

Taller de Comunicaciones Eléctricas

Introducción Laboratorio 1

Ing. Sergio Arriola-Valverde. M.Sc
Ing. Néstor Hernández Hostaller. M.Sc
Ing. Alexander Barrantes Muñoz. M.Sc

Escuela de Ingeniería Electrónica
Instituto 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)	15%
Reporte de Prácticas Guiadas (6)	15%
Exposición Tema Teórico (1)	5%
Tutoriales en RF (1)	5%
Tarea (1)	5%
Exposición Laboratorio	5%

Parte B :Trabajo Final de Diseño

Anteproyecto	5%
Avance	10%
Informe Final	15%
Exposición	20%

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 practicas 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 practica 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 practica 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, 8ª Edición, 2012.

M. N. O. Sadiku. Elementos de Electromagnetismo. 3ª 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-Lechtaler, 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 K y J 2 a 2:50 pm (Profesor definirá el medio)

Grupo 2, Sede Cartago

Profesores

Ing. Alexander Barrantes Muñoz. M.Sc

Email: abarrantes@ietec.org ó albarrantes@tec.ac.cr

Teléfono: 2550 9252

Oficina: Edificio K1 507

Consulta: M: 7 a 9 pm (Profesor definirá el medio)

Grupo 3, Sede Cartago

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**)

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).
- Taller de Comunicaciones Eléctricas (**I Semestre 2019 – Actualmente**)

Profesor

Ing. Alexander Barrantes Muñoz. M.Sc

Cursos Impartidos:

- Comunicaciones Eléctricas I (I Semestre 2019)
- Taller de Comunicaciones Eléctricas (**II Semestre 2019 – 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.

Cronograma del Curso

Se harán ajustes al cronograma del curso en relación de completar las 16 semanas lectivas que establece el reglamento.

Antes del 16 Marzo se tenía una finalización en **semana 18** con la presentación del proyecto, con fecha de entrega de actas proyectada para el **Jueves 25 de Junio**, con base a ello el periodo I Semestre 2020 concluía.

Debido a la emergencia nacional por COVID-19 se suspendió el curso lectivo desde el **16 de Marzo hasta el 26 de Abril**.

Cronograma del Curso

Con base a la resolución de rectoría RR-099-2020, se deberá acatar los incisos contenidos.

En cuanto al Curso lectivo, resuelvo:

1. Reanudar el curso lectivo correspondiente al primer semestre a partir del lunes 27 de abril de 2020, en todos los Campus Tecnológicos y Centros Académicos, bajo las siguientes condiciones:

- a. La oferta de cursos corresponderá a aquellos que puedan impartirse con asistencia de la tecnología digital.

- b. El periodo se retomará en la semana 4 para que tanto profesores como estudiantes se adapten a la nueva estrategia de impartir y recibir lecciones y hagan los ajustes necesarios.

- c. La impartición de los contenidos nuevos de los cursos se retomará a partir del 11 de mayo de 2020. Se considerarán los casos especiales con aval de la Vicerrectoría de Docencia.

- d. Las evaluaciones se podrán retomar a partir del 18 de mayo de 2020.

- e. La finalización del ciclo lectivo del I semestre 2020 será comunicado una vez que se tengan aprobadas las modificaciones respectivas.

- f. Los trabajos finales de graduación y los posgrados siguen las directrices establecidas hasta el momento y cualquier situación especial será atendida por la Vicerrectoría de Docencia y la Vicerrectoría de Investigación y Extensión según corresponda.

- g. A los estudiantes con adecuaciones y necesidades educativas especiales formalizadas en el Departamento de Orientación y Psicología –PSED NE se les mantiene esta condición, garantizando así la equidad e igualdad de oportunidades en el proceso de su formación profesional y personal.

Cronograma del Curso

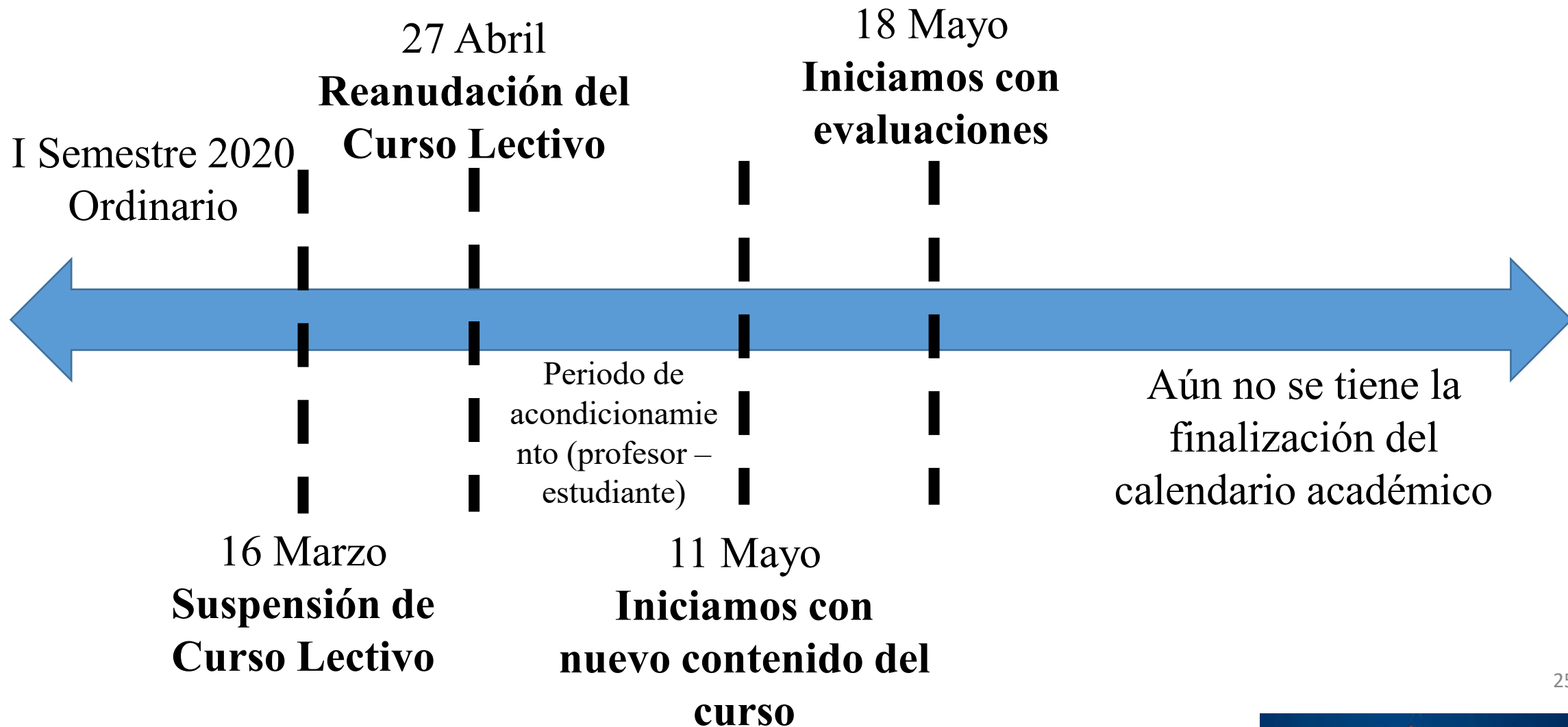
Debido a lo anterior la administración sugiere que el periodo de vacaciones para los funcionarios del ITCR será del 6 al 10 Julio con goce de una semana.

d. De común acuerdo con la AFITEC el disfrute de las vacaciones de medio periodo del año 2020 será de la siguiente manera:

- Una semana del 06 al 10 de julio de 2020.
- La semana restante se acumulará y disfrutará de común acuerdo con el superior jerárquico con fecha límite diciembre de 2021.

Cronograma del Curso

Según la línea de tiempo esto sucede actualmente:



Cronograma del Curso

Por lo tanto a la espera que la administración apruebe y publique el calendario académico, las sesiones virtuales estarán organizadas según se muestra a continuación:

Semana del 27 Abril al 1 Mayo

- **Introducción al curso con los ajustes propuestos**
- **Repaso del Laboratorio 1**
- **Replanteo de proyecto final de curso**

Semana del 4 al 8 de Mayo

- **Repaso del Laboratorio 2**
- **Organización del Tutorial RF**

Cronograma del Curso

Debido a la emergencia nacional la administración decidió hacer una serie de modificaciones al reglamento de enseñanza y aprendizaje, de los artículos:

- 16, 17, 23, 30, 34, 38, 41, 48, 50, 53, 64, 67, 71, 72, 73, 77 y 80.

Es recomendable leer las reformas debido a que es importante para la operación del periodo restante en modalidad no presencial, tanto profesor como estudiantes.

Si lo desean obtener, pueden acudir a la asociación de estudiantes, o pueden consultar la gaceta institucional.

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'Alembert

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

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

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

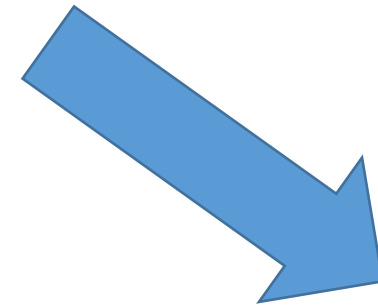
Se utilizarán las ecuaciones de Maxwell en forma puntual considerando el caso dinámico

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

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

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

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



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

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

Ecuaciones de Maxwell

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

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

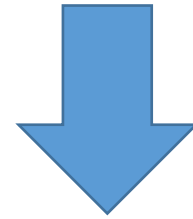


$$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{B})$$

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.

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

$\downarrow \qquad \qquad \qquad \downarrow$
 $0 \qquad \qquad \qquad 0$

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

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

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

Ecuaciones de Maxwell

Forma “puntual” de las Ecuaciones de Maxwell par 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



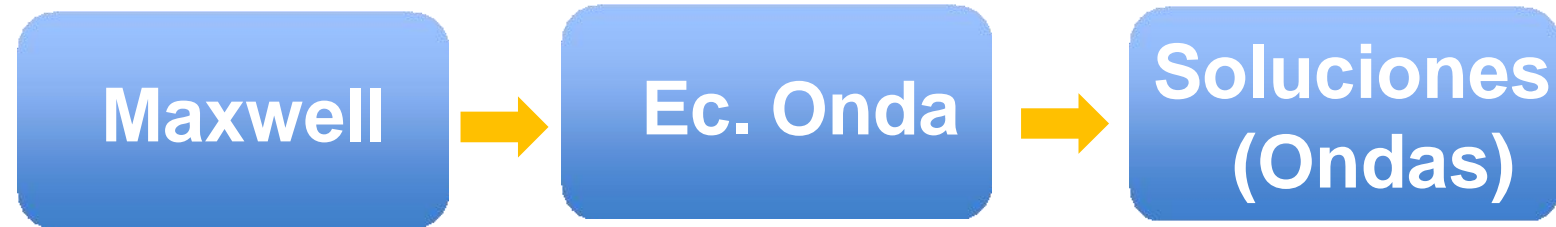
Ejemplo onda TEM, caso armónico:

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

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

Onda Viajera → función del tiempo y espacio

Concepto de Propagación de Onda



Ejemplo onda TEM, caso armónico:

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

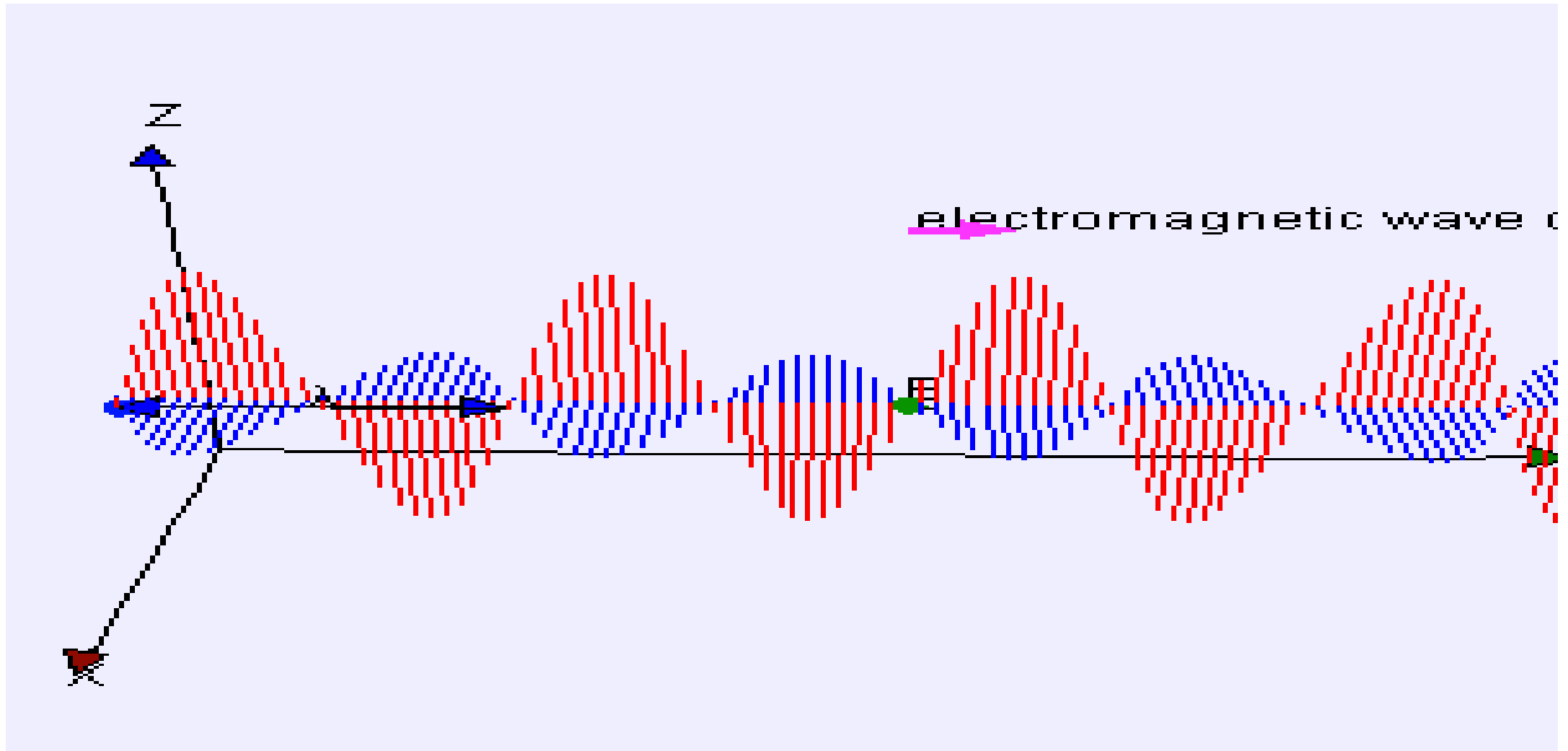
Onda Viajera \rightarrow función del tiempo y espacio

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

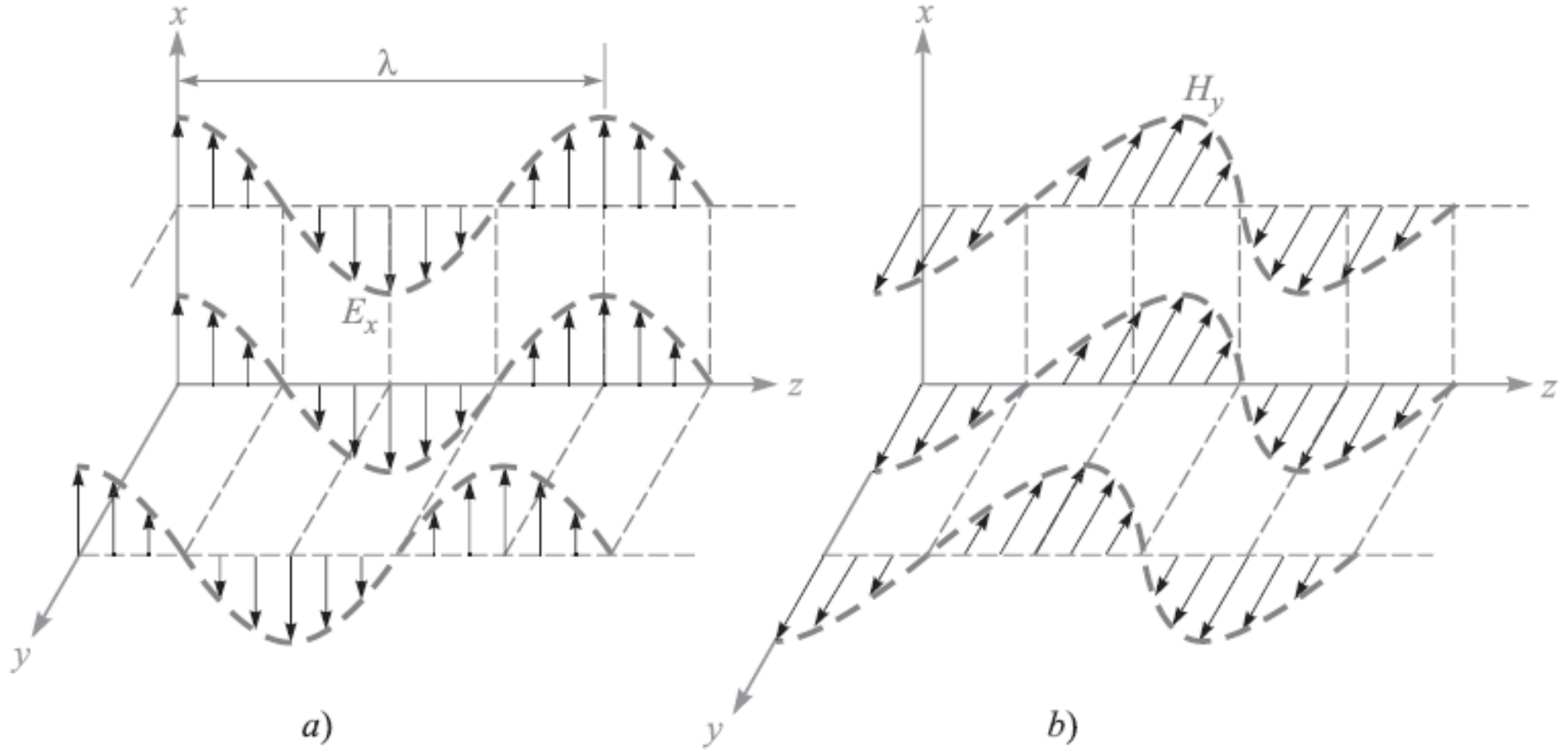
$$\lambda = \frac{2\pi}{k_0} \text{ (espacio libre)}$$

$$v_p = c$$

Concepto de Propagación de Onda



Concepto de Propagación de Onda

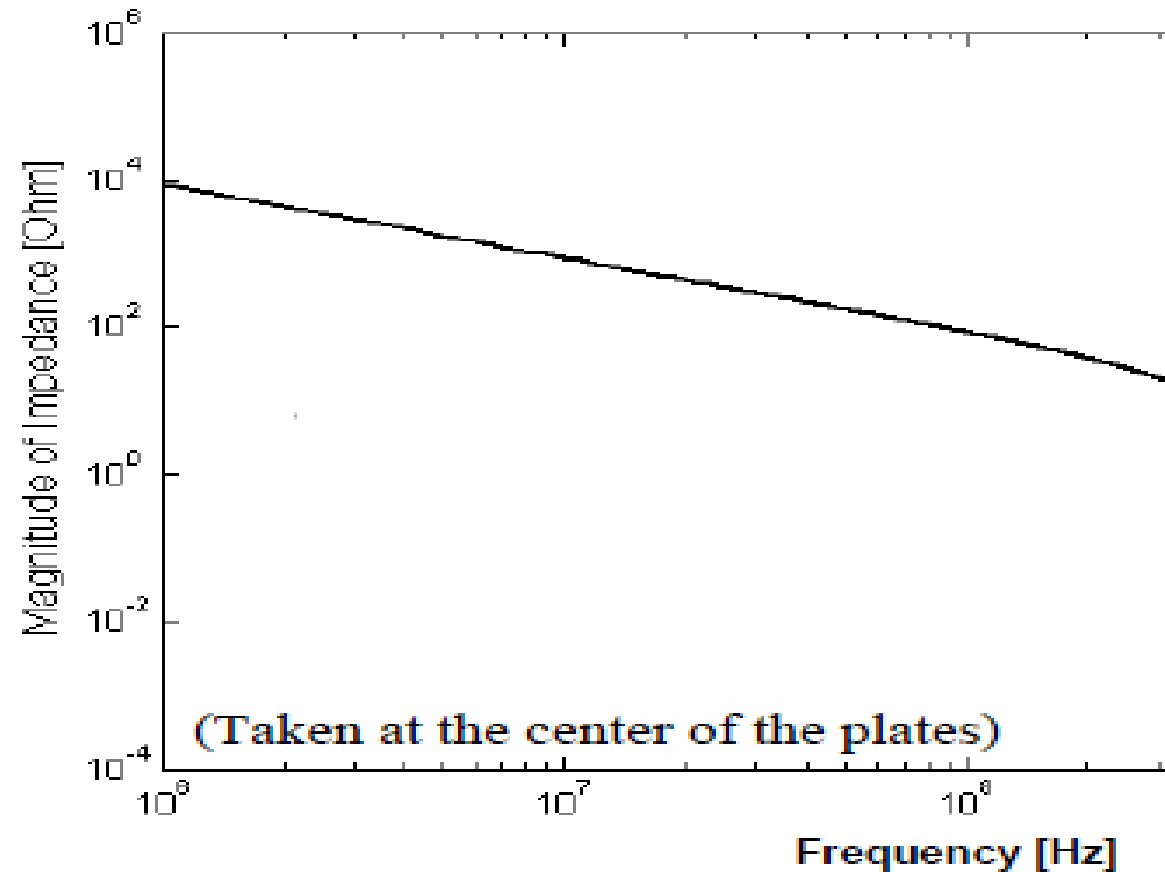


Ejemplo: Capacitor Real vs Ideal

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?

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

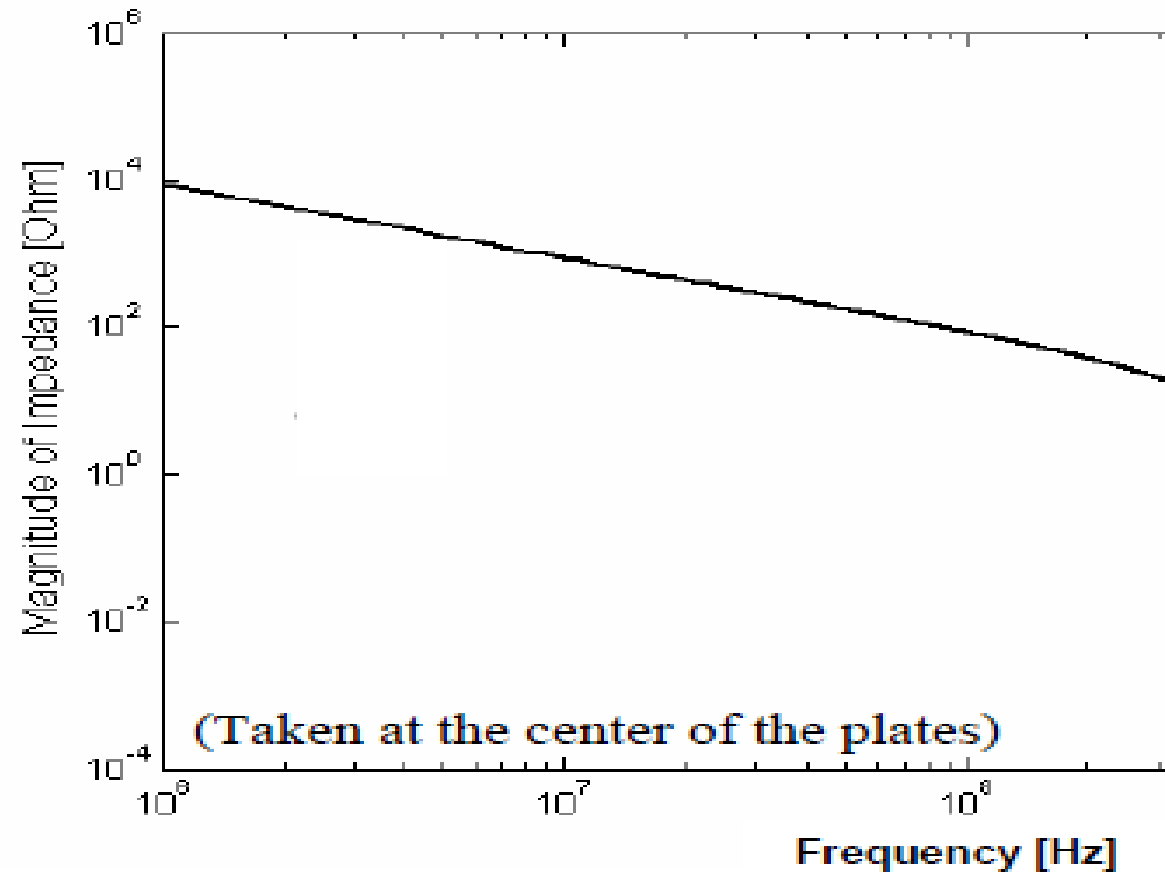
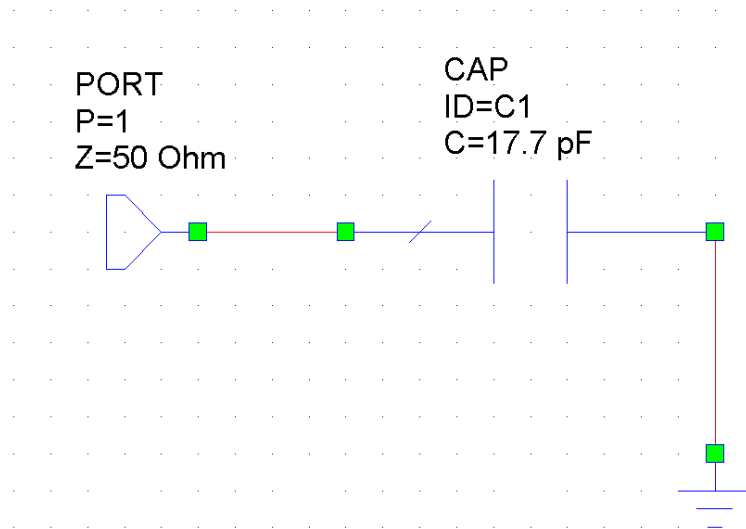
$$Z = \frac{1}{j2\pi f \cdot C}$$



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

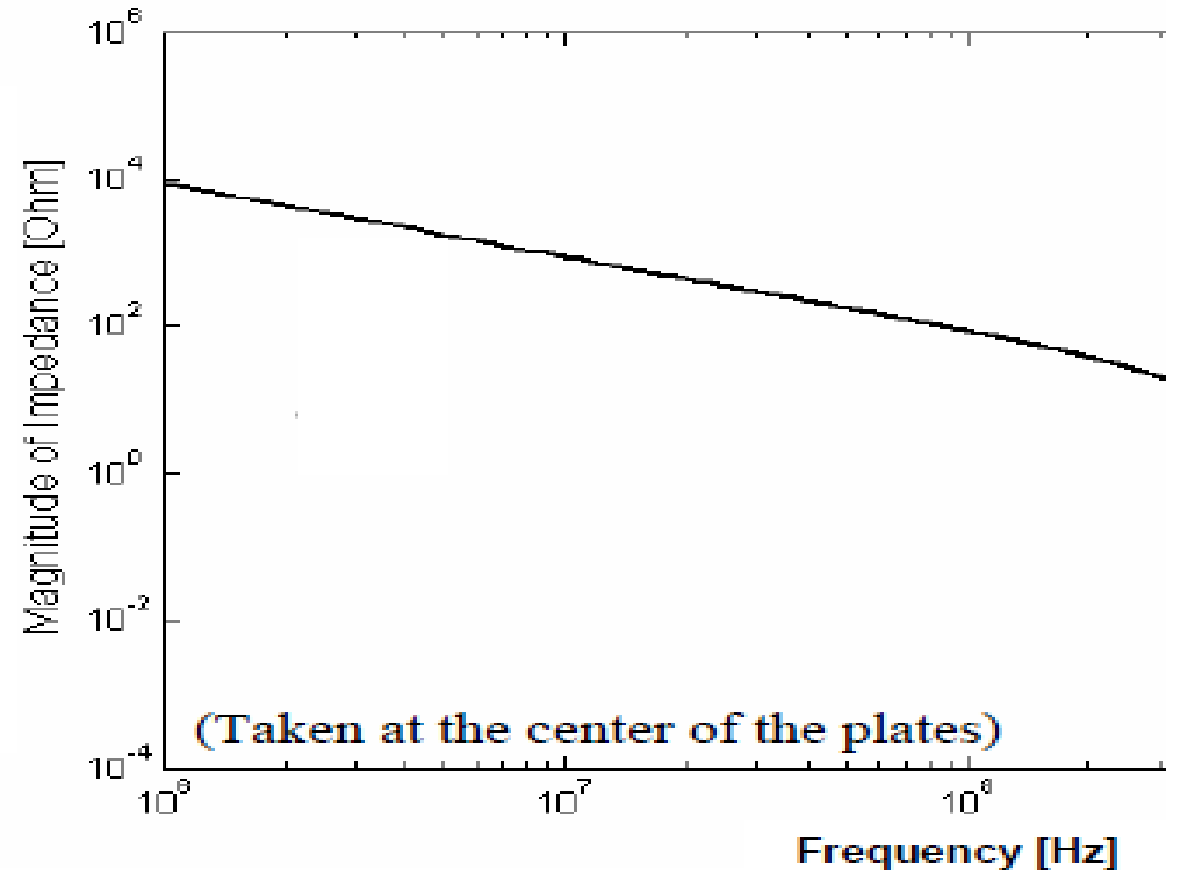
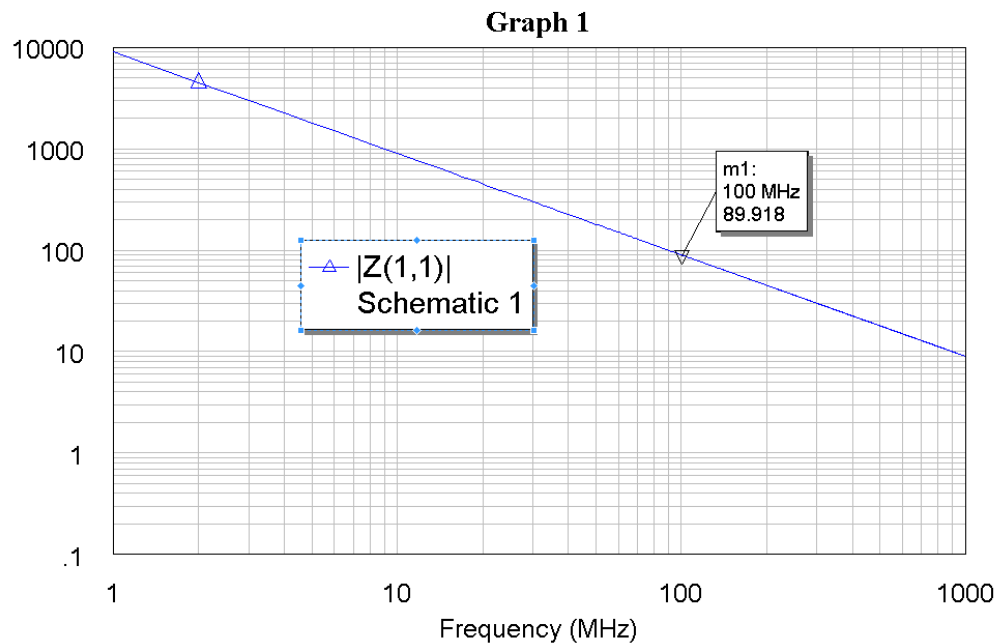
Ejemplo: Capacitor Real vs Ideal

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?



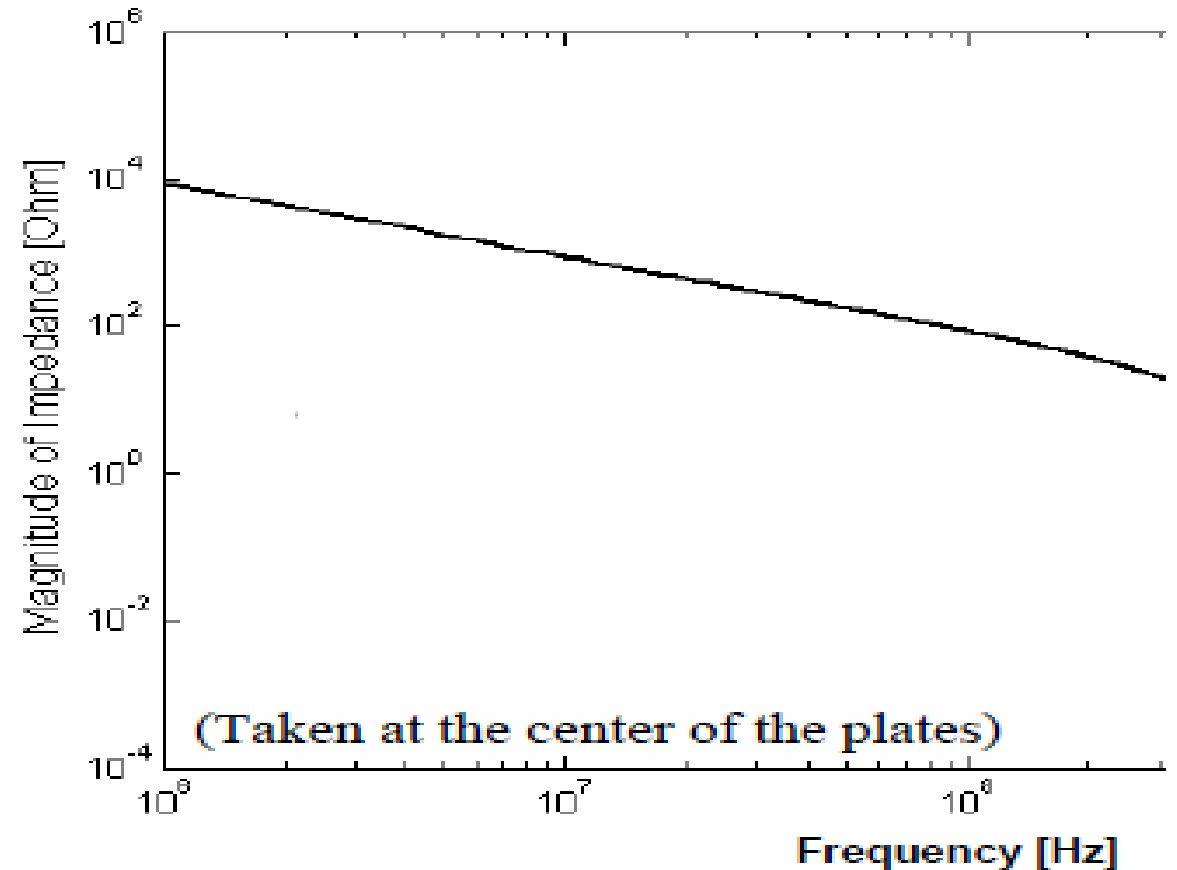
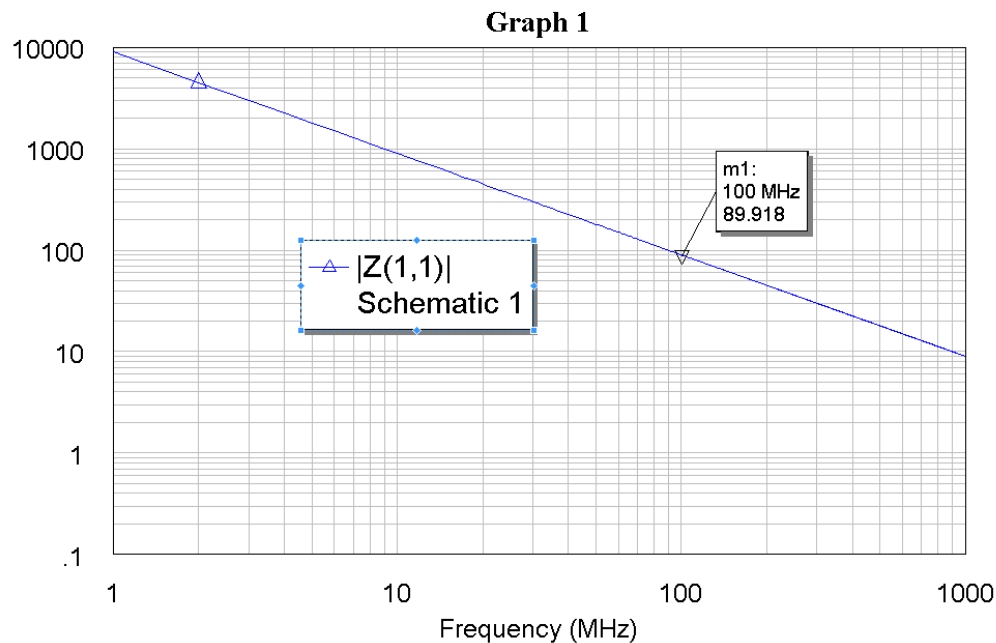
Ejemplo: Capacitor Real vs Ideal

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?



Ejemplo: Capacitor Real vs Ideal

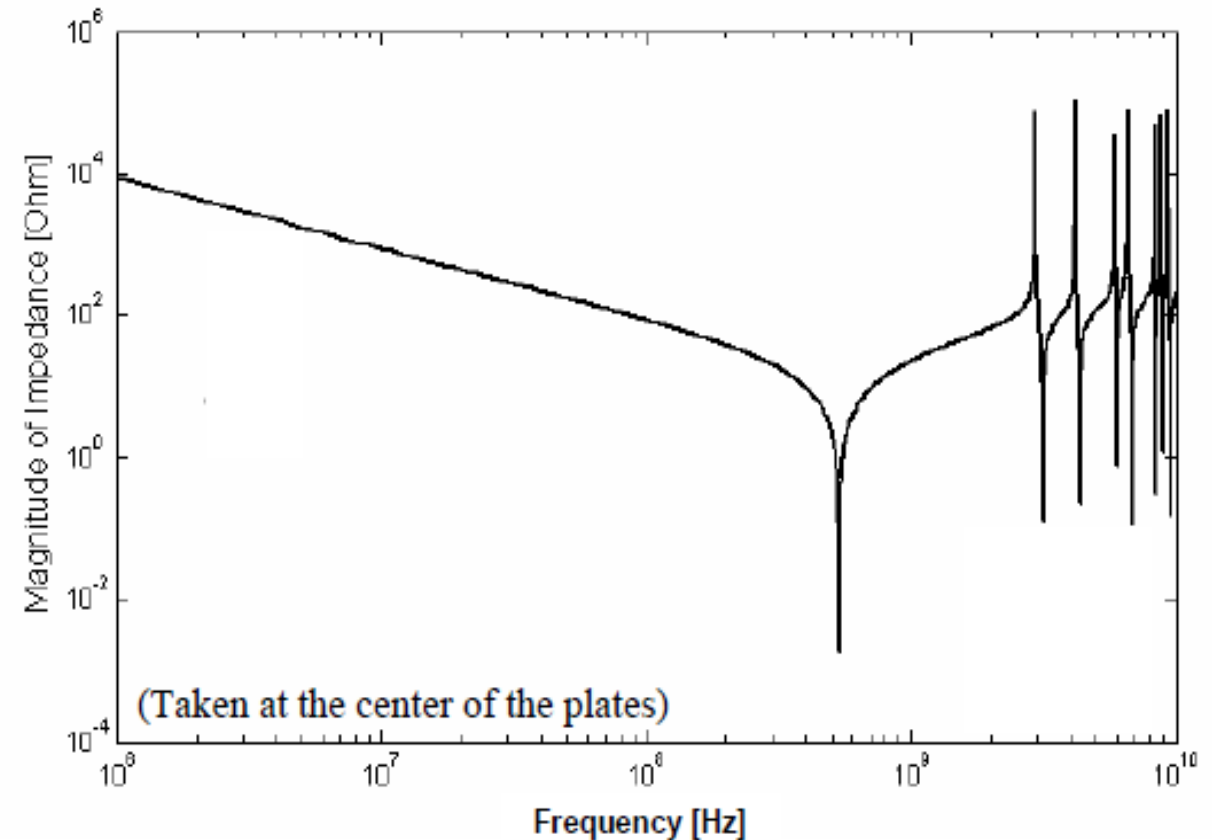
Para un capacitor de placas paralelas, con dimensiones de 10 x 10 cm y una separación de 0.5 cm, en el aire. ¿Cuál es su impedancia como una función de la frecuencia?

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

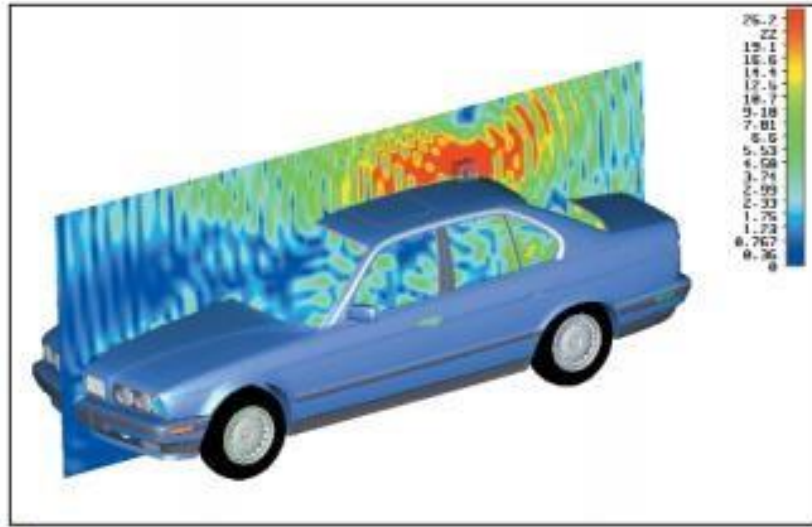
- Interconexiones de alta velocidad
- Diseño de circuitos en alta frecuencia

Dispositivos MEMs

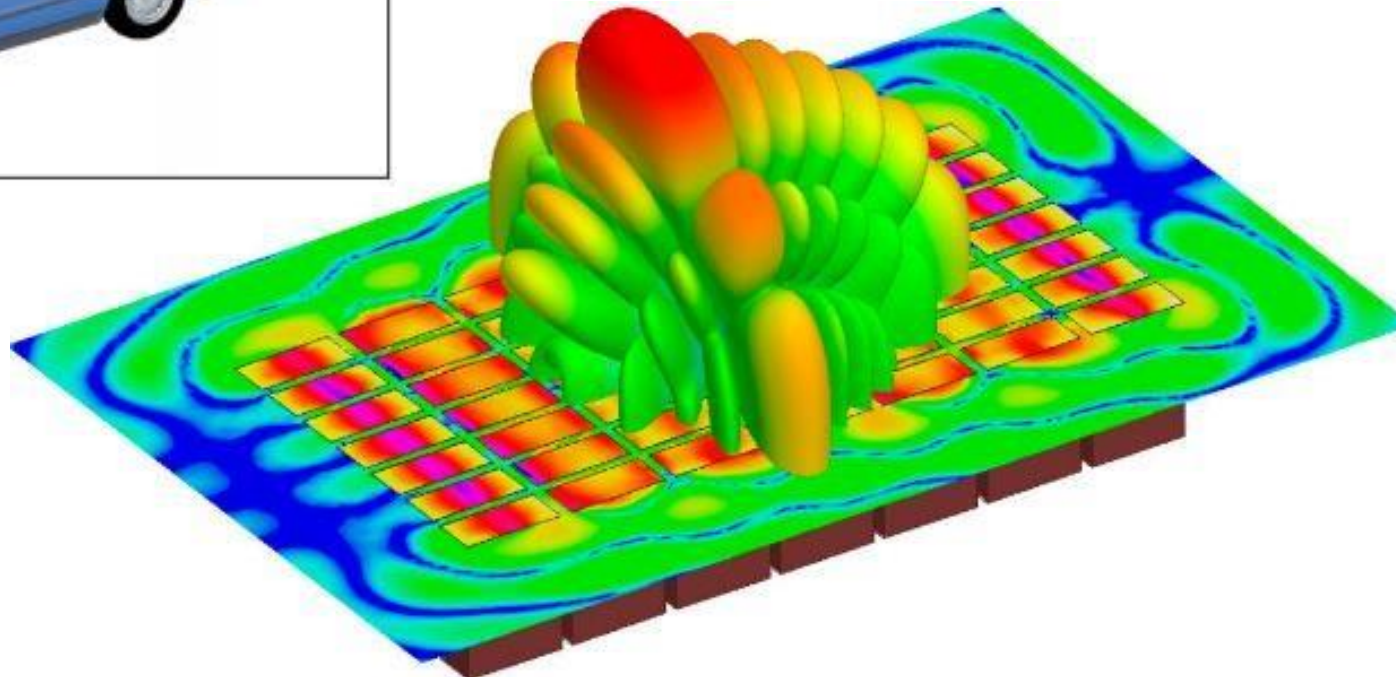
Sistemas Aéreos No Tripulados....



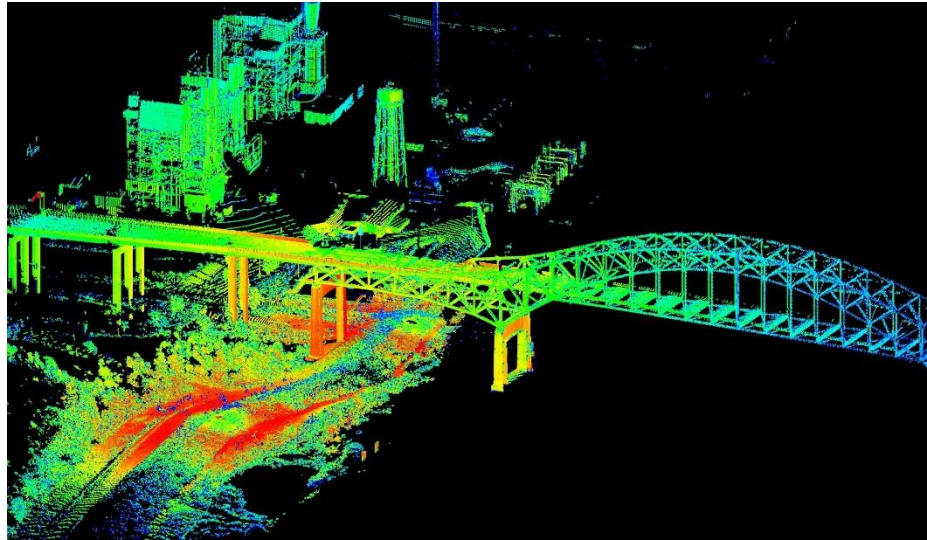
Algunas Aplicaciones



Herramientas CAD para
simulaciones electromagnéticas

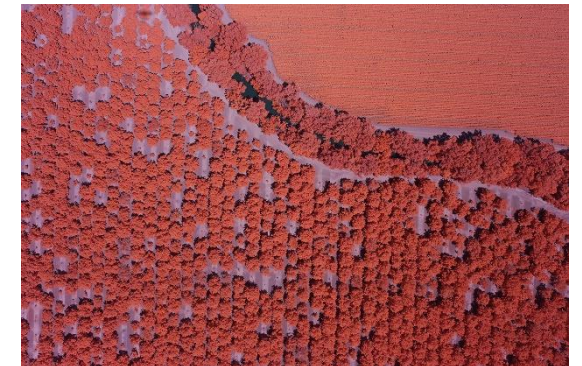
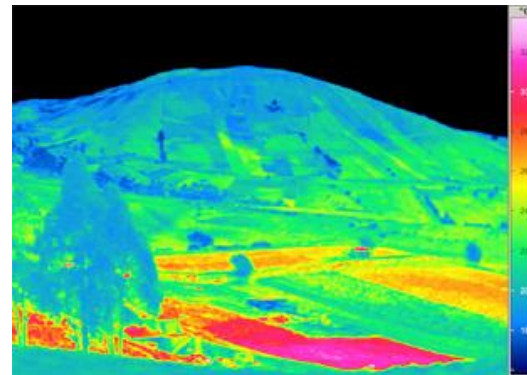
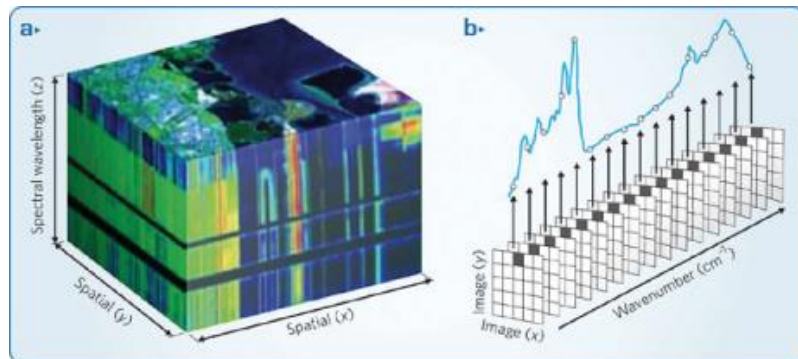
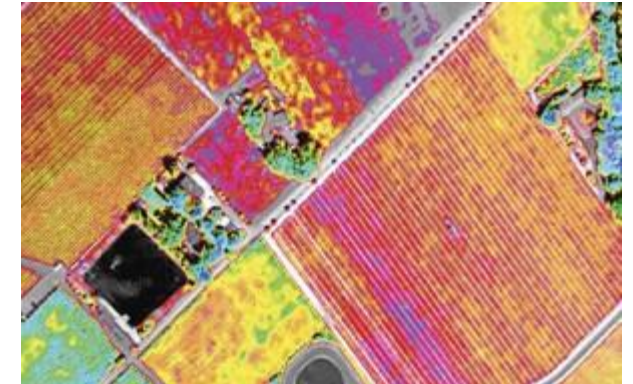


Algunas Aplicaciones



Sistemas UAS con:

- LiDAR,
- Cámara multispectral,
- hiperspectral,
- Infrarojo,
- Térmica



<https://youtu.be/dKb-PVt5PBc>

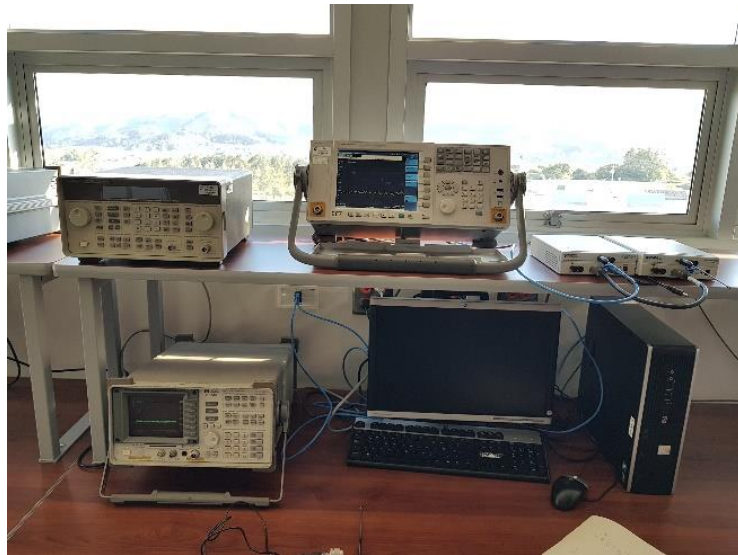
Contenidos y Cronograma

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

Laboratorio 1

Parte 1

Analizador Espectros, Generador RF,
Monitor Comunicaciones



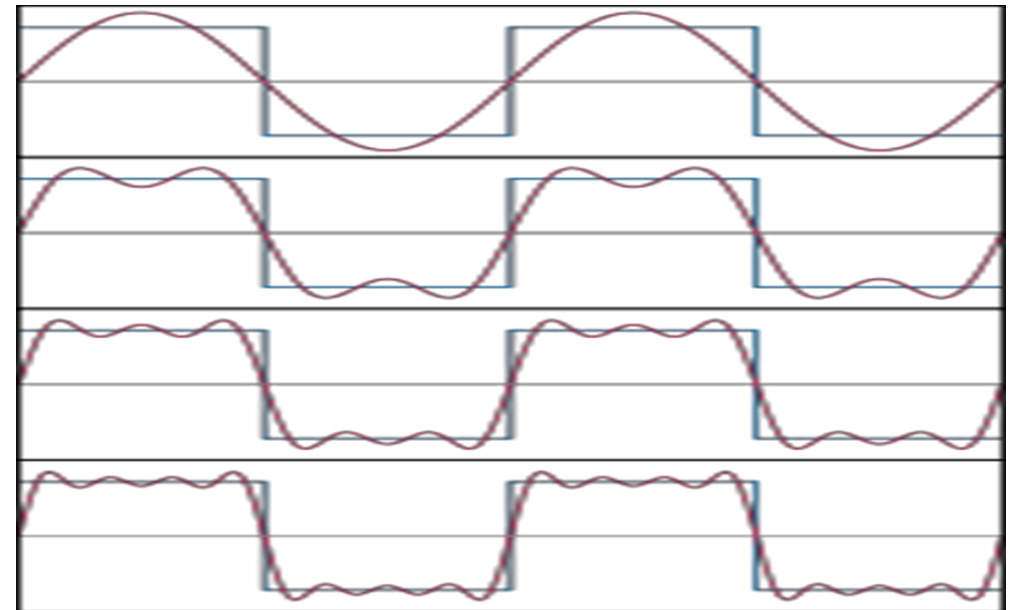
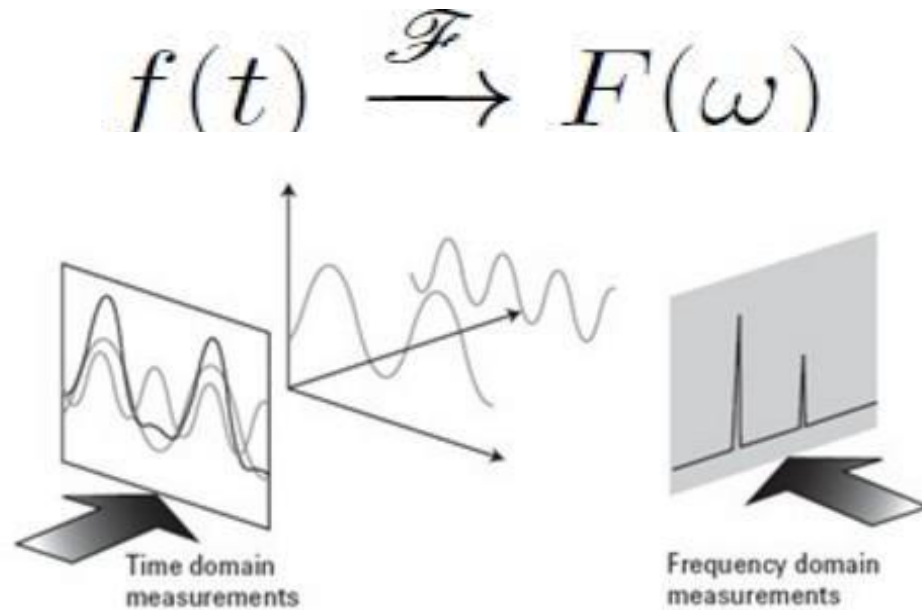
Parte 2 Transceptor RF



Espectro

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

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



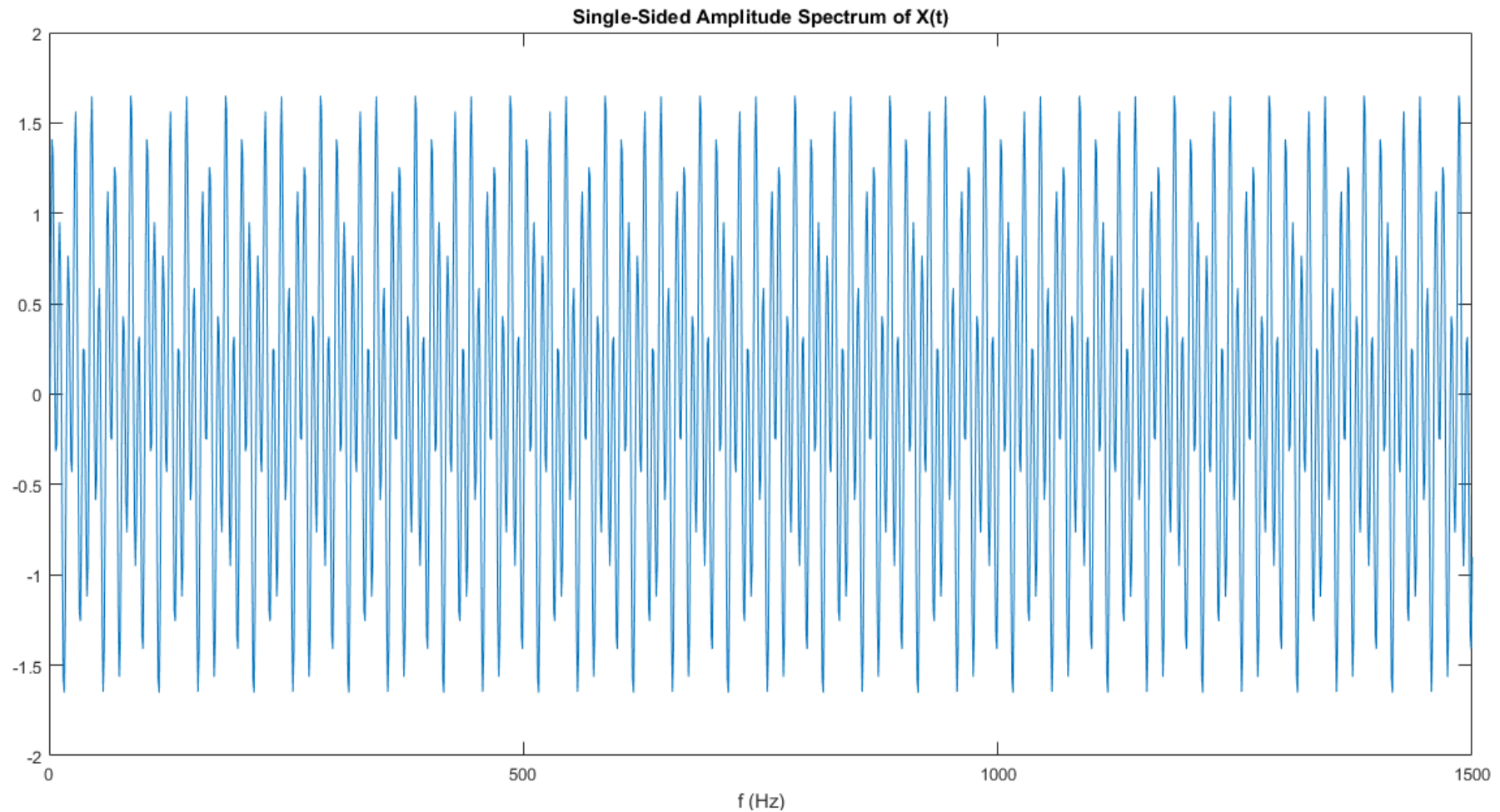
Espectro

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

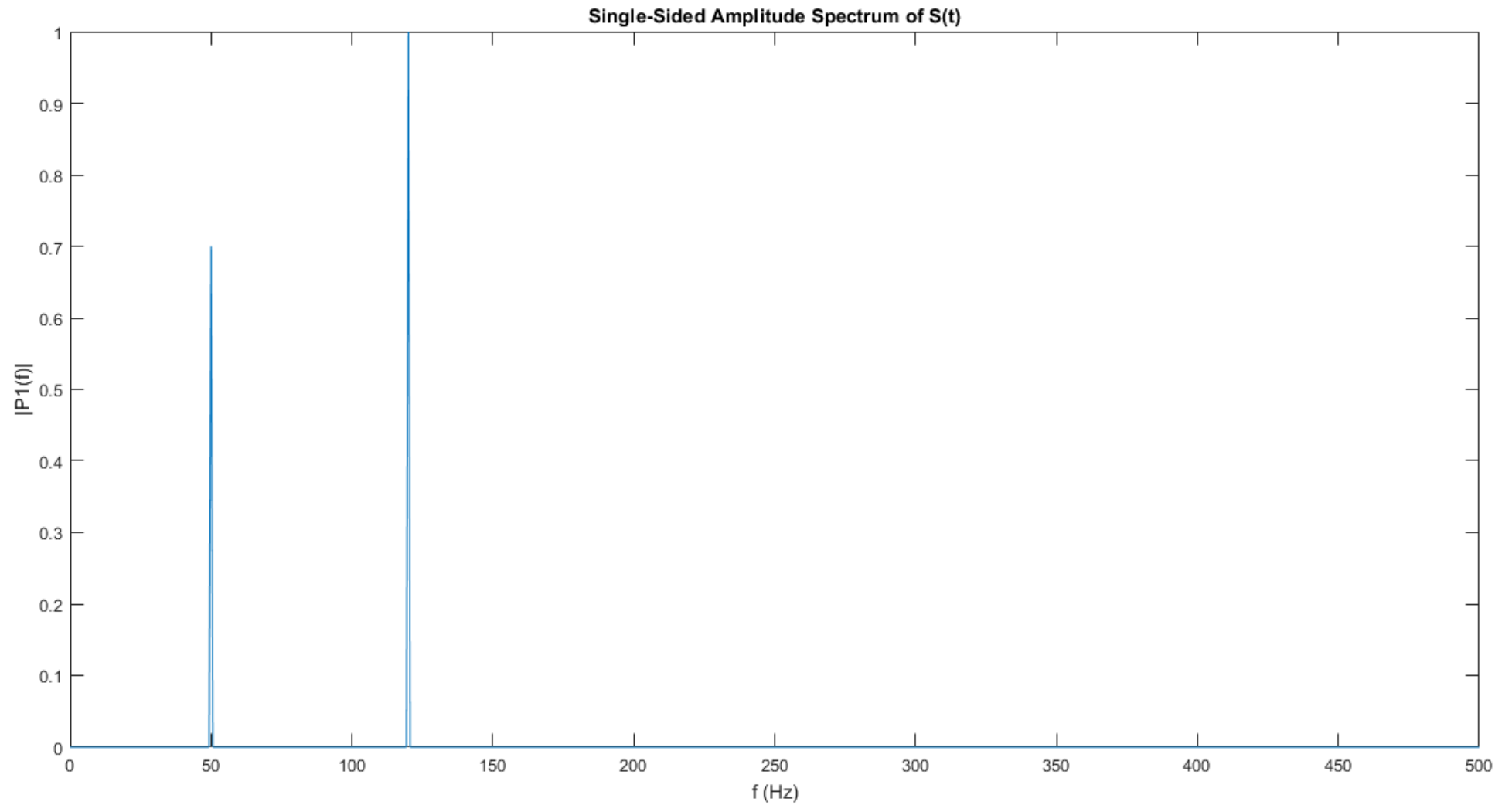
Considere que se tiene un par de señales tales como:

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

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

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

Espectro



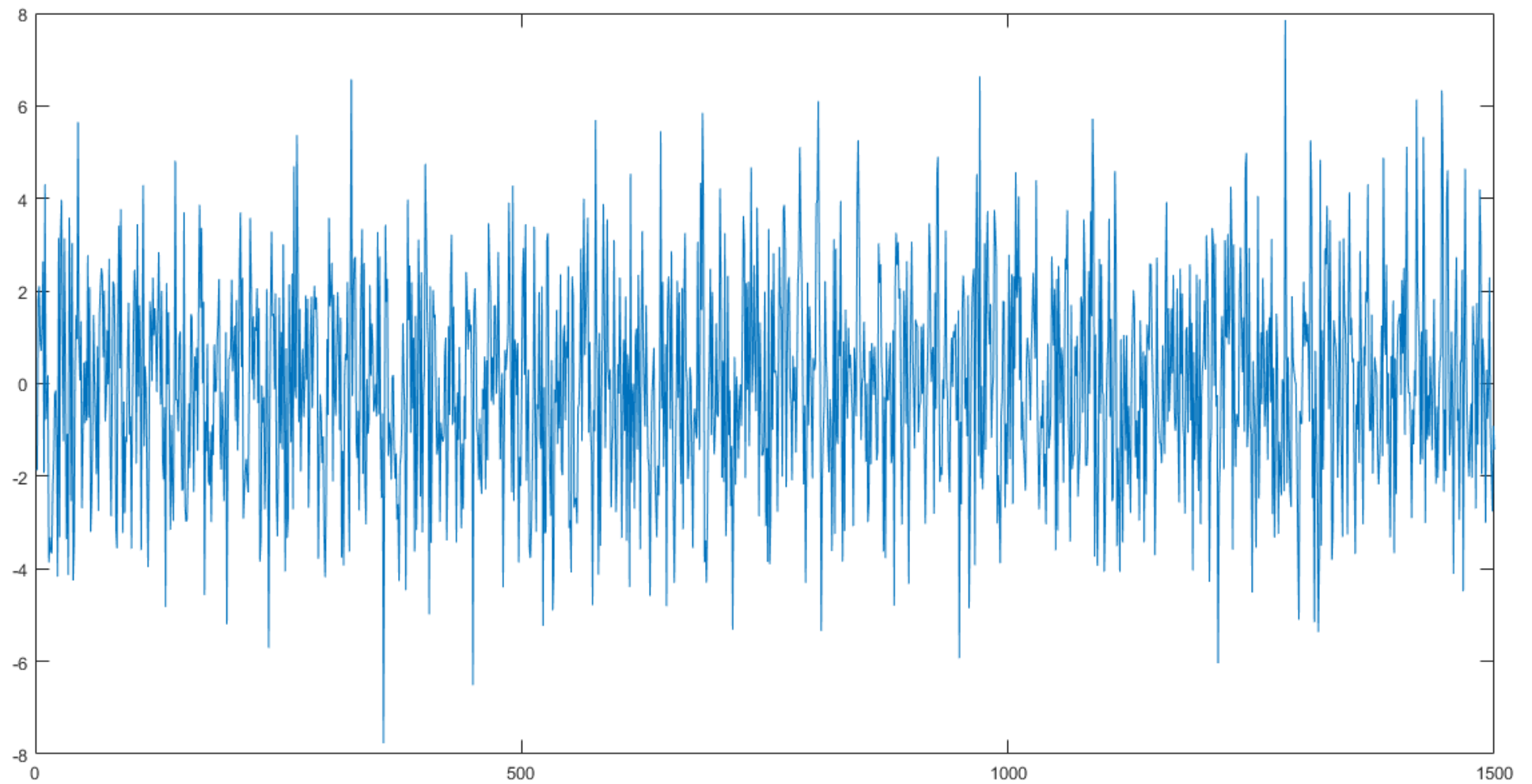
Espectro

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

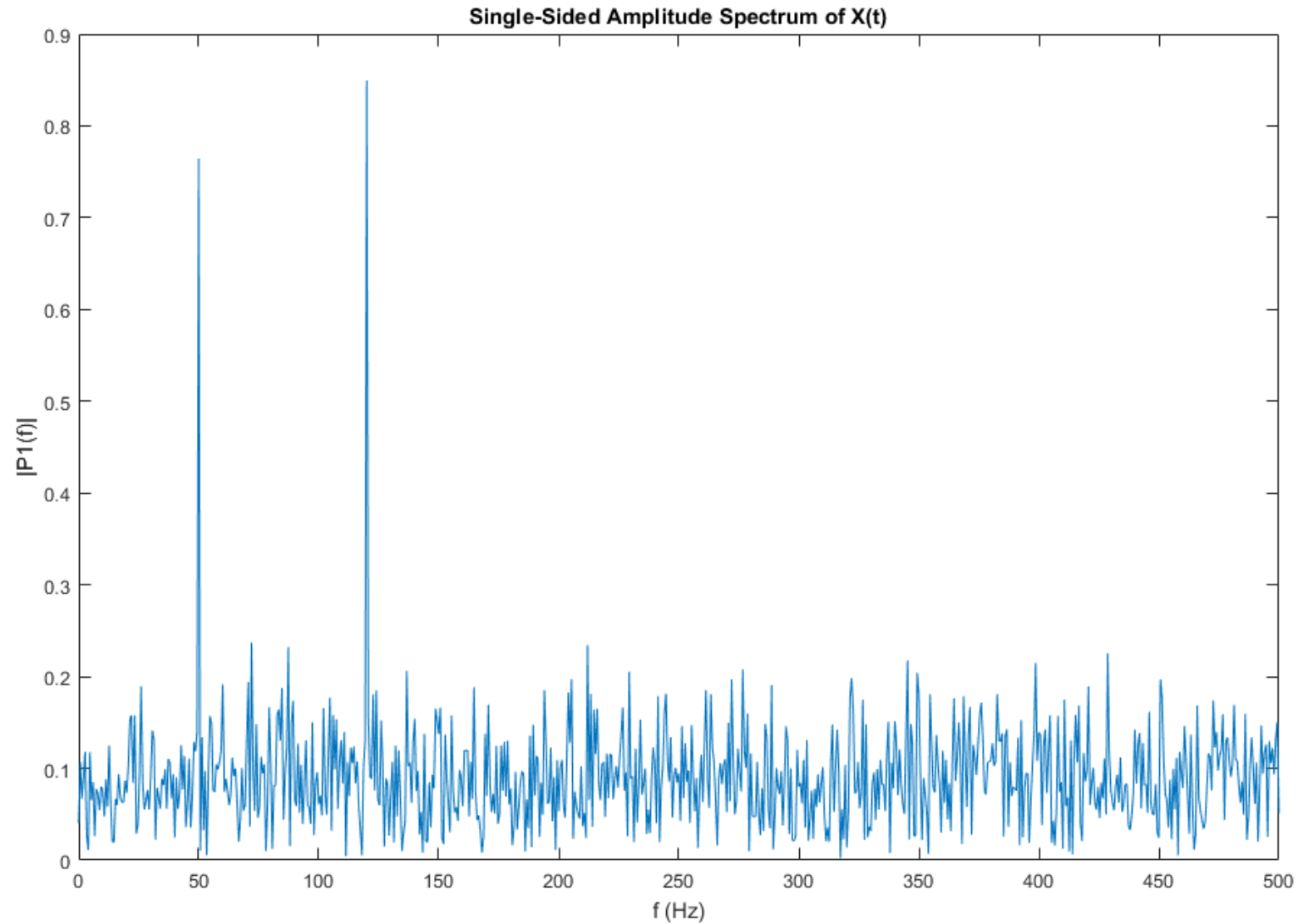
Considere que se tiene un par de señales tales como:

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

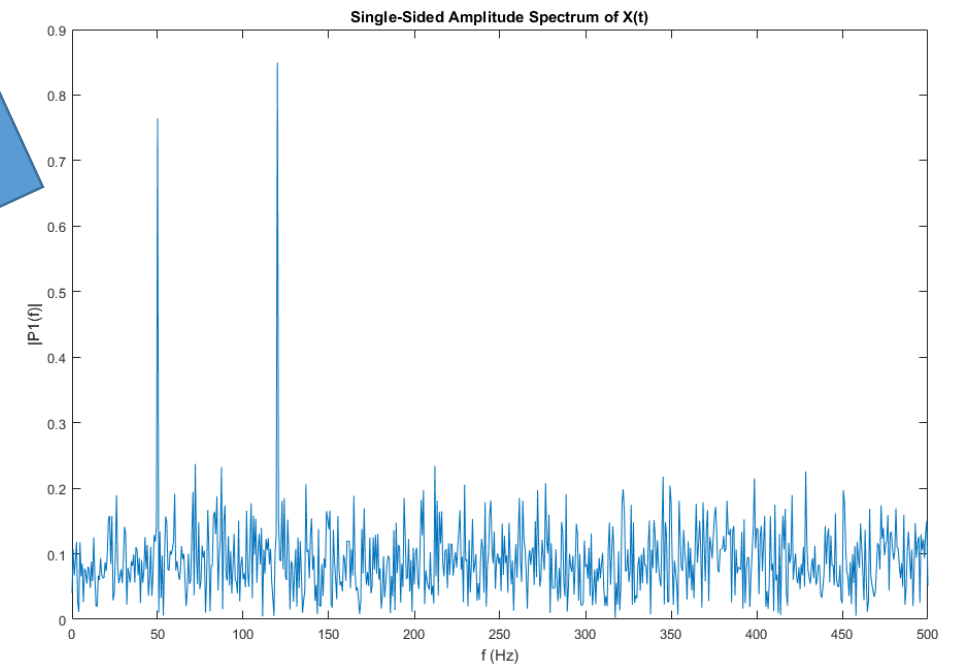
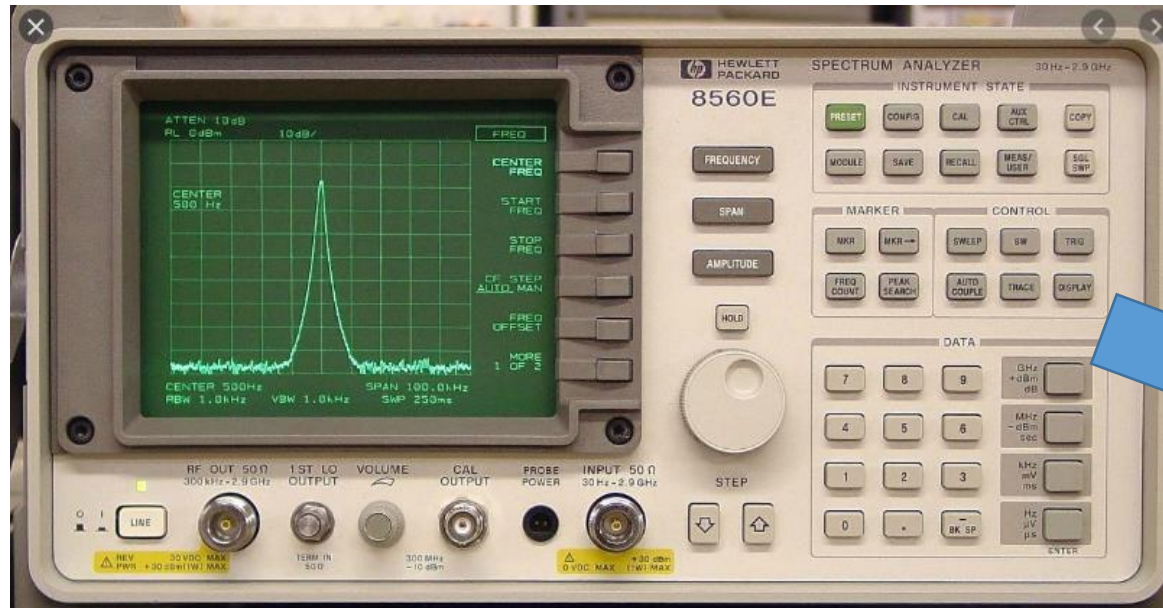
Si a la $s(t)$ con el ruido adicionado se le aplica una transformada rápida de Fourier

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

Espectro

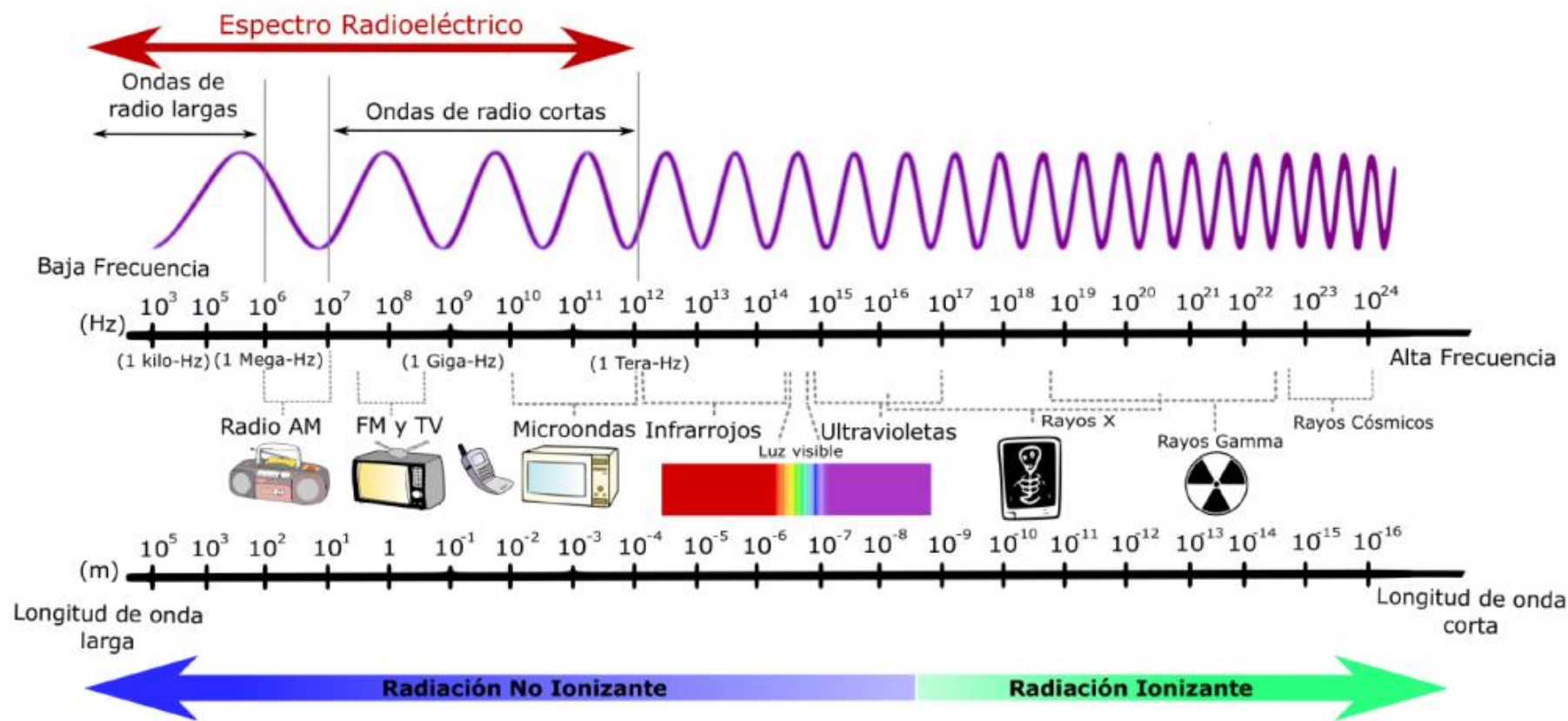


Espectro



Espectro Electromagnético

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



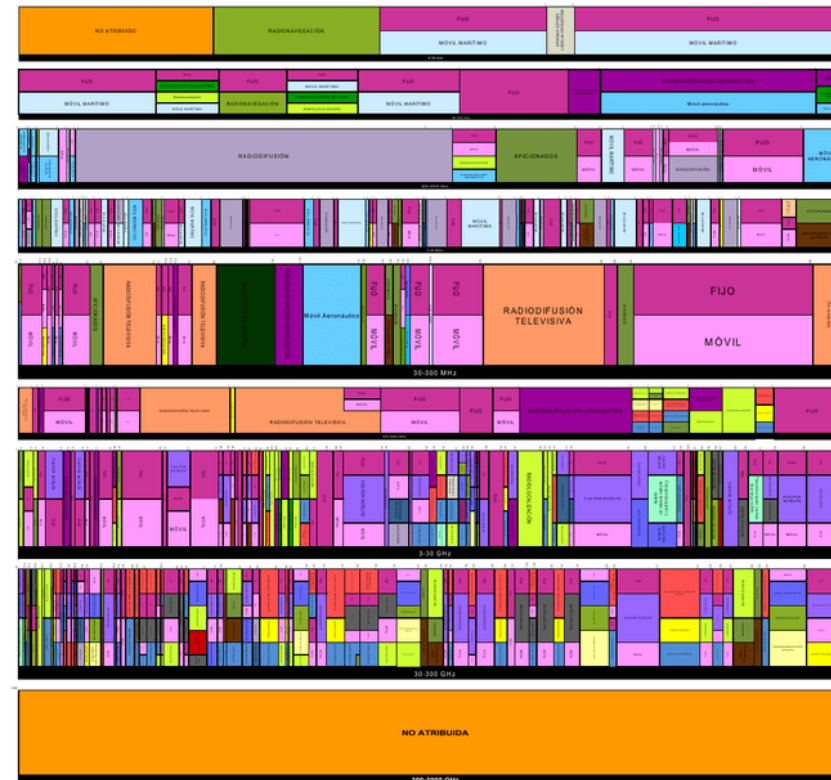
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Espectro Radioeléctrico

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



Distribución del Espectro Radioeléctrico en Costa Rica

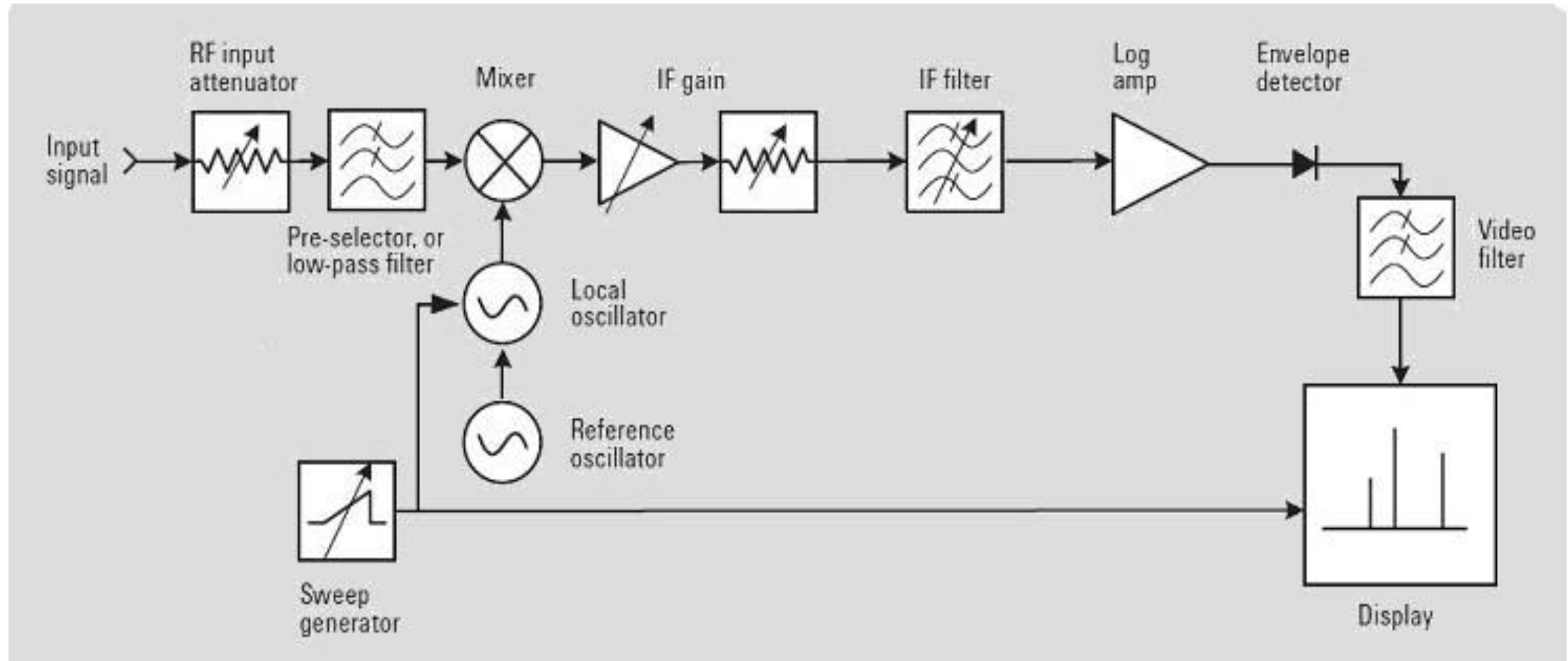


Analizador de Espectros

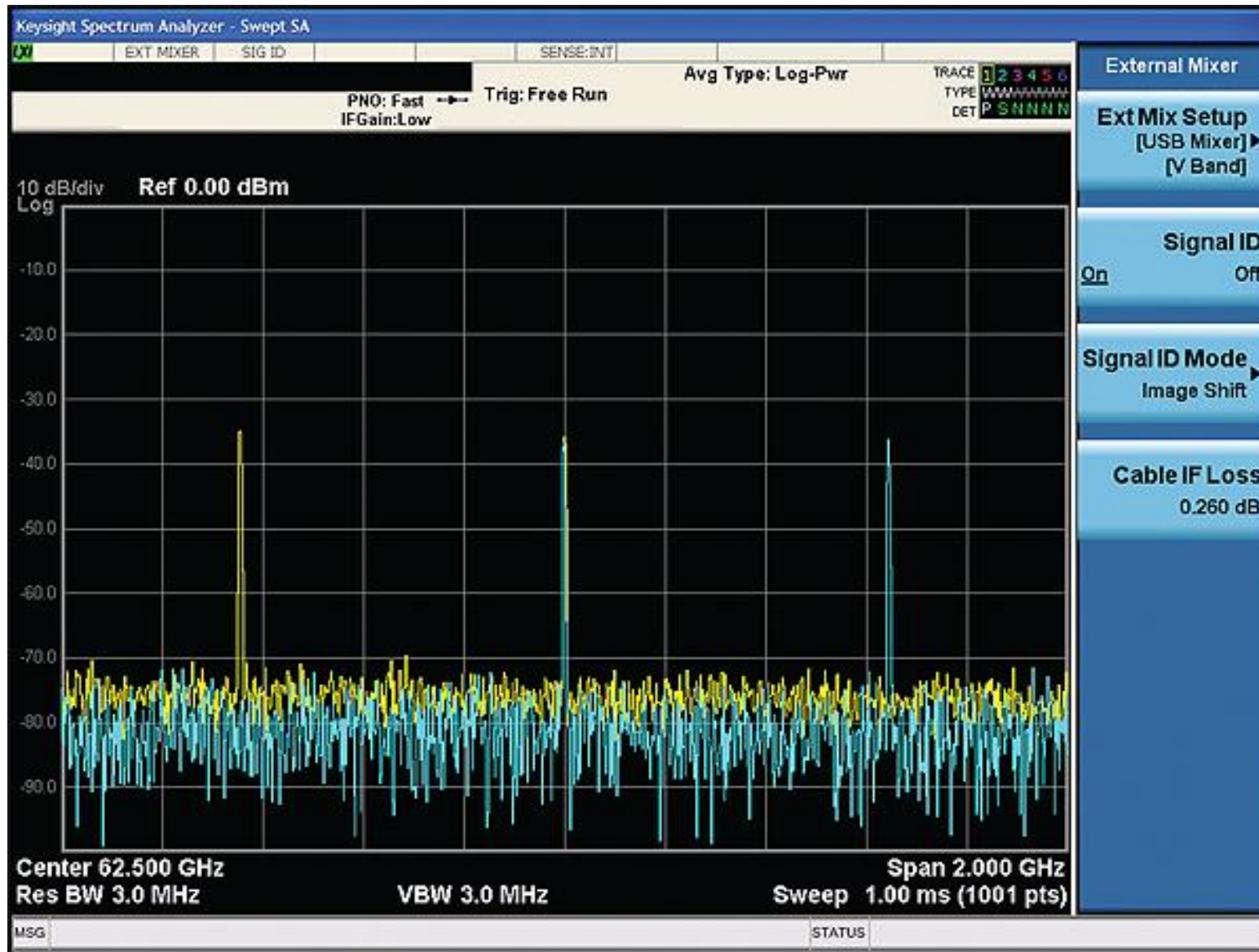
Es un instrumento de laboratorio que permite visualizar y medir el espectro de una señal. Es semejante a un osciloscopio, pero es capaz de realizar mediciones en el dominio de la frecuencia en lugar del dominio del tiempo.



Analizador de Espectros

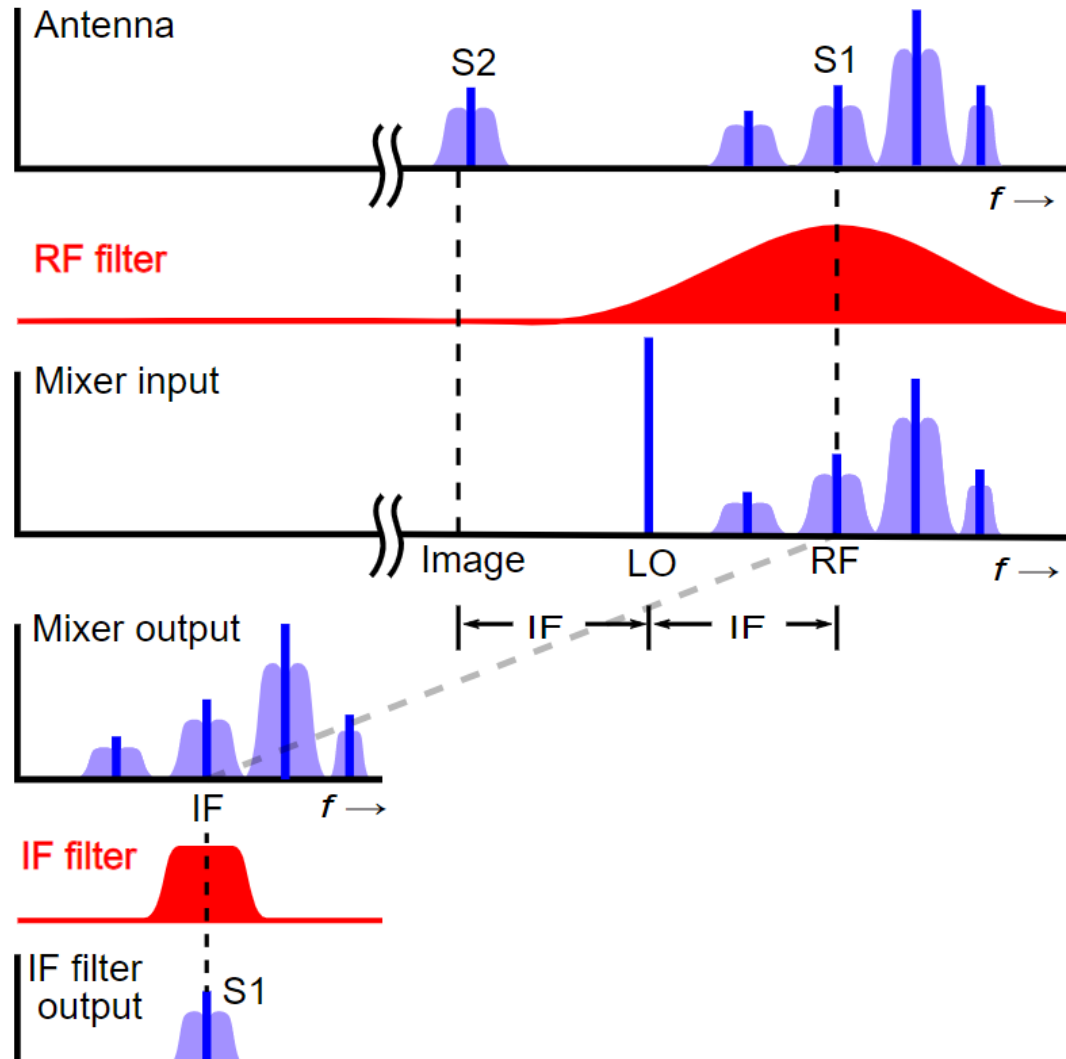


Analizador de Espectros



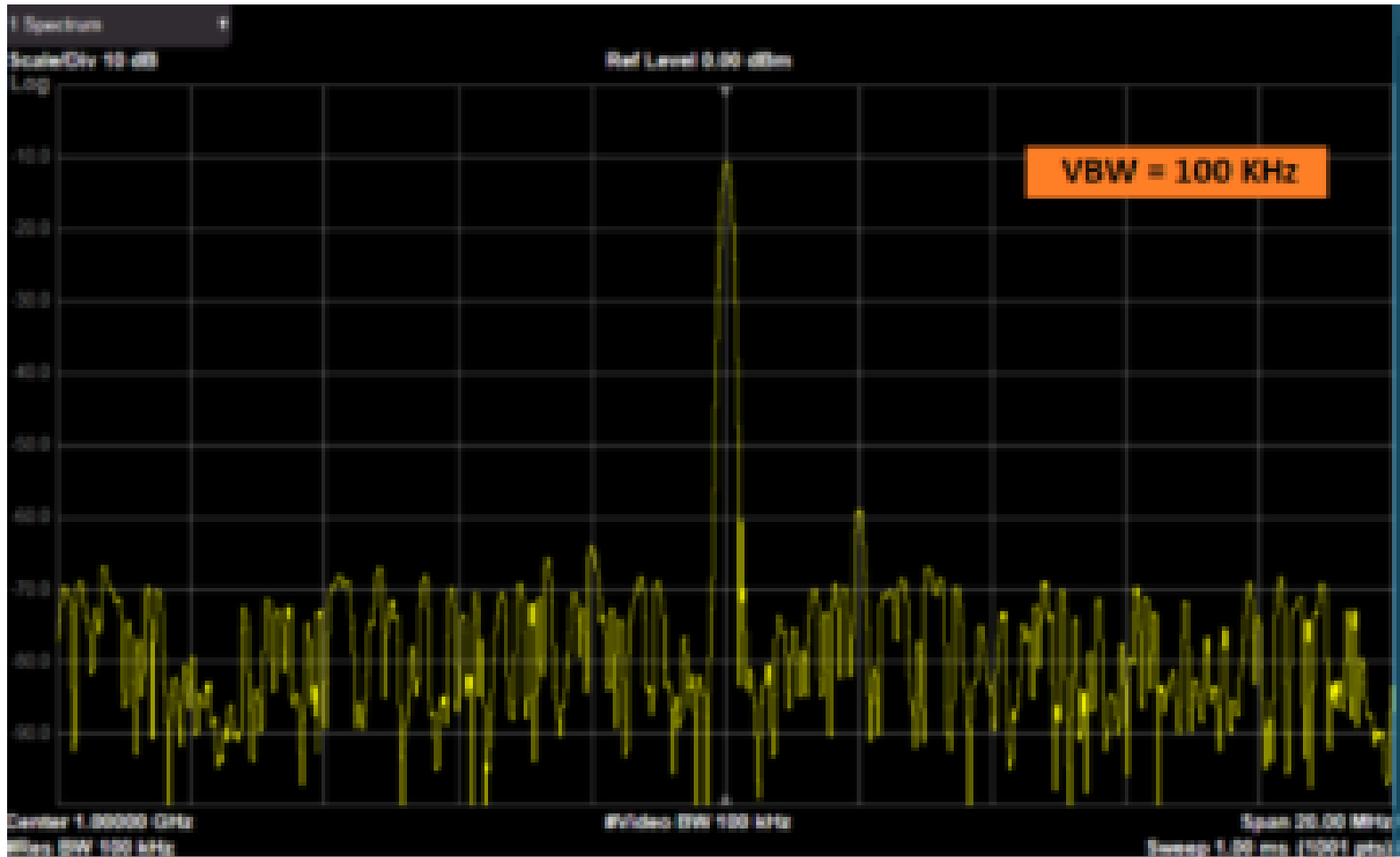
Mixer

Analizador de Espectros



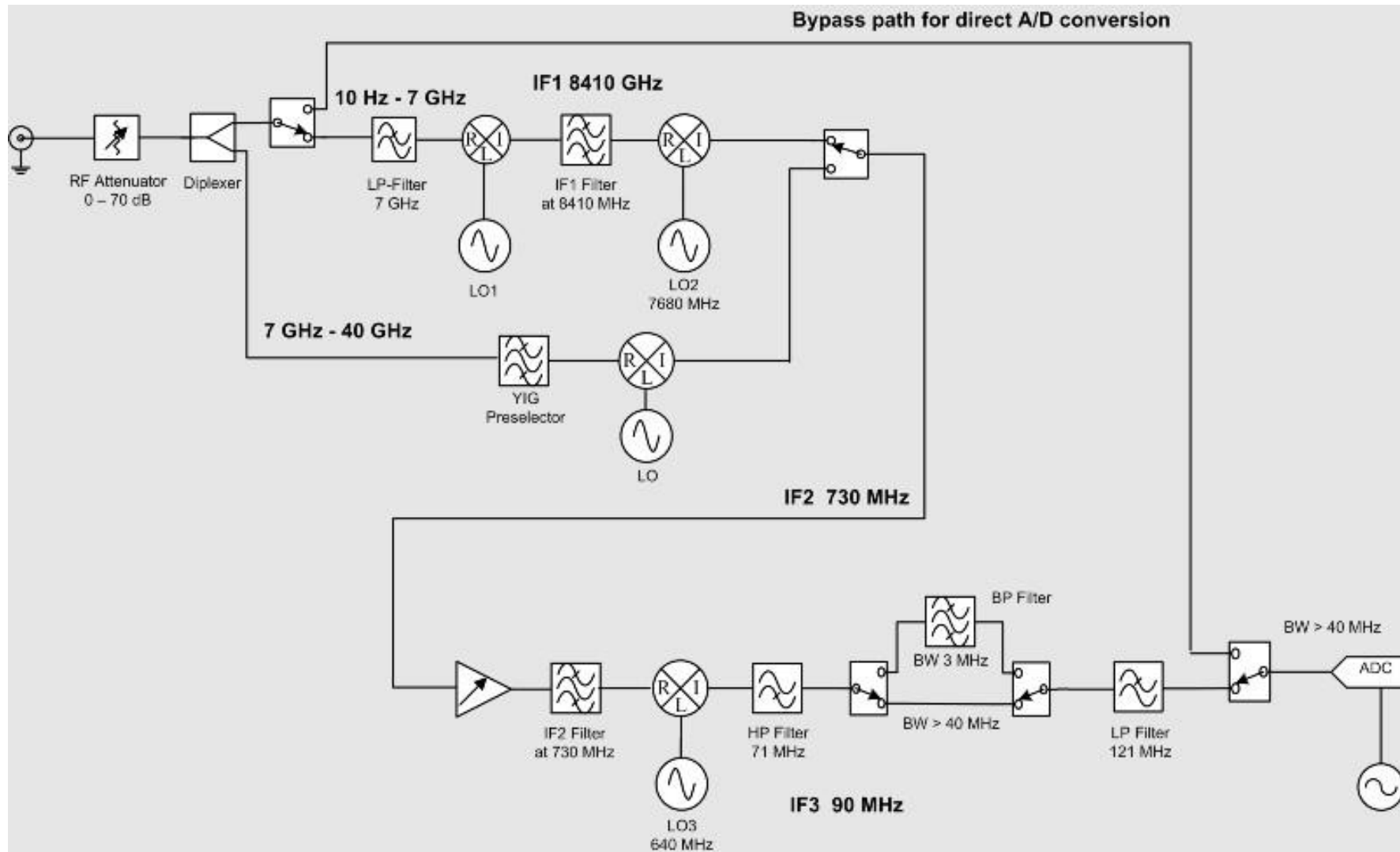
IF Filter

Analizador de Espectros



VBW

Analizador de Espectros



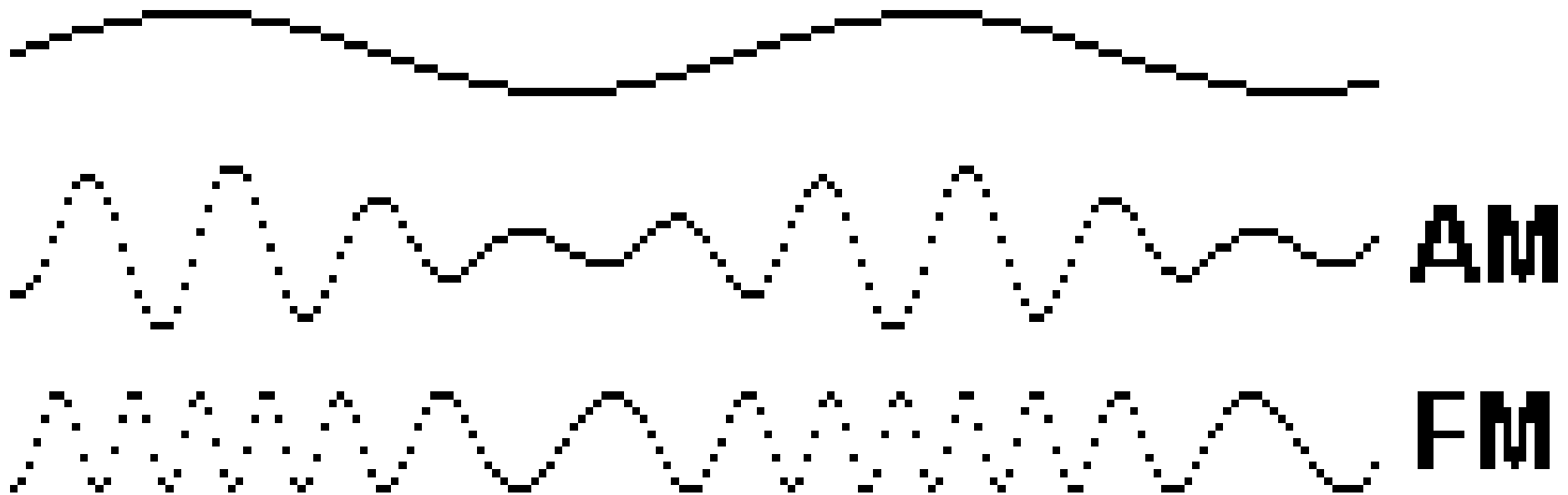
Modulación

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**”.

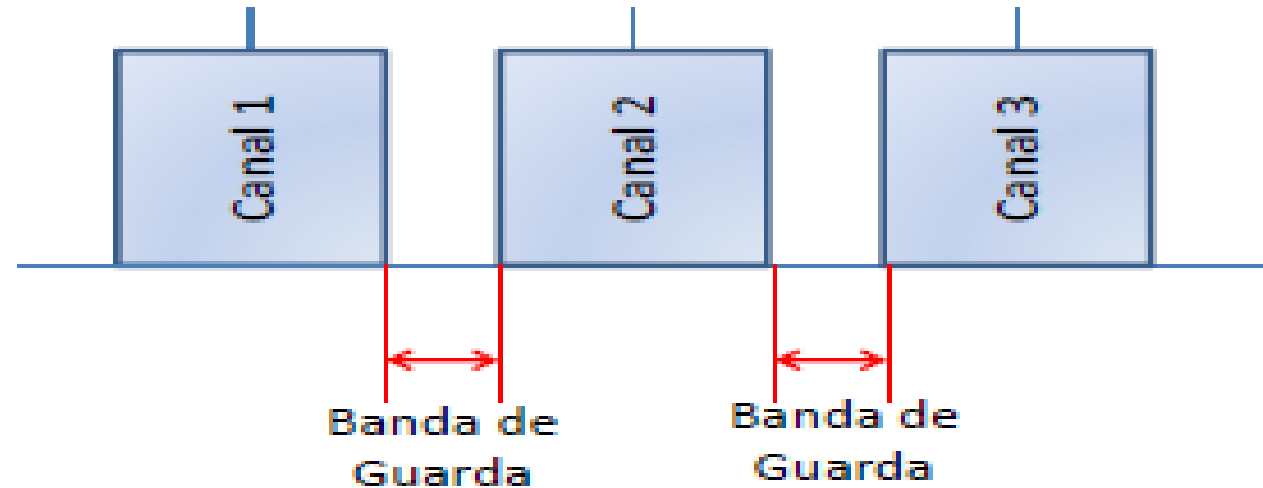
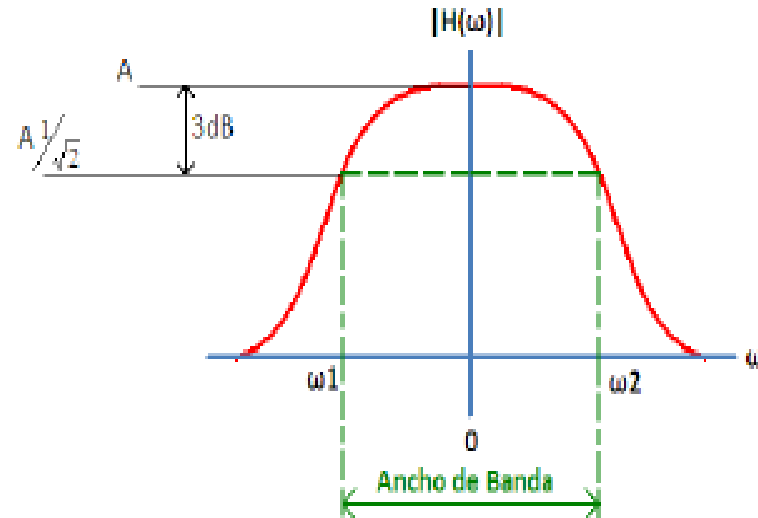
Banda base: Es la banda de frecuencias que representa la señal original tal y como la entrega la fuente de información.

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).

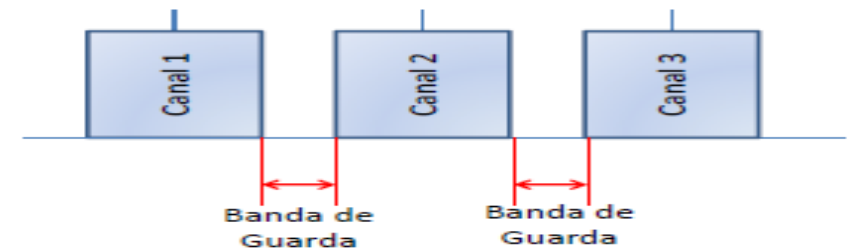
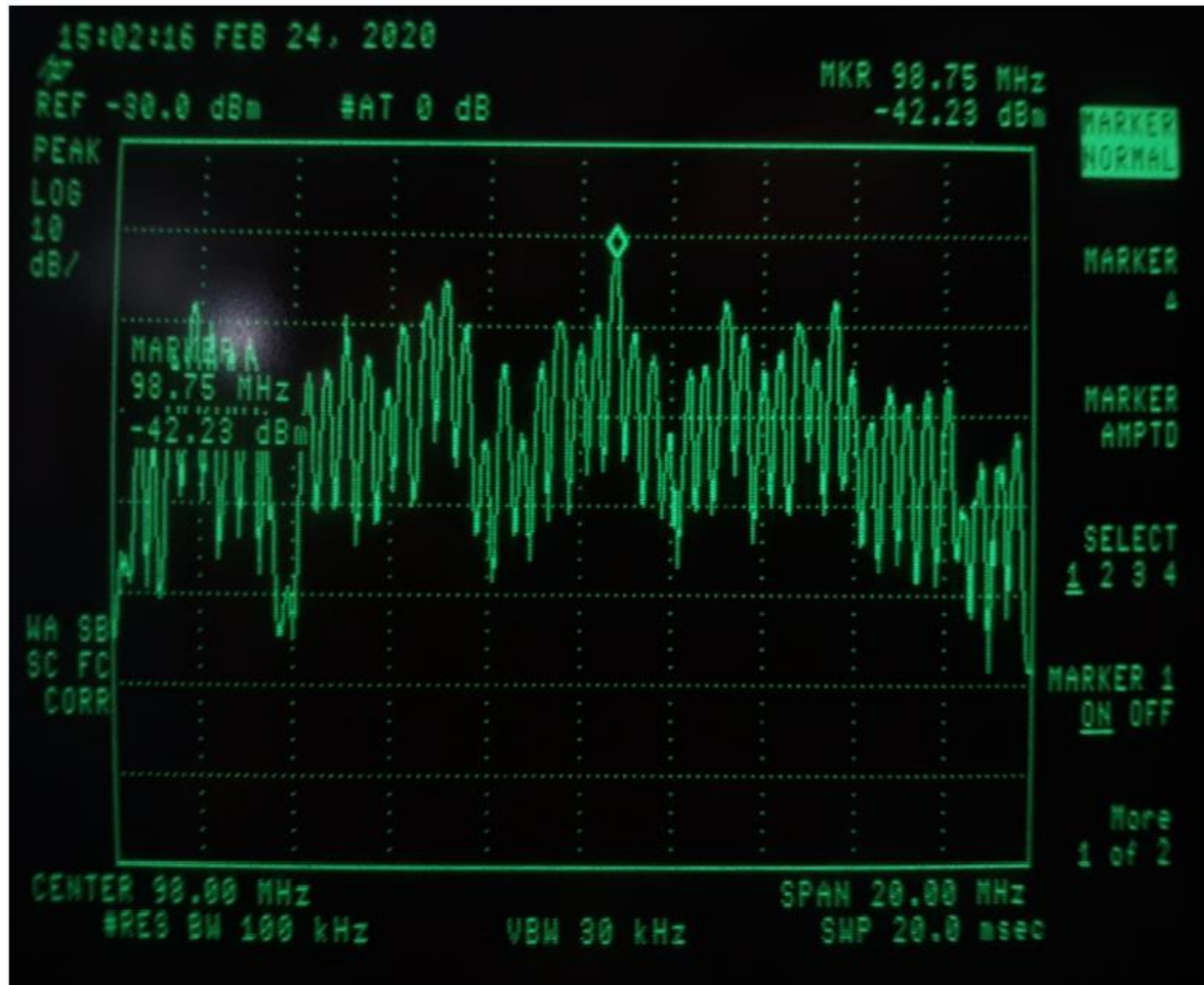
Modulación



Canales de Comunicación

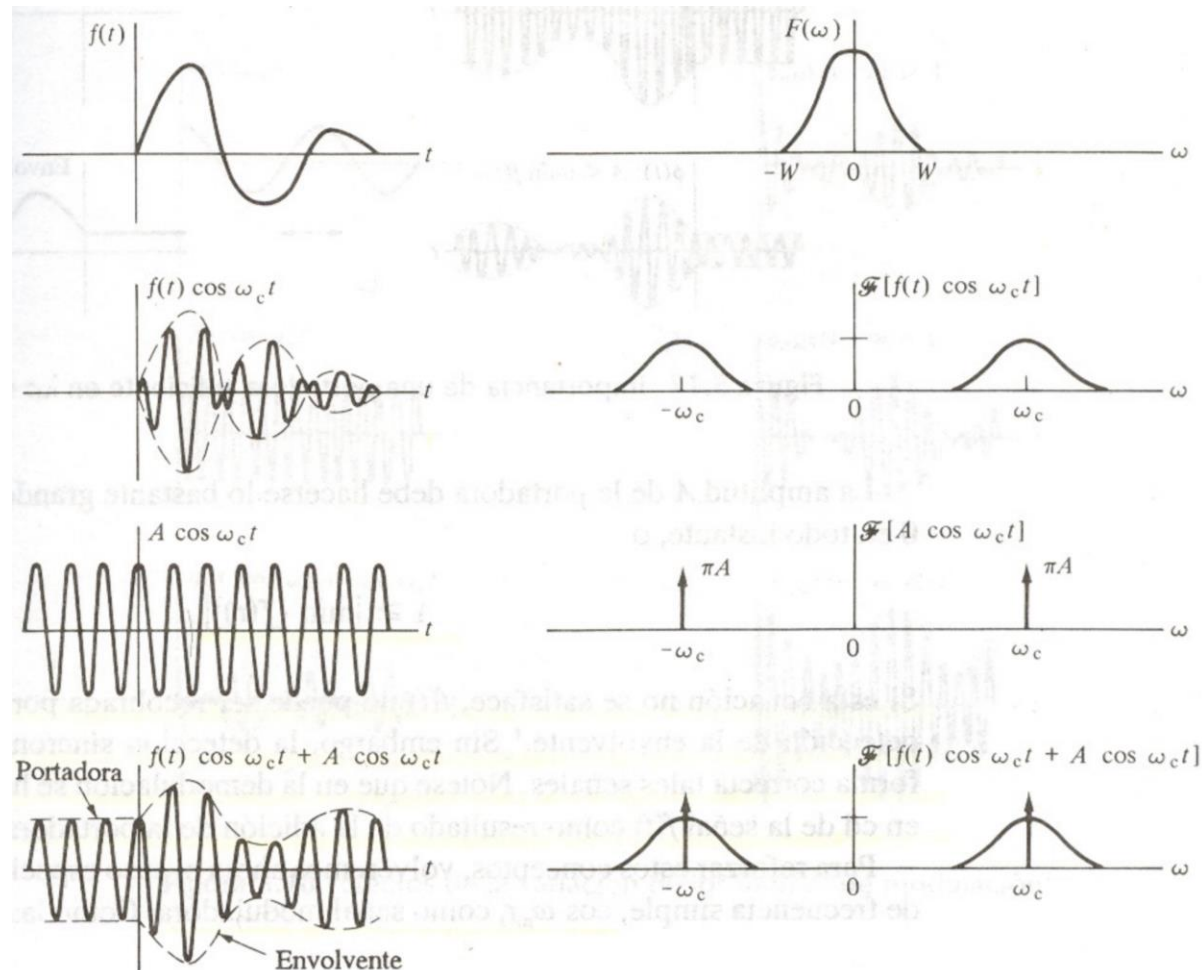


Canales de Comunicación



Modulación AM

La amplitud de la portadora varia 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*.

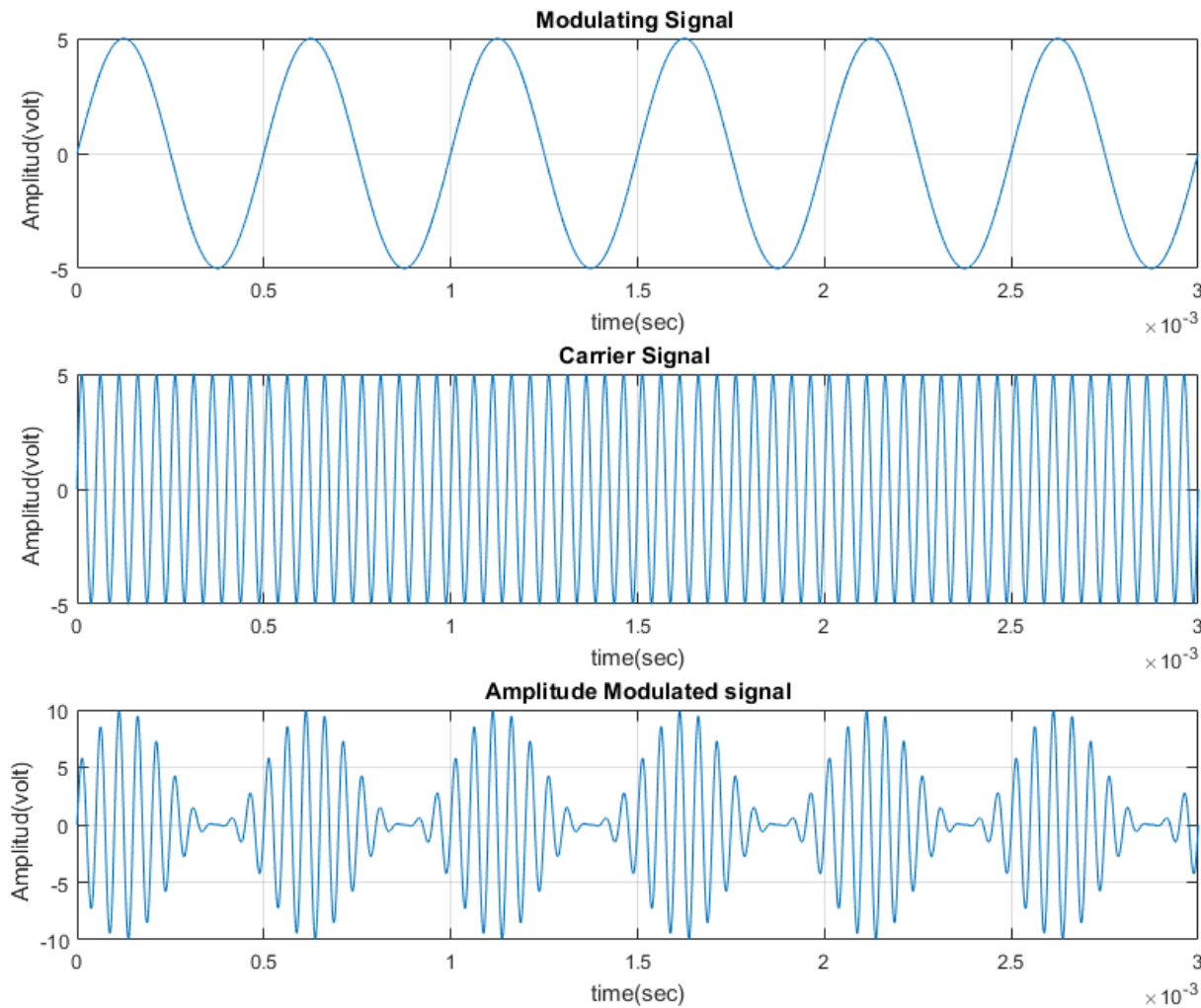


DSB-LC

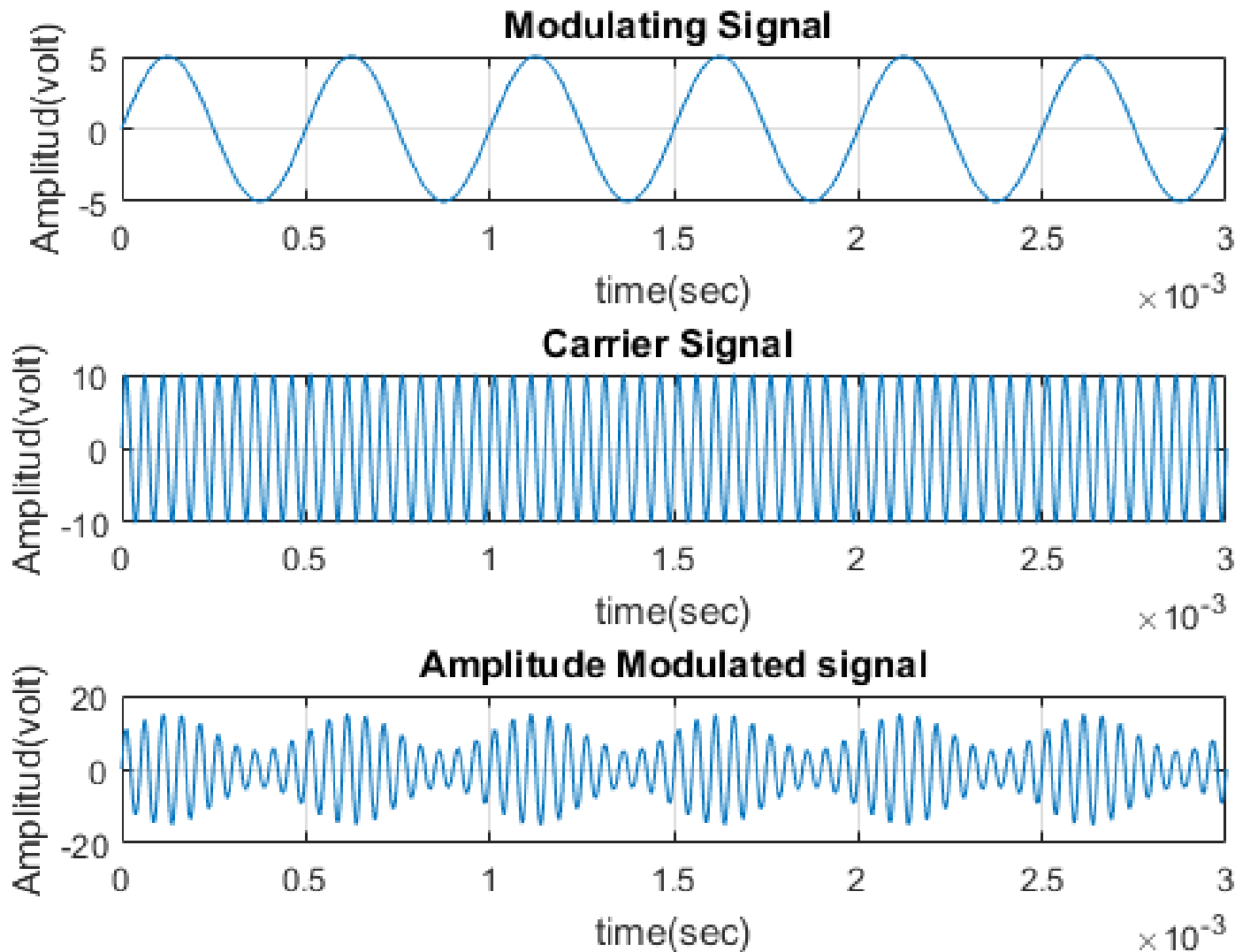
Modulación

Índice de
modulación

$$m = 1$$



Modulación

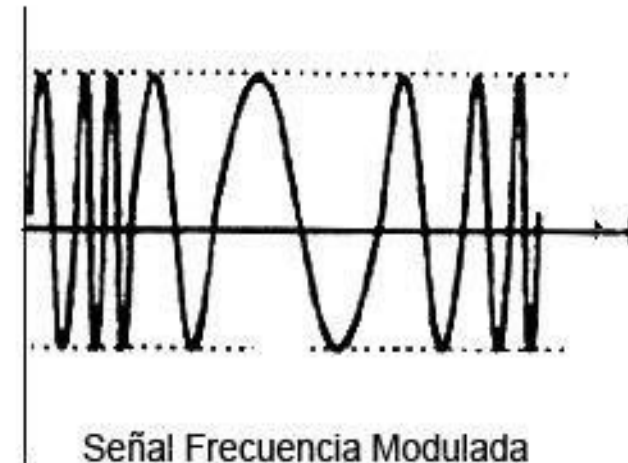
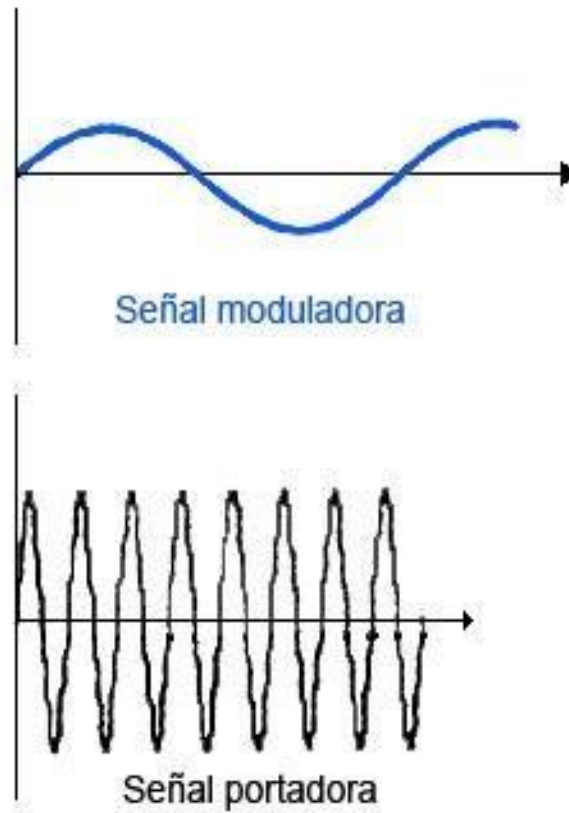


Índice de
modulación

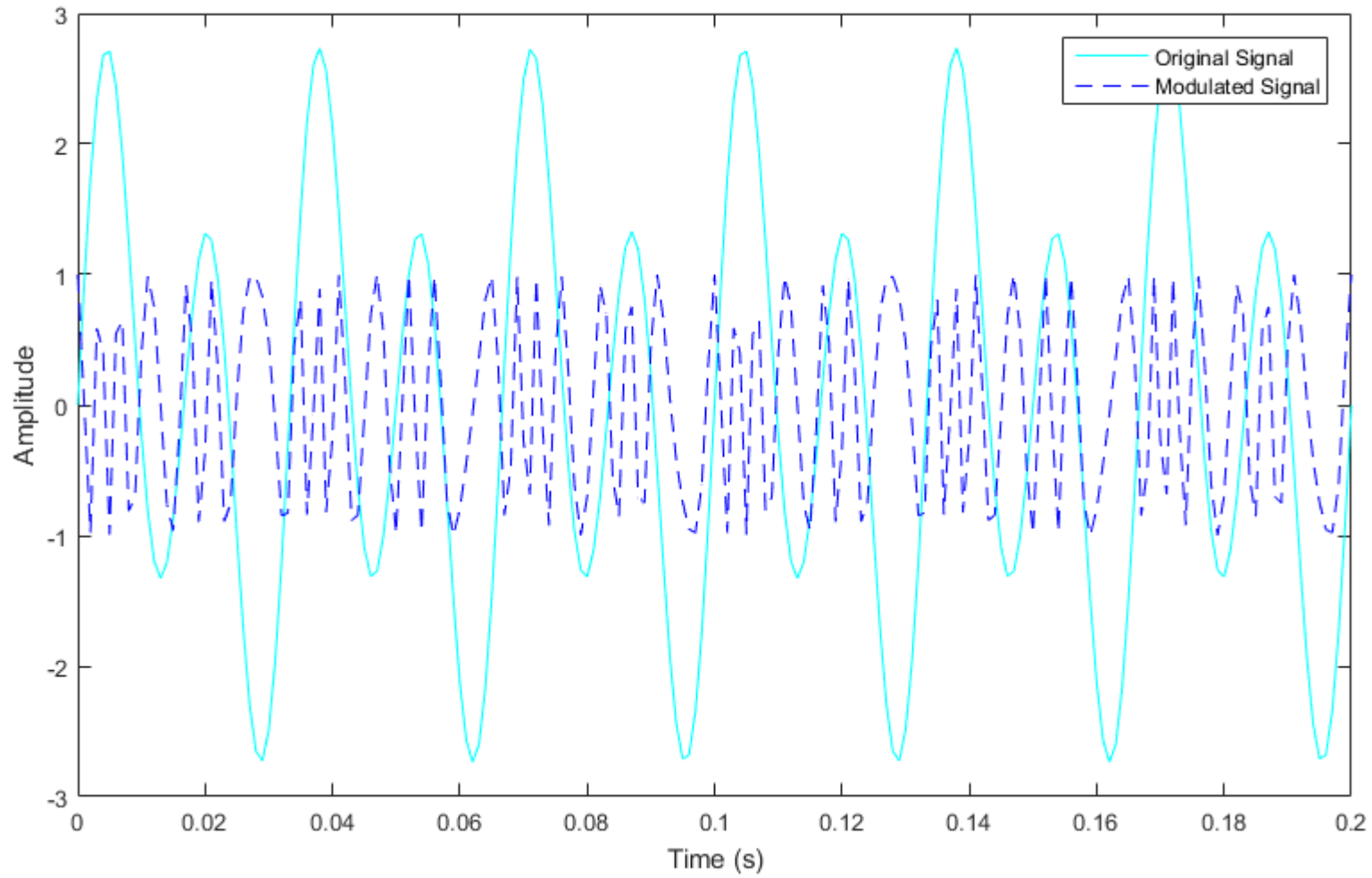
$$m = 0,5$$

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.

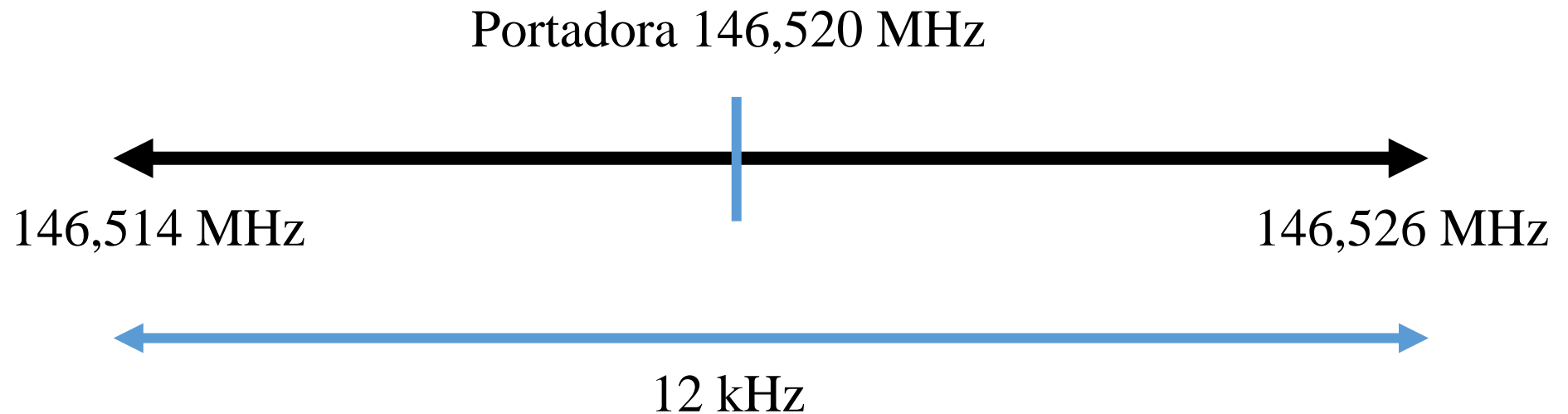


Modulación FM

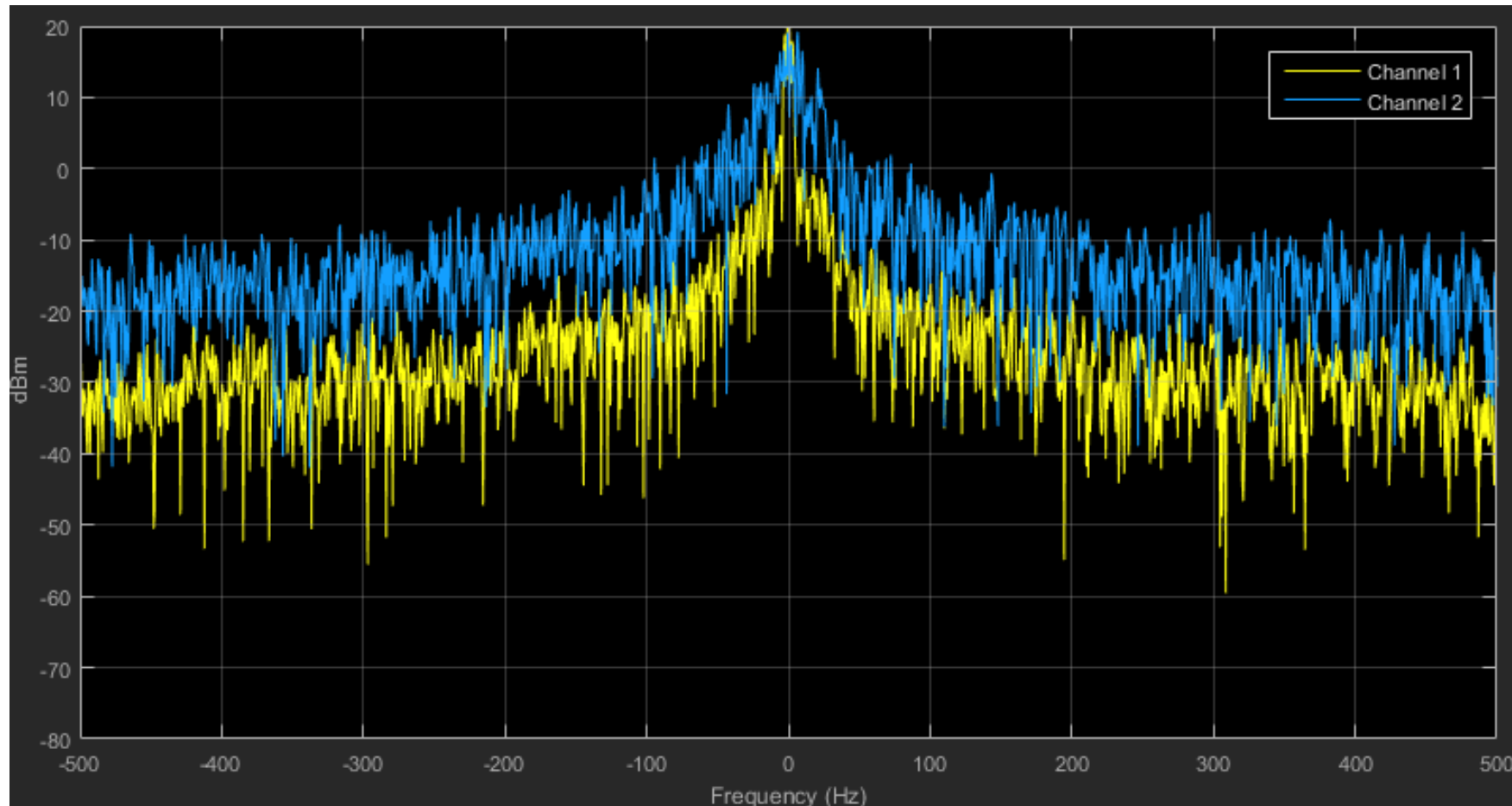


Desviación frecuencia

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



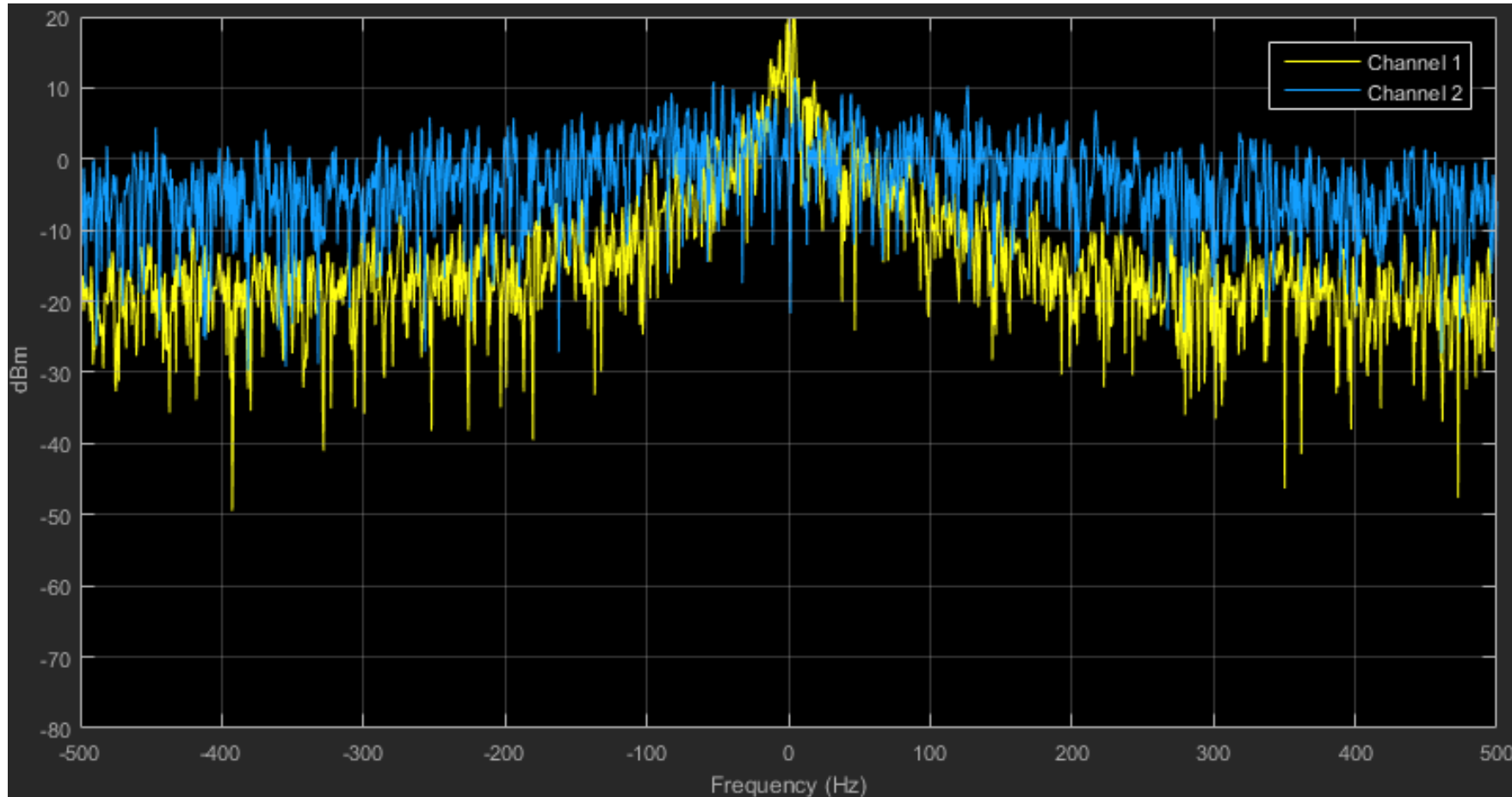
Desviación frecuencia



Canal 1 Señal ideal

Canal 2 Señal con
desviación de 10
Hz y ruido

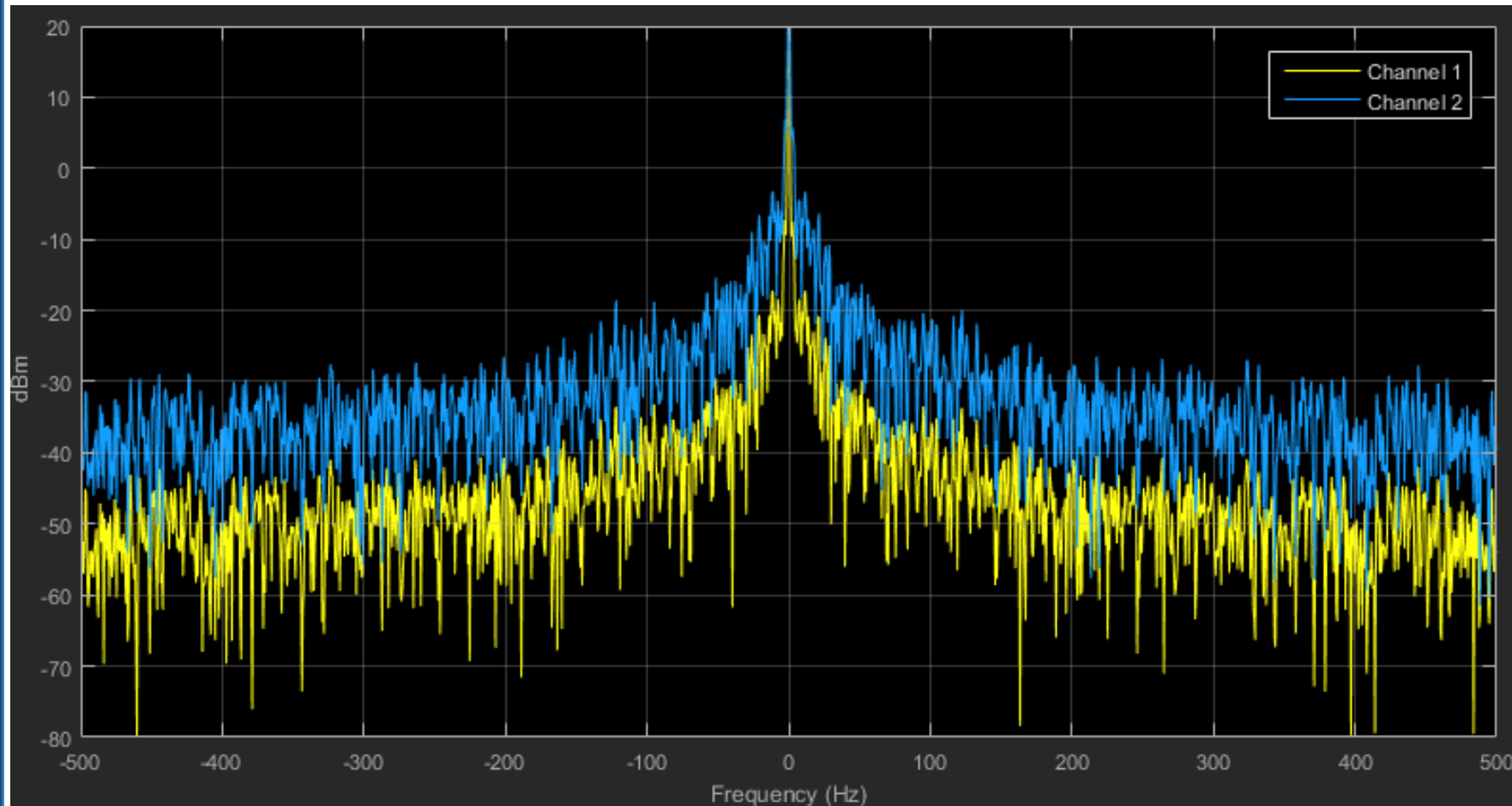
Desviación frecuencia



Canal 1 Señal ideal

Canal 2 Señal con
desviación de 40
Hz y ruido

Desviación frecuencia



Canal 1 Señal ideal

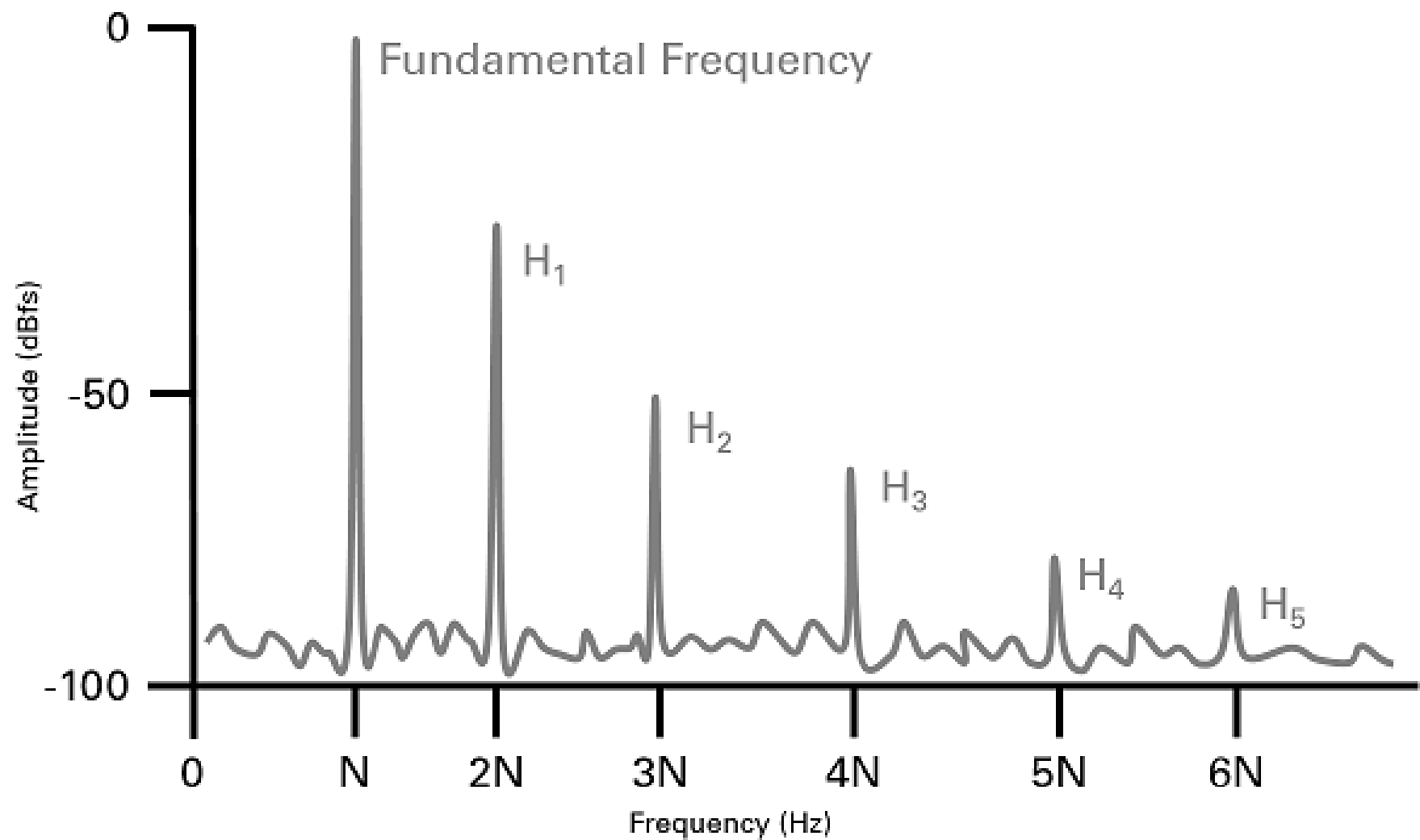
Canal 2 Señal con
ruido sin
desviacion

THD

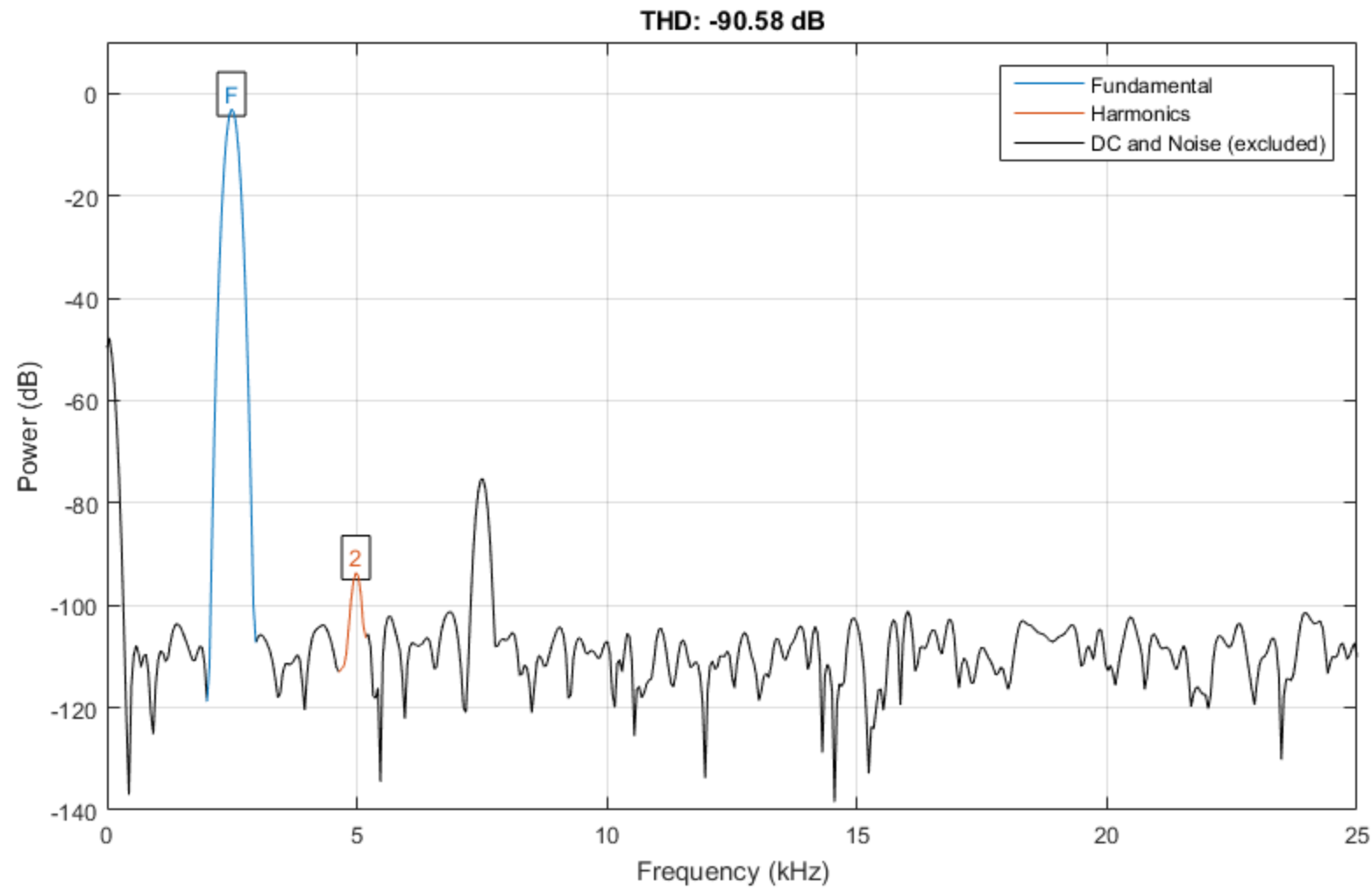
Este parámetro se define como el cociente de la suma de todas potencias de todos los armónicos en relación a la potencia del armónico fundamental. Generalmente este parámetro mide la distorsión armónica total.

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

THD

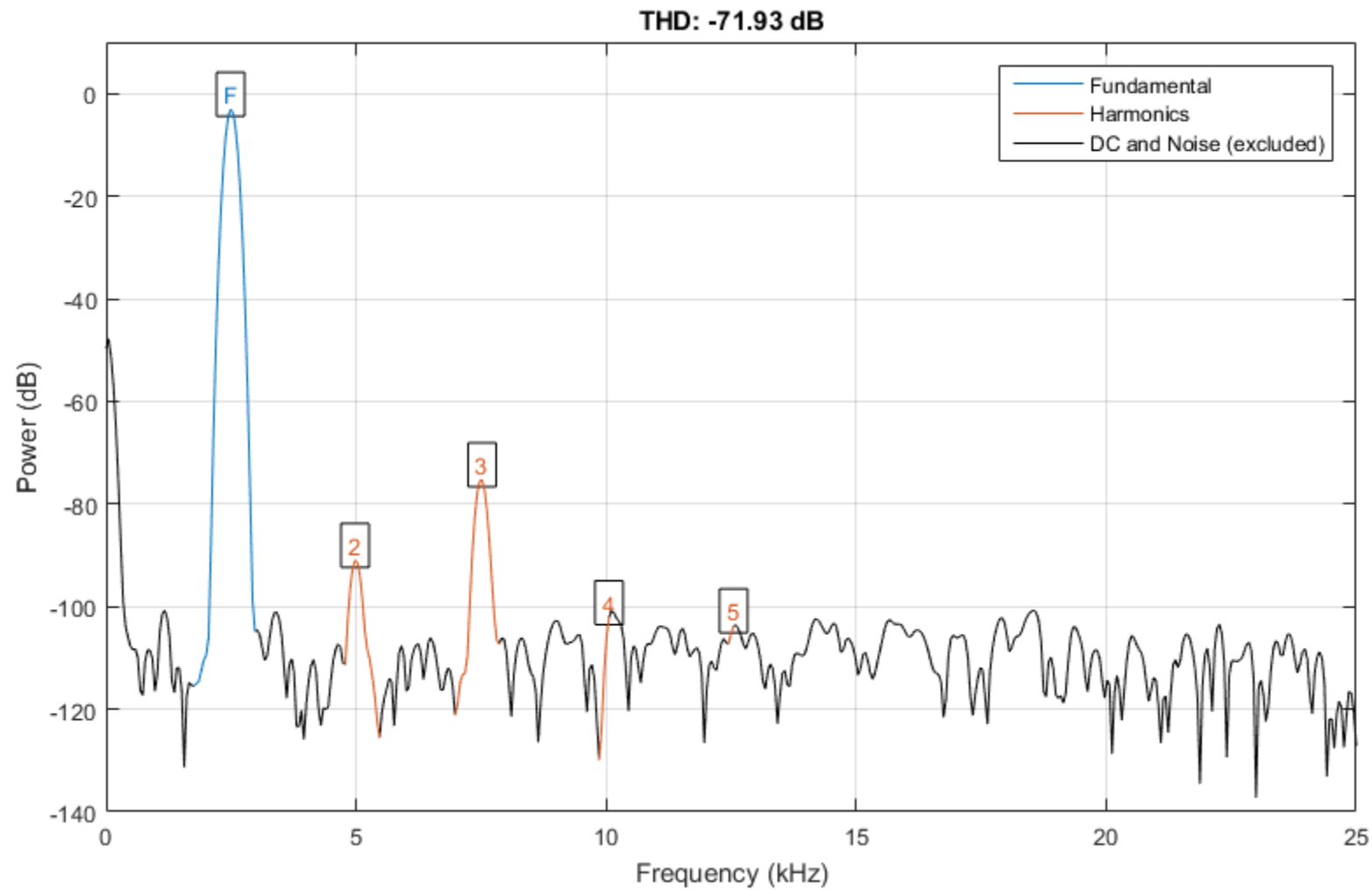


THD



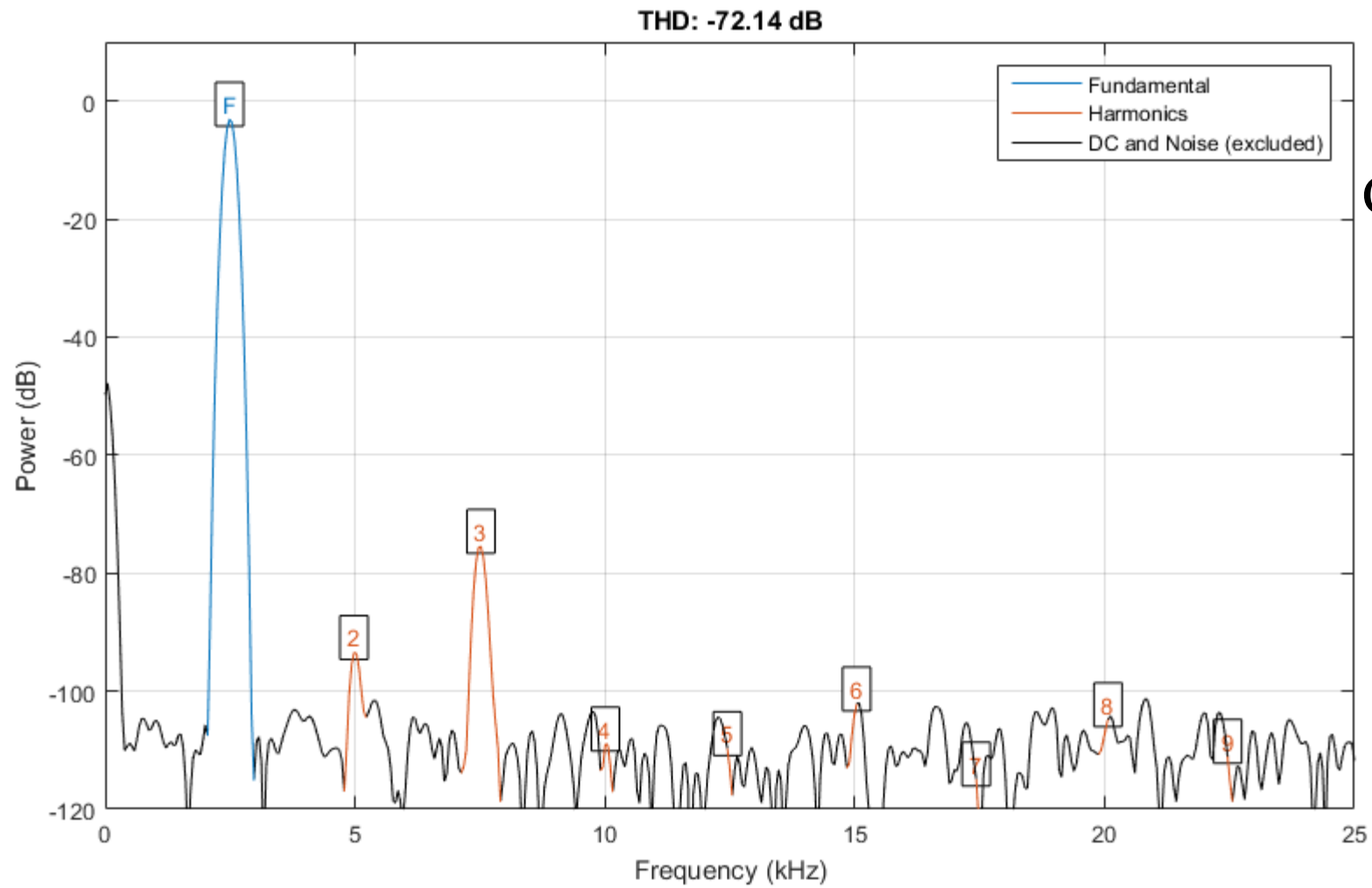
Con 2 armónicos

THD



Con 5 armónicos

THD



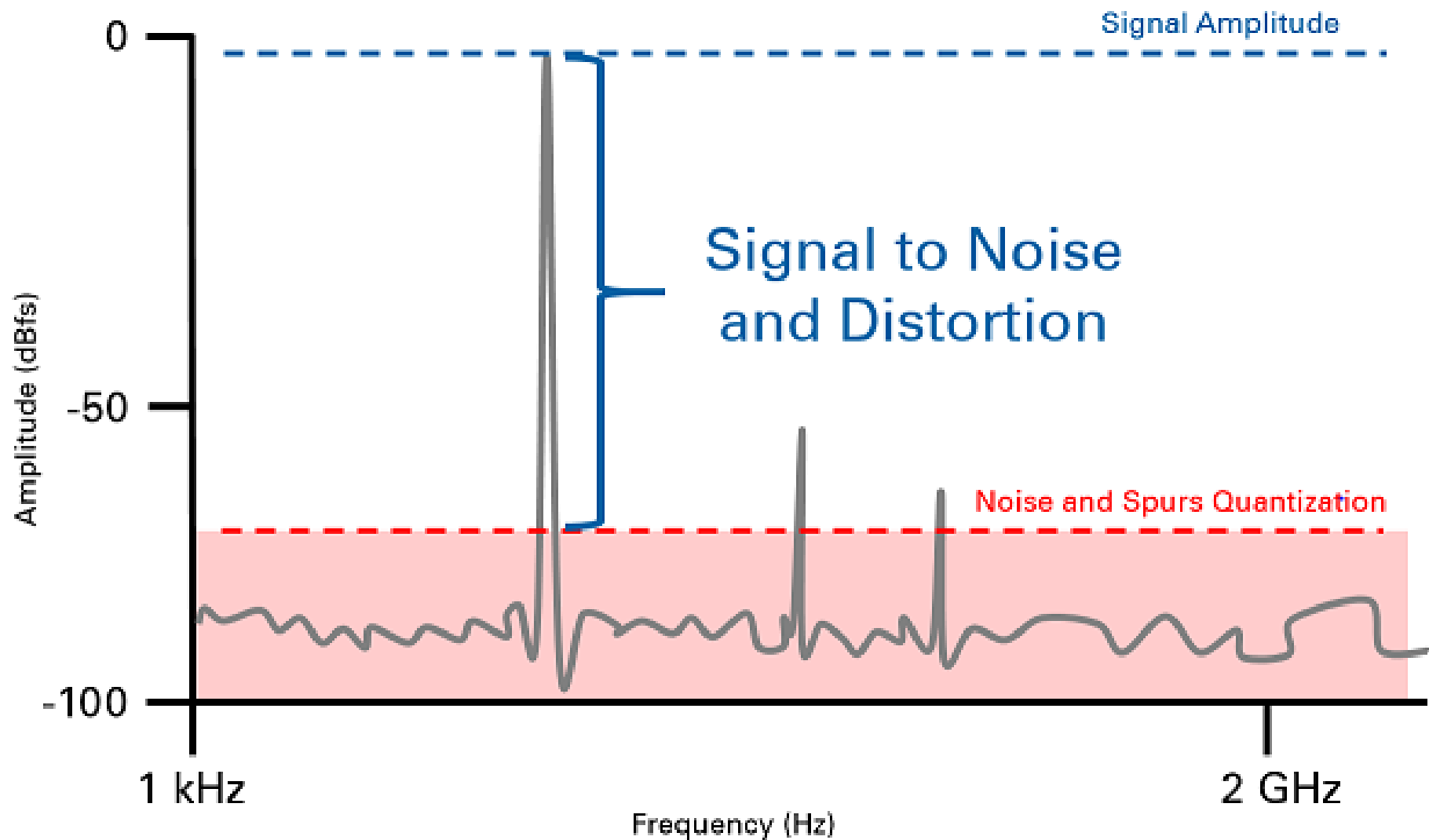
Con 10 armónicos

SINAD

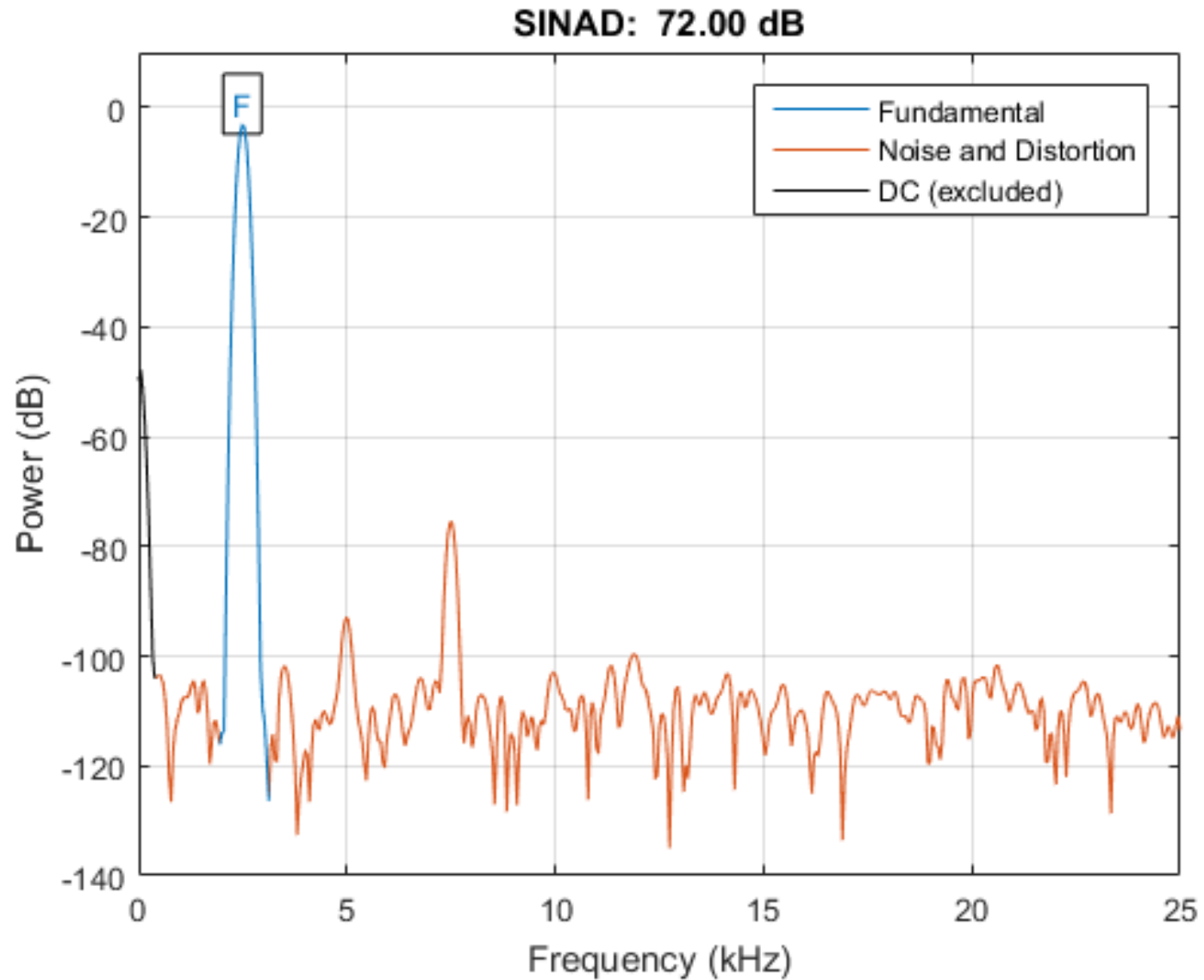
El parámetro SINAD permite medir la calidad de la señal en relación a las perturbaciones existentes tales como ruido y distorsión.

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

SINAD

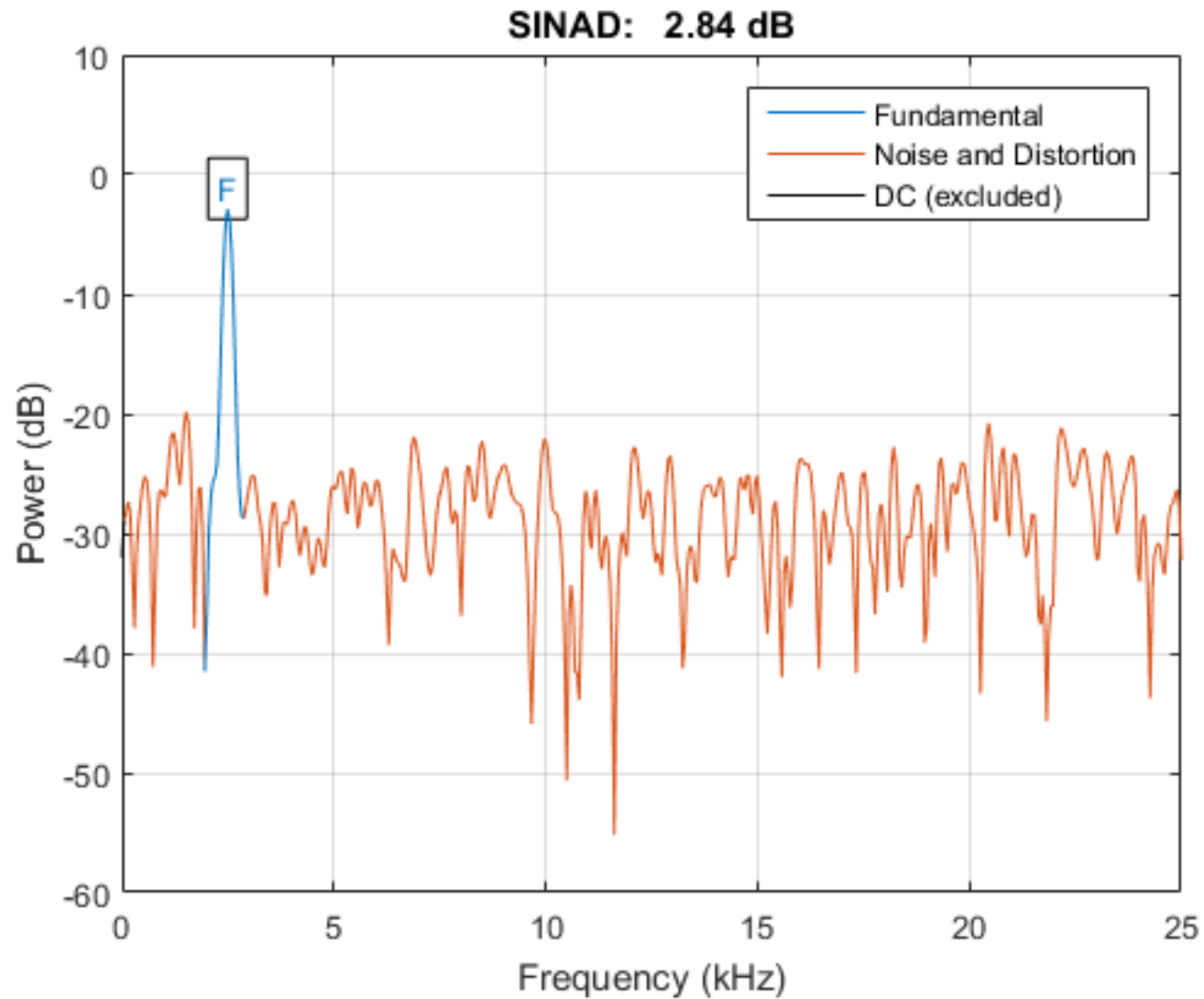


SINAD



Ausencias de ruido

SINAD



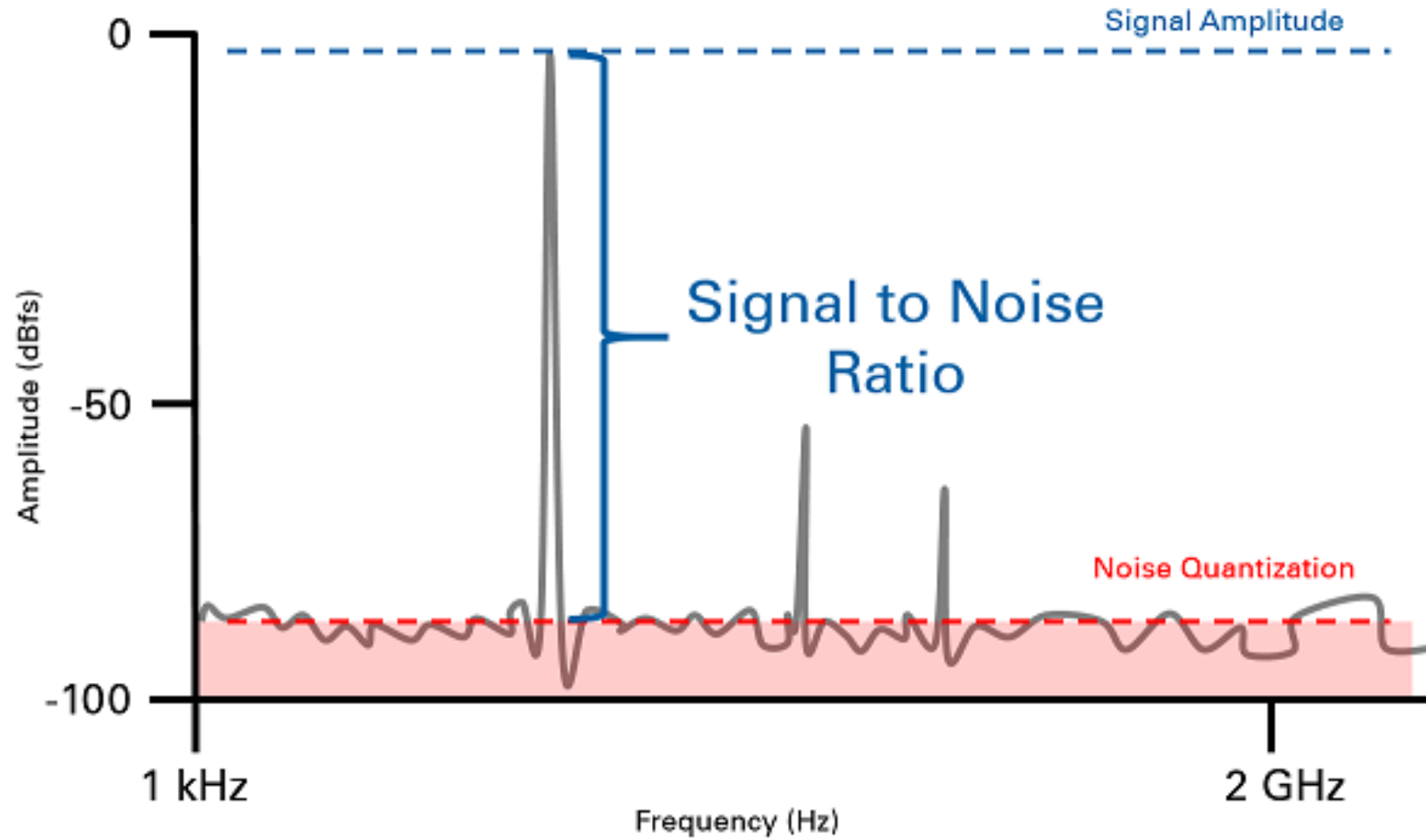
Con presencia de
ruido

SNR

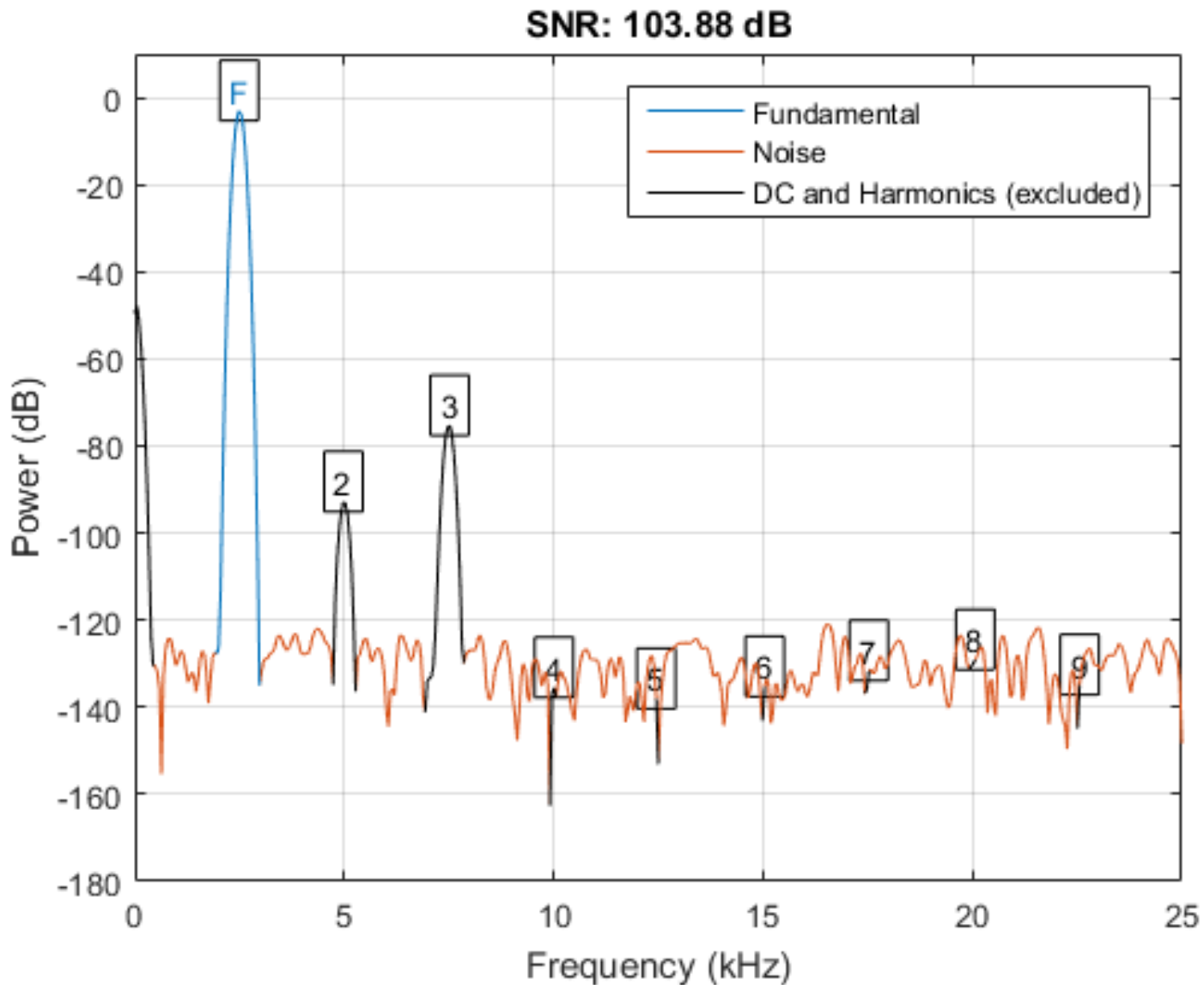
Es un parámetro que relaciona el nivel de potencia de la entrada en función con el nivel de ruido presente.

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

SNR

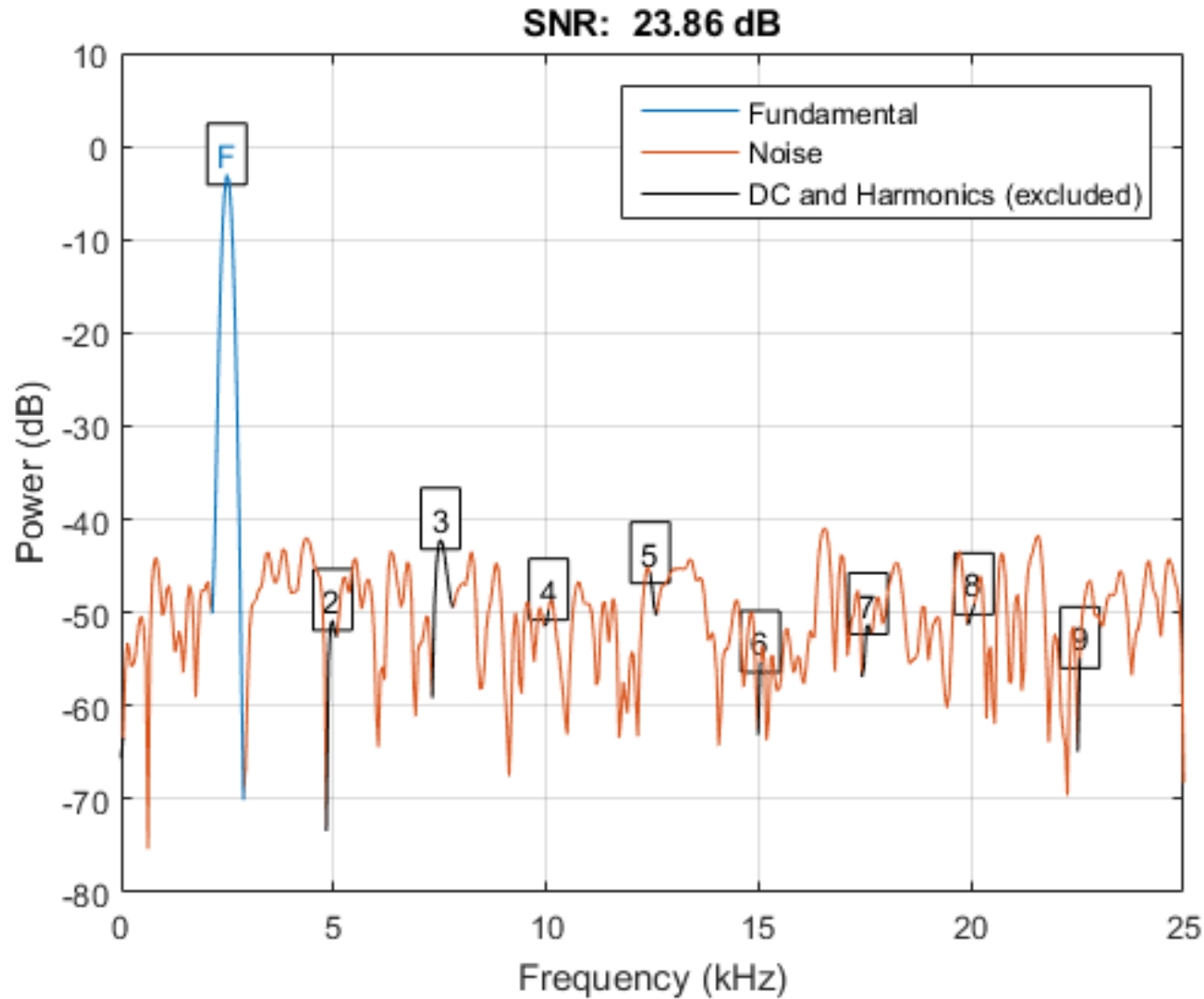


SNR



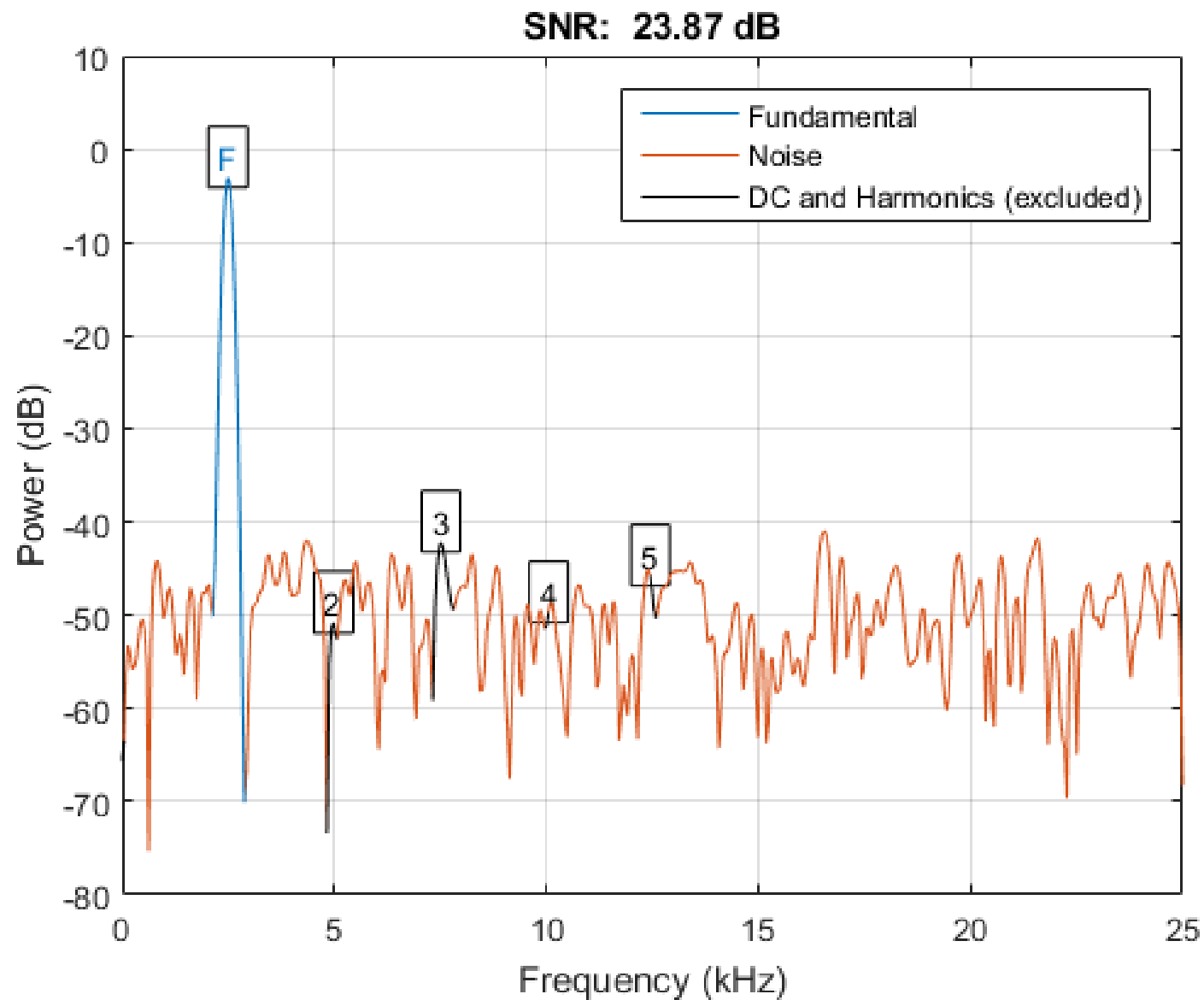
Ausencia de ruido,
con 10 armonicos

SNR



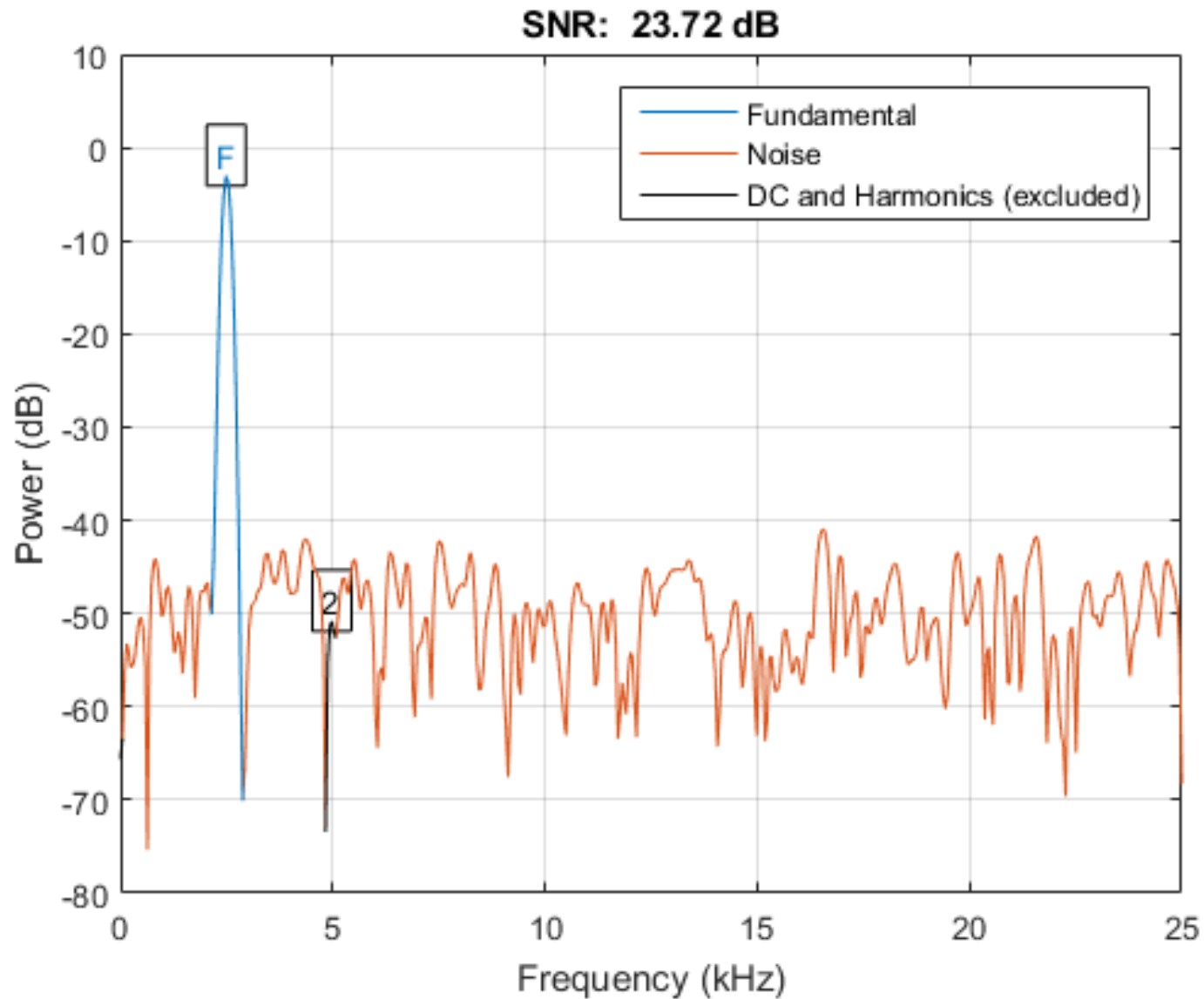
Con ruido y 10 armónicos

SNR



Con ruido y 5
armónicos

SNR

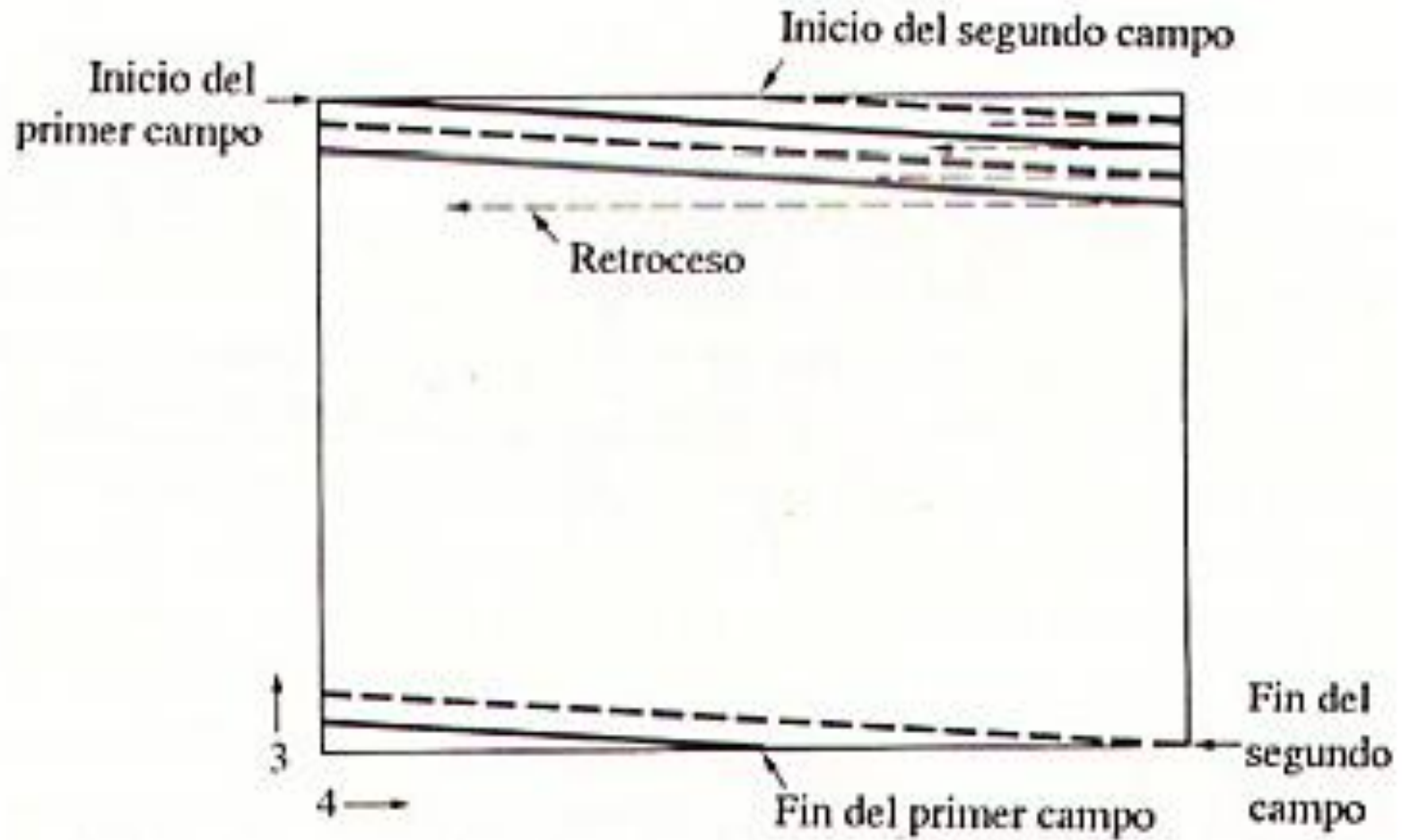


Con ruido y 2 armónicos

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:

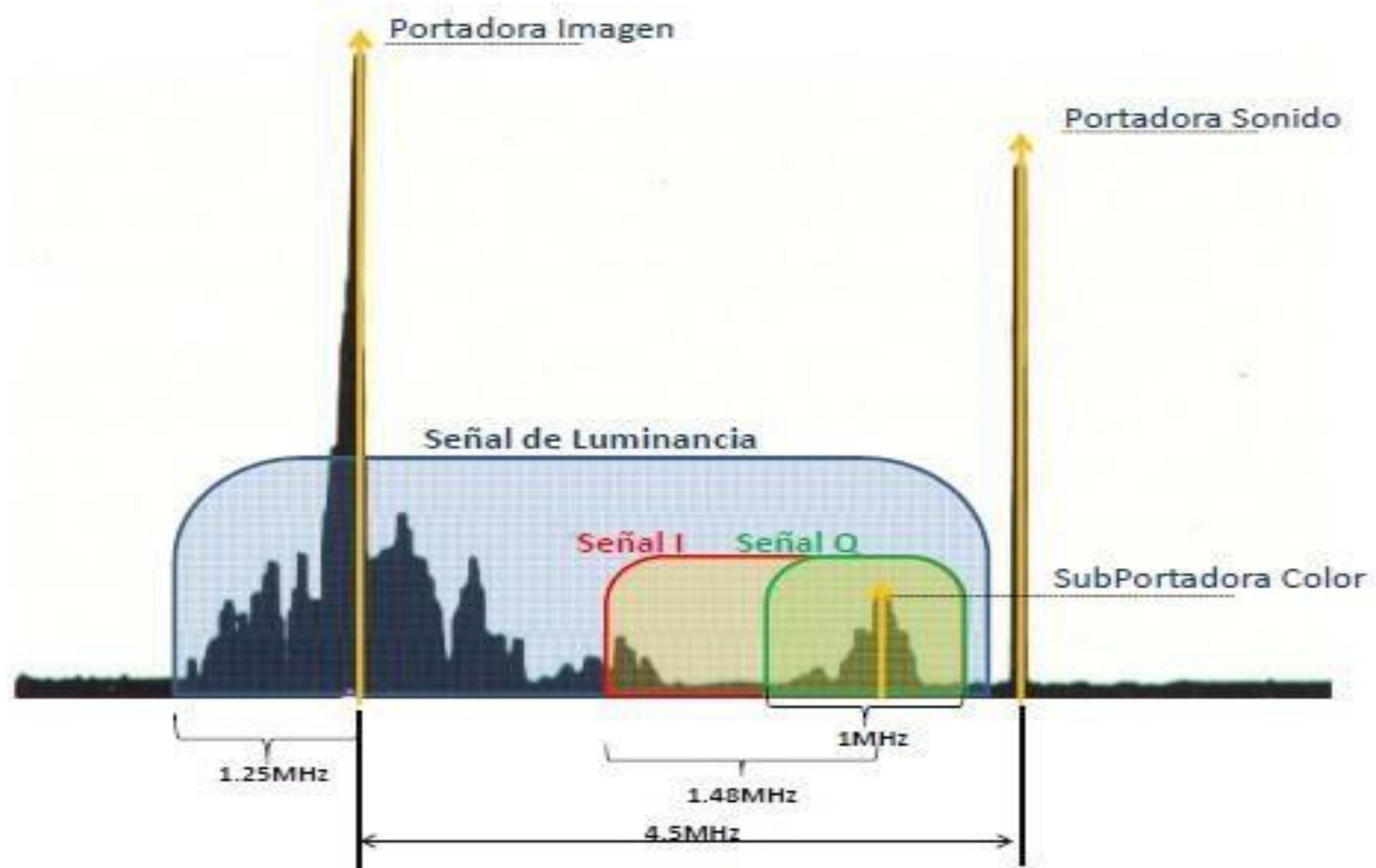
$$B_H \approx \frac{0,5}{tr} = 0,5 * 11025000 = 5,51 \text{ MHz}$$

Y un ancho de banda bajo de:

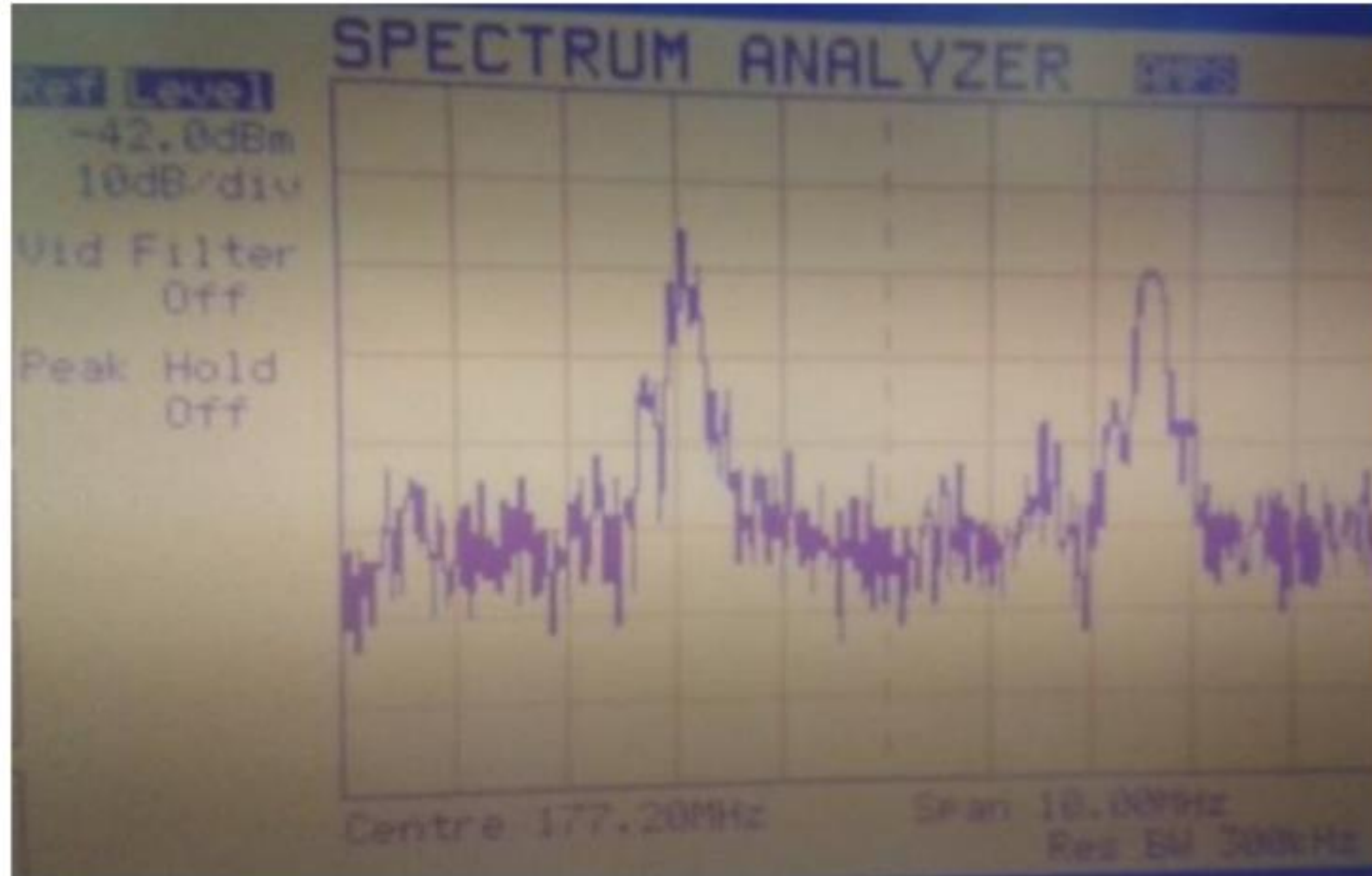
$$B_L \approx \frac{0,35}{tr} = 0,35 * 11025000 = 3,86 \text{ MHz}$$

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)



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 ingles.

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

Televisión Digital

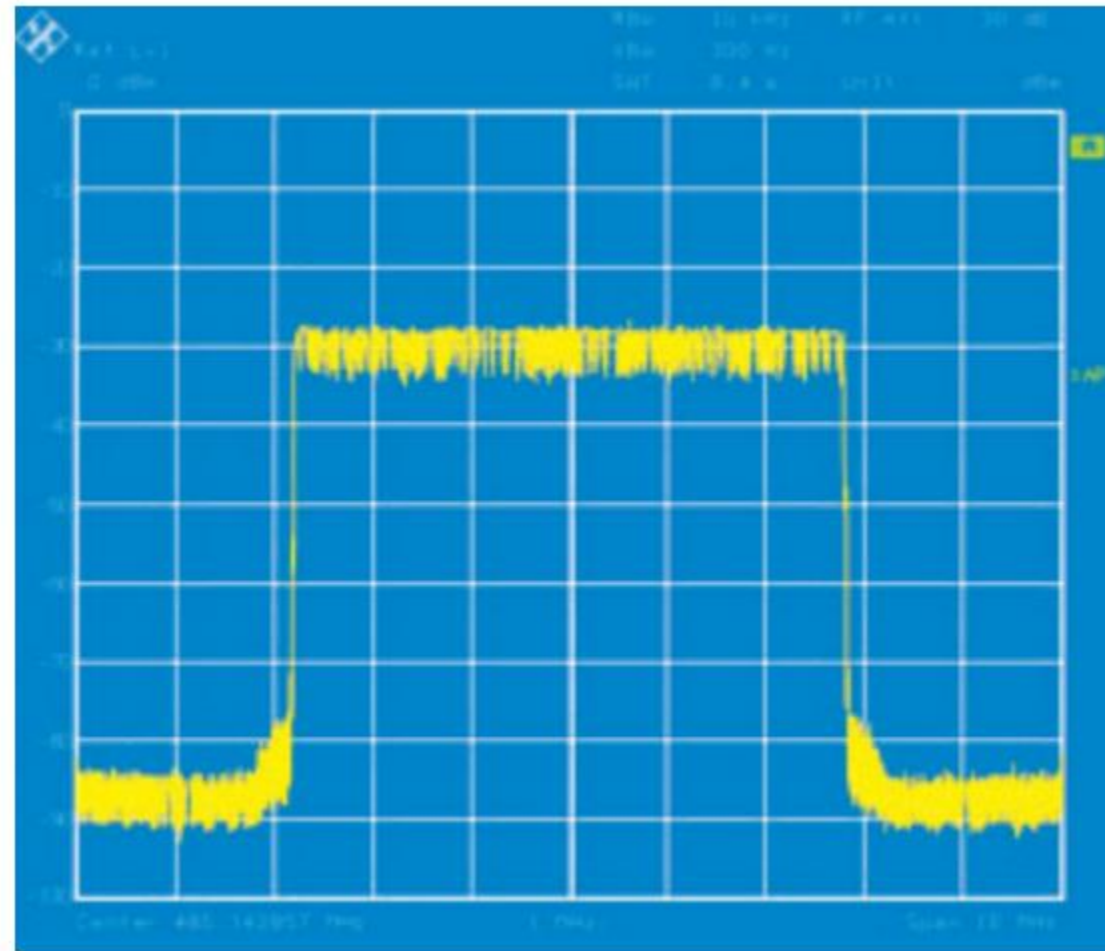
Parámetros de transmisión

	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)		

104

Televisión Digital

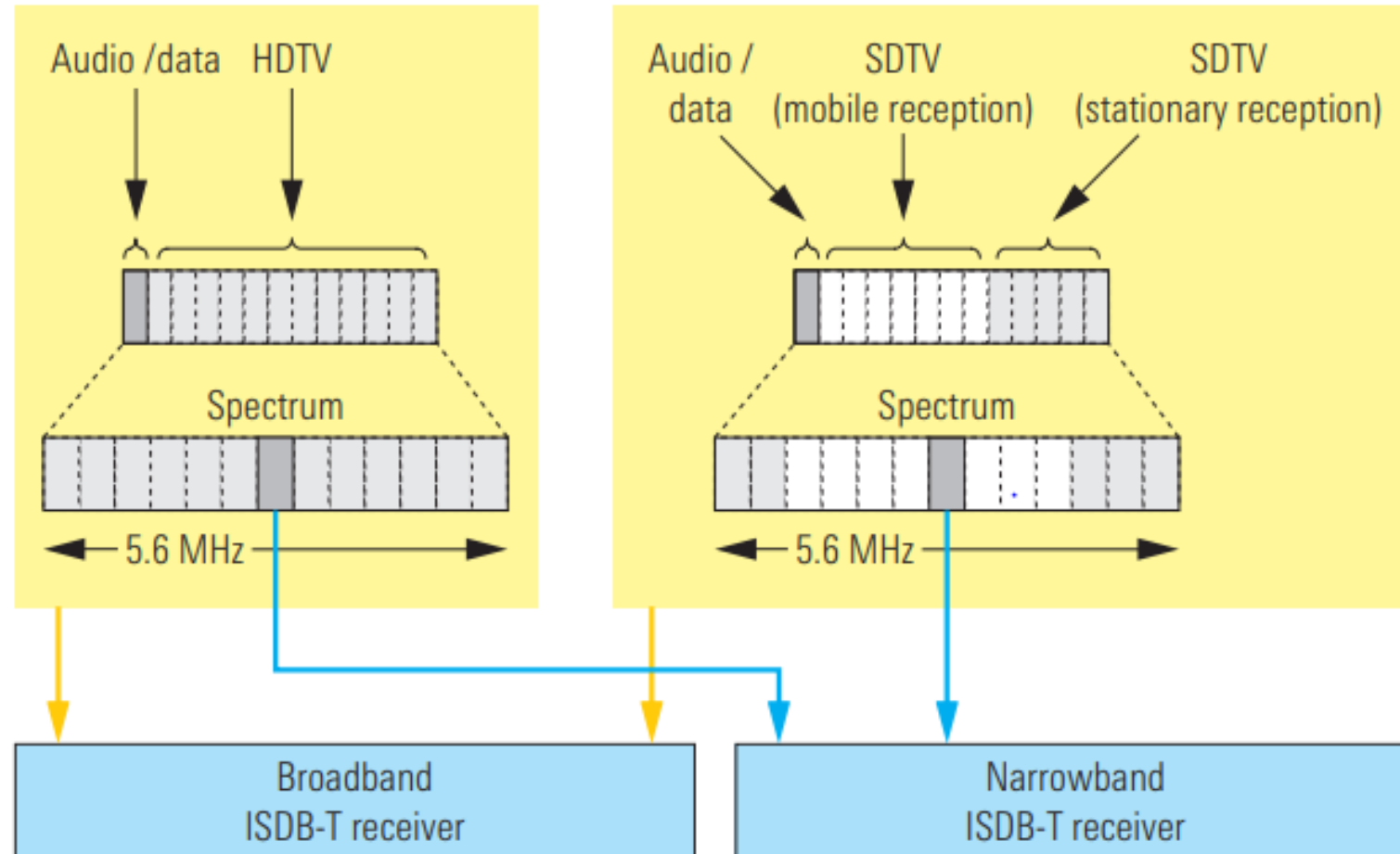
Espectro ISDB-T



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

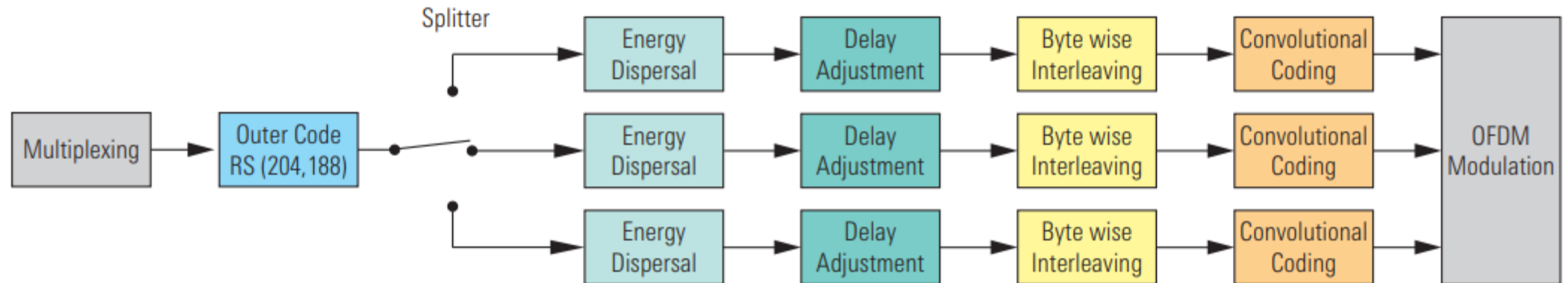
Televisión Digital

Jerarquía de transmisión y recepción parcial



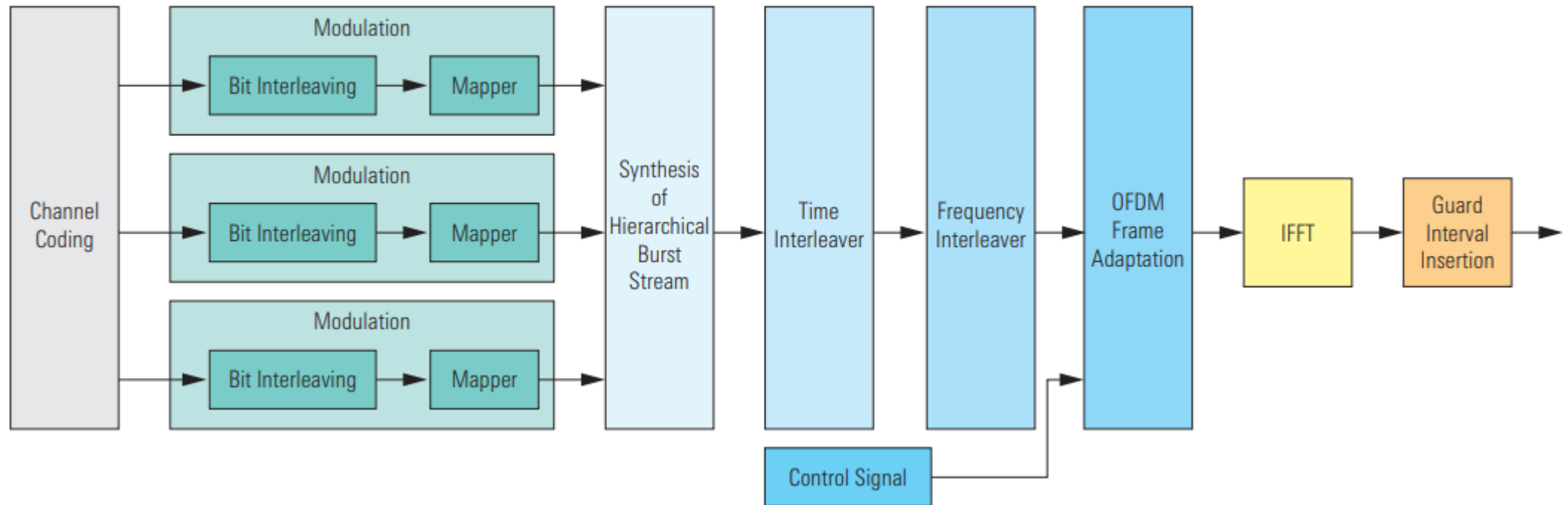
Televisión Digital

Codificación del canal



Televisión Digital

Esquema de modulación



Decibeleles

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

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

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

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

Cálculo en decibeleles respecto a 1 V:

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

Cálculo de decibeleles 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

