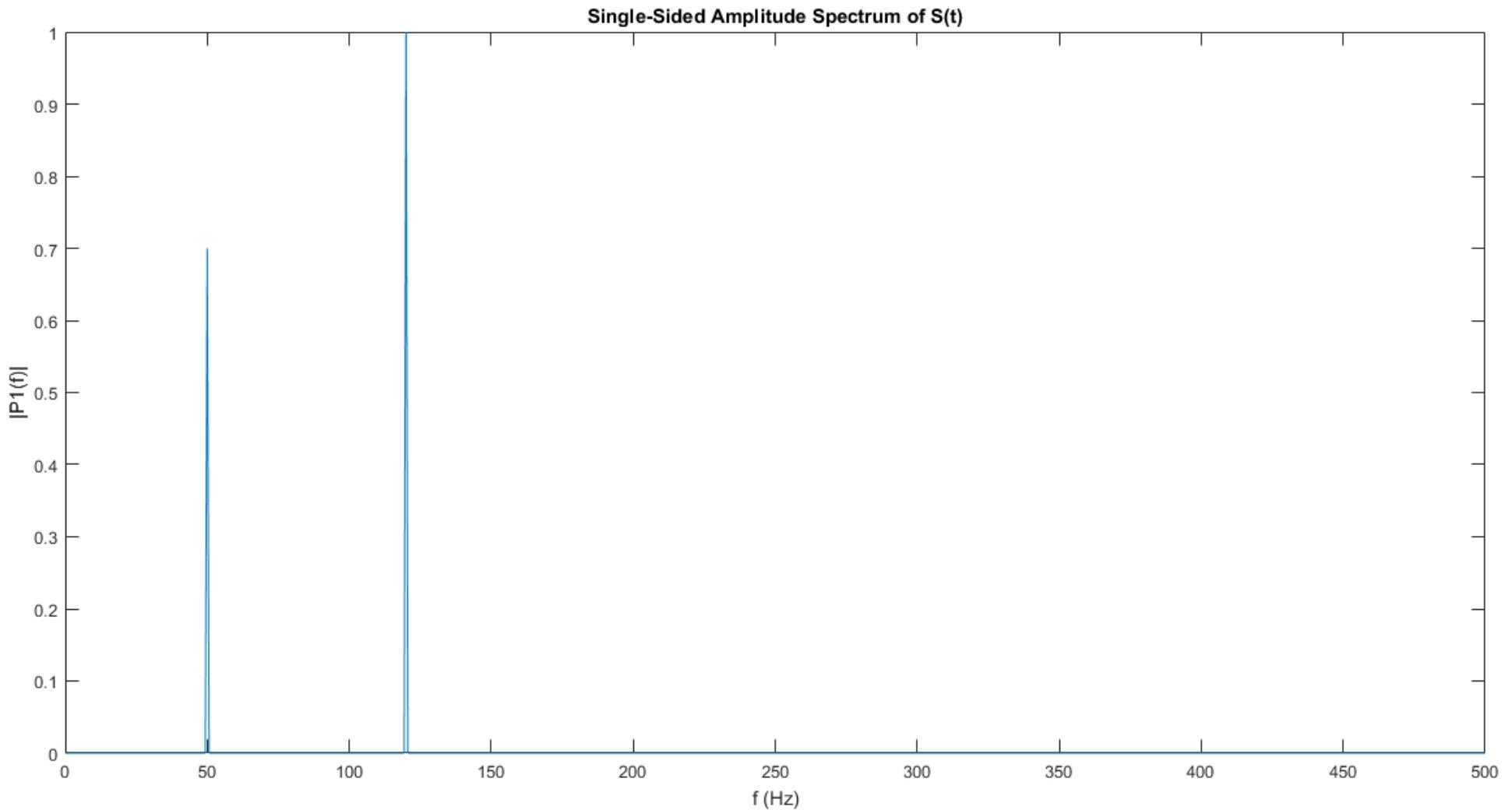
Considere que se tiene un par de señales tales como:

$$s(t) = 0.7\sin(100\pi t) + \sin(240\pi t)$$

Si a la $s(t)$ se le aplica una transformada rápida de Fourier

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

Espectro



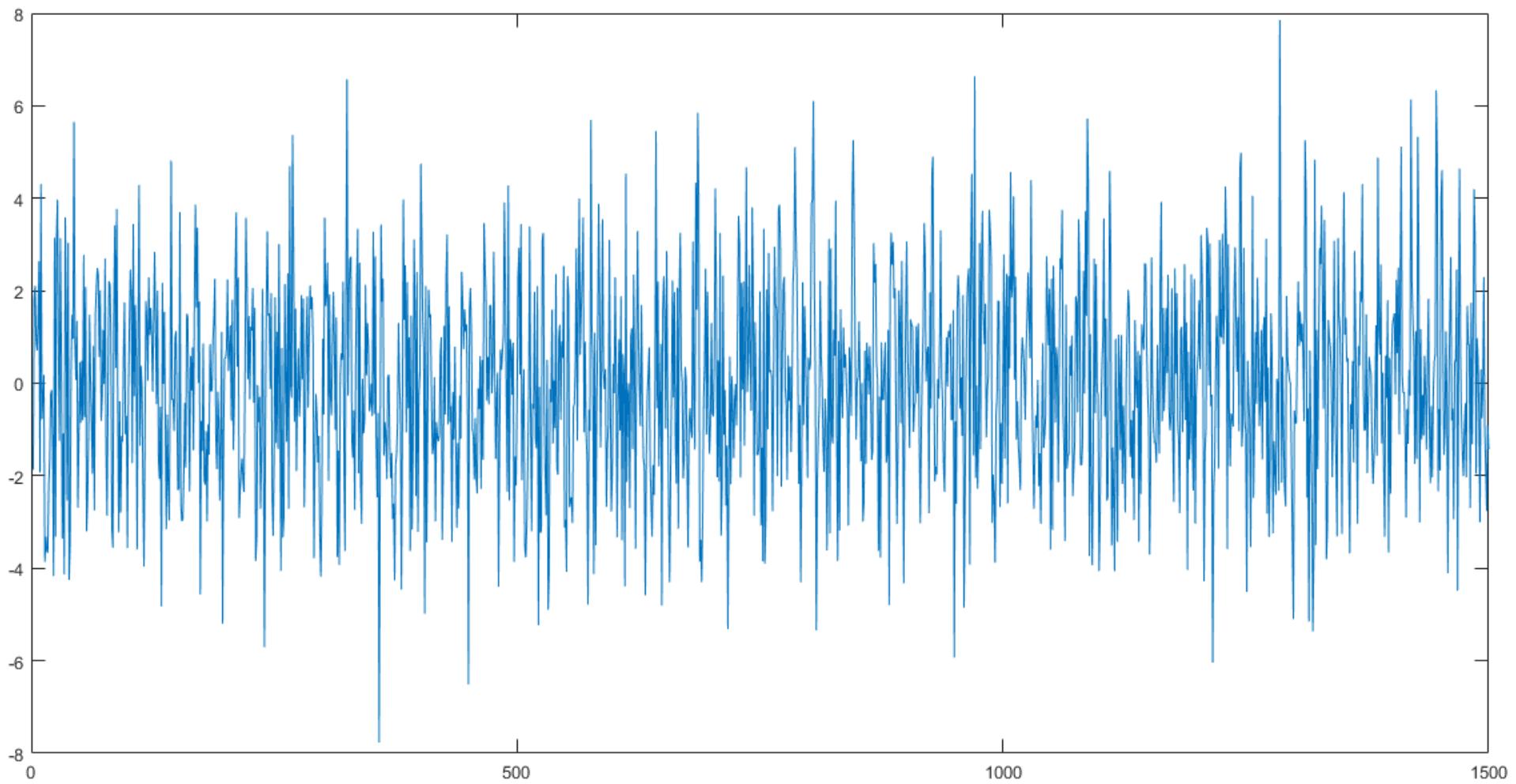
Espectro

Considere que se tiene un par de señales tales como:

$$s(t) = 0.7\sin(100\pi t) + \sin(240\pi t)$$

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

Espectro



Espectro

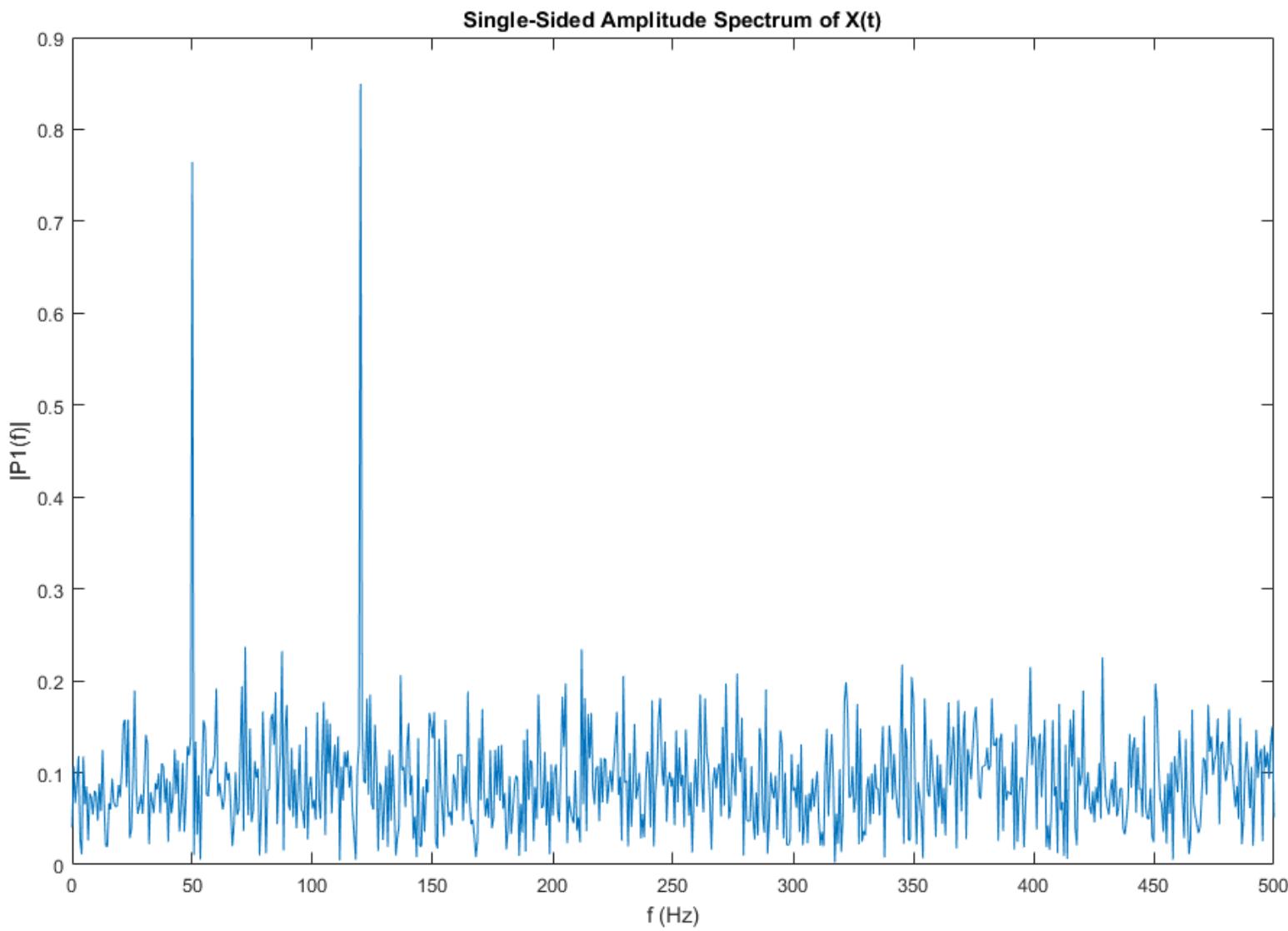
Considere que se tiene un par de señales tales como:

$$s(t) = 0.7\sin(100\pi t) + \sin(240\pi t)$$

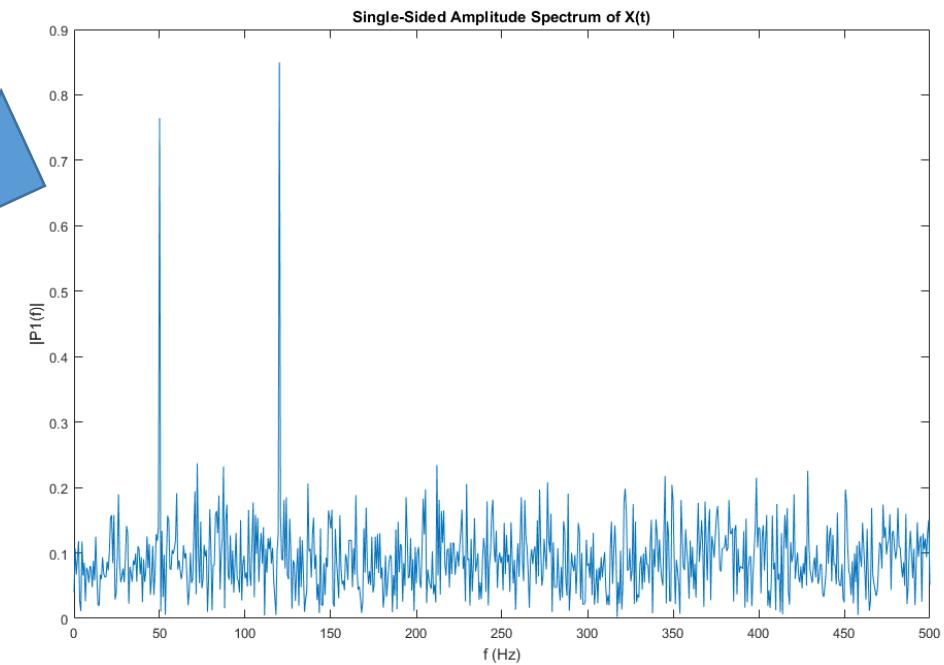
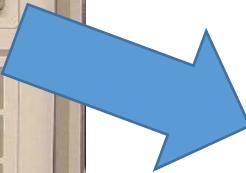
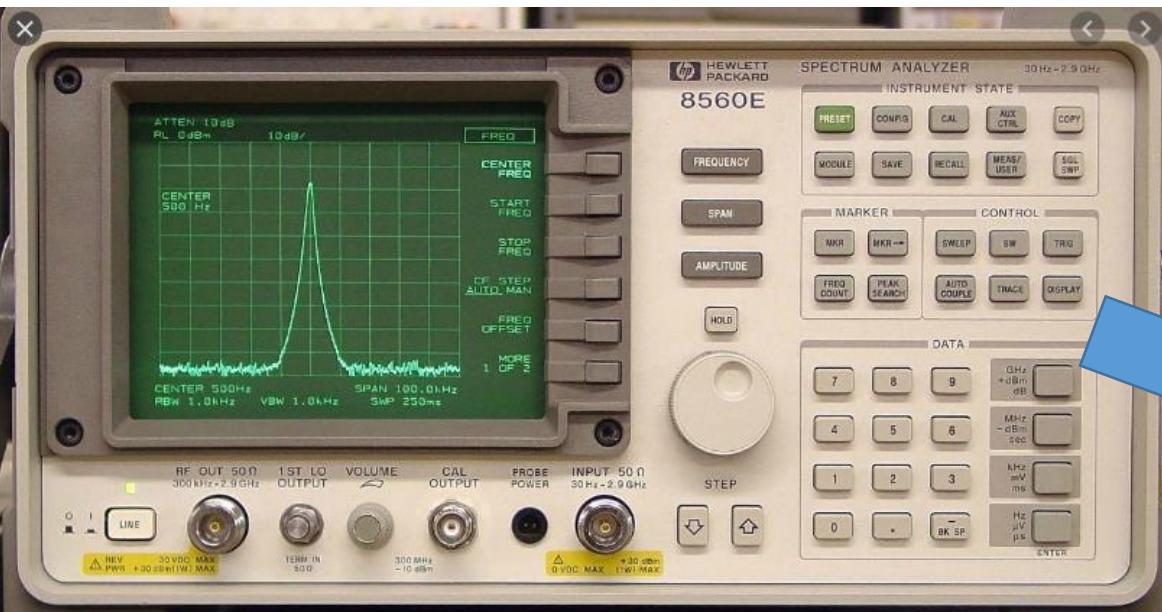
Si a la $s(t)$ con el ruido adicionado se le aplica una transformada rápida de Fourier

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

Espectro

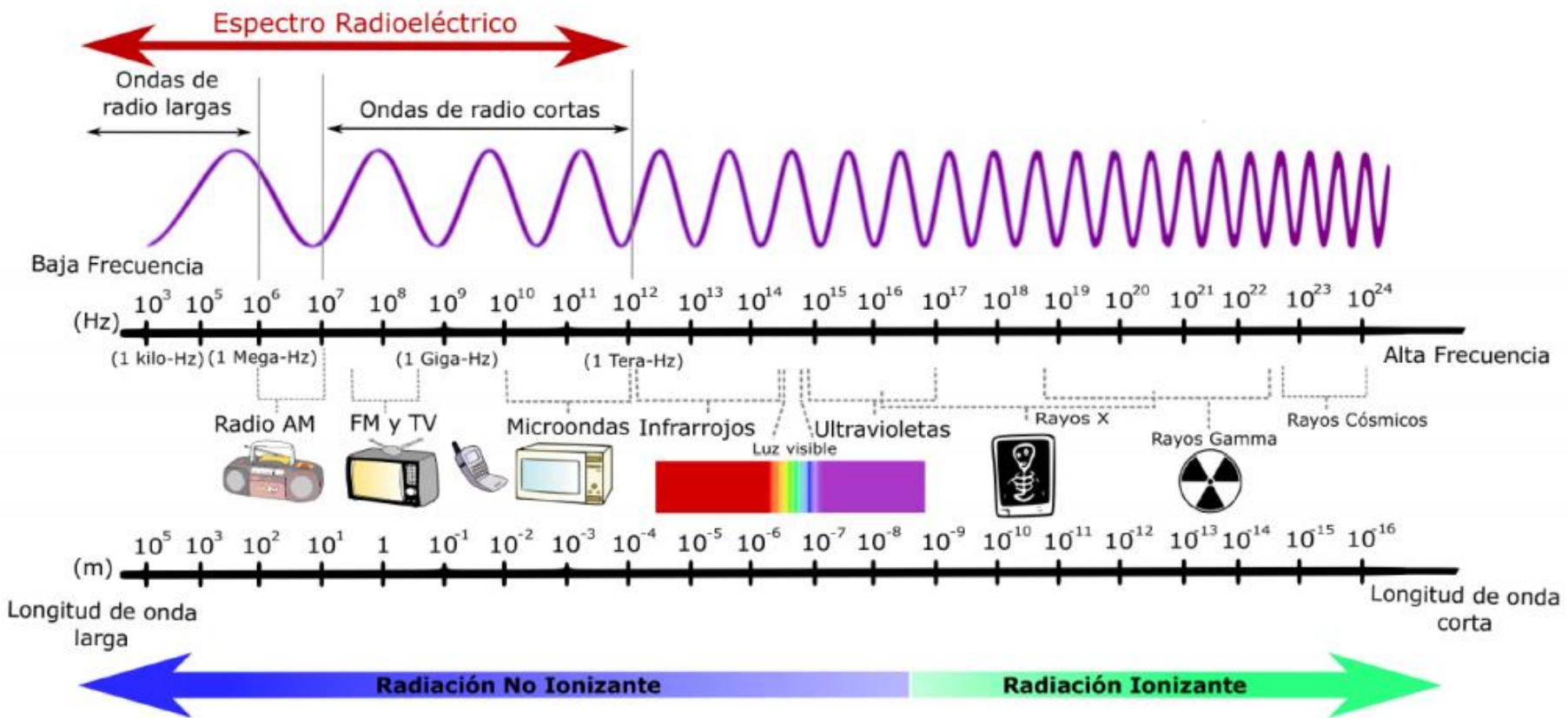


Espectro



Espectro Electromagnético

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



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

Espectro Radioeléctrico

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



Rectoría de
Telecomunicaciones

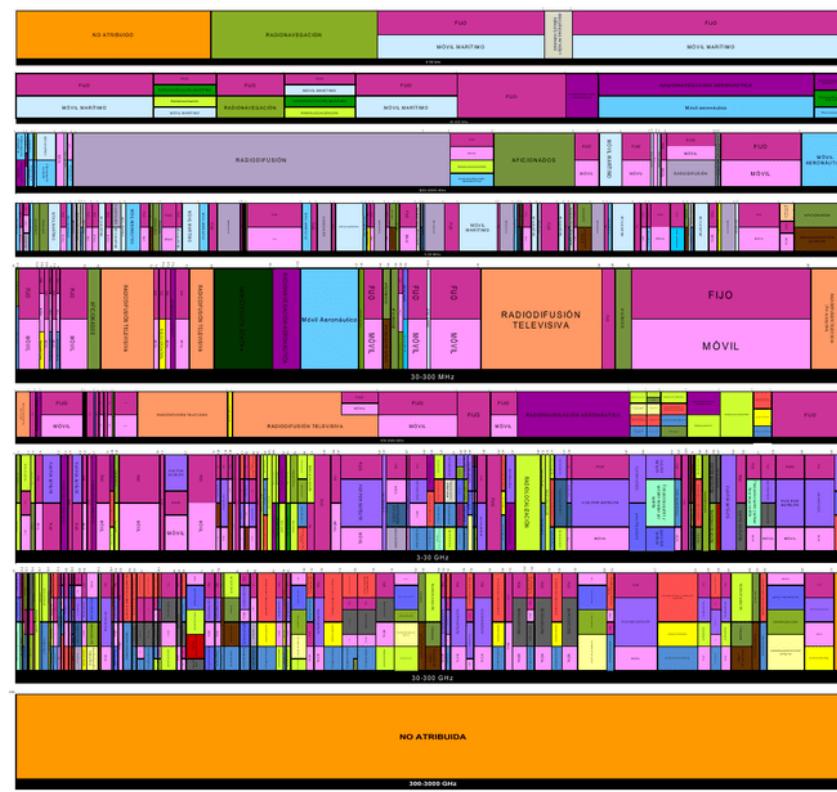
Distribución del Espectro Radioeléctrico en Costa Rica

Referencia

AFICIONADOS	AFICIONADOS POR SATELITE
AYUDAS A LA METEOROLOGIA	EXPLORACION DE LA TIERRA POR SATELITE
FIJO	FIJO POR SATELITE
ENTRE SATELITES	FRECUENCIAS PATRON Y SERIALES HORARIOS
FRECUENCIAS PATRON Y SERIALES HORARIOS POR SATELITE	INVESTIGACION ESPACIO SECUNDARIO
INVESTIGACION ESPACIAL	METEOROLOGIA POR SATELITE
MÓVIL	MÓVIL AERONAUTICO
MÓVIL AERONAUTICO POR SATELITE	MÓVIL MARITIMO
MÓVIL POR SATELITE	MÓVIL TERRRESTRE
MÓVIL TERRESTRE POR SATELITE	NO ATRIBUIDA
OPERACIONES ESPACIALES	RADIONAVEGACION POR SATELITE
RADIODASTRONOMIA	RADIODETERMINACION POR SATELITE
RADIODIFUSION	RADIODIFUSION POR SATELITE
RADIODIFUSION SONORA	RADIODIFUSION TELEVISIVA
RADIOLOCALIZACION	RADIOLOCALIZACION POR SATELITE
RADIONAVEGACION	RADIONAVEGACION AERONAUTICA
RADIONAVEGACION MARTIMA	RADIONAVEGACION POR SATELITE

Notas:

- El gráfico puede ser utilizado como referencia rápida. Para los detalles de la asignación de frecuencias consulte el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias.
- El espacio asignado a los servicios de los segmentos del espectro no es proporcional al espacio real.
- Los siguientes rangos de frecuencias son bandas identificadas para IMT: de 450 MHz a 470 MHz, de 696 MHz a 915 MHz, de 940 MHz a 960 MHz, de 1710 MHz a 2010 MHz, de 2110 MHz a 2200 MHz, DE 2300 MHz a 2400 MHz y de 3.4 GHz a 3.62 GHz. Los servicios que ocupan estas bandas deben ser migrados.

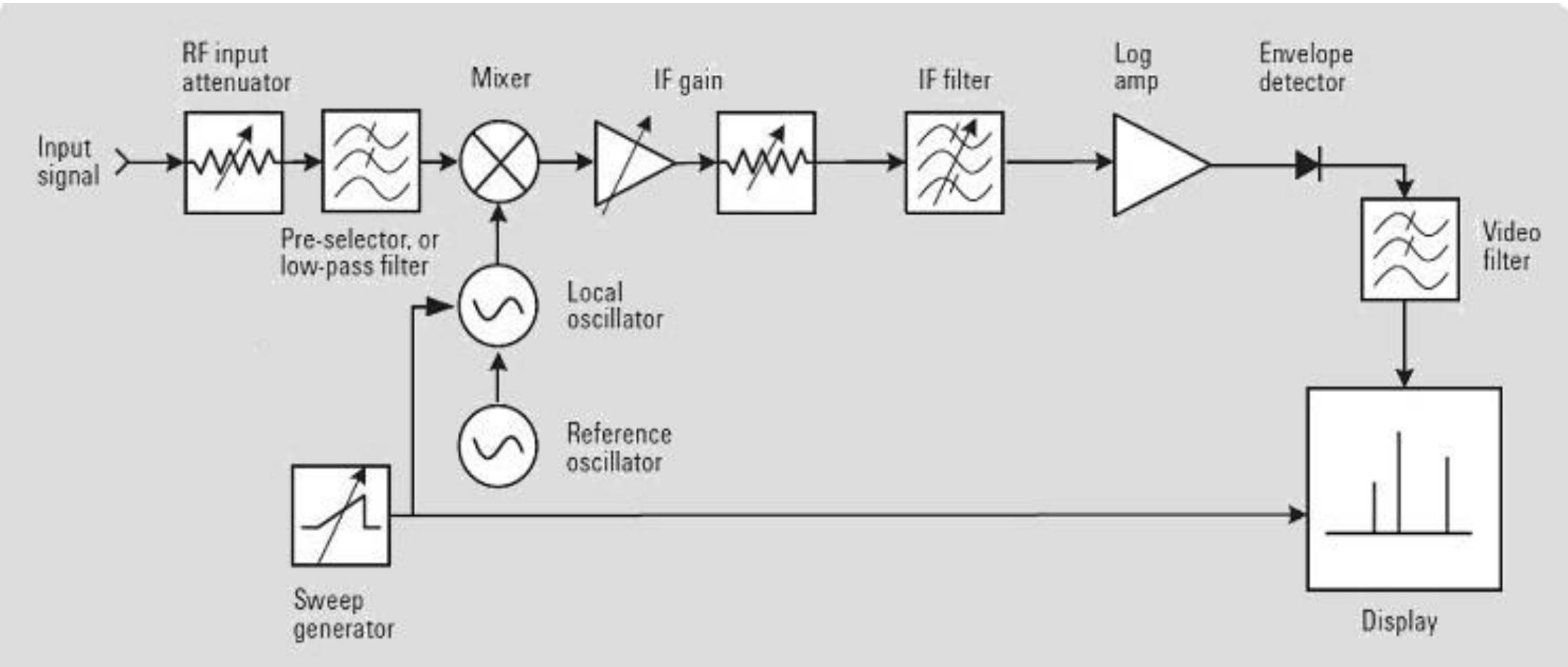


Analizador de Espectros

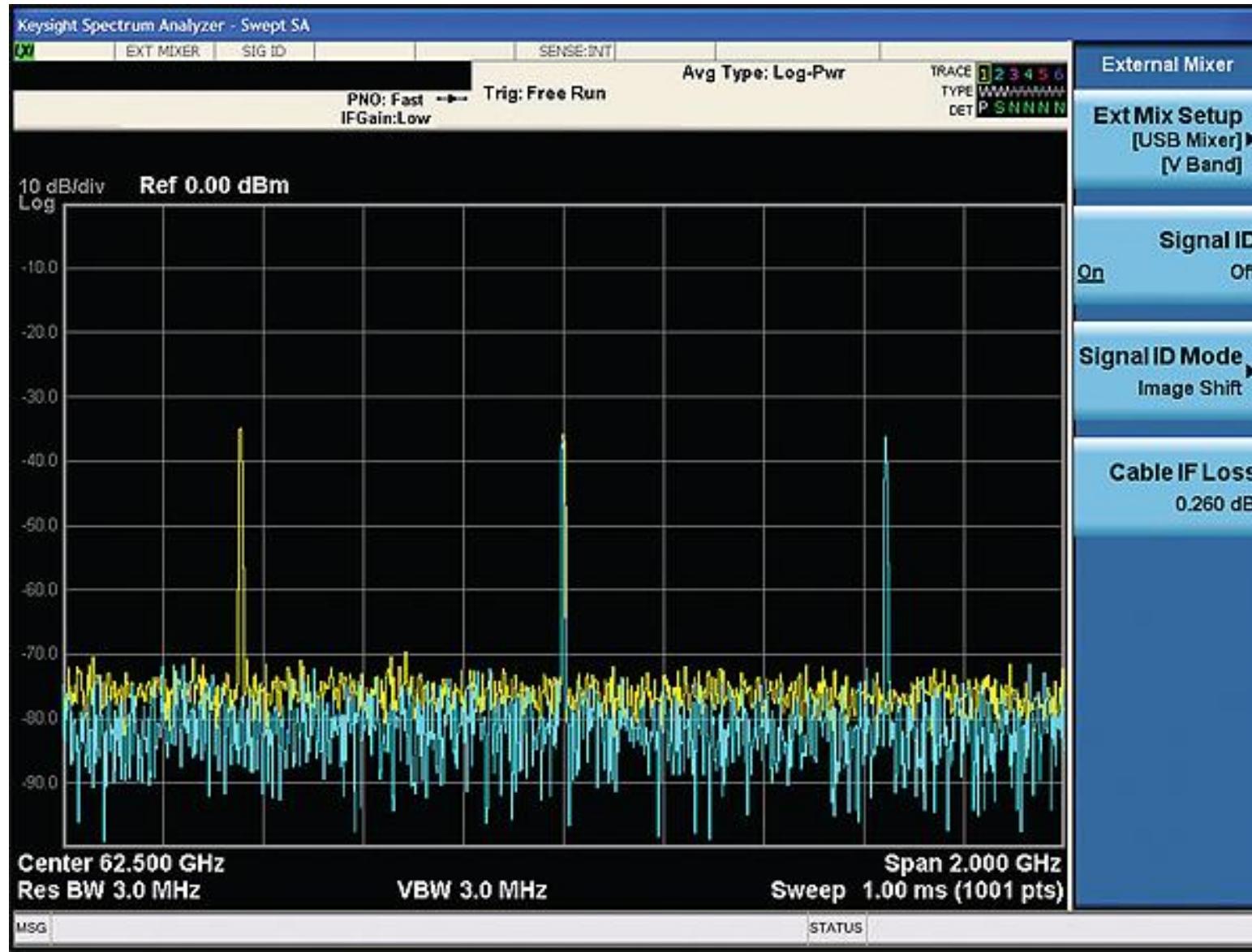
Es un instrumento de laboratorio que permite visualizar y medir el espectro de una señal. Es semejante a un osciloscopio, pero es capaz de realizar mediciones en el dominio de la frecuencia en lugar del dominio del tiempo.



Analizador de Espectros

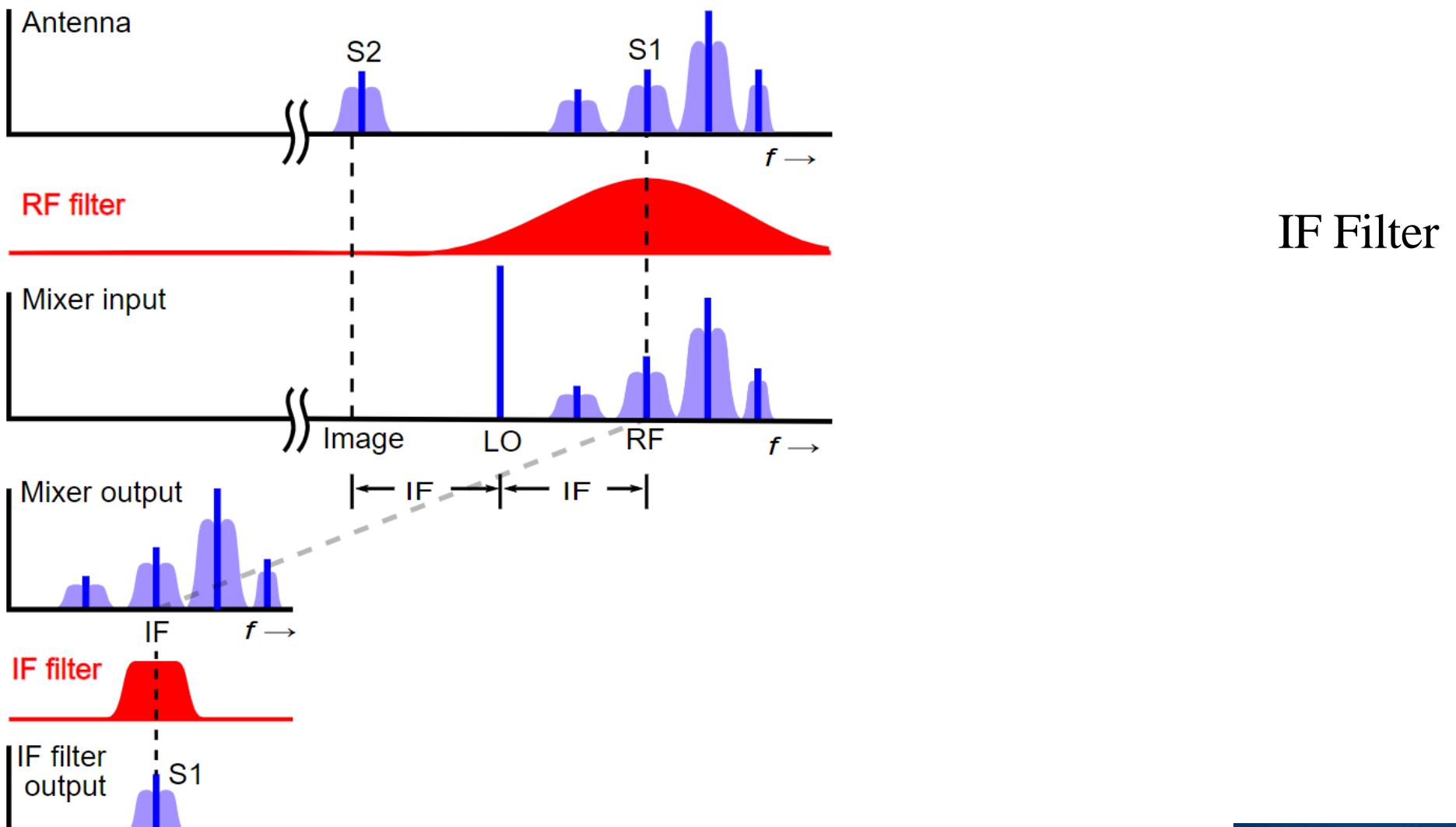


Analizador de Espectros

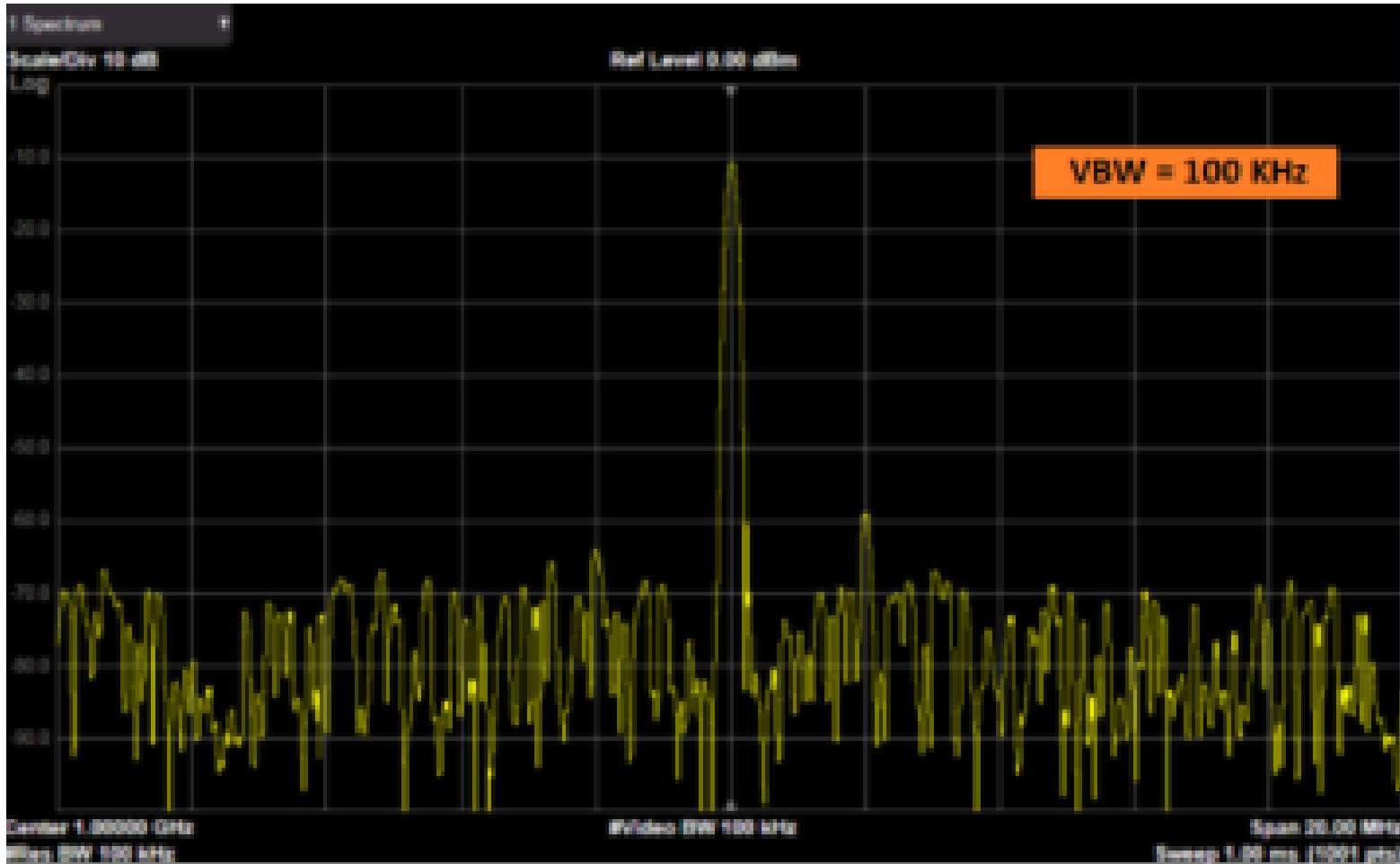


Mixer

Analizador de Espectros

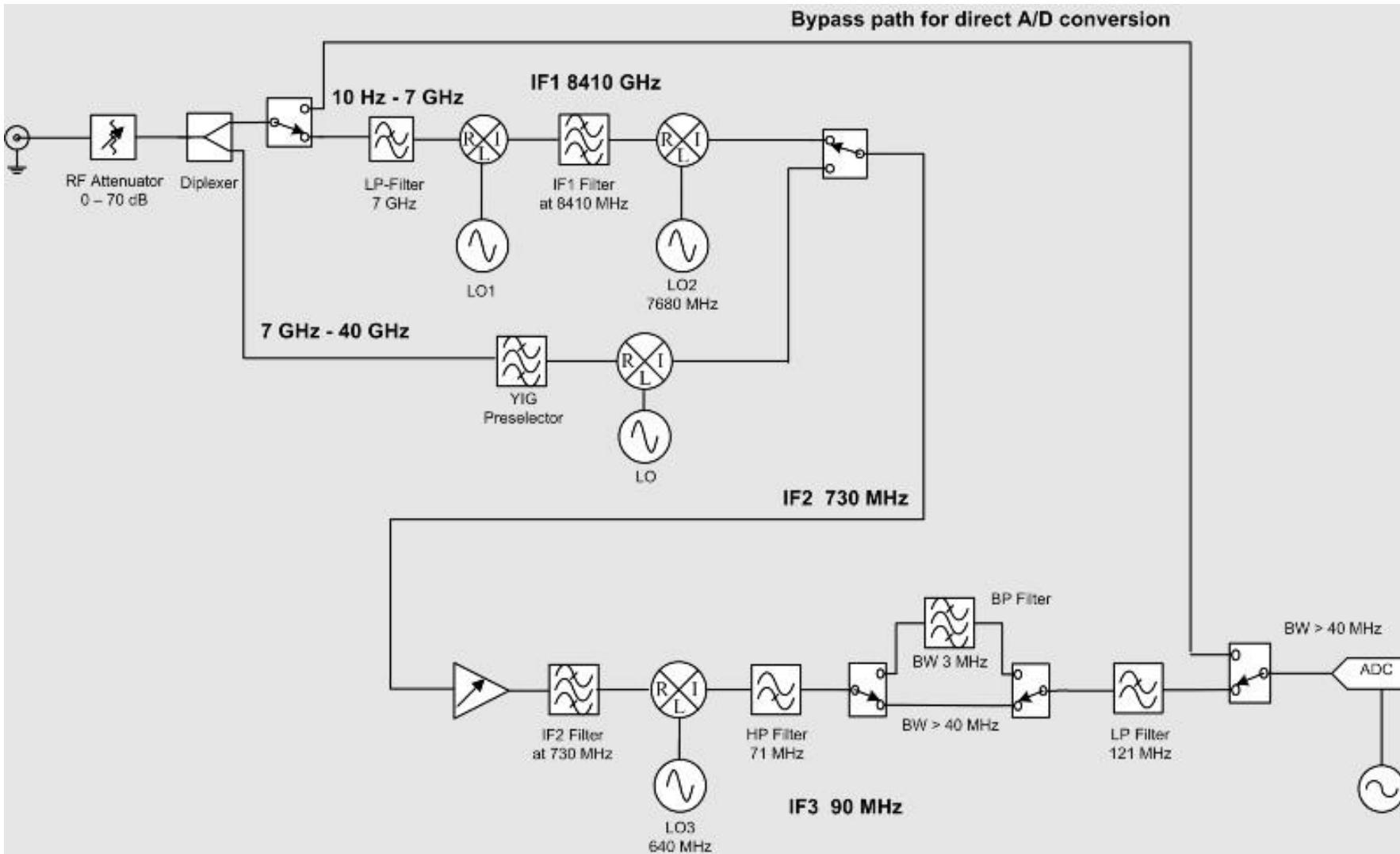


Analizador de Espectros



VBW

Analizador de Espectros



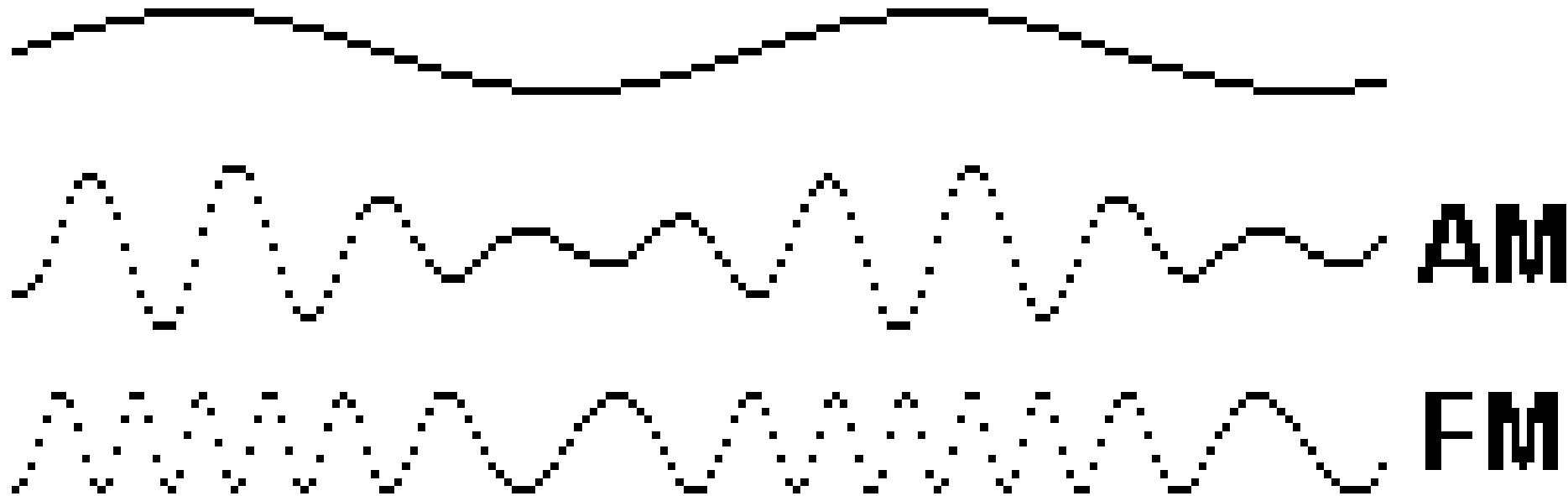
Modulación

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 llama “**onda modulada**”.

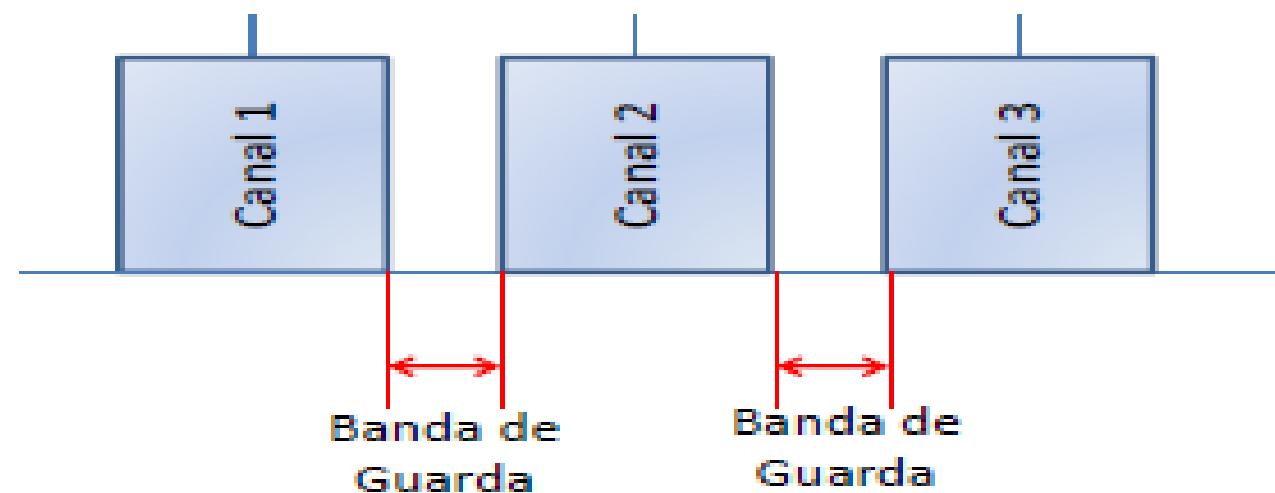
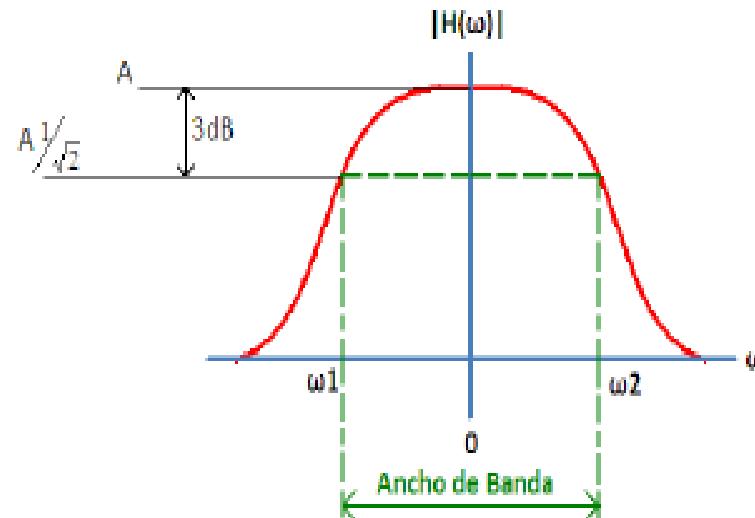
Banda base: Es la banda de frecuencias que representa la señal original tal y como la entrega la fuente de información.

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).

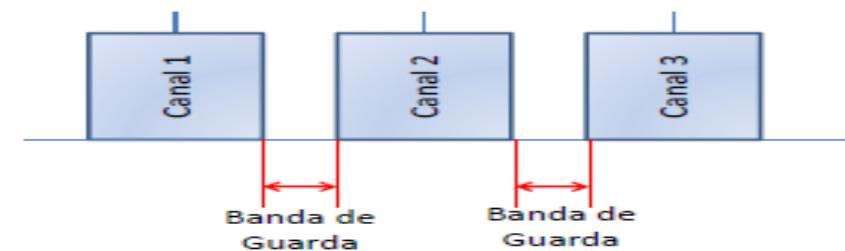
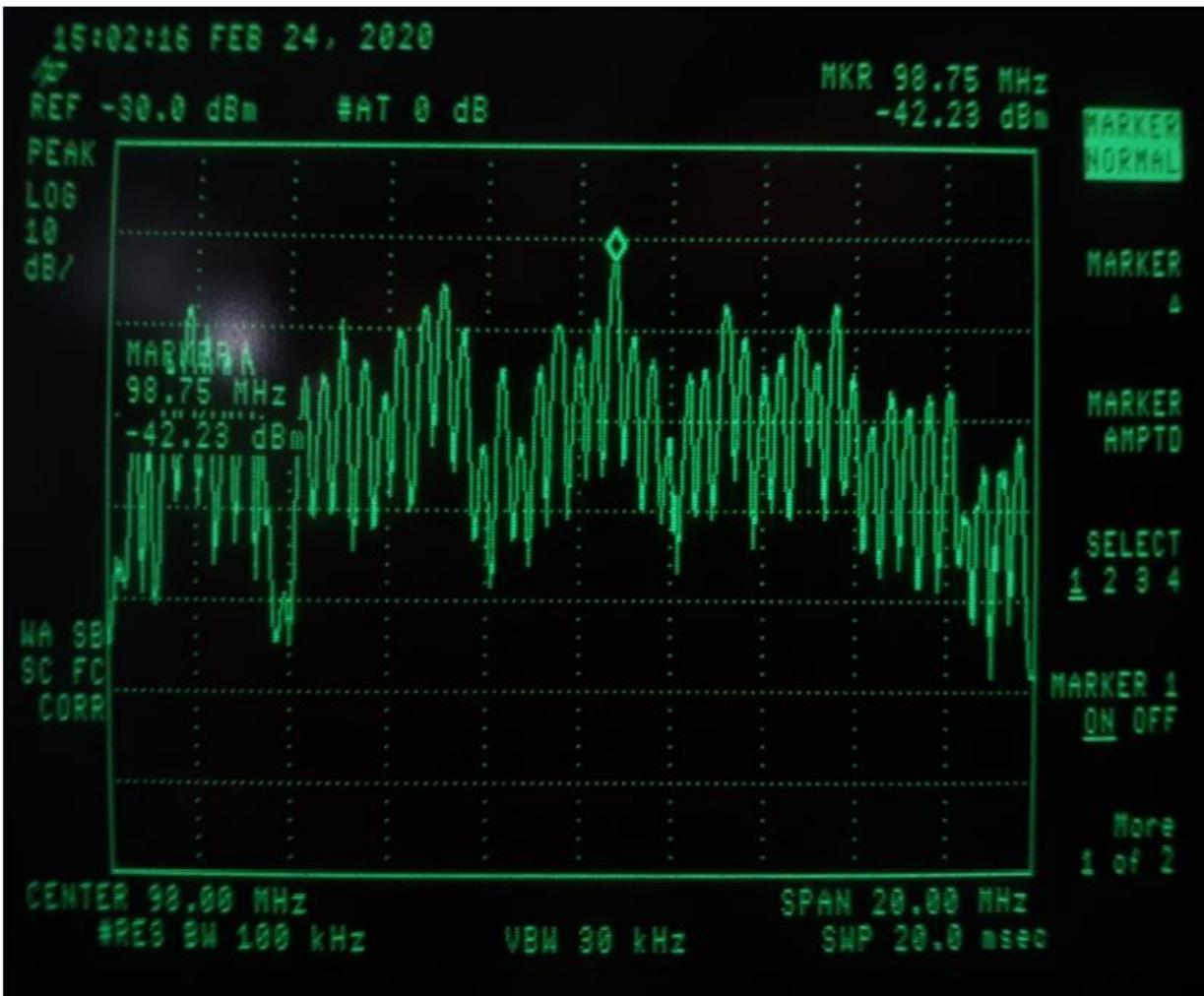
Modulación



Canales de Comunicación

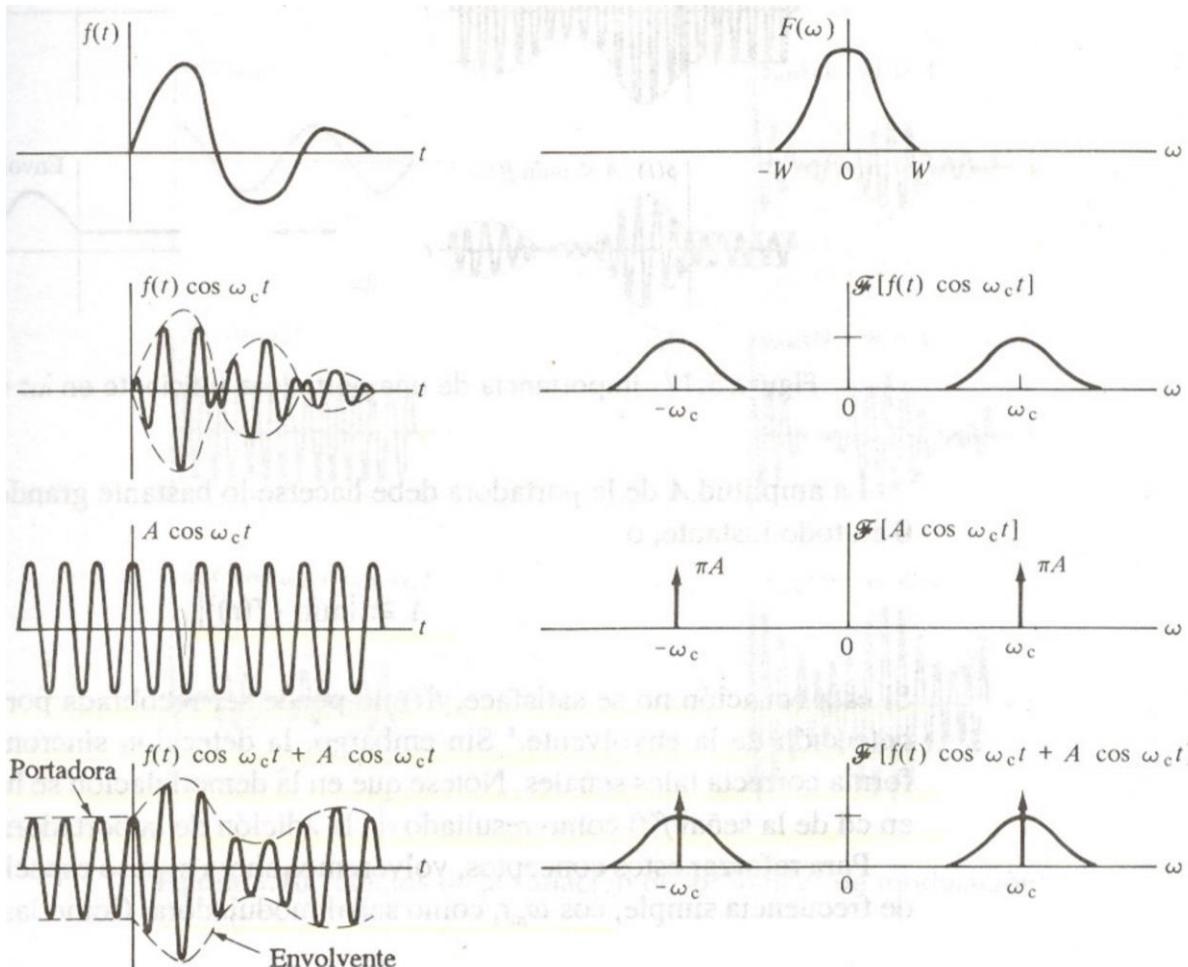


Canales de Comunicación



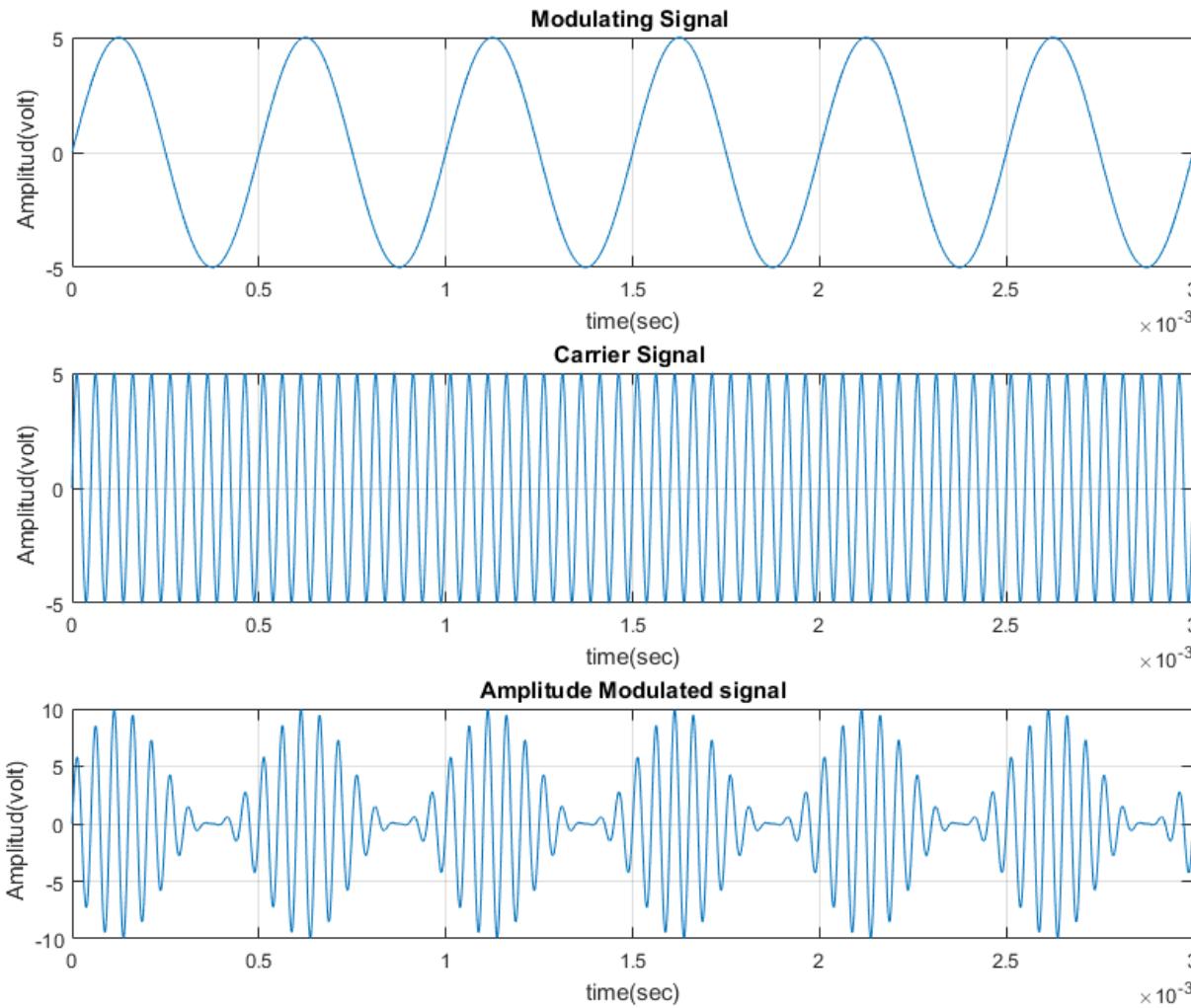
Modulación AM

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*.



DSB-LC

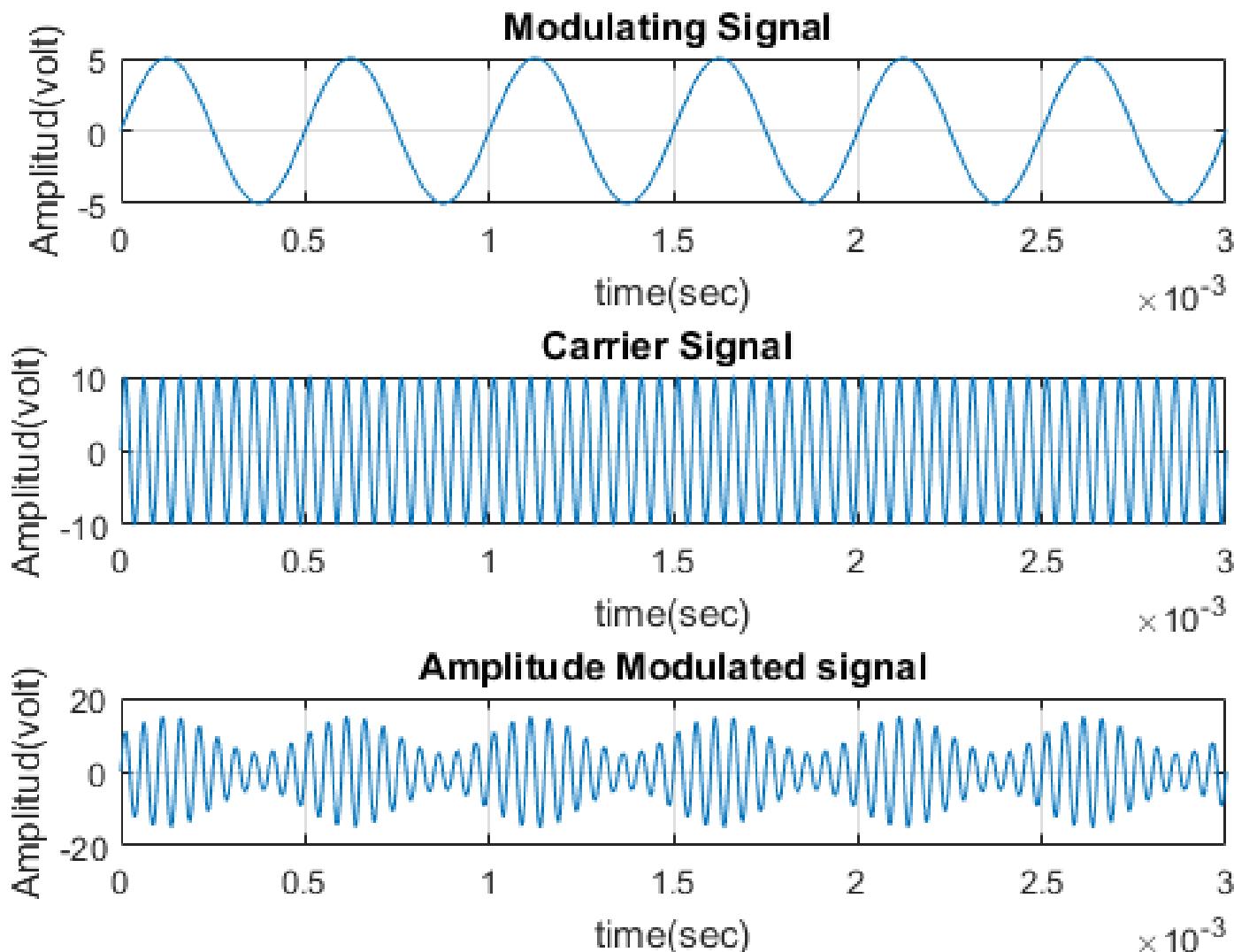
Modulación



Índice de
modulación

$$m = 1$$

Modulación

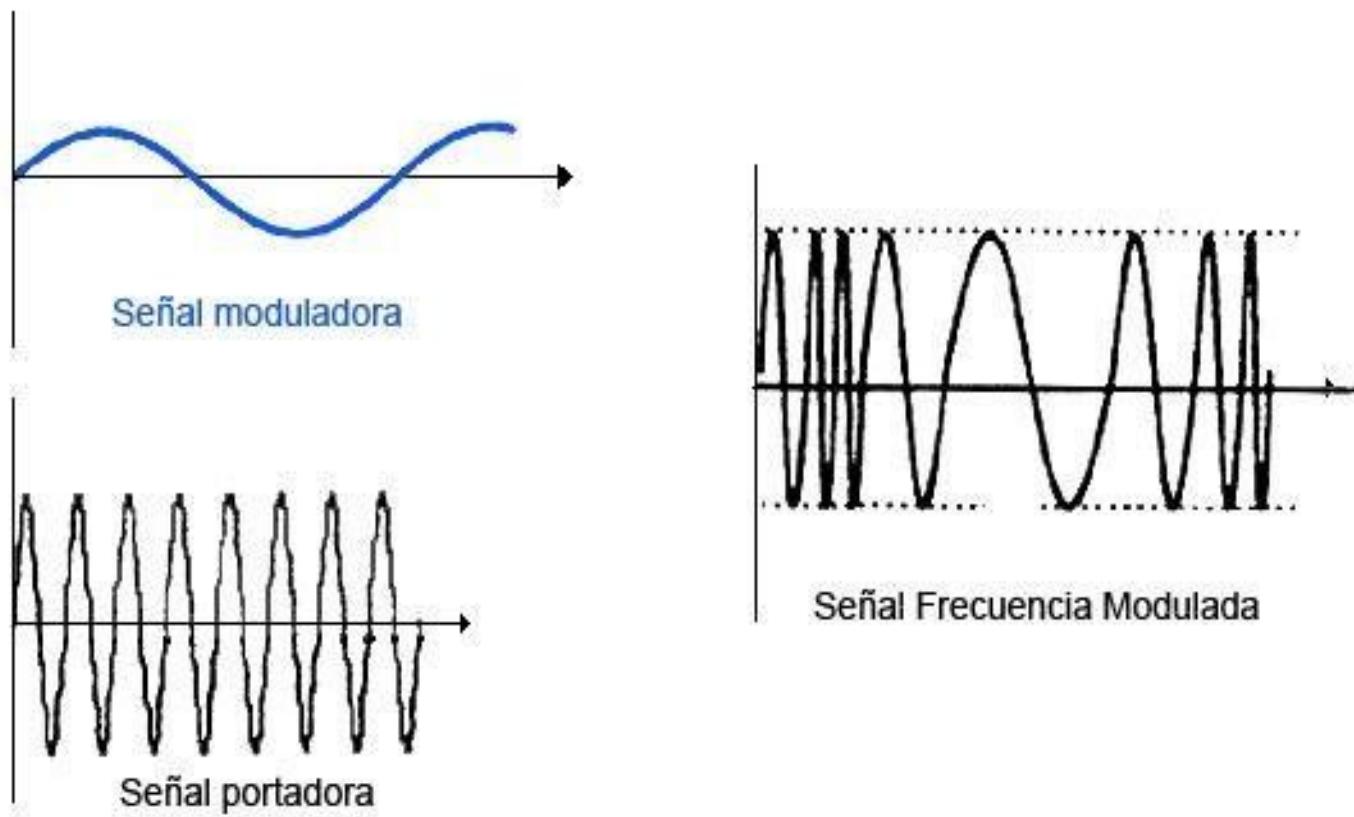


Índice de modulación

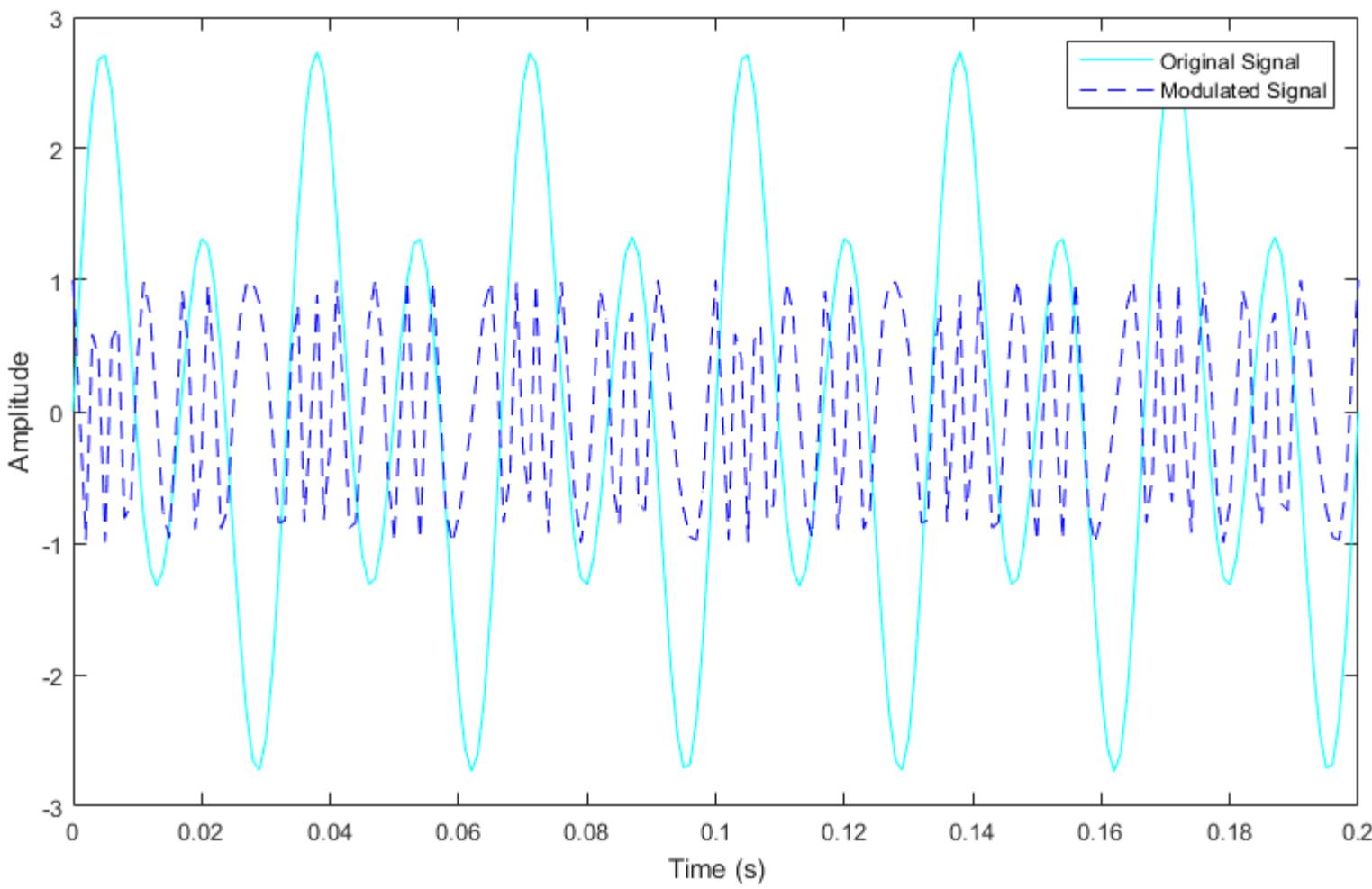
$$m = 0,5$$

Modulación FM

La modulación en frecuencia consisten en varia 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.

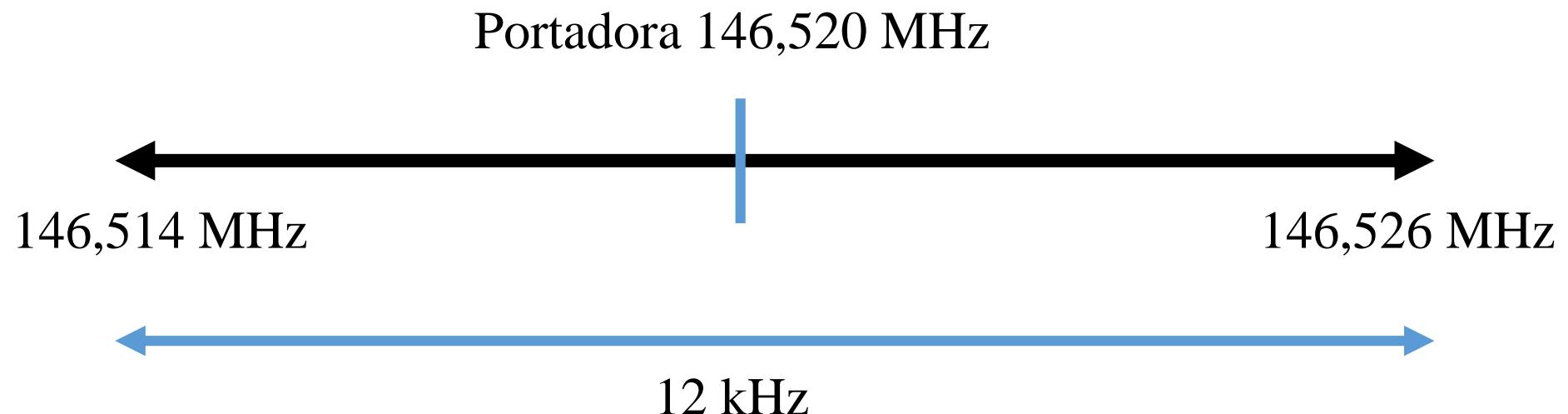


Modulación FM

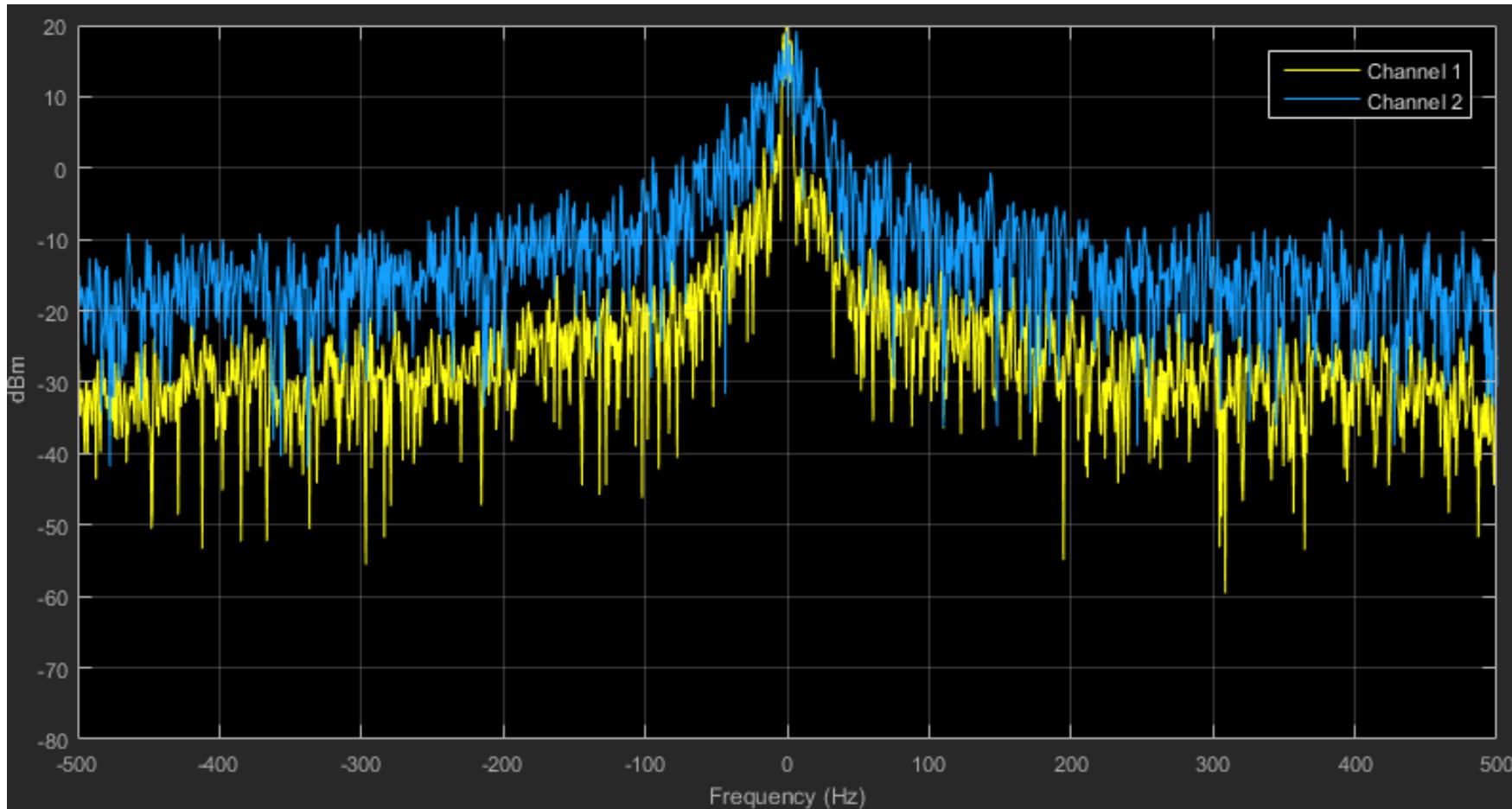


Desviación frecuencia

La desviación frecuencia se entiende como el cambio existente en frecuencia en relación a su señal portadora cuando esta actuando una señal moduladora.



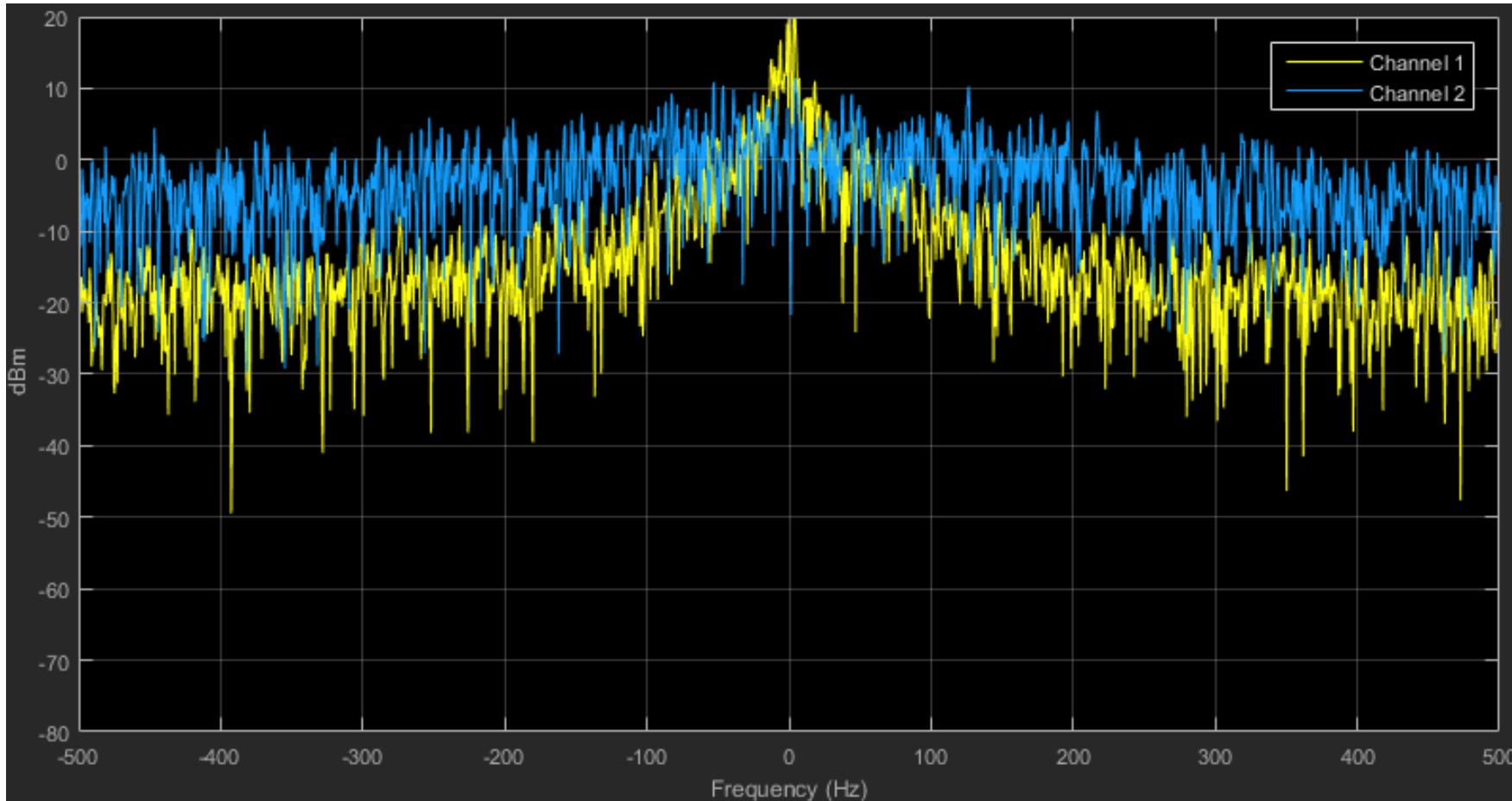
Desviación frecuencia



Canal 1 Señal ideal

Canal 2 Señal con
desviación de 10
Hz y ruido

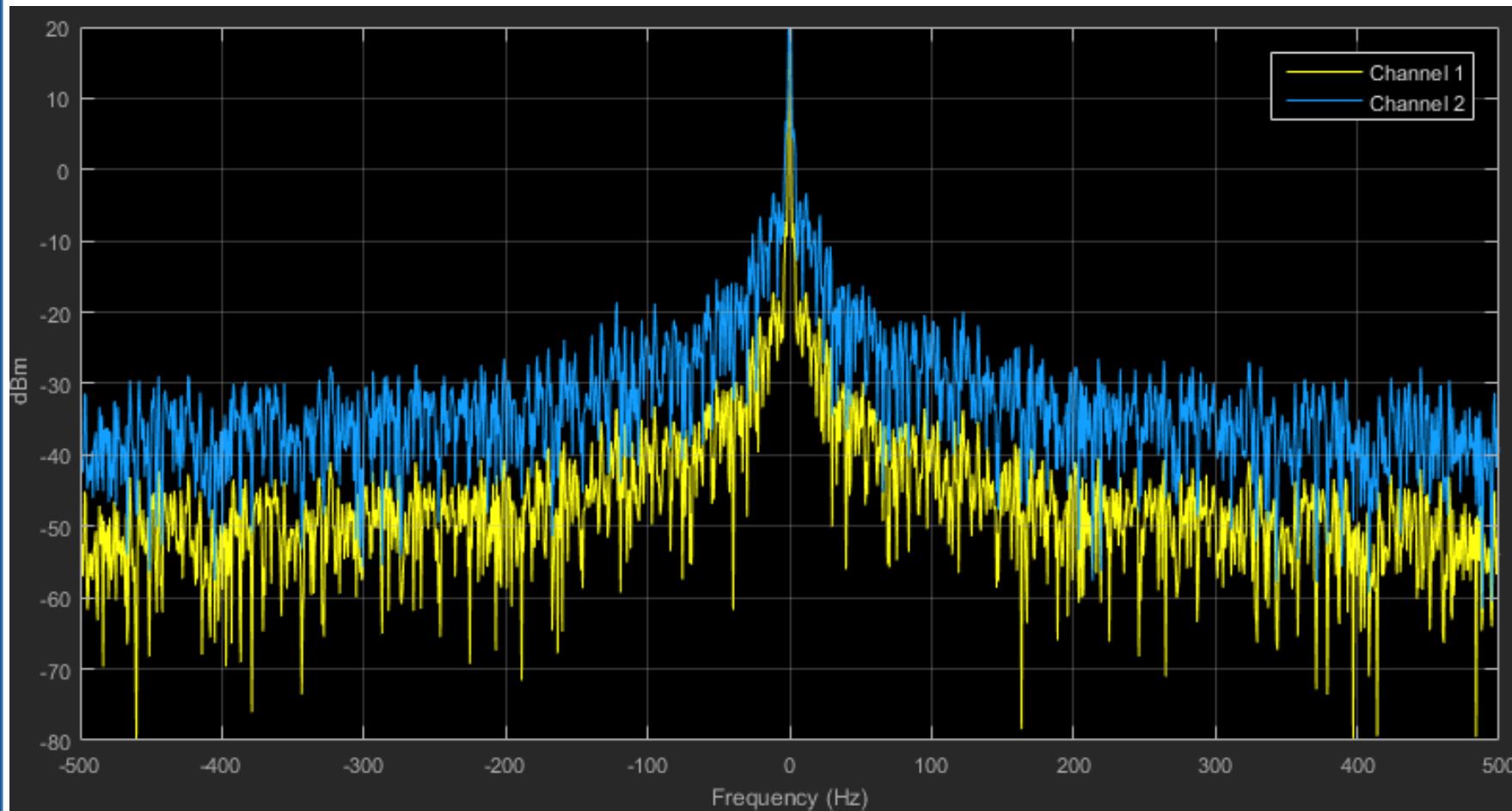
Desviación frecuencia



Canal 1 Señal ideal

Canal 2 Señal con
desviación de 40
Hz y ruido

Desviación frecuencia



Canal 1 Señal ideal

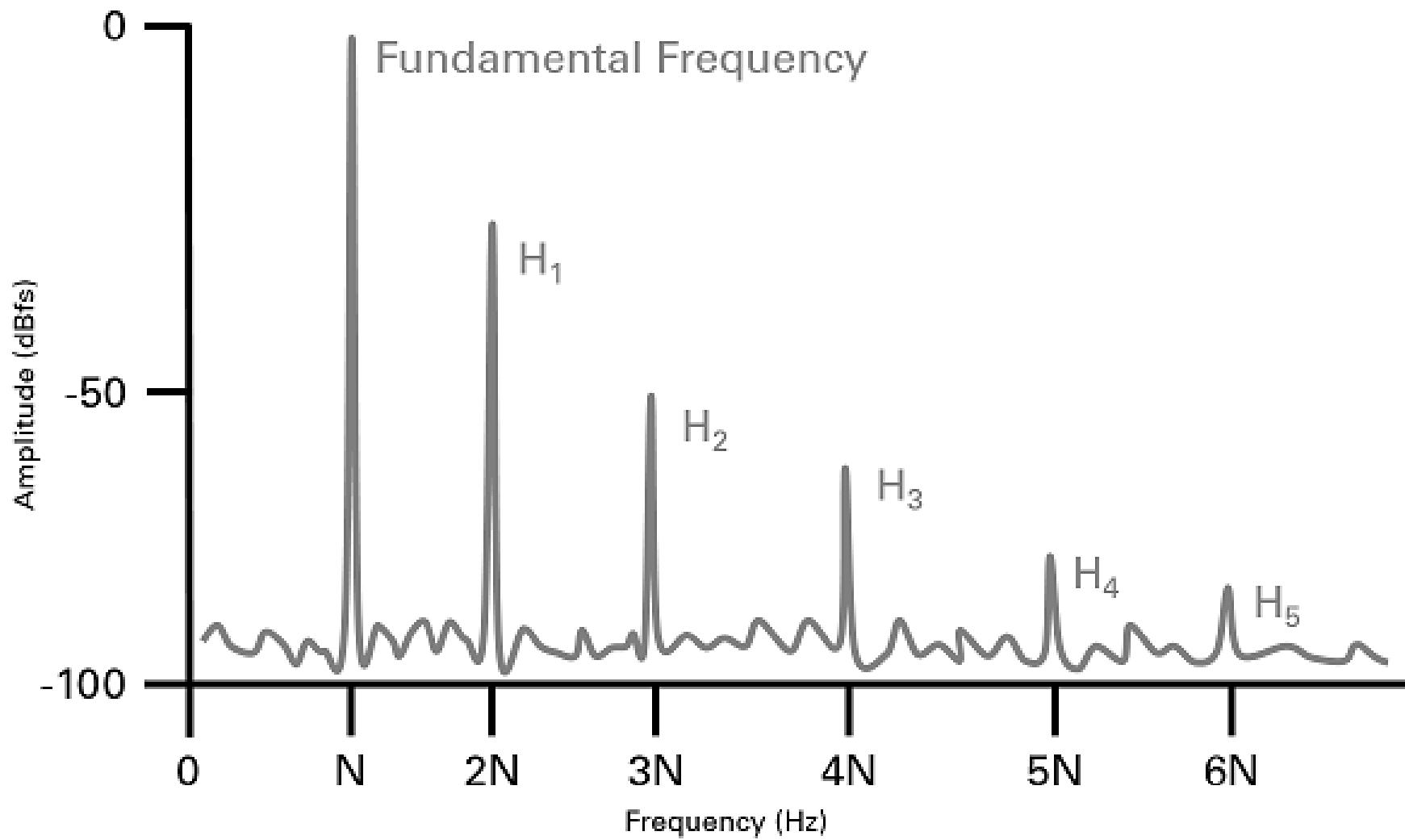
Canal 2 Señal con
ruido sin
desviacion

THD

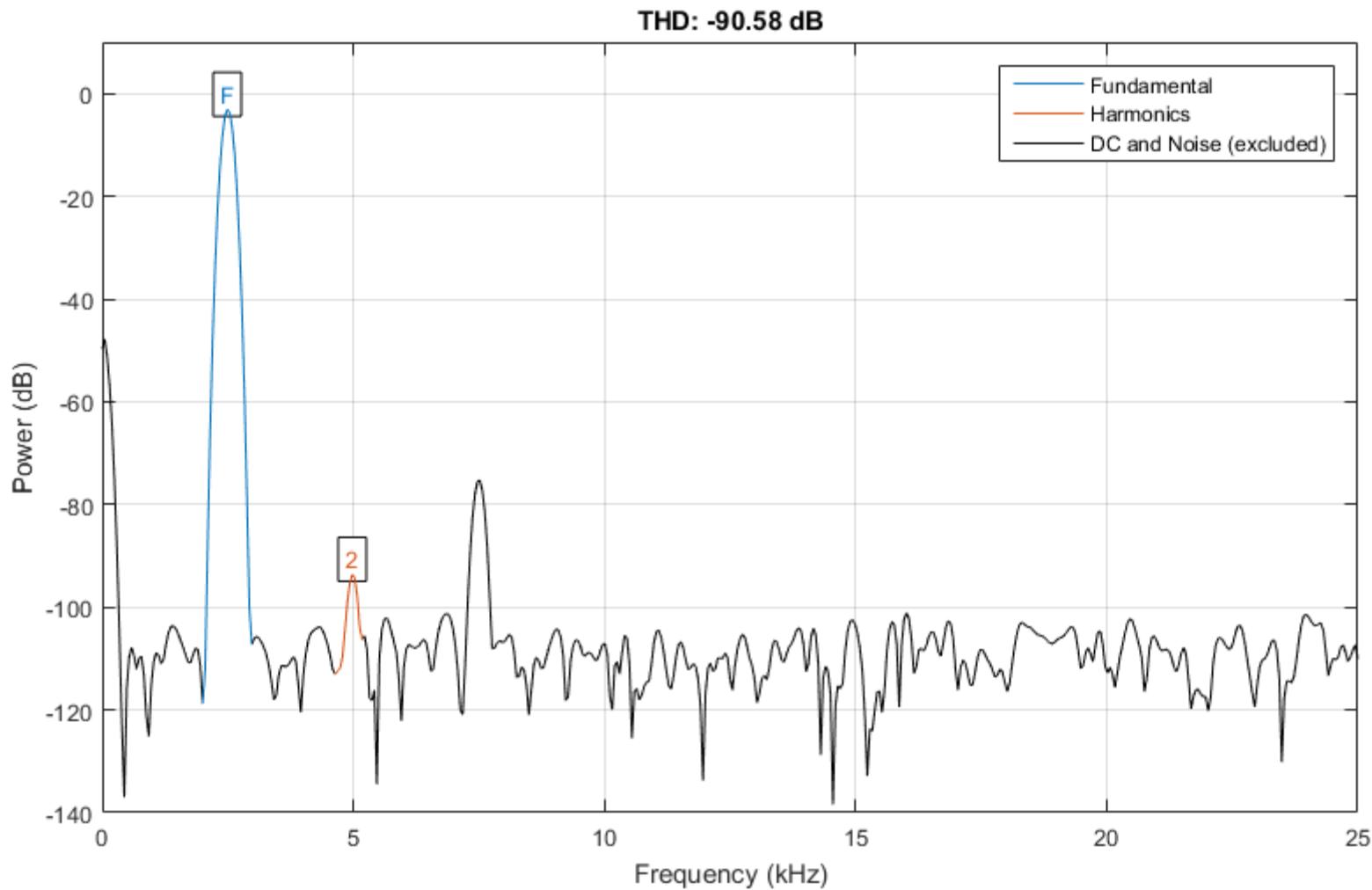
Este parámetro se define como el cociente de la suma de todas potencias de todos los armónicos en relación a la potencia del armónico fundamental. Generalmente este parámetro mide la distorsión armónica total.

$$THD = \frac{\sqrt{H_1^2 + H_2^2 + H_3^2 + H_4^2 + H_5^2}}{F}$$

THD



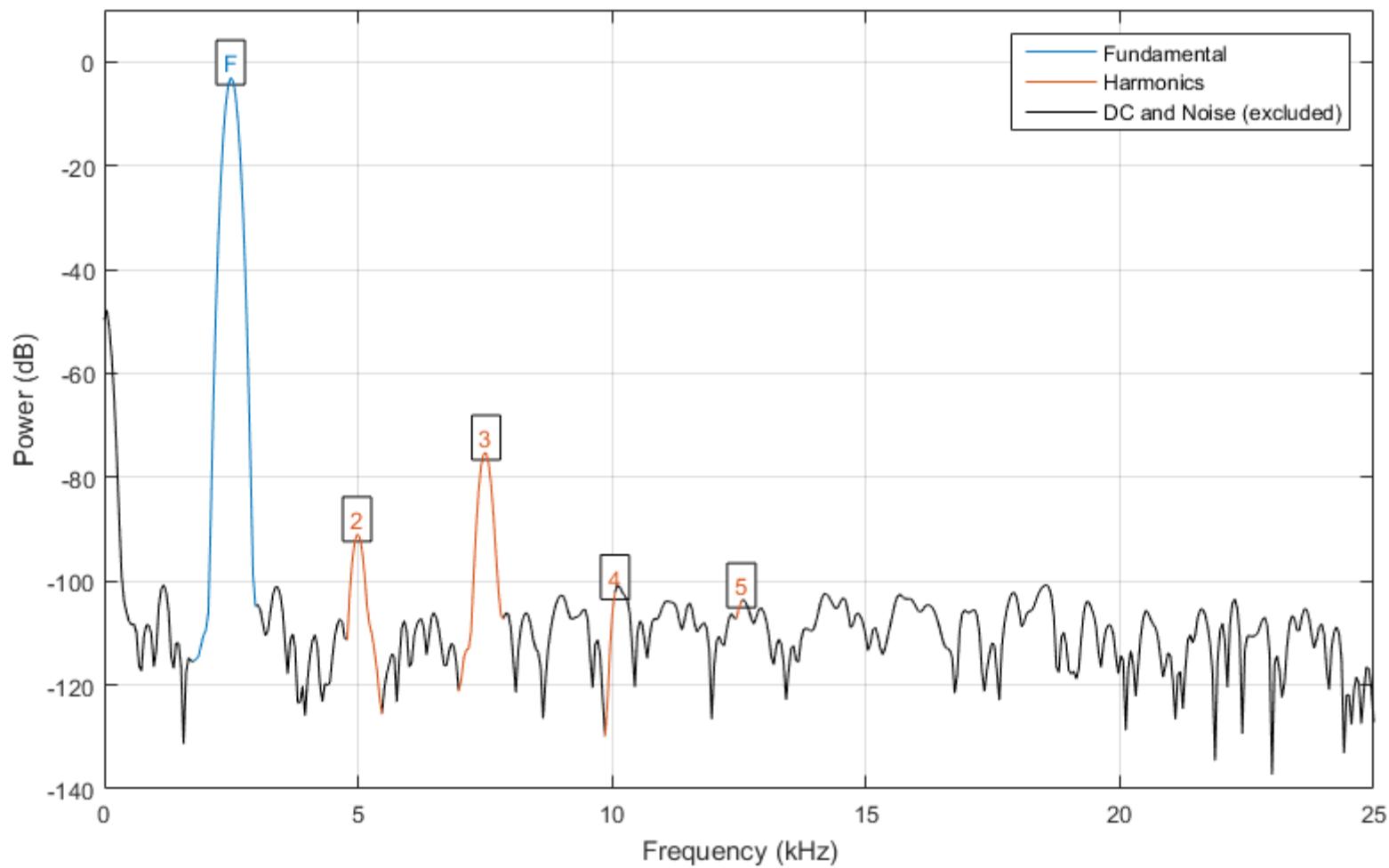
THD



Con 2 armónicos

THD

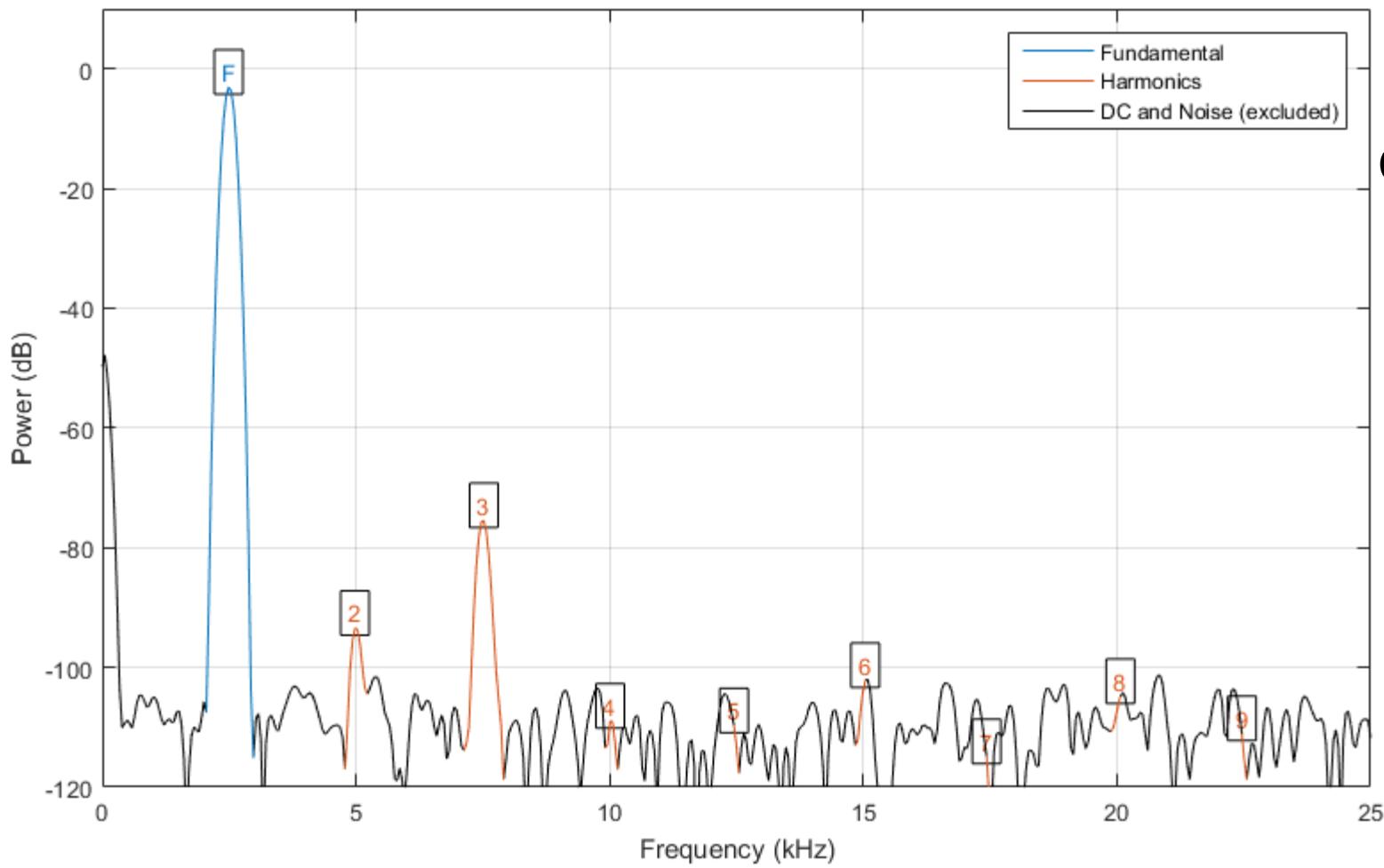
THD: -71.93 dB



Con 5 armónicos

THD

THD: -72.14 dB



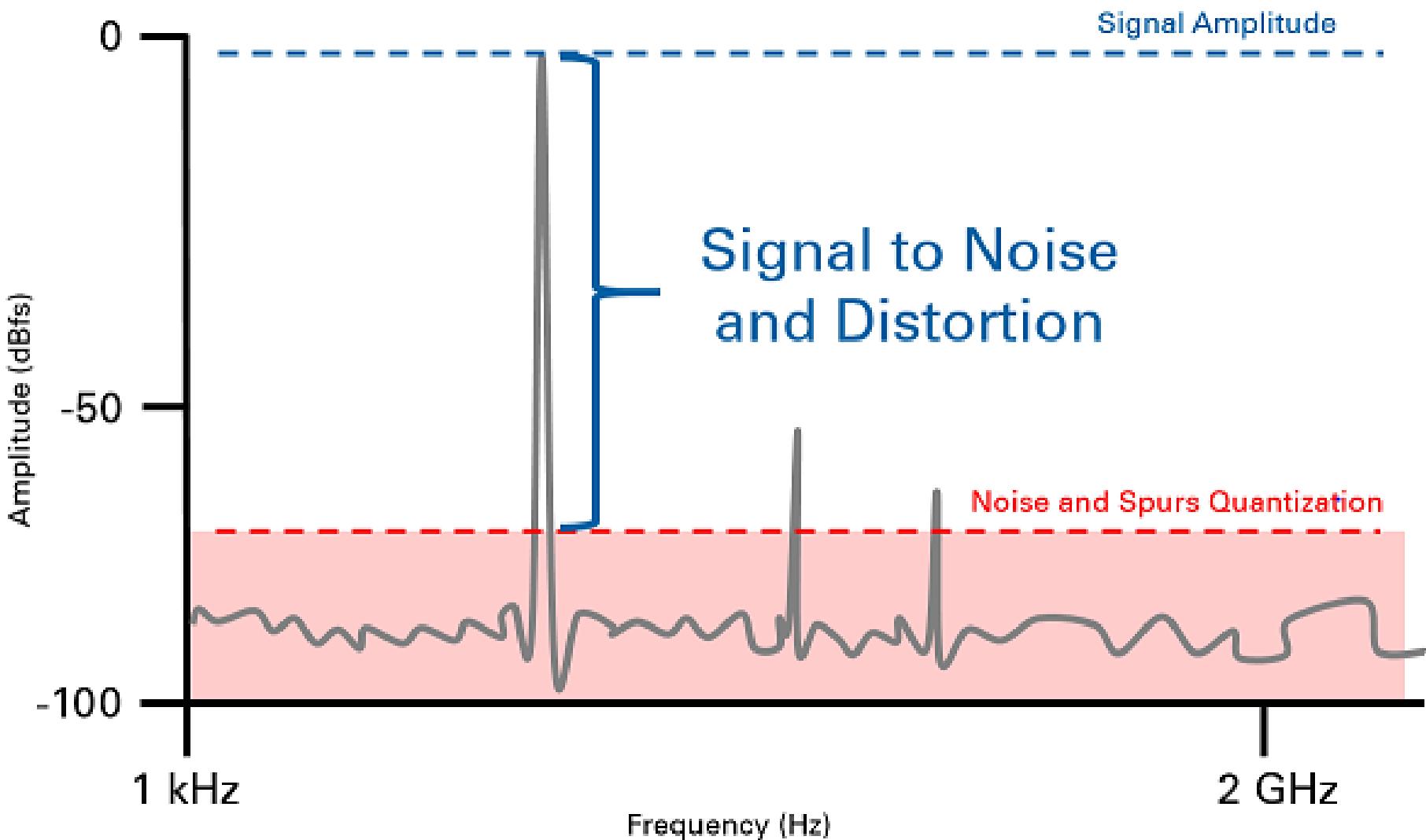
Con 10 armónicos

SINAD

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

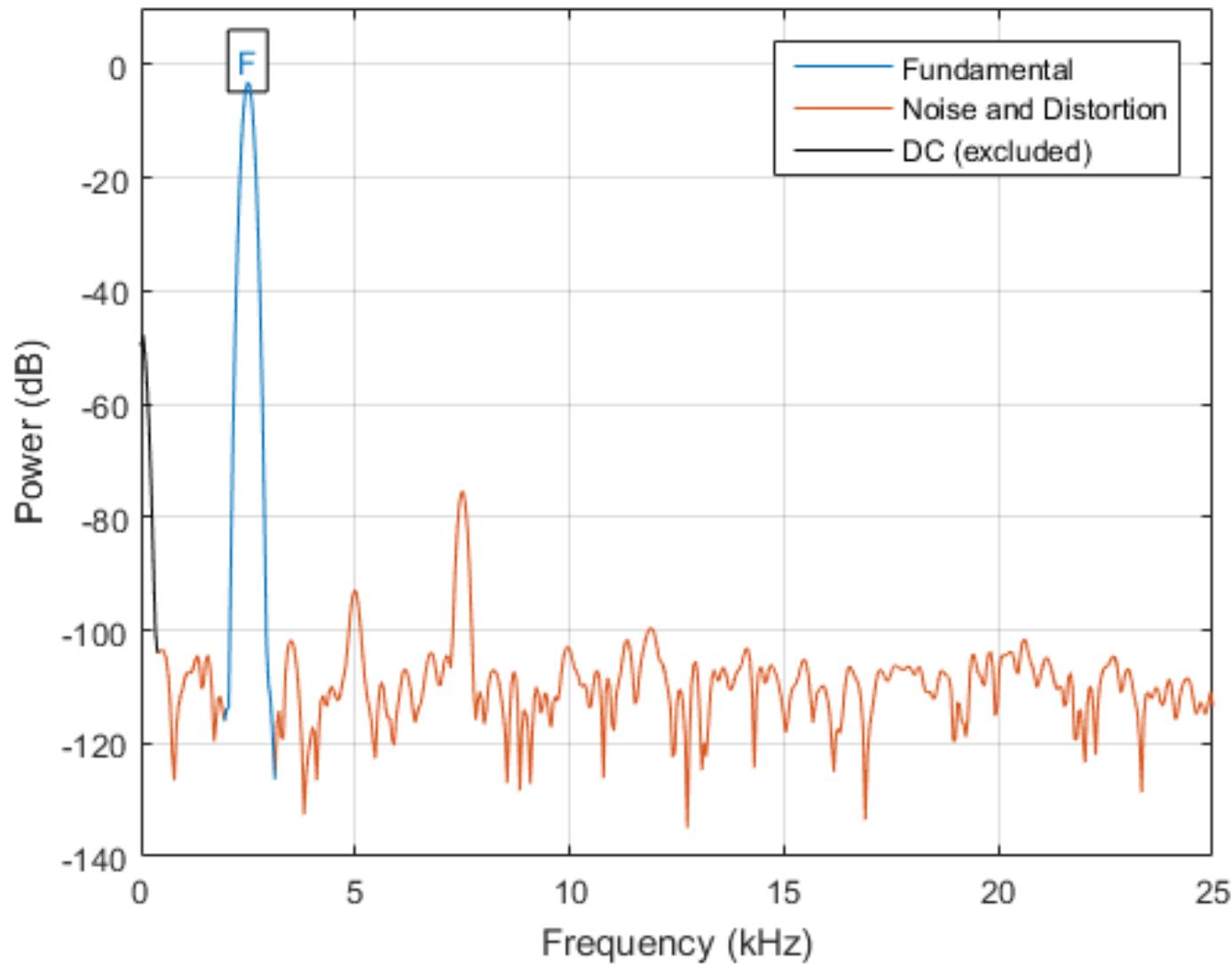
$$SINAD = \frac{Power_{Signal} + Power_{Noise} + Power_{Distortion}}{Power_{Noise} + Power_{Distortion}}$$

SINAD



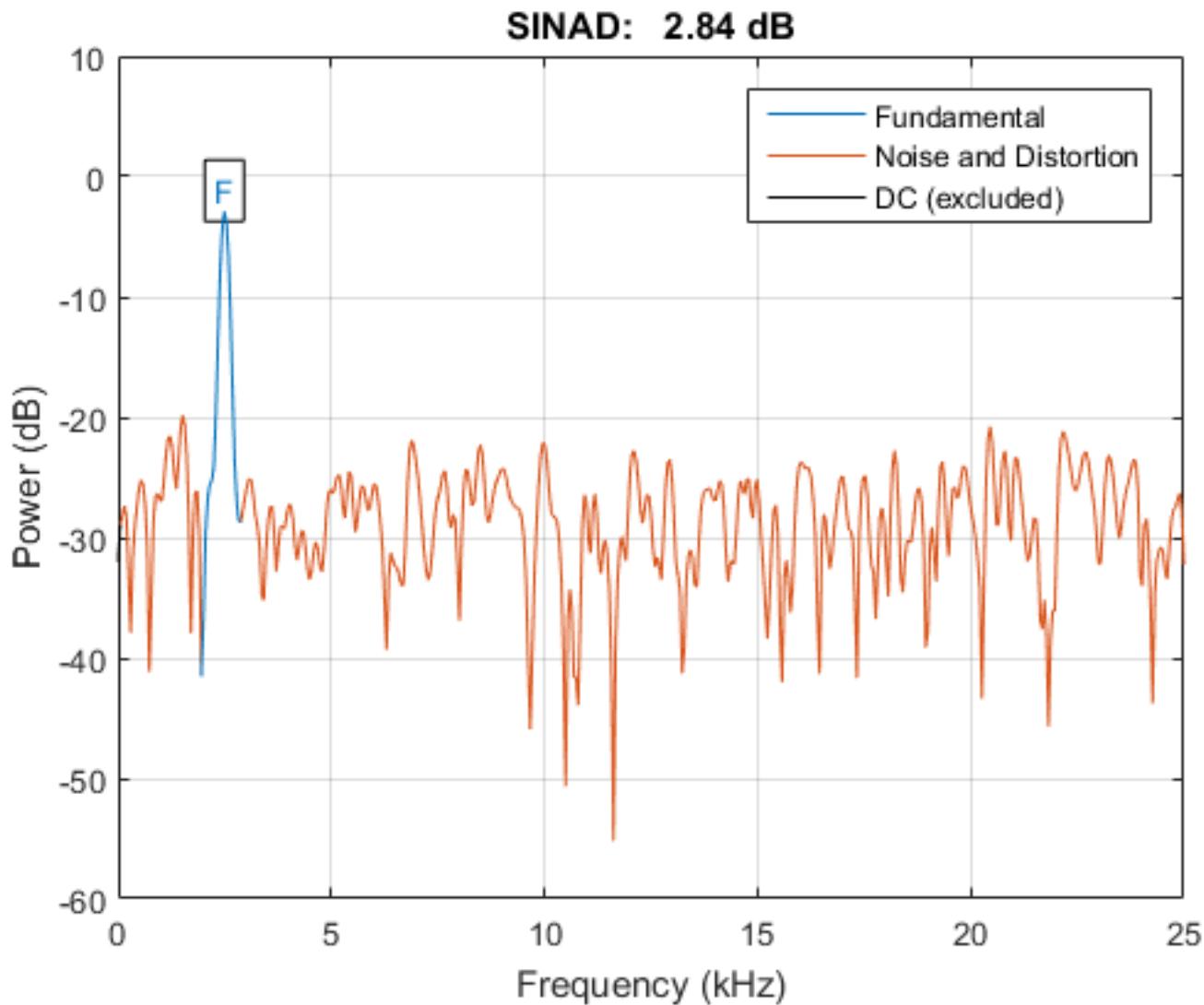
SINAD

SINAD: 72.00 dB



Ausencias de ruido

SINAD



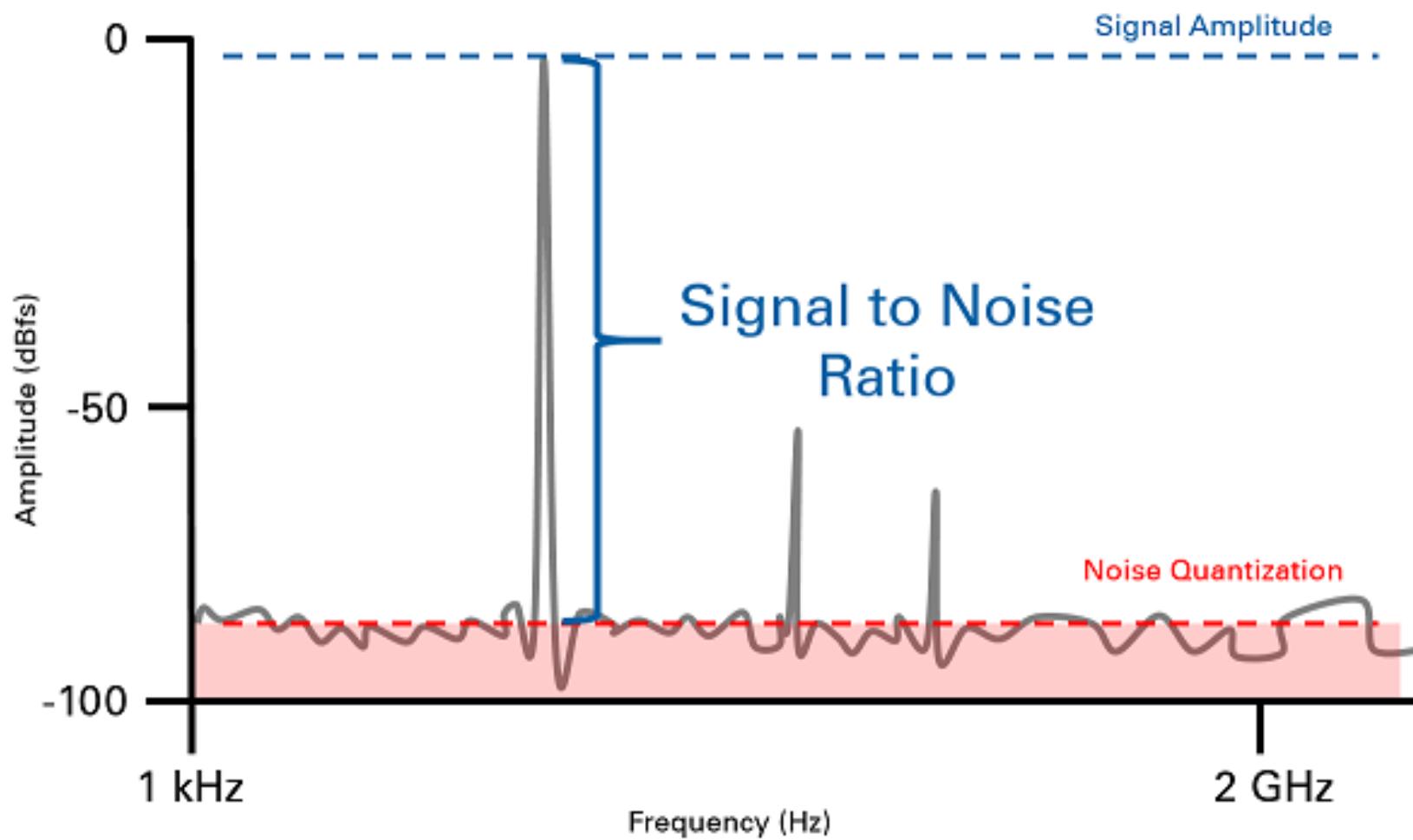
Con presencia de
ruido

SNR

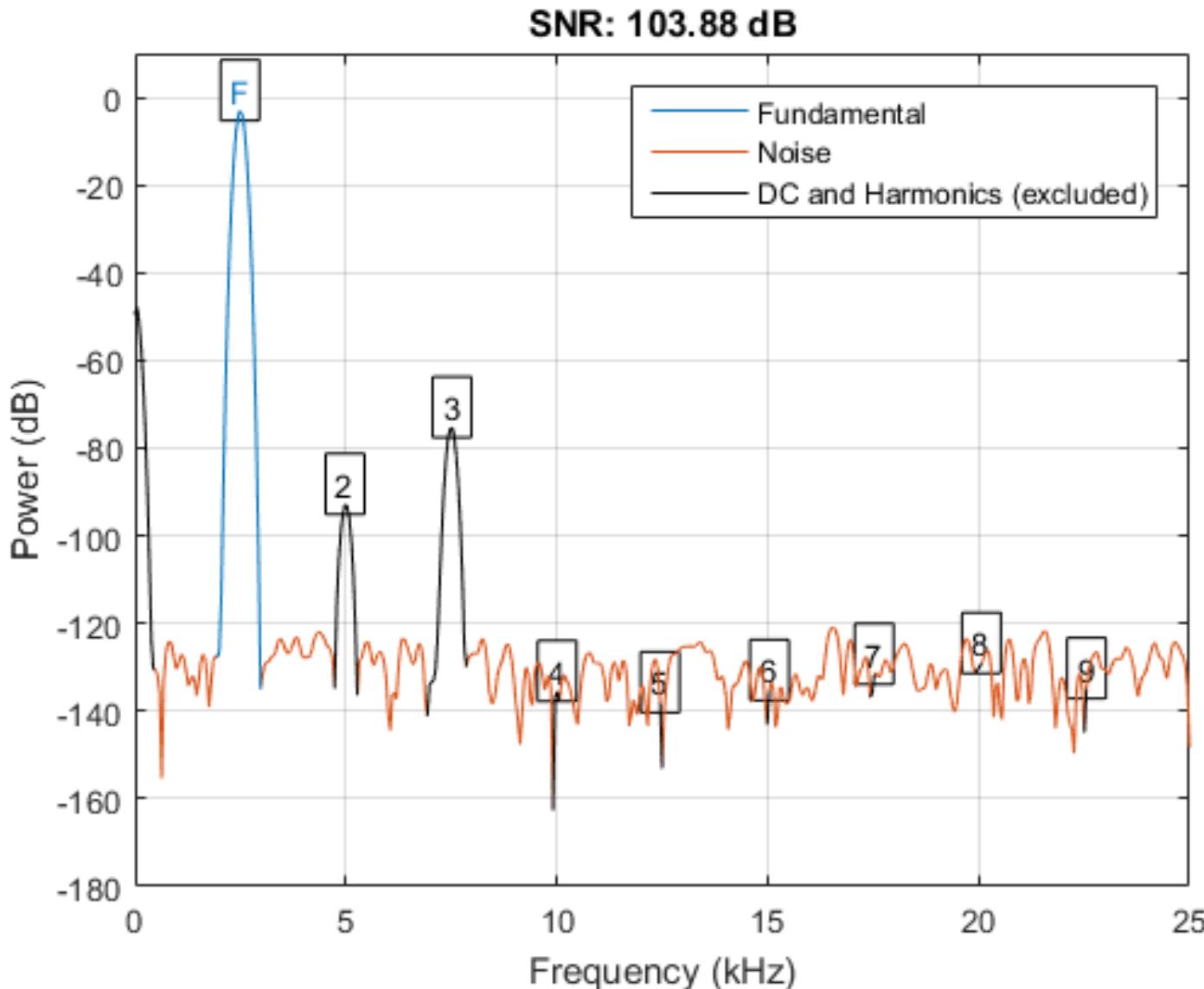
Es un parámetro que relaciona el nivel de potencia de la entrada en función con el nivel de ruido presente.

$$SNR = \frac{Power_{Signal}}{Power_{Noise}} = \left(\frac{Amplitude_{Signal(RMS)}}{Amplitude_{Noise(RMS)}} \right)^2$$

SNR

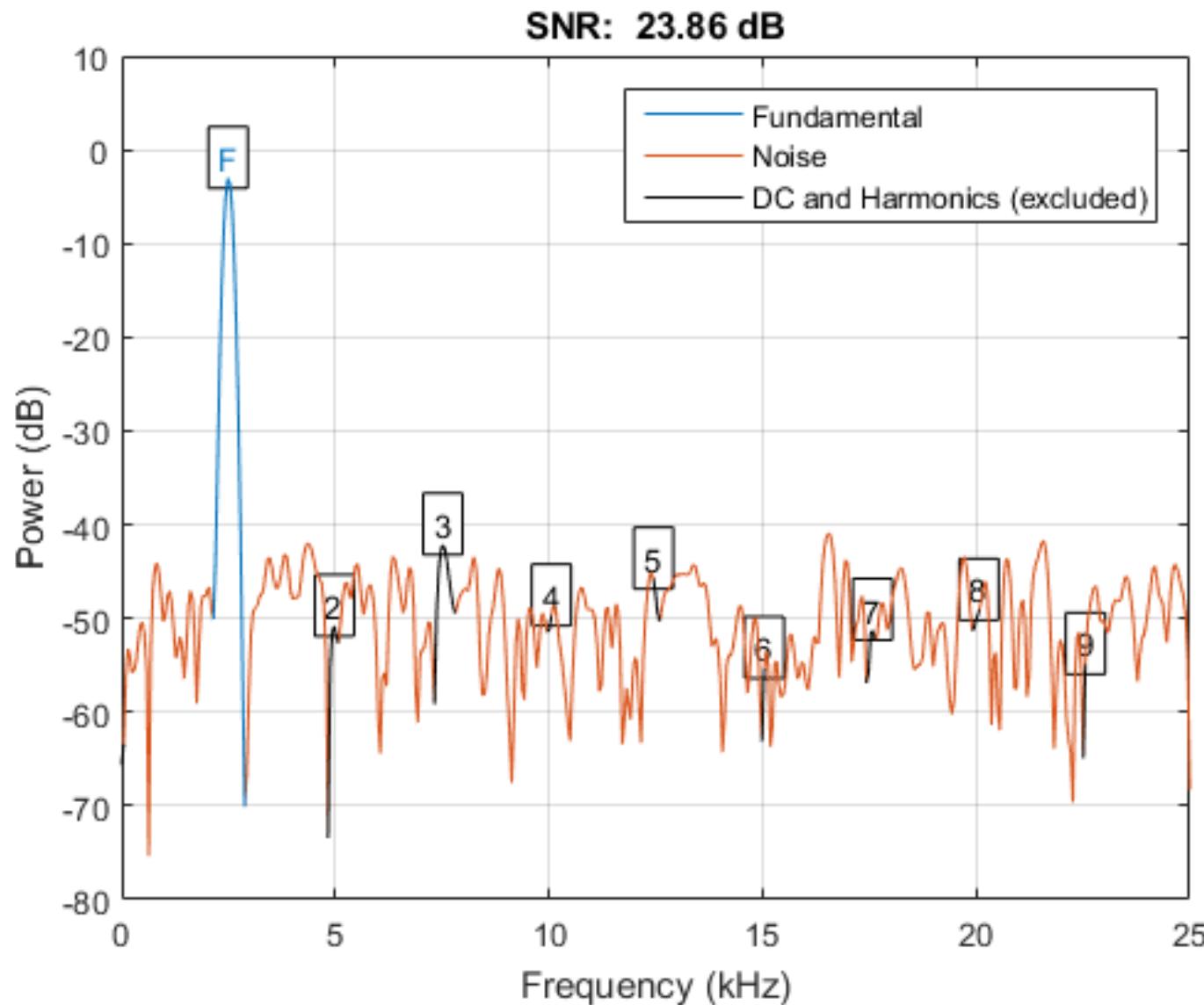


SNR



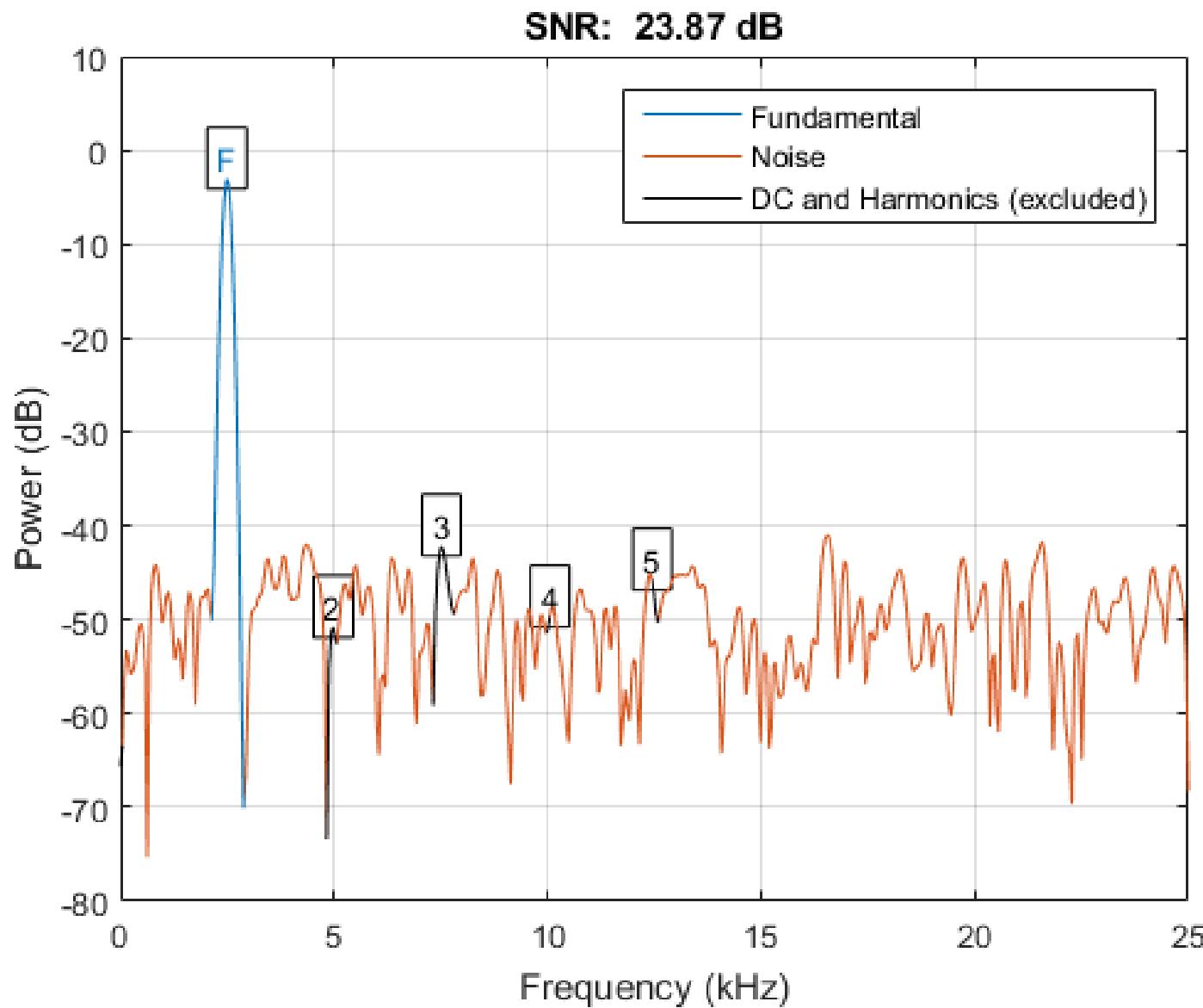
Ausencia de ruido,
con 10 armónicos

SNR



Con ruido y 10
armónicos

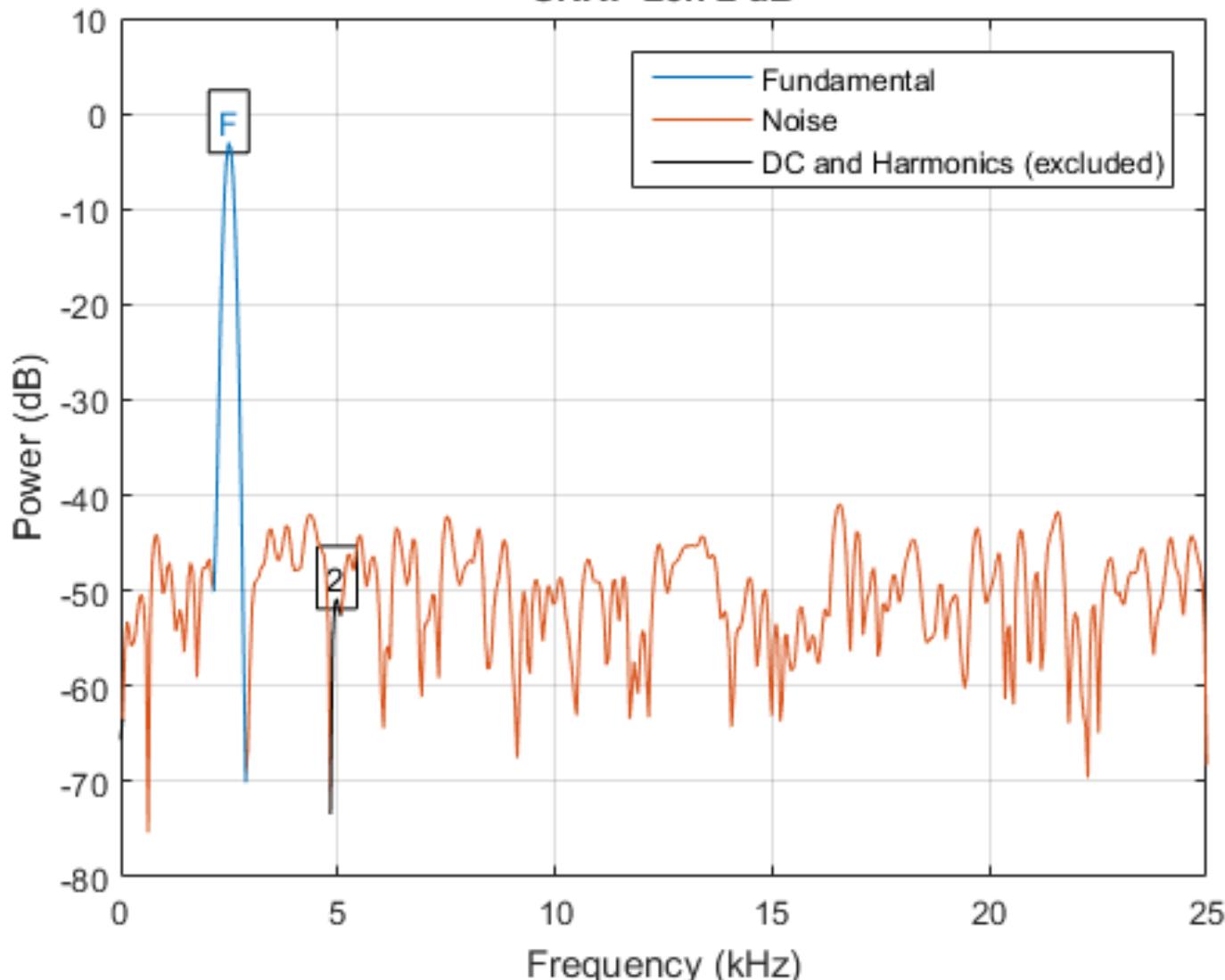
SNR



Con ruido y 5
armónicos

SNR

SNR: 23.72 dB

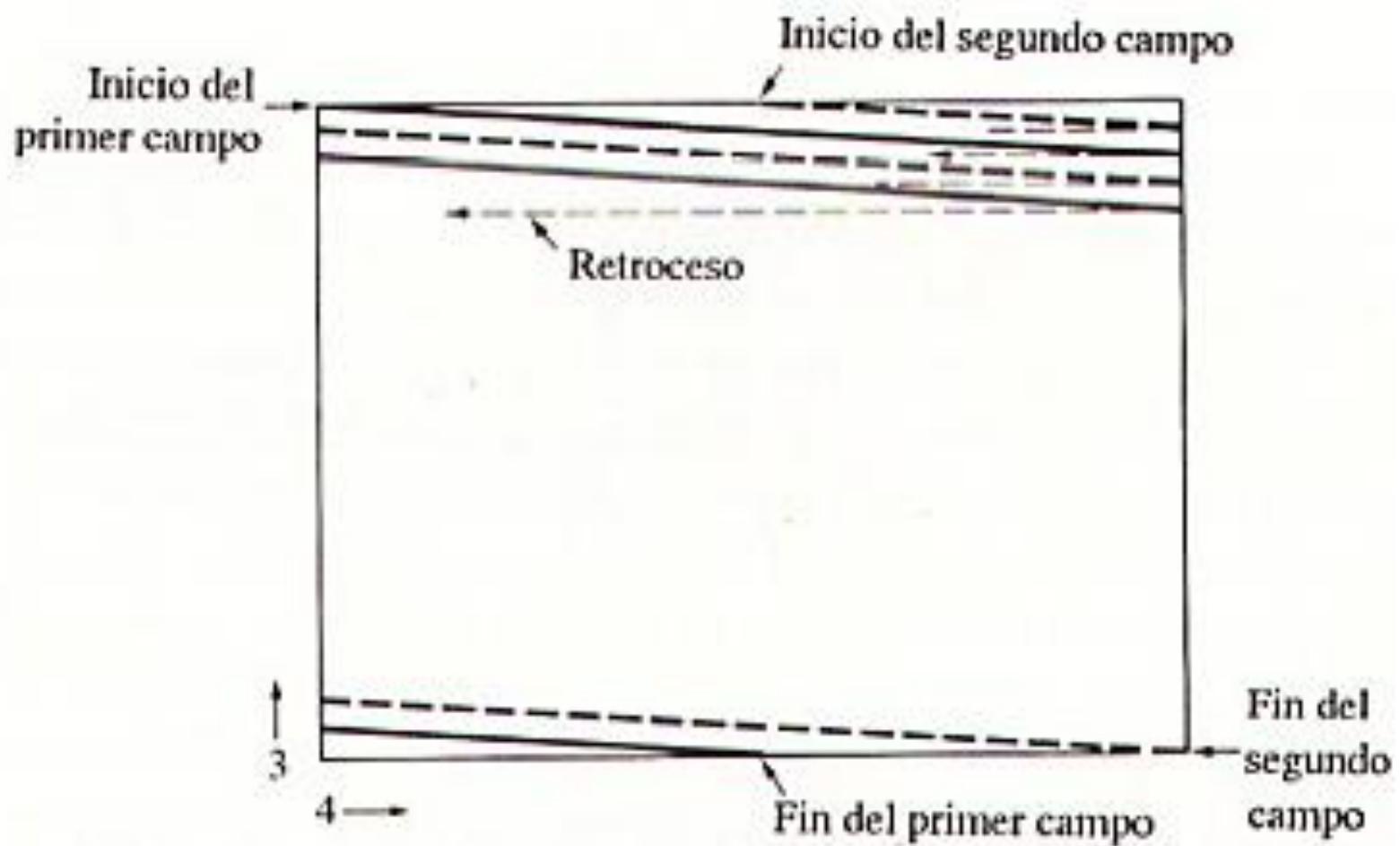


Con ruido y 2
armónicos

Televisión Comercial Analógica (NTSC)

- Transmite a 30 imágenes (cuadros) por segundo, donde cada cuadro se compone de 525 líneas.
- El barrido de las líneas entrelazadas se hace a 60 veces por segundo.
- El tiempo de barrido de una campo es de 262,5 (60 s^{-1}), ósea a 15 750 Hz.
- La relación de aspecto es de 4:3 con 700x525 líneas, esto hace que cada imagen tenga un total de 367 500 elementos.
- En total, se transmiten 11 025 000 elementos de imagen por segundo.

Televisión Comercial Analógica (NTSC)



Televisión Comercial Analógica (NTSC)

Para transmitir 11 025 000 elementos de imagen por segundo, se estima un ancho de banda alto de:

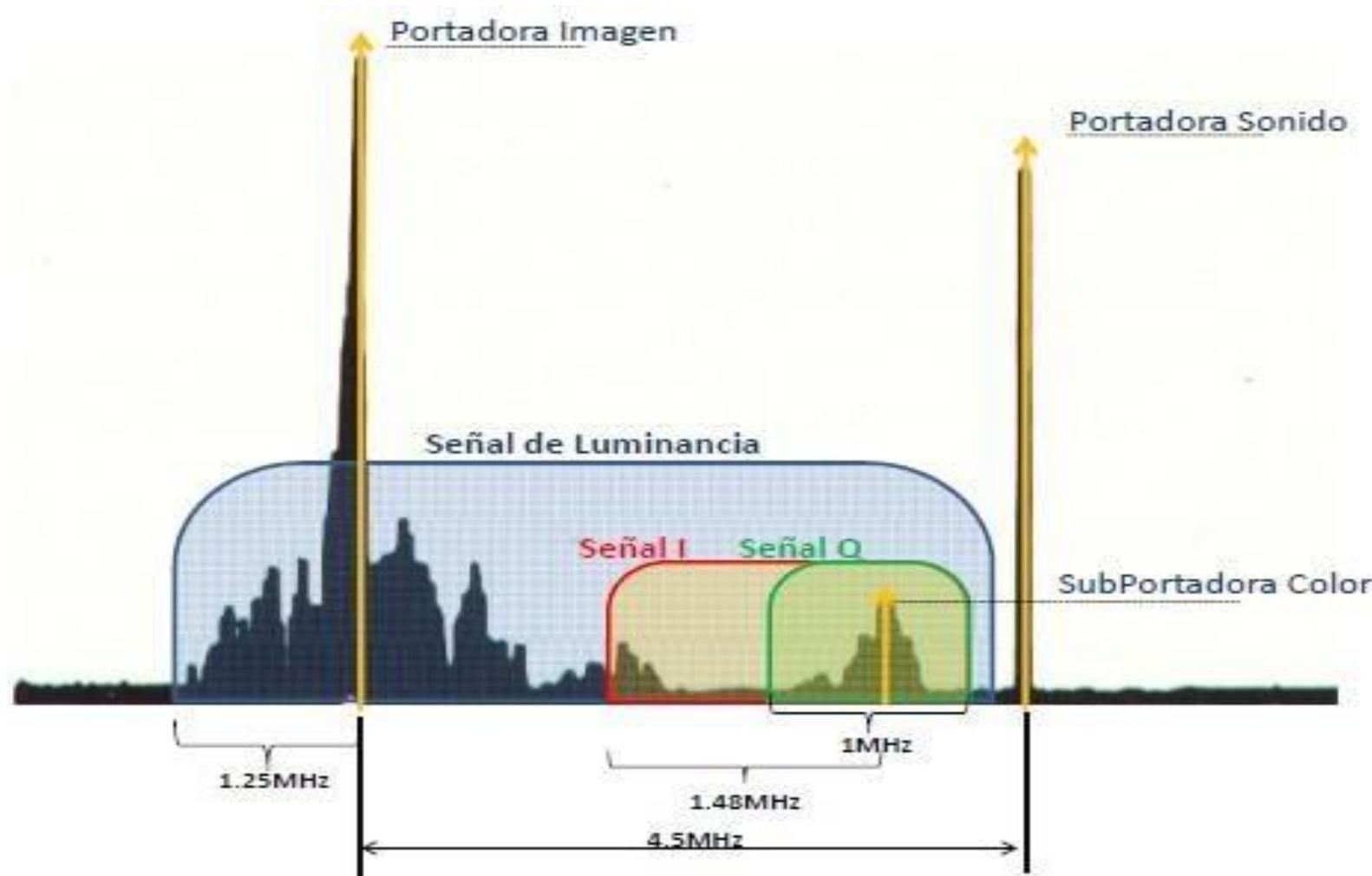
$$B_H \approx \frac{0,5}{tr} = 0,5 * 11025000 = 5,51 \text{ MHz}$$

Y un ancho de banda bajo de:

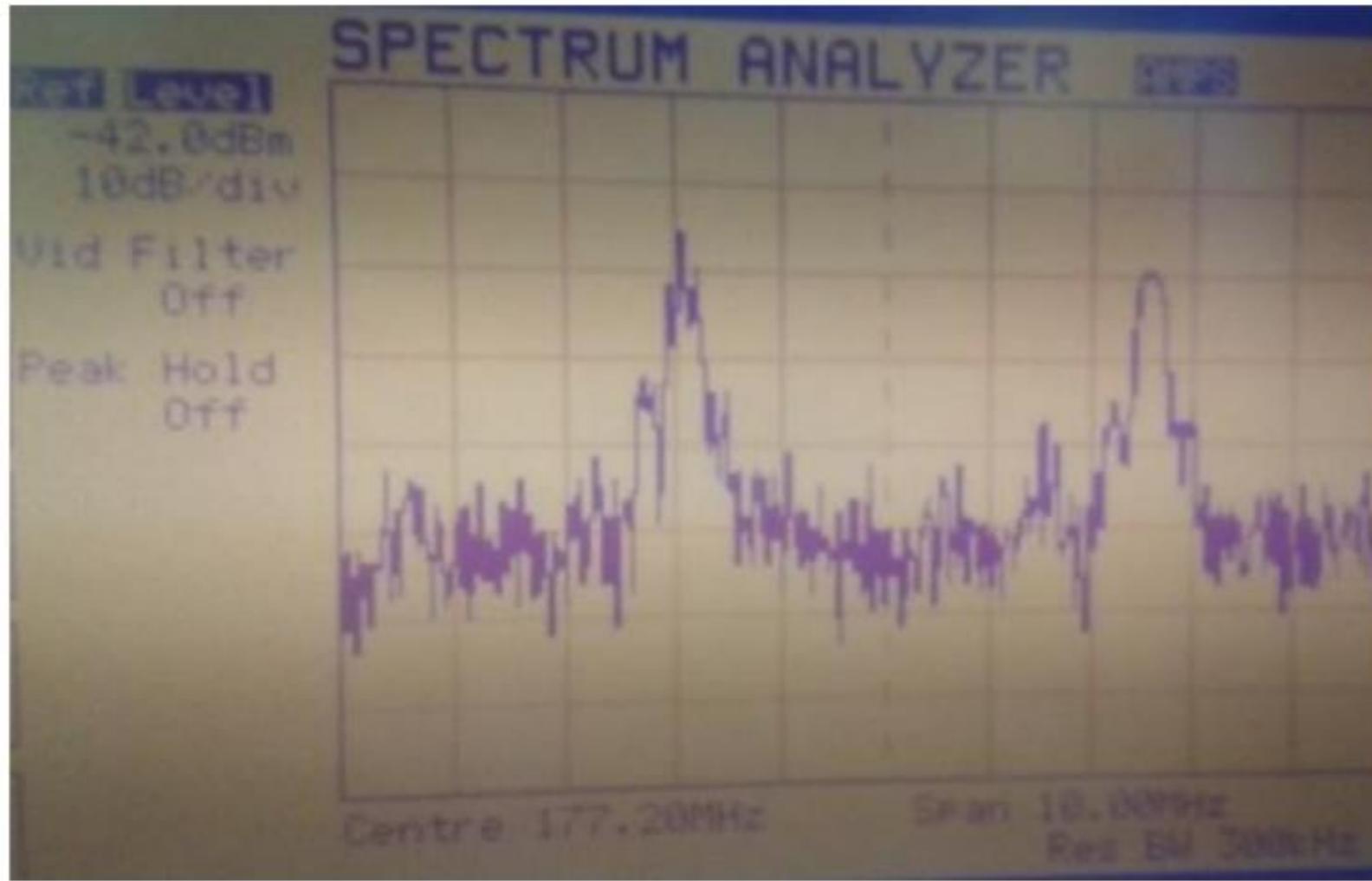
$$B_L \approx \frac{0,35}{tr} = 0,35 * 11025000 = 3,86 \text{ MHz}$$

Pero en promedio en la práctica, se usan **4 MHz** como ancho de banda medio, pero usando modulación DSB-LC suprime la parte de video y el *BW* se reduce a 6 MHz.

Televisión Comercial Analógica (NTSC)



Televisión Comercial Analógica (NTSC)



98

Televisión Comercial Analógica (NTSC)

Canal	Frecuencias (MHz)	Portadora Video (MHz)
1	—	No utiliza
2	54-60	55.25
3	60-66	61.25
4	66-72	67.25
5	76-82	77.25
6	82-88	83.25
BANDA FM 88-108		
7	172-180	175.25
8	180-186	181.25
9	186-192	187.25
10	192-198	193.25
11	198-204	199.25
12	204-210	205.25
13	210-216	211.25

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.

Televisión Digital

Parámetros de transmisión

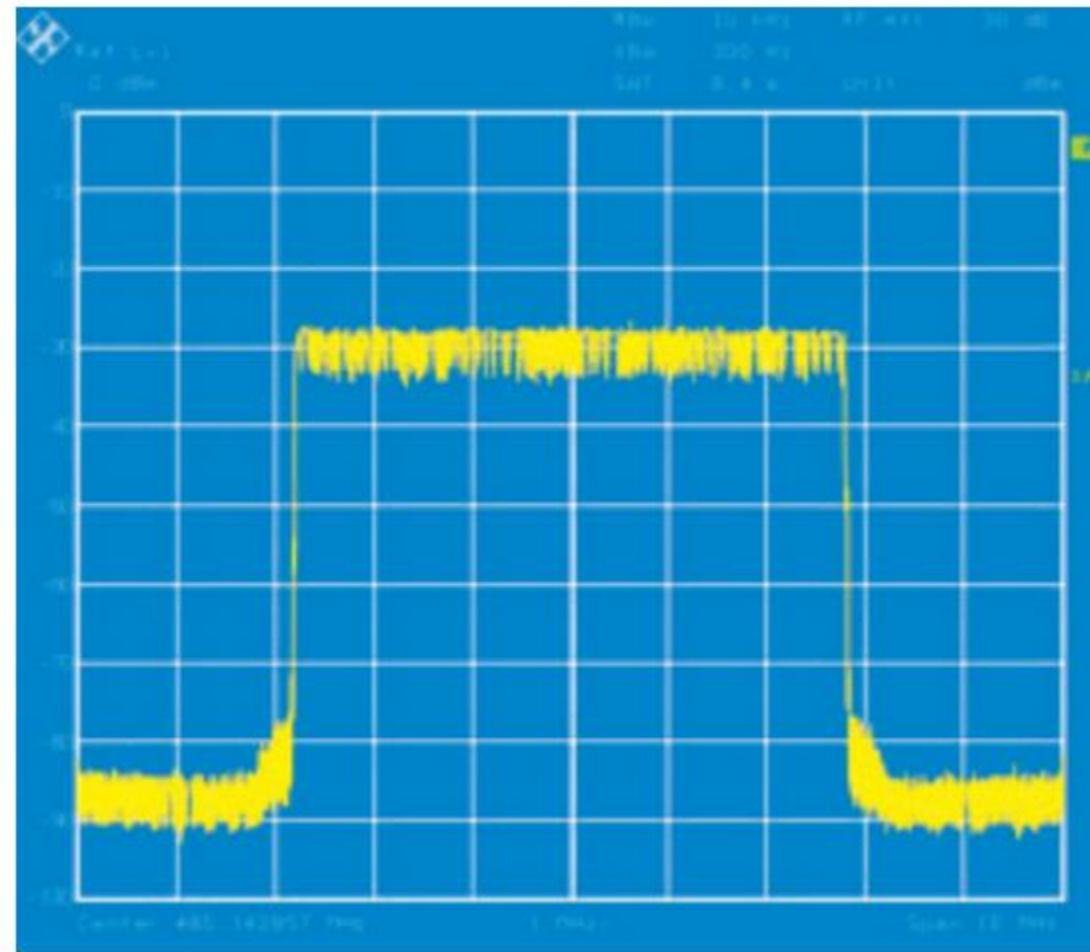
	Mode 1	Mode 2	Mode 3
Number of segments		13	
Bandwidth	5.575 MHz	5.573 MHz	5.572 MHz
Carrier offset	3.968 kHz	1.984 kHz	0.992 kHz
Number of carriers	1405	2809	5617
Carrier modulation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM, DQPSK		
Symbols per frame	204		
Symbol duration (actual)	252 μ s	504 μ s	1008 μ s
Guard interval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

101

Tomado de ISDB-T terrestrial broadcasting in Japan, R&S

Televisión Digital

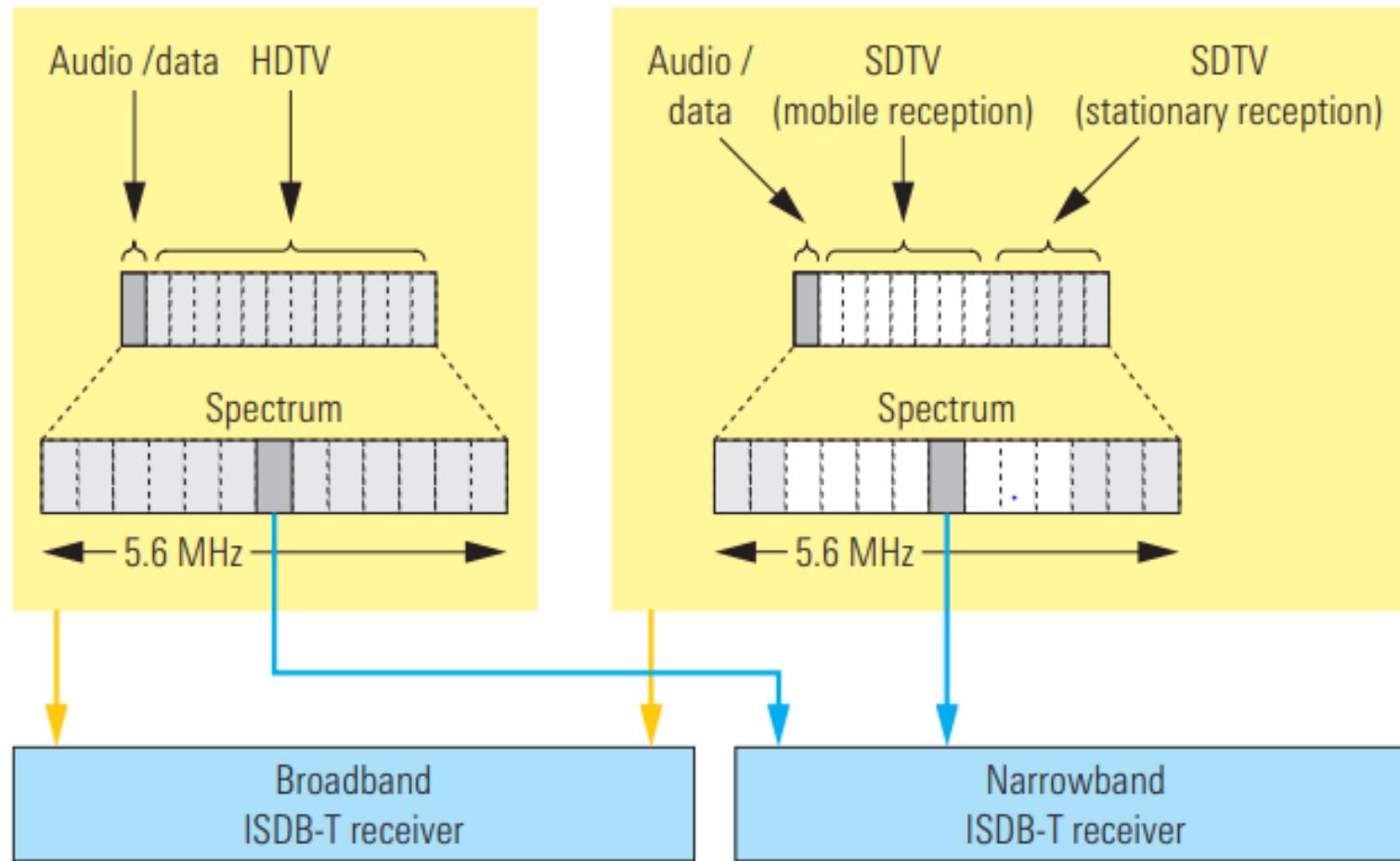
Espectro ISDB-T



Tomado de ISDB-T terrestrial broadcasting in Japan, R&S

Televisión Digital

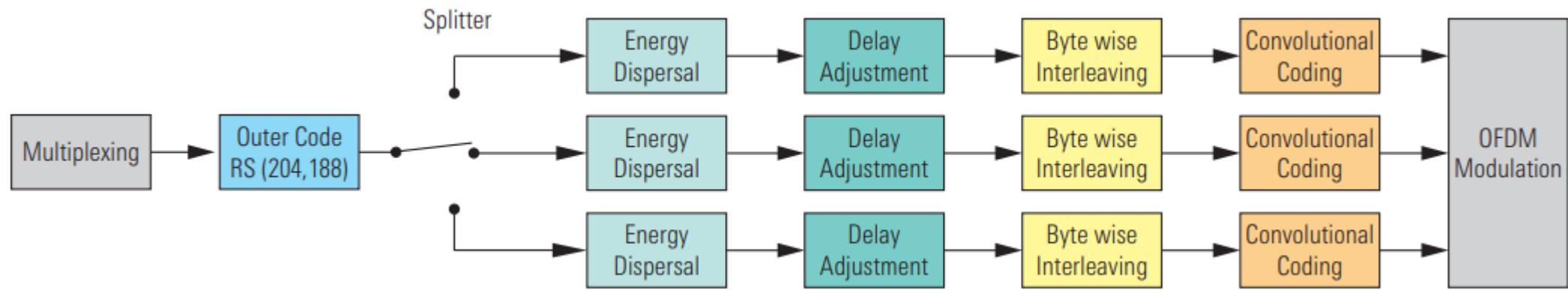
Jerarquía de transmisión y recepción parcial



Tomado de ISDB-T terrestrial broadcasting in Japan, R&S

Televisión Digital

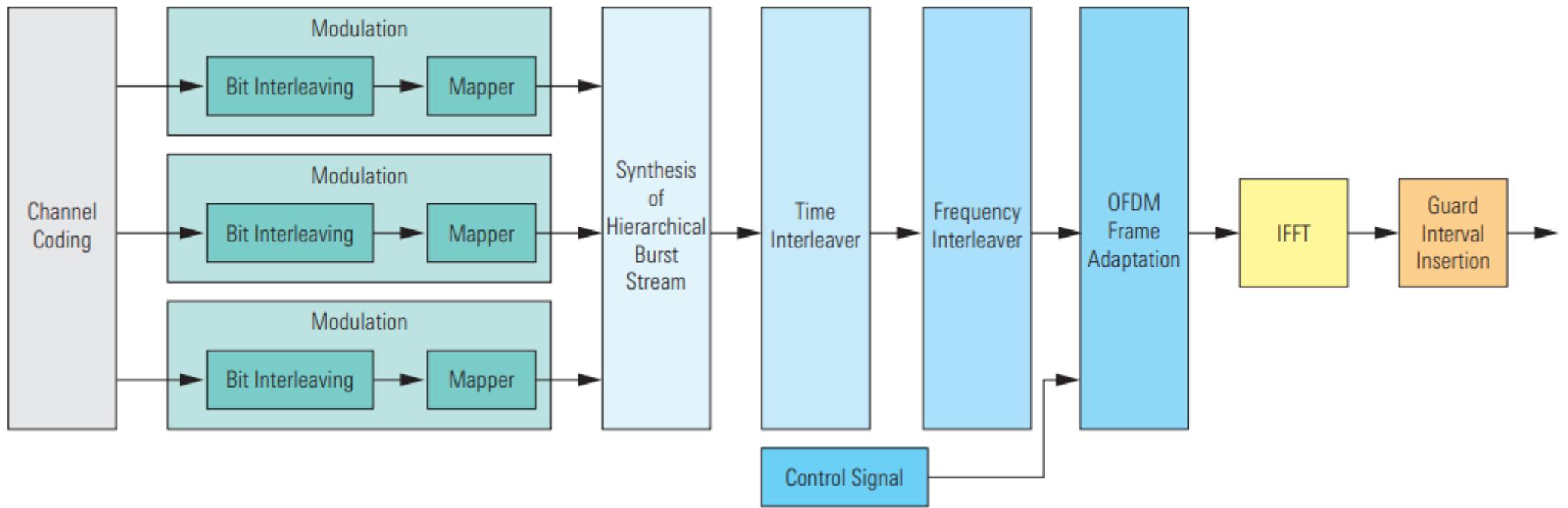
Codificación del canal



Tomado de ISDB-T terrestrial broadcasting in Japan, R&S

Televisión Digital

Esquema de modulación



Tomado de ISDB-T terrestrial broadcasting in Japan, R&S

Decibeles

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

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

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

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

Cálculo en decibeles respecto a 1 V:

$$V_{dB} = 20 \log_{10}(V)$$

Cálculo de decibeles respecto a 1 μ V:

$$V_{dB\mu} = 20 \log_{10} \left(\frac{V}{1\mu V} \right)$$

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/>

Esta presentación se ha basado parcialmente en compilación para semestre 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

TEC | Tecnológico
de Costa Rica