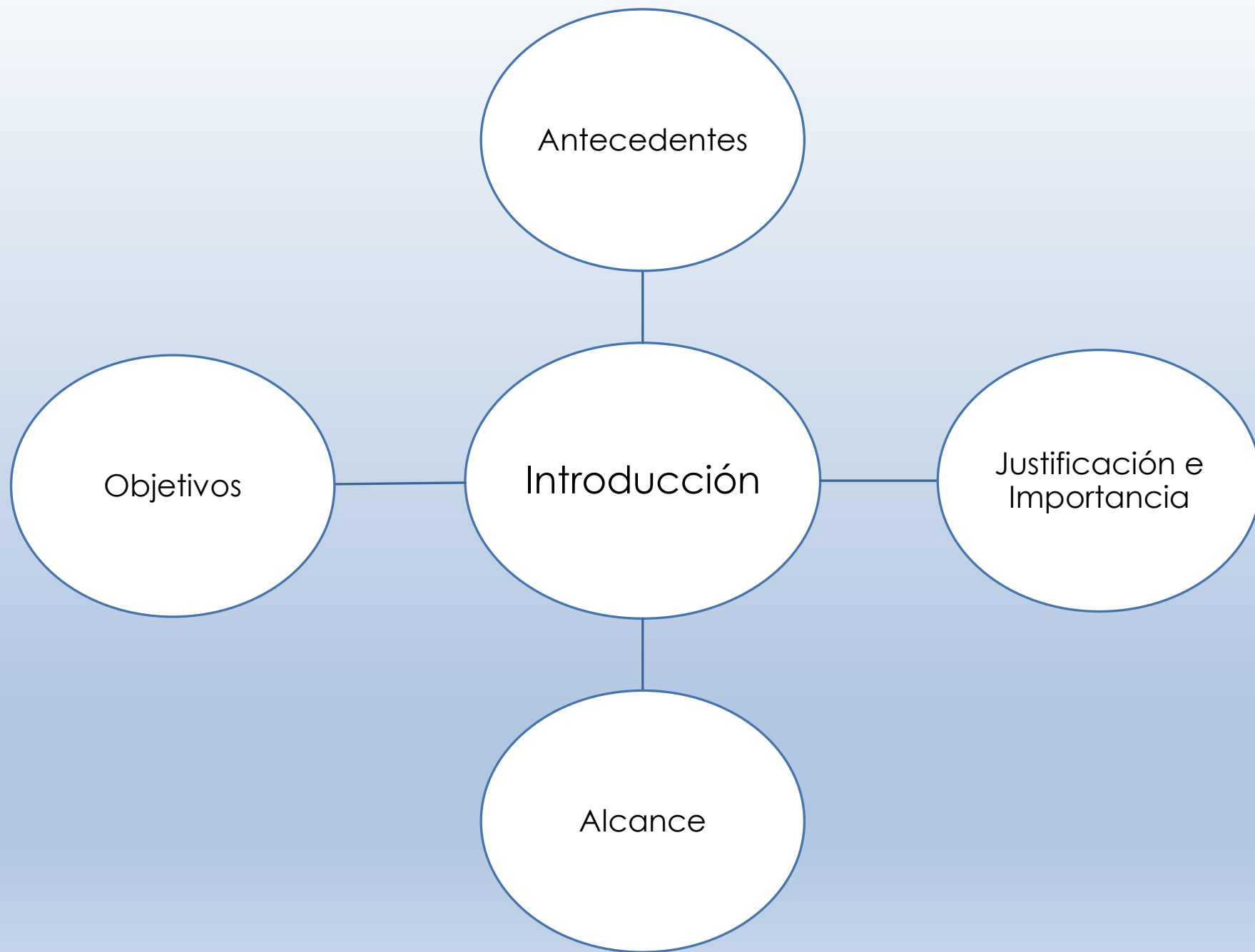


Modelamiento y Simulación de la Capa Física de una Red LTE

Agenda





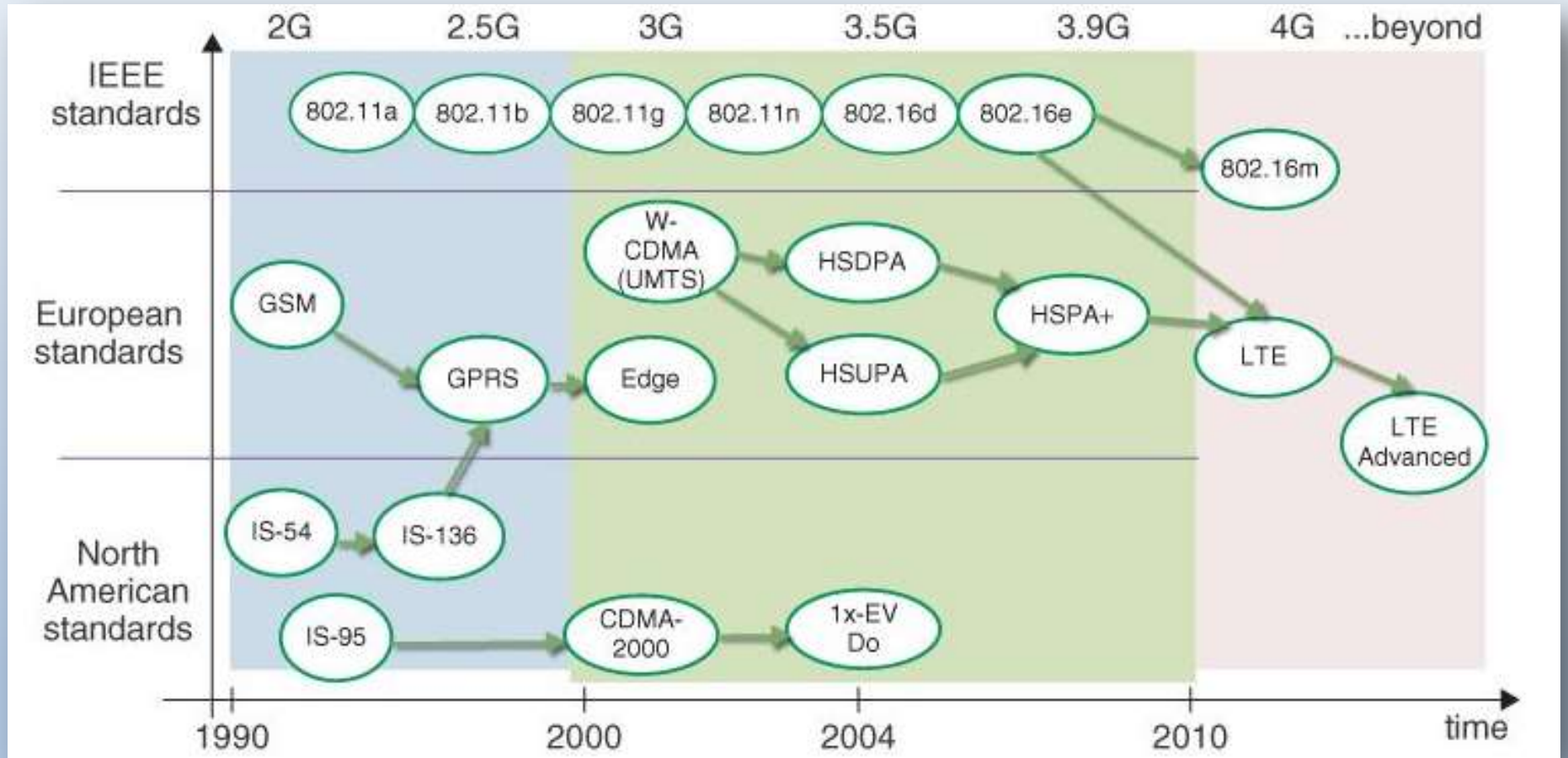
Introducción

¿ Qué es LTE ?



Long Term Evolution – es el estándar de Comunicaciones Móviles desarrollado por la 3GPP el cual tiene como principal objetivo brindar tasas de transmisión de hasta 1Gbps en su Release 10.

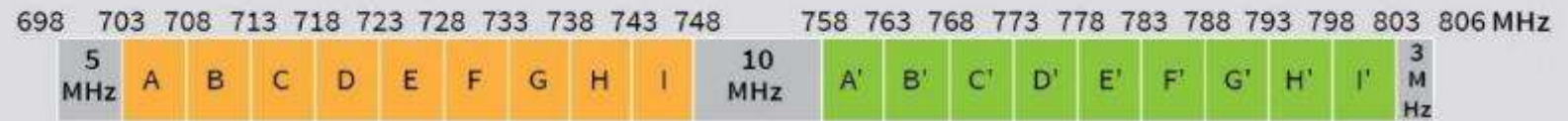
Antecedentes



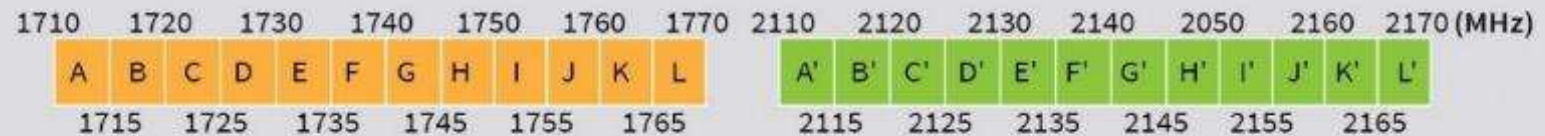
Evolución de los estándares de comunicaciones inalámbricas en las últimas dos décadas.

Antecedentes

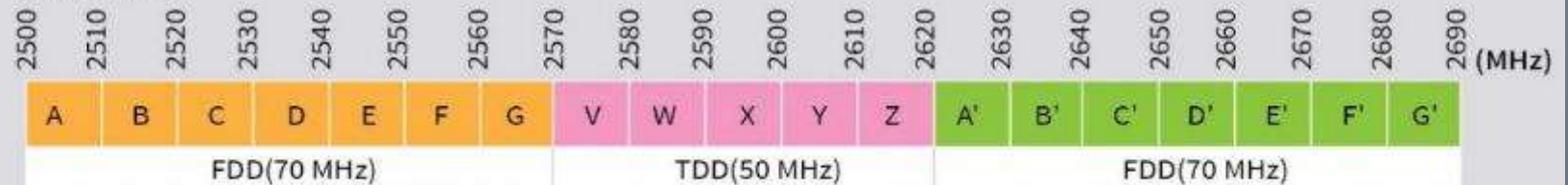
700 MHz



AWS 1700/2100 MHz



2.5 GHz



Asignación de Espectro para Servicios IMT. (Plan Nacional de Frecuencias, 4 de Julio del 2012)

Justificación e Importancia



La simulación de la capa física permite tener una visión complementaria de como trabaja LTE y de esta manera analizar e interpretar resultados.

La realización de este proyecto es de ayuda para actividades académicas dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE en la asignatura de Redes de Nueva Generación

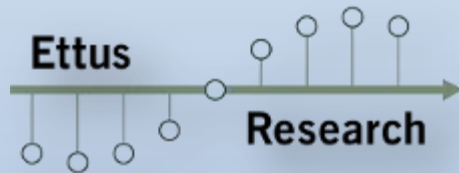


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Alcance

Entregar varias simulaciones de los diferentes aspectos de la capa física de la Red LTE, la cual tenga una interfaz amigable al usuario.

MATLAB®
& SIMULINK®



Implementar la transmisión de datos que están estructurados para este tipo de red con el equipo USRP N210.



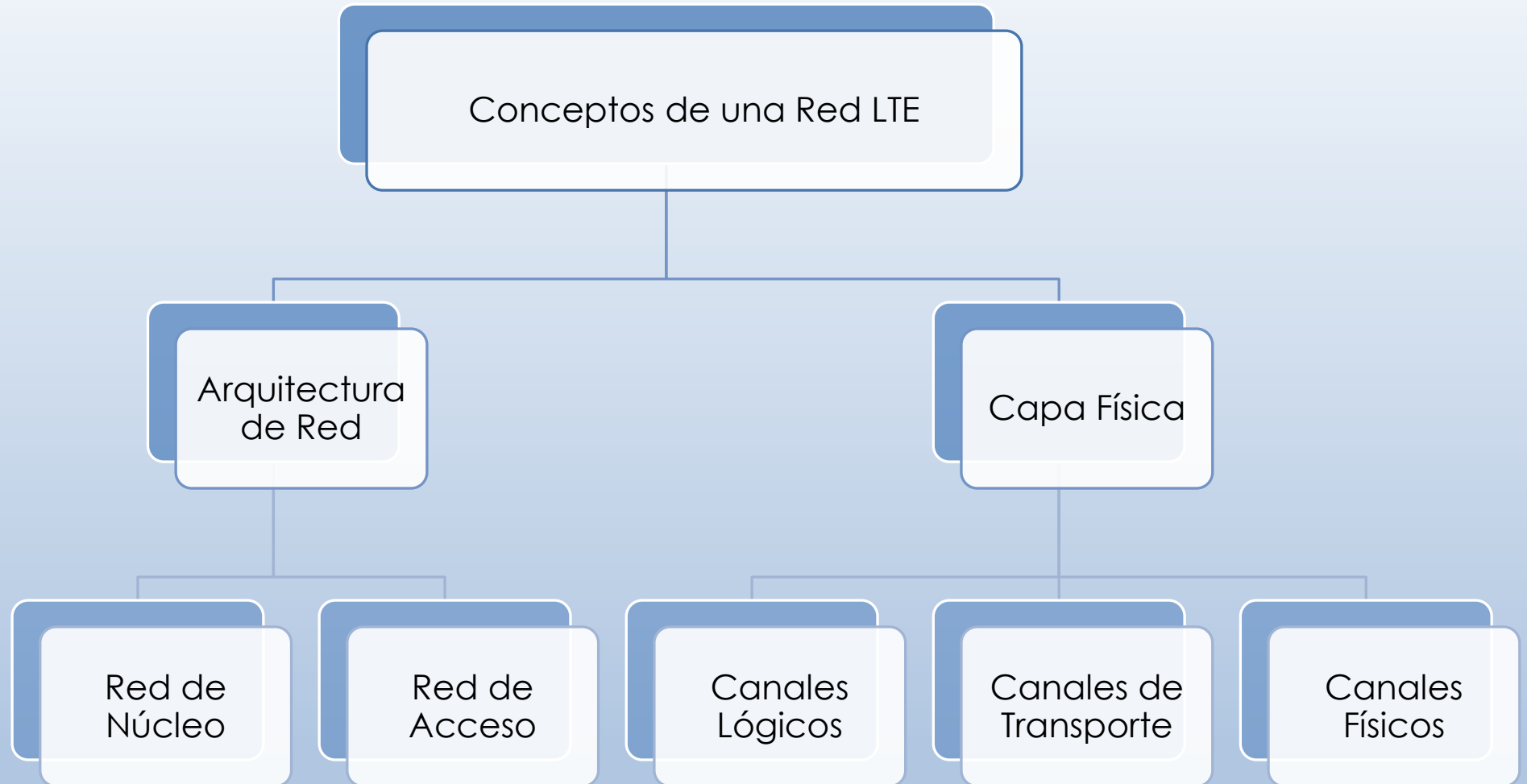
Objetivos

General

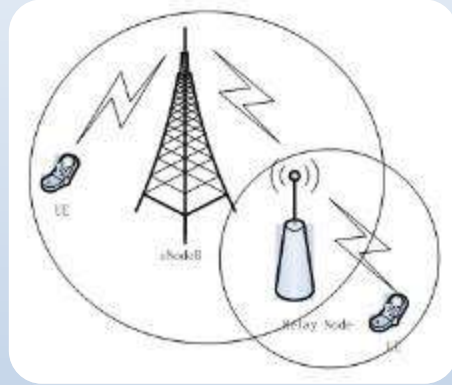
- Elaborar el modelamiento y simulación de la capa física de una red LTE (R8) que permita realizar un análisis del funcionamiento de esta mediante el uso de la herramienta MATLAB/SIMULINK.

Específicos

- Investigar las especificaciones técnicas de la capa física de una red LTE (R8).
- Realizar simulaciones de las diferentes modulaciones digitales (QPSK, 16QAM, 64QAM) que se encuentran estructuradas en LTE para obtener las gráficas del BER teóricas y simuladas mediante Matlab.
- Implementar un transmisor de LTE mediante un USRP N210, el cual permita observar el comportamiento de las señales al variar parámetros de la capa física.
- Analizar los resultados obtenidos mediante las simulaciones en Matlab/Simulink.
- Analizar los parámetros de LTE mediante equipos de medición.



Arquitectura de Red

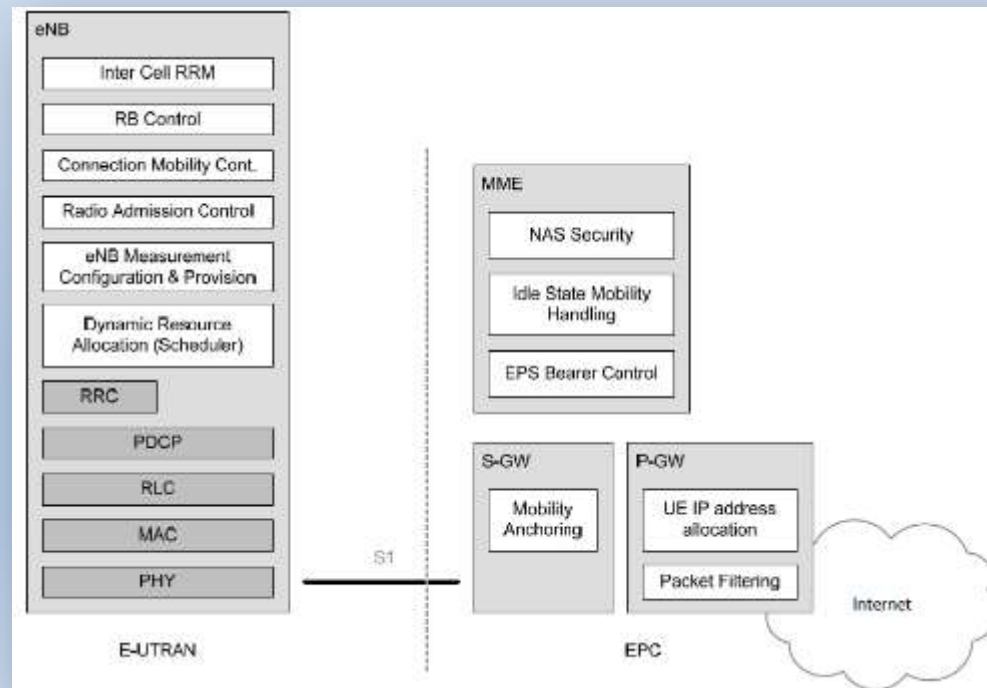


LTE ha sido diseñado para soportar servicios de conmutación de paquetes. Su objetivo es proporcionar Protocolos de Internet sin problemas de conectividad entre el Equipo de Usuario y la Red de Paquetes de Datos

En este se incluyen términos como SAE, que es la evolución de la arquitectura del sistema, la cual viene acompañada de la evolución de la Red de Núcleo (EPC - Evolved Packet Core).

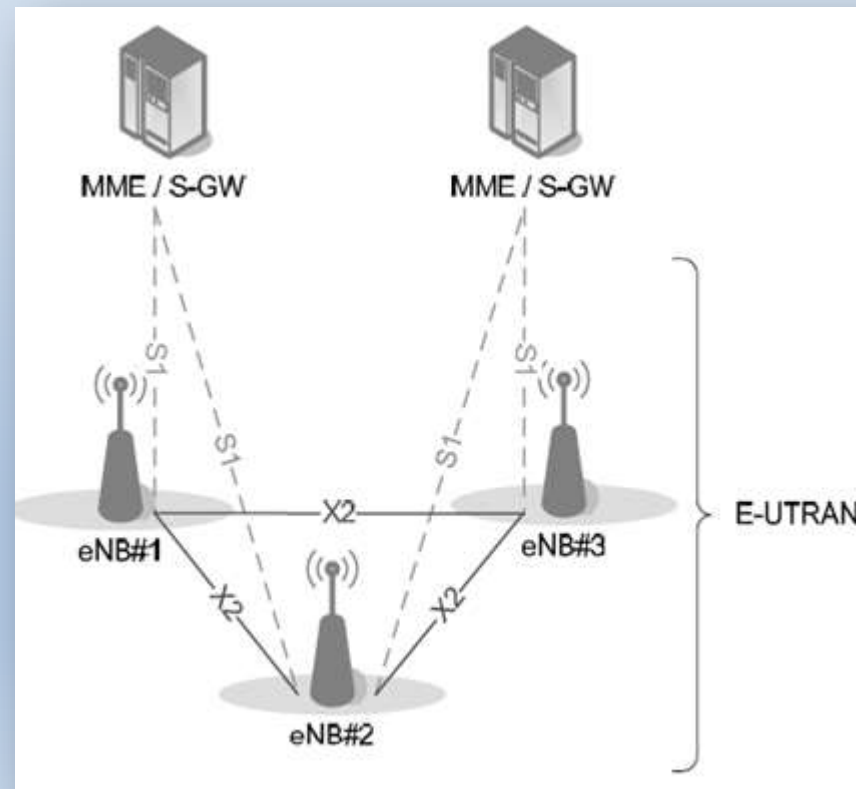
Red de Núcleo

- Esta red es responsable por el control sobre el UE y el establecimiento de los Bearers, esta formada por 3 nodos lógicos, que son:
 - Puerta de enlace predeterminada a PDN (P-GW)
 - Puerta de enlace predeterminada a Servicios (S-GW)
 - Entidad de administración de movilidad (MME)



Red de Acceso

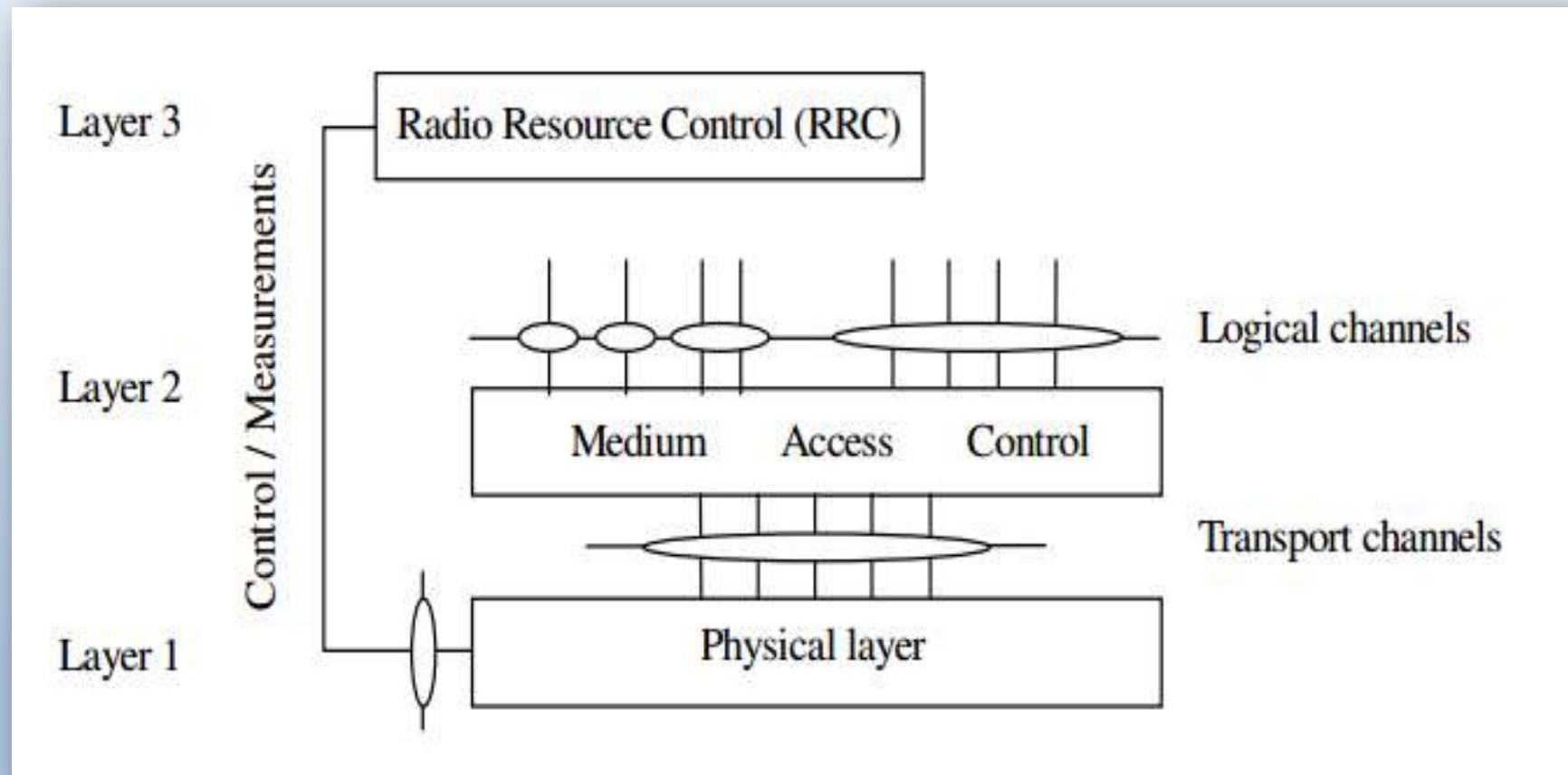
- La red de acceso consiste en la unión de varios eNodeB los cuales están conectados mediante interfaces X2, y de estos hacia el MME/S-GW con interfaces S1.



eNodeB

- Tiene como función principal el control de la interfaz aire.
- Se encarga de realizar la administración de recursos de radio, envío de información al S-GW, envío de mensajes de información a los usuarios, mediciones y reportes de la configuración para movilidad.

Capa Física



Canales Físicos

Downlink

Uplink

PBCH

PCFICH

PDCCH

PHICH

PDSCH

PMCH

PRACH

PUCCH

PUSCH

Capa Física LTE

Adaptación de Enlace

Modulación y
Codificación

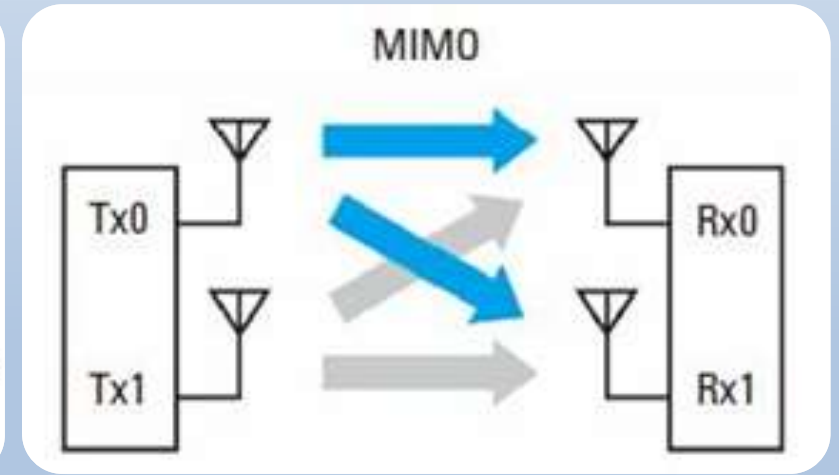
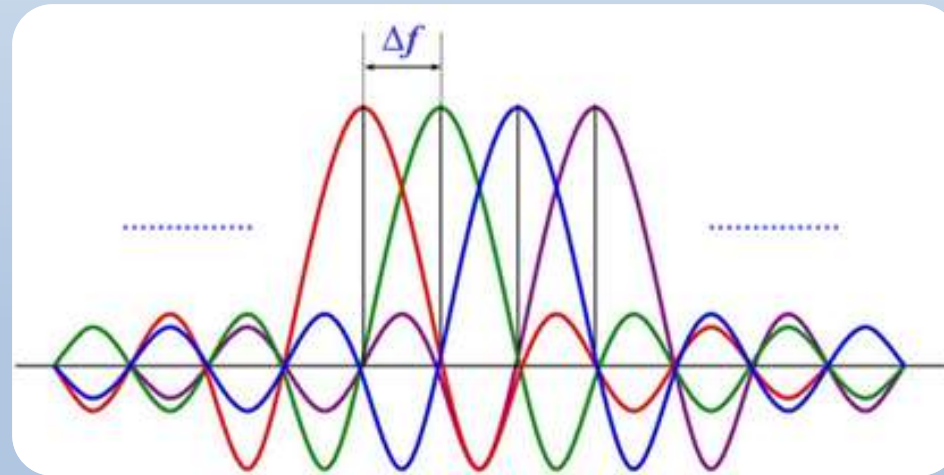
MIMO

Tecnologías de Múltiple
Acceso

Malla de Recursos

Introducción

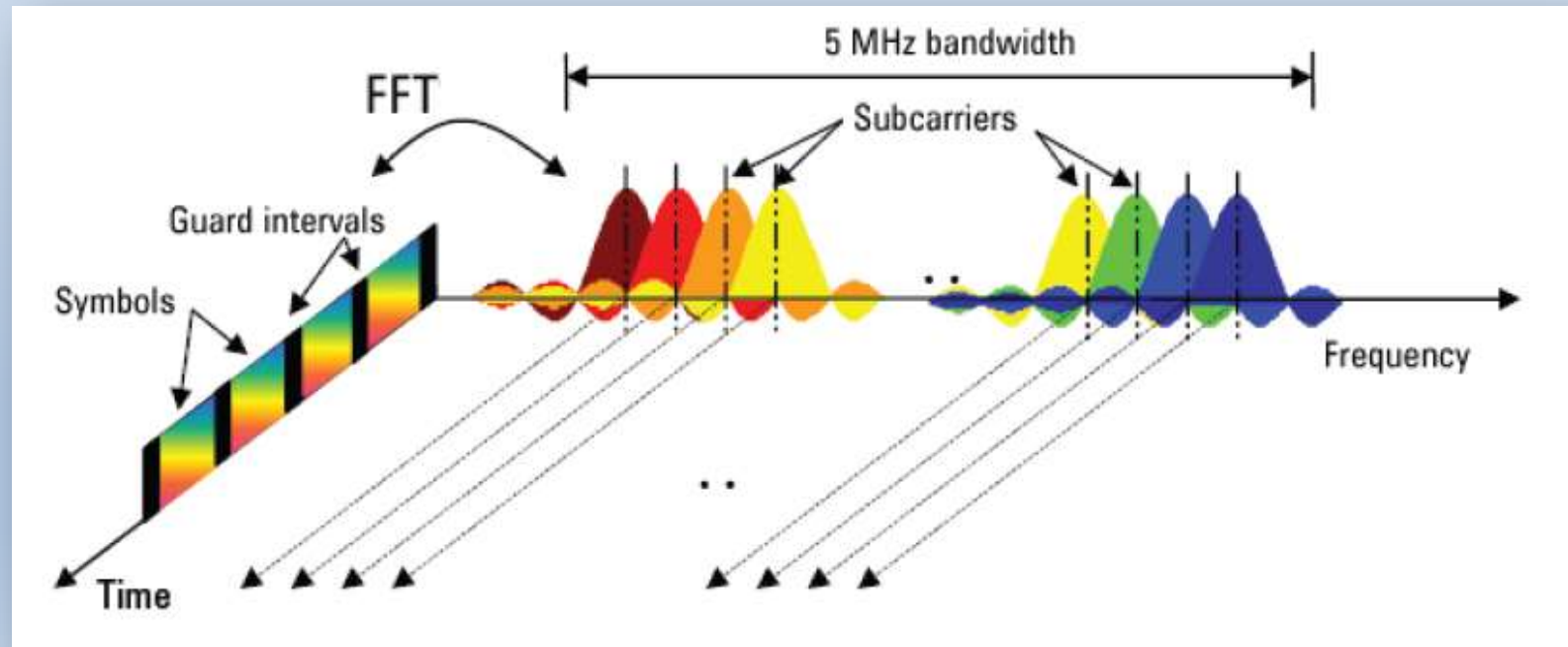
- El diseño de la capa física de LTE está influenciado directamente por los requerimientos de velocidad (Downlink - 300Mbps / Uplink - 75Mbps) , eficiencia espectral y múltiples anchos de banda (1.4/3/5/10/15/20MHz) para el R8.



Tecnologías de Múltiple Acceso

OFDM

- OFDM es una técnica de Multiplexación Multiportadora la cual ofrece una comunicación robusta en contra del desvanecimiento por múltiples trayectos y una fácil sincronización y ecualización en el receptor.



OFDM

Ventajas

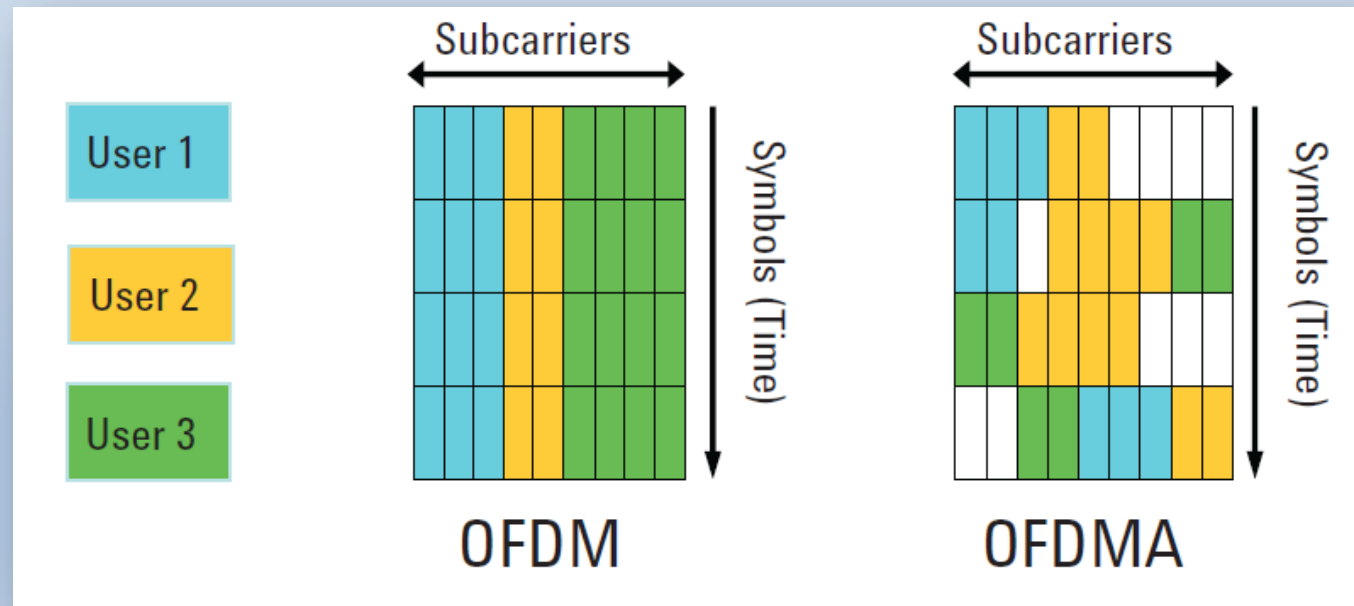
- Ancho de Banda variable (1.4/3/5/10/15/20 MHz).
- Alta eficiencia espectral.
- Baja complejidad en la implementación del receptor.
- Robustez frente a las diferencias de retardo.

Desventajas

- El espaciamiento entre subportadoras es muy pequeño, lo cual hace a OFDM que sea sensible a errores de frecuencia y ruido de fase.
- Se necesita un mayor procesamiento que con tecnologías como CDMA en los bordes de las células.

OFDMA

- Es una extensión de OFDM para la implementación de un sistema multiusuario. Esta se encarga de distribuir las subportadoras a diferentes usuarios al mismo tiempo para simplificar y aumentar el rendimiento.



SC-FDMA

- Los requerimientos del Downlink con el Uplink difieren en algunas especificaciones, algo primordial que se debe considerar es que para un equipo de usuario el consumo de energía debe de ser bajo así como su procesamiento.

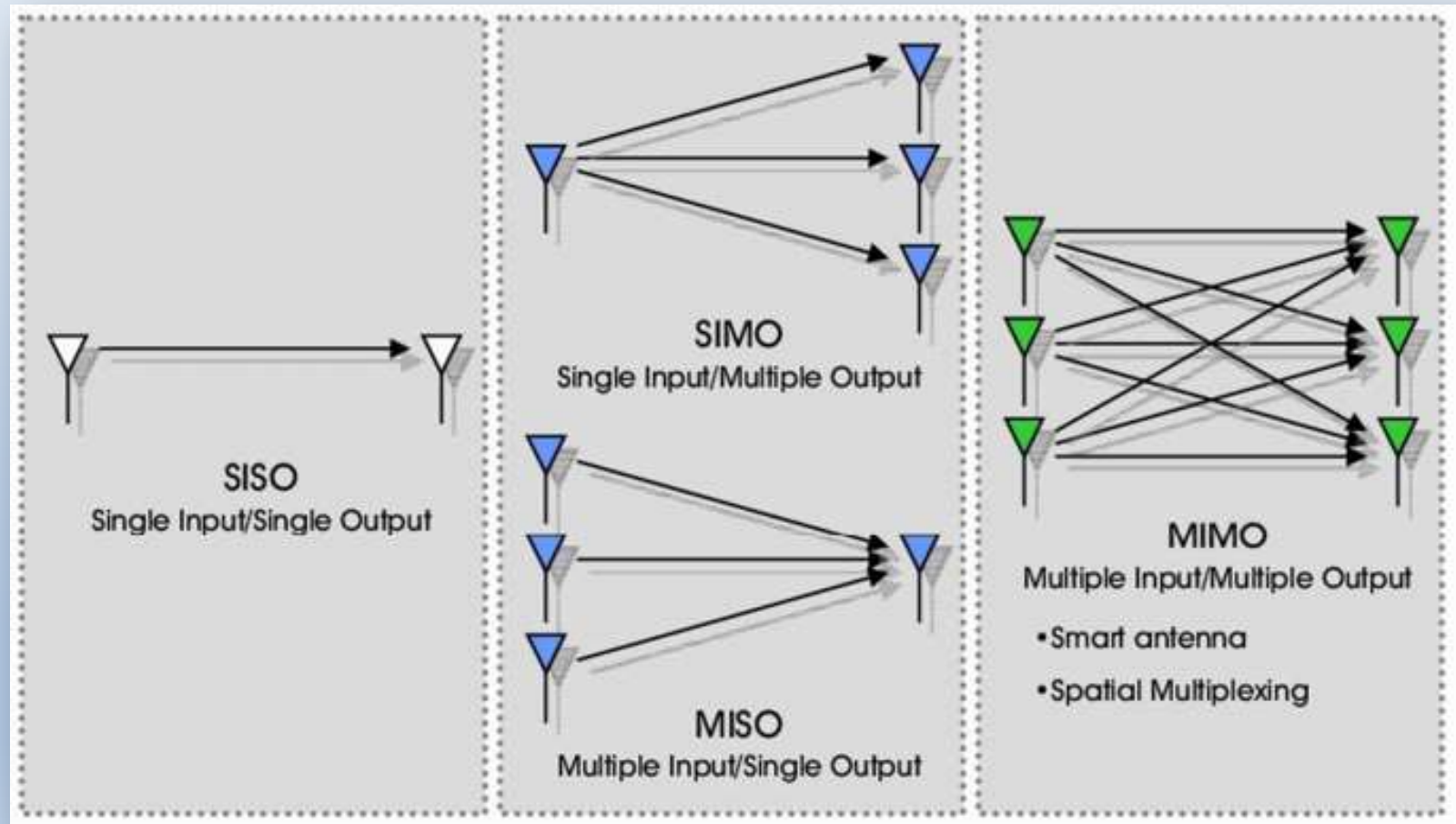


MIMO

- MIMO surge con la necesidad de mitigar problemas de propagación y de esta manera tener una comunicación más robusta en diferentes tipos de canales, así también para mejorar las tasas de transmisión.
- Los sistemas convencionales solo usan una antena para transmitir y una para receptar, a esto se le llama SISO - Single Input, Single Output.

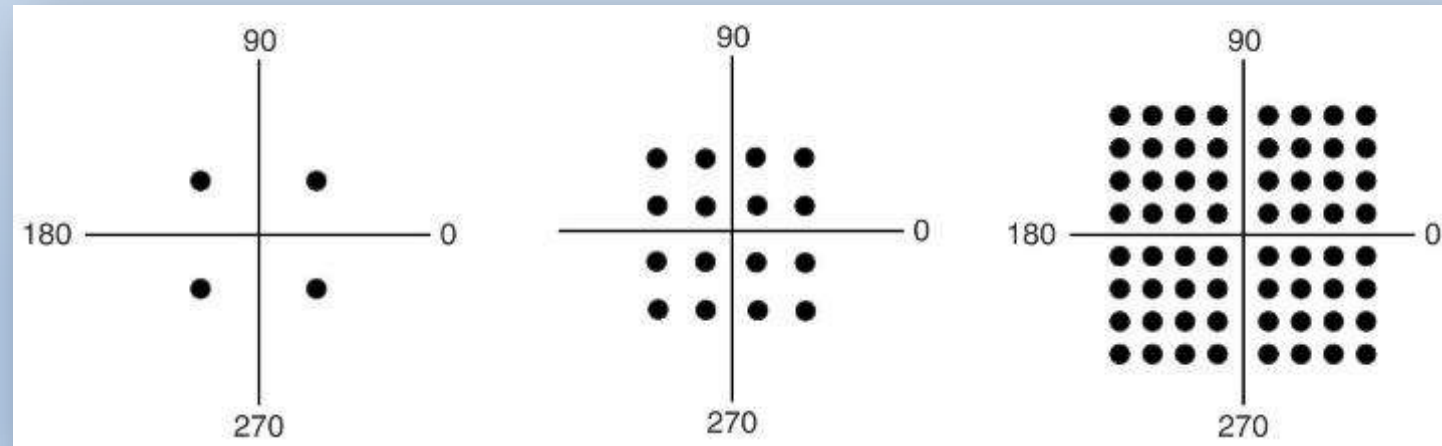


Modos de Configuración



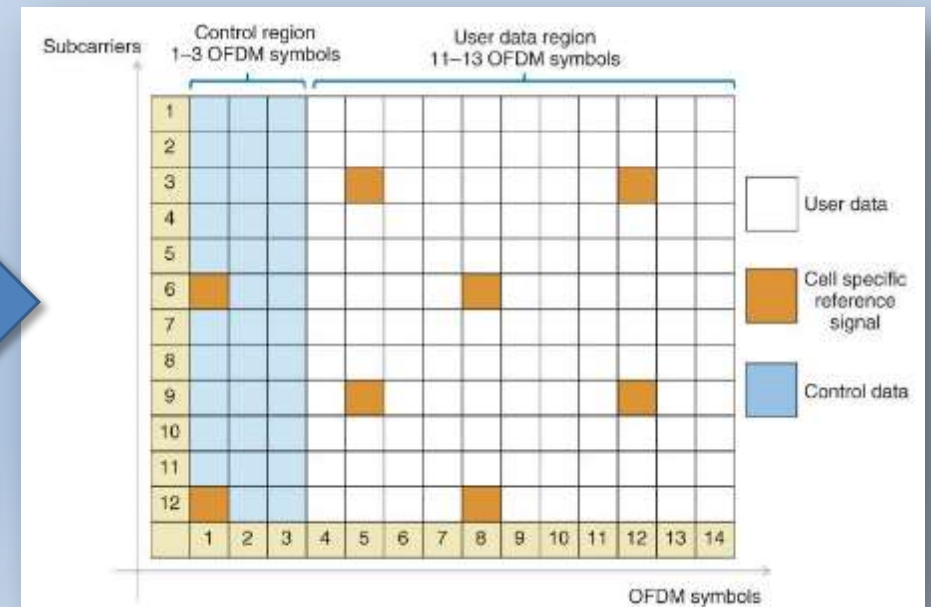
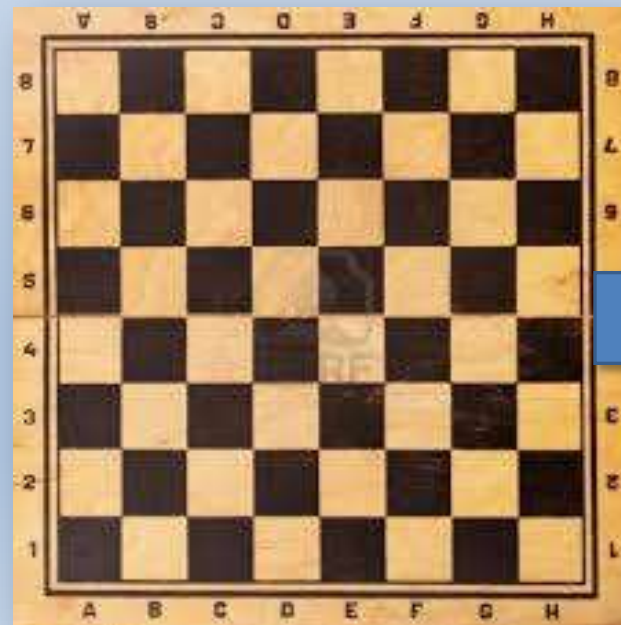
Modulación

- Los esquemas de modulación usados en LTE (R8) incluyen QPSK – Quadrature Phase Shift Keying, 16QAM – Quadrature Amplitude Modulation, 64QAM.

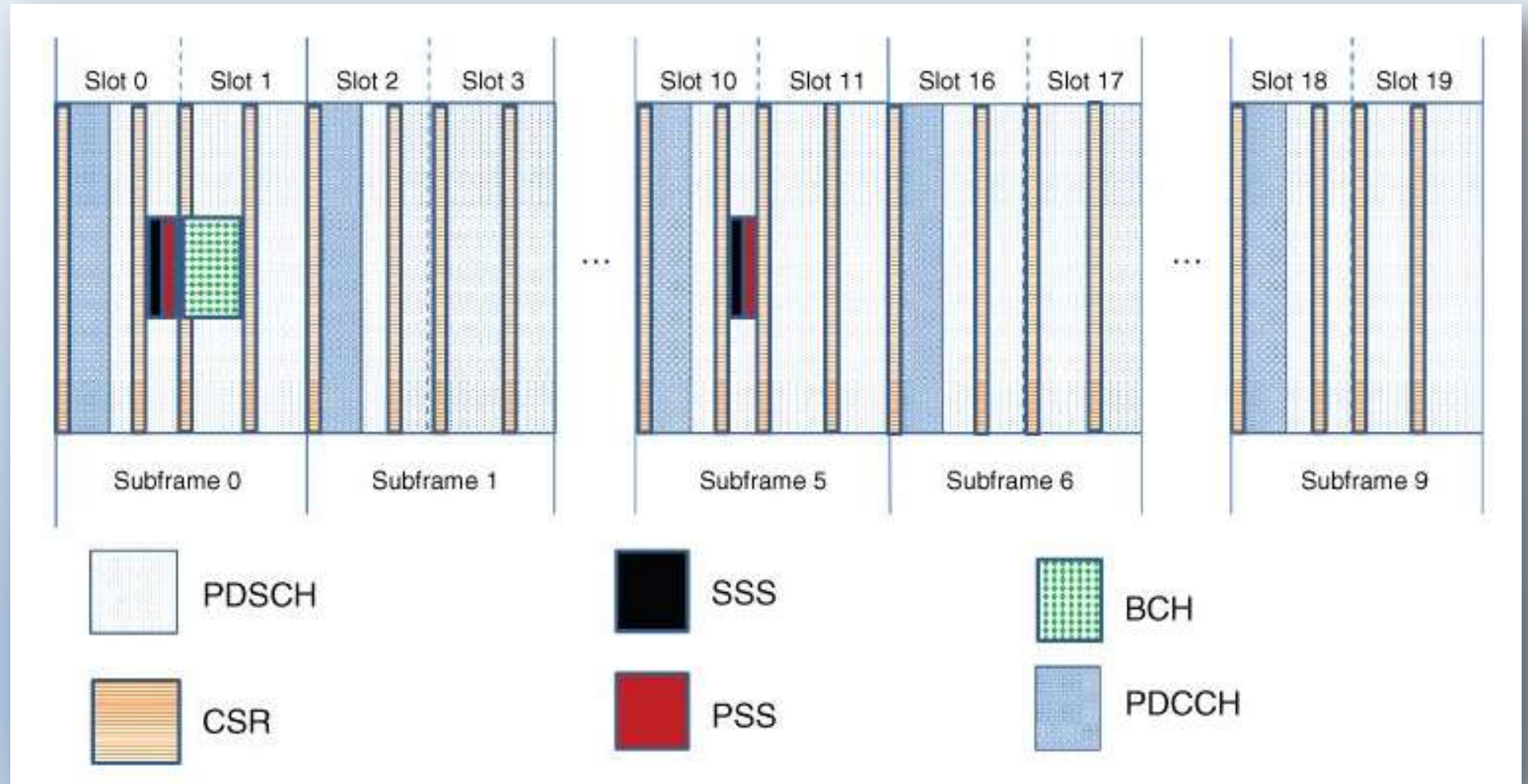


Malla de Recursos

- La malla de recursos es en esencia una matriz cuyos elementos están modulados en símbolos, en una representación en 2 Dimensiones tenemos en el eje Y las subportadoras alineadas en frecuencia mientras que en el eje X están los símbolos OFDM alineados en el tiempo, en cada ranura de tiempo de 0.5ms se encuentran 7 símbolos, lo que da un total de 14 por cada subtrama.



Malla de Recursos - General



Adaptación de Velocidad

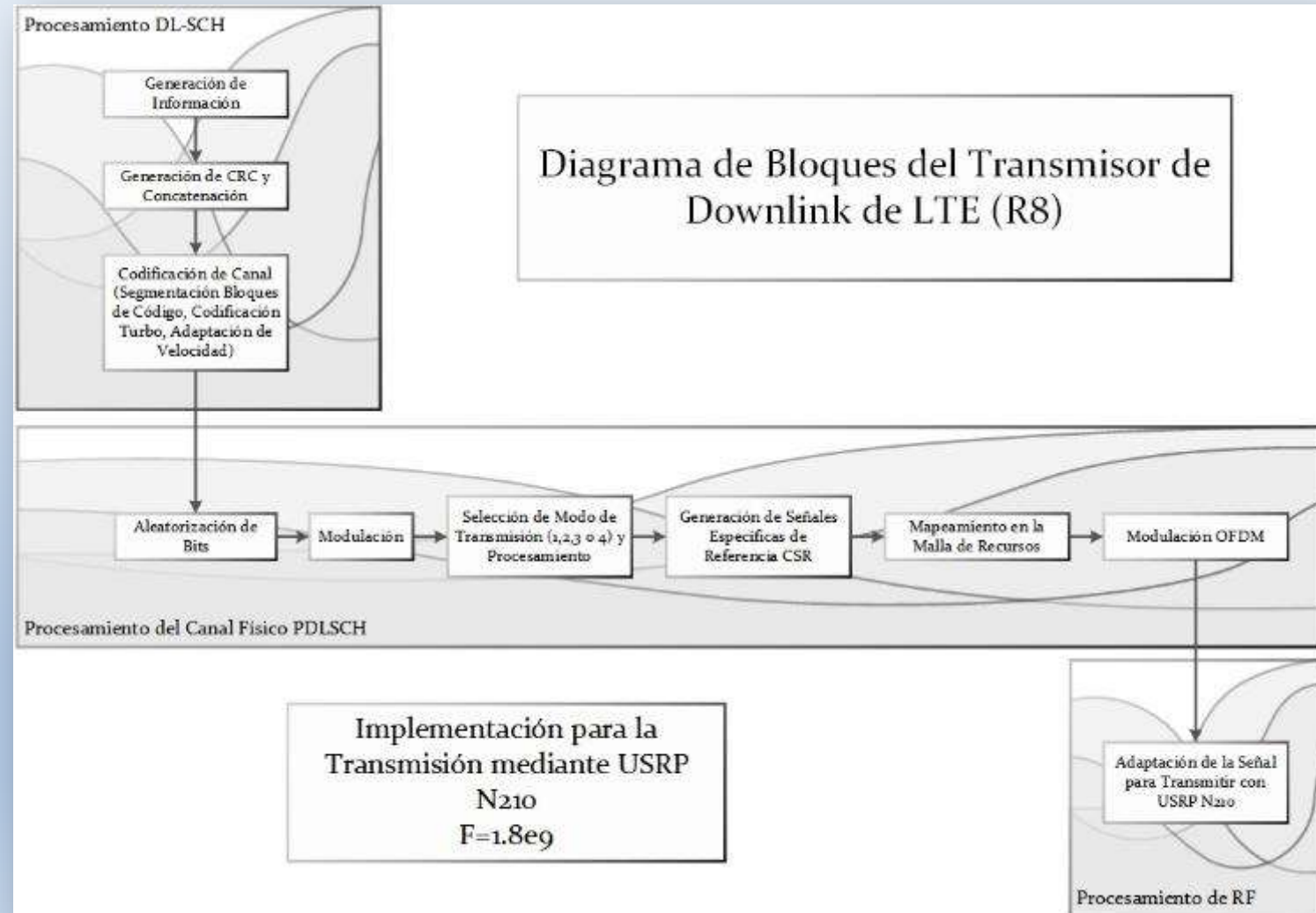
- La adaptación de velocidad es una característica importante en LTE, esta ayuda a incrementar la tasa de transmisión basándose en las condiciones del canal.
- En canales de baja interferencia se puede codificar con tasas cerca a la unidad, mientras que en canales con alta interferencia se puede reducir la tasa con el fin de mitigar los errores.

Adaptación de Enlace

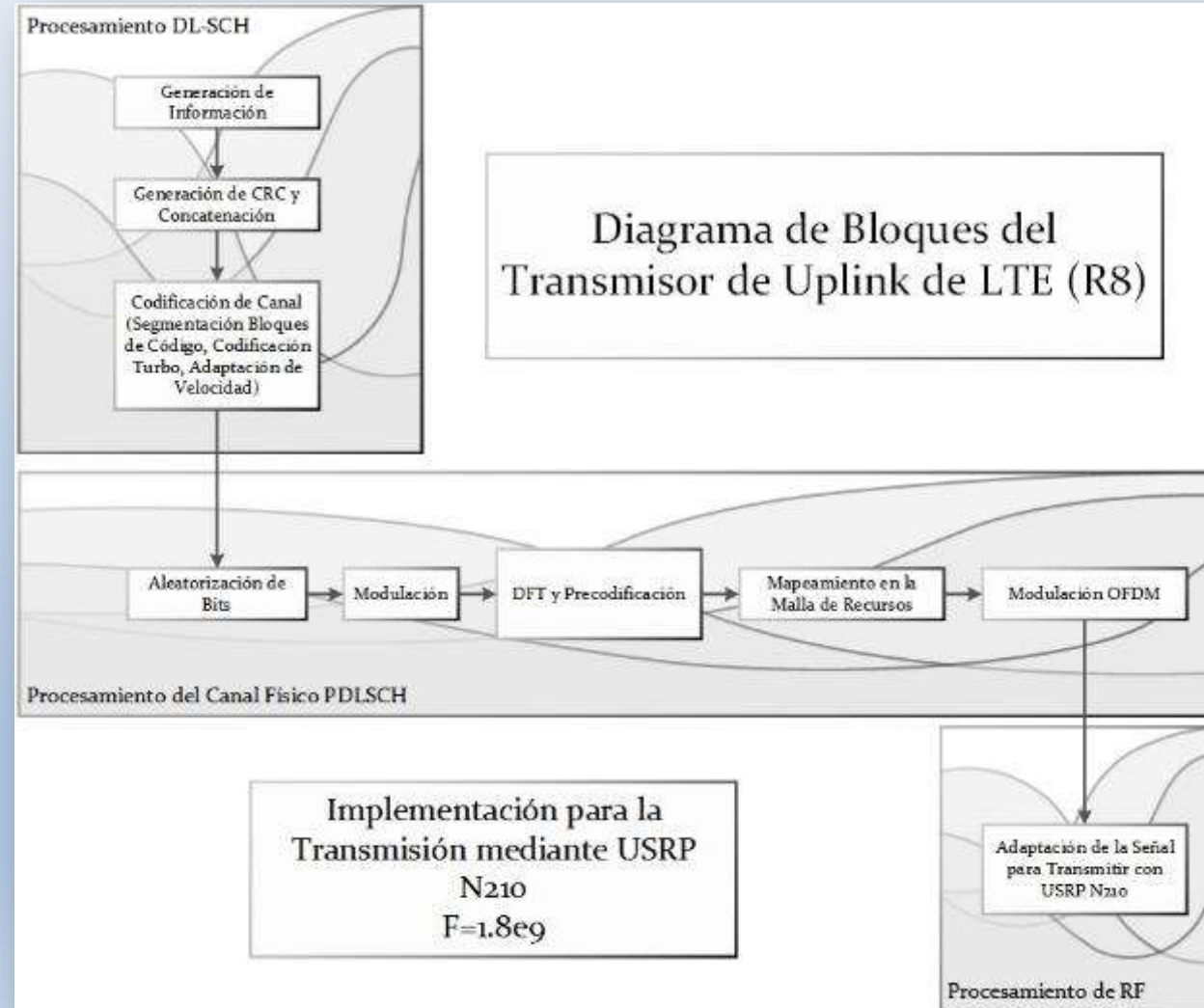
- La adaptación de enlace permite cambiar ciertos parámetros de transmisión dependiendo de la condición de canal.

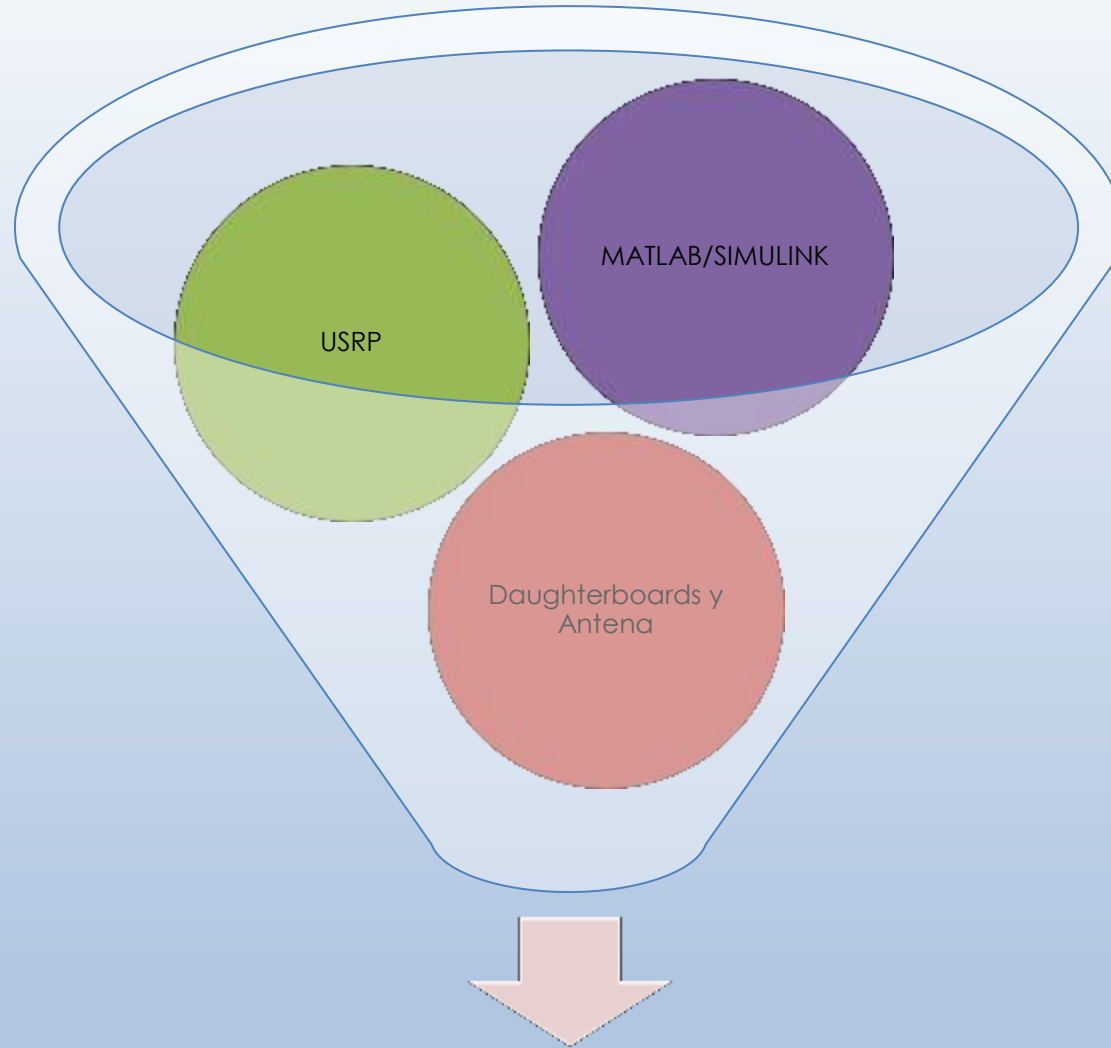
CQI index	Modulation	Coding rate	Spectral efficiency (bps/Hz)	SINR estimate (dB)
1	QPSK	0.0762	0.1523	-6.7
2	QPSK	0.1172	0.2344	-4.7
3	QPSK	0.1885	0.3770	-2.3
4	QPSK	0.3008	0.6016	0.2
5	QPSK	0.4385	0.8770	2.4
6	QPSK	0.5879	1.1758	4.3
7	16QAM	0.3691	1.4766	5.9
8	16QAM	0.4785	1.9141	8.1
9	16QAM	0.6016	2.4063	10.3
10	64QAM	0.4551	2.7305	11.7
11	64QAM	0.5537	3.3223	14.1
12	64QAM	0.6504	3.9023	16.3
13	64QAM	0.7539	4.5234	18.7
14	64QAM	0.8525	5.1152	21.0
15	64QAM	0.9258	5.5547	22.7

Modelo de Transmisión del Downlink



Modelo de Transmisión del Uplink





Hardware y Software

MATLAB/SIMULINK

➤ MATLAB

- MATLAB es un lenguaje de alto nivel y un entorno interactivo para cálculo numérico, visualización y programación.

➤ SIMULINK

- Simulink es un entorno de diagramas de bloques para la simulación multidominio y diseño basado en modelos.

Toolbox

Estos son un compendio de modelos matemáticos los cuales han sido incorporados en MATLAB, estos pueden ser directamente usados en Simulink o en MATLAB como objetos del sistema System Objects.

- Communication System Toolbox
- DSP System Toolbox
- LTE System Toolbox
- USRP Support Package from Communications System Toolbox

Objetos del Sistema

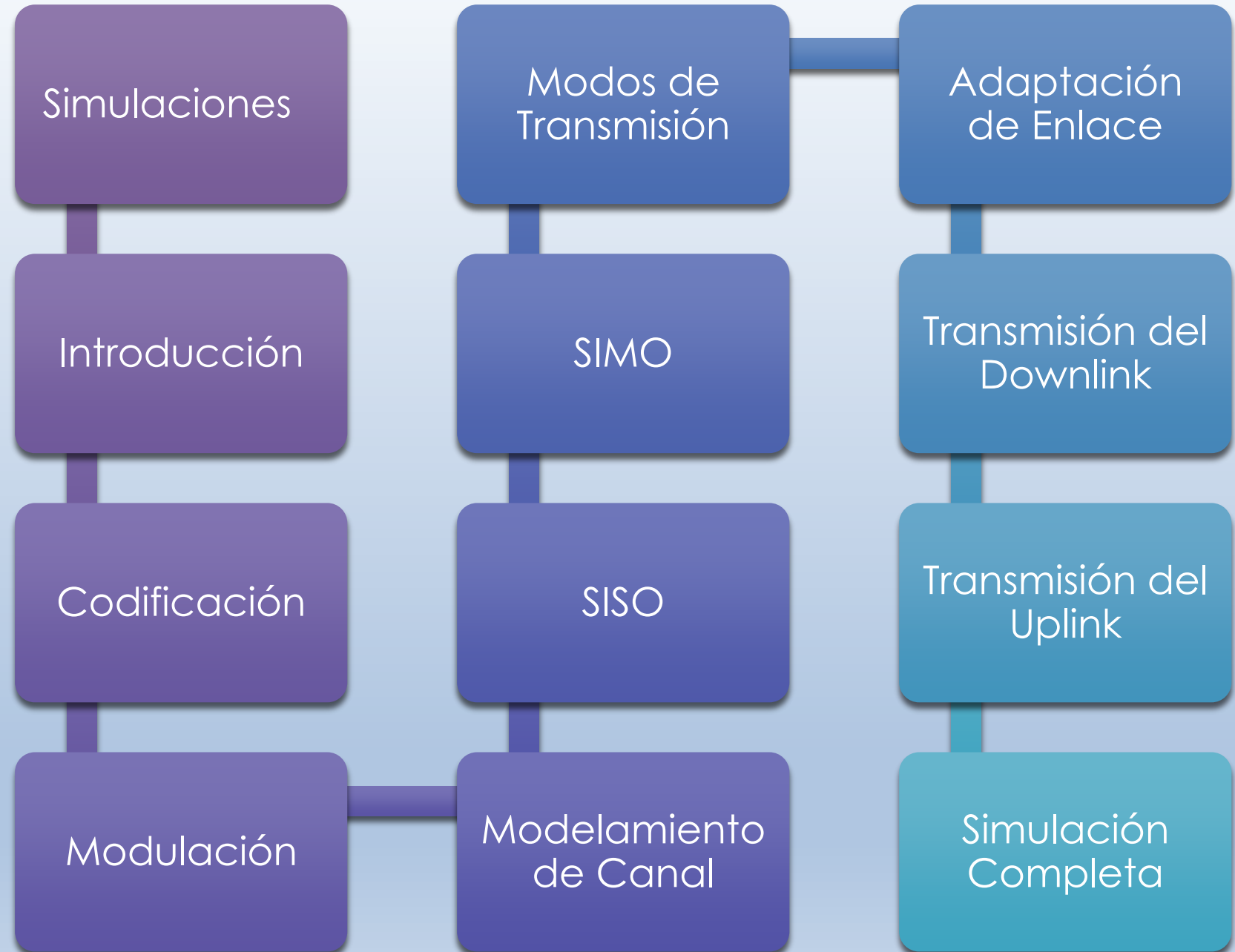
- Los objetos del sistema se crean a partir de las librerías o toolbox de Simulink, estos se pueden usar como funciones las cuales permitan su uso en MATLAB, a continuación se observa como se debe inicializar un modulador QPSK:

```
ModuladorQPSK = comm.QPSKModulator('BitInput',true);
```

USRP – N210

- ▶ Un USRP (Universal Software Radio Peripheral) es un radio reprogramable o reconfigurable con el cual mediante el mismo hardware se pueden realizar diferentes sistemas de comunicaciones los cuales estén basados netamente en software siendo este el concepto fundamental de Radio Definido por Software - SDR.





Introducción

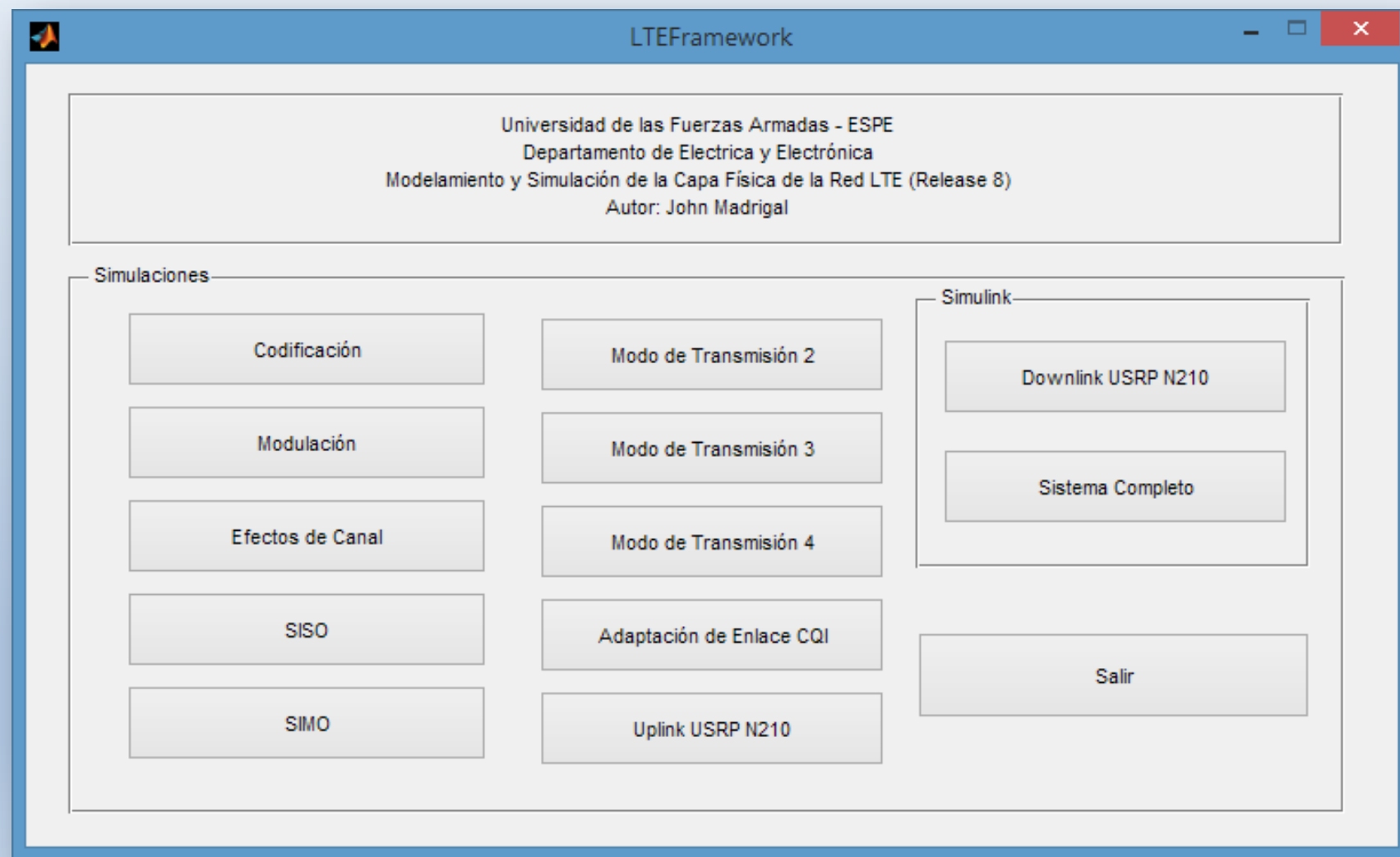
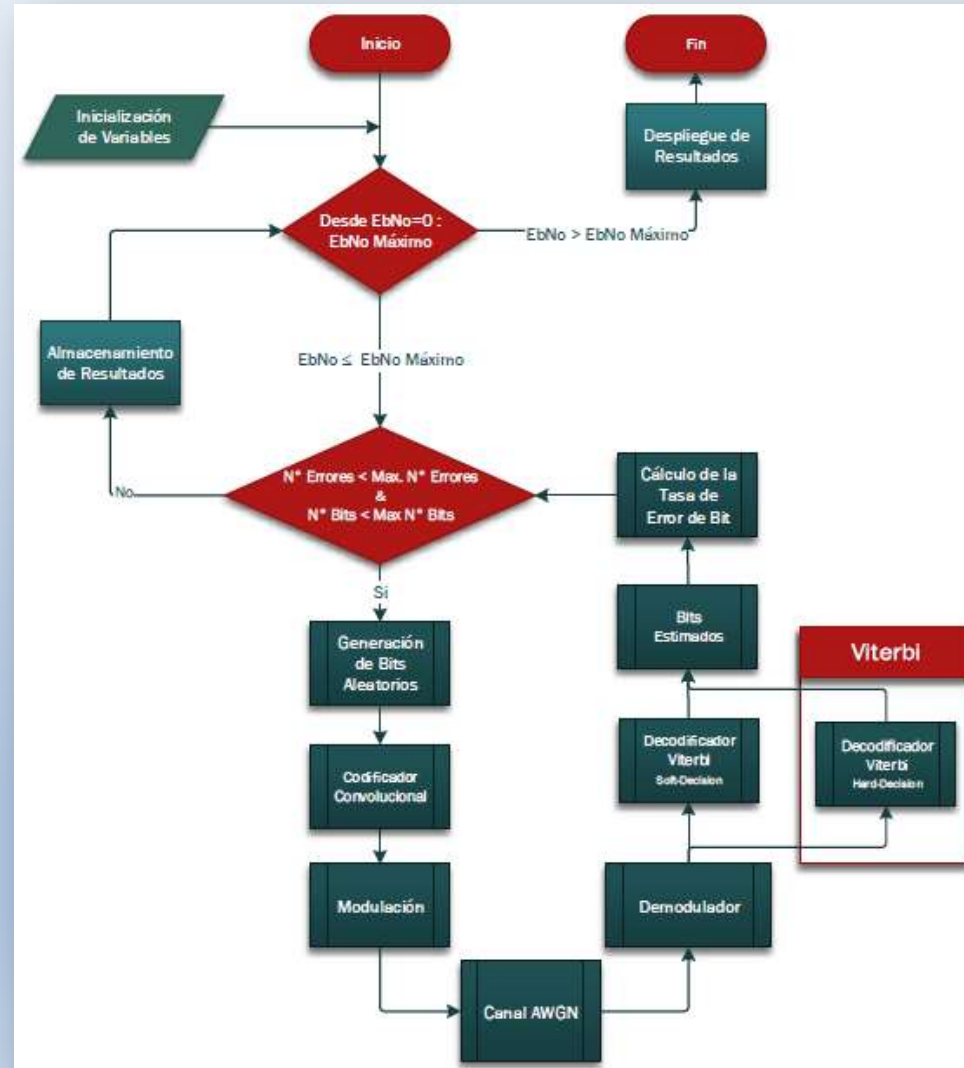


Diagrama de Bloques



Codificación

Menú

Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE
Departamento de Eléctrica y Electrónica
Modelamiento y Simulación de la Capa Física de la Red LTE (Release 8)
Autor: John Madrigal
Tema: Codificación

Parametros

Modulación QPSK

Tamaño de la Trama
Múltiplos de 2048

2048

Num. Errores

1e6

Num. Bits

1e6

Max Eb/No

5

Parámetros

Sin Codificación

Viterbi

Soft

Turbo

Número de Bits
Enviados

Comparacion

Figuras

Resultados

Modelamiento de Canal

Menu

Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE
Departamento de Eléctrica y Electrónica
Modelamiento y Simulación de la Capa Física de la Red LTE (Release 8)
Autor: John Madrigal
Tema: Efectos de Canal

Parámetros

Número Max. Errores

Número Max. Bits

EbNo =

Modulación

Tasa de Código

Simular

Modos de Transmisión

aModoDeTransmision4

Menú

Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE
Departamento de Eléctrica y Electrónica
Modelamiento y Simulación de la Capa Física de la Red LTE (Release 8)
Autor: John Madrigal
Tema: MIMO (Modo De Transmisión 4)

Variables

MIMO

2 X 2

Ancho de Banda [MHz]

1.4

Símbolos de Control

1

Modulación

QPSK

Tasa de Codificación

1/3

Tipo de Decodificación

Completa

Parámetros

Modelo de Canal

Alta Movilidad

Tipo de Ecualización

ZF

Estimación de Canal

Ideal

No. Bits

1e6

No. Errores

1e6

EbNo[dB]

15

☐ Activar Visualización

Simular

Información

Modo 2 LTE R8

Modulación

Tasa

BW

MHz

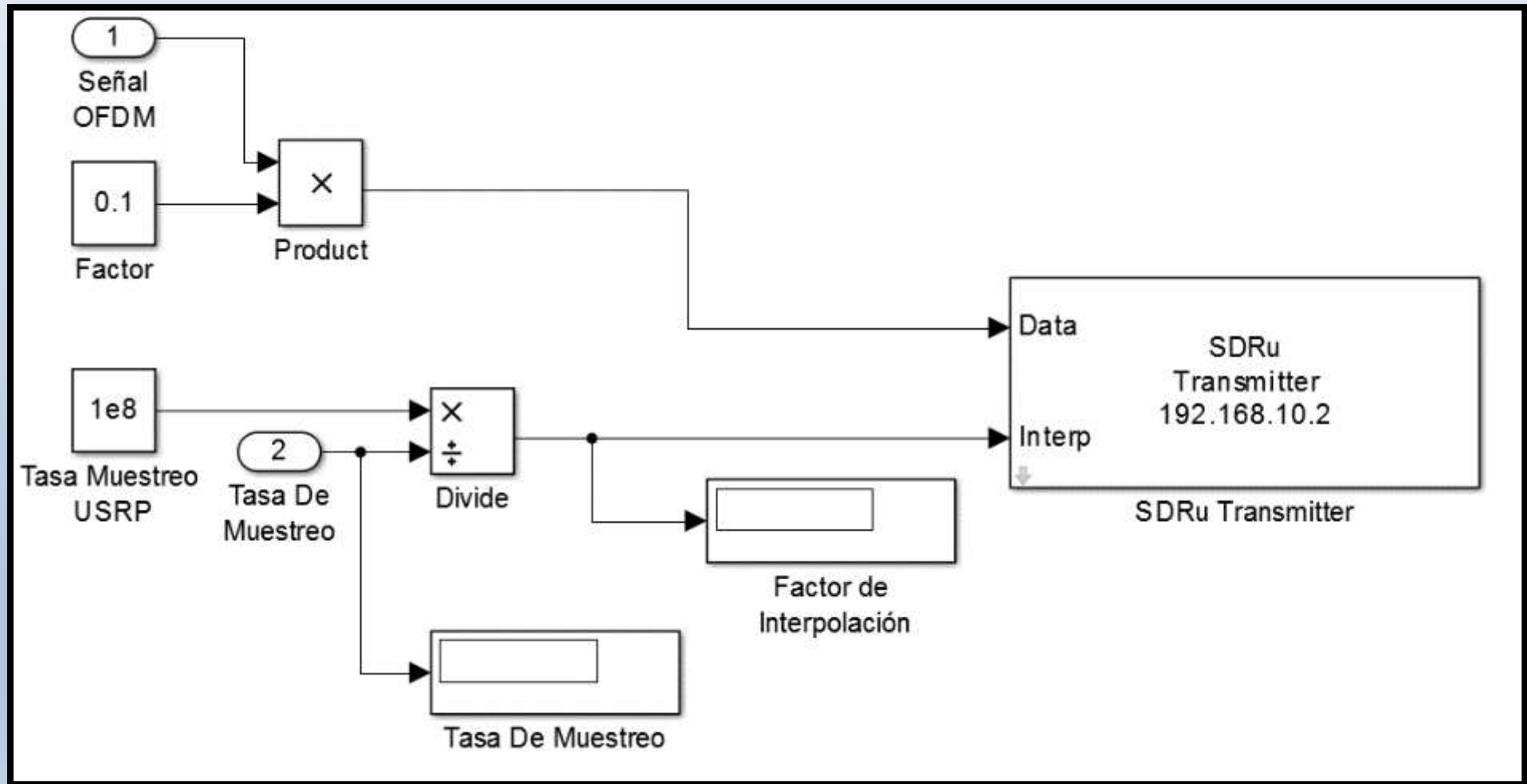
MIMO

X

Throughput

Mbps

Downlink



Uplink

TransmisorUplinkGUI

Menú

Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE
Departamento de Eléctrica y Electrónica
Modelamiento y Simulación de la Capa Física de la Red LTE (Release 8)
Autor: John Madrigal
Tema: Uplink LTE R8

Parametros USRP

Dirección IP USRP: '192.168.10.2'

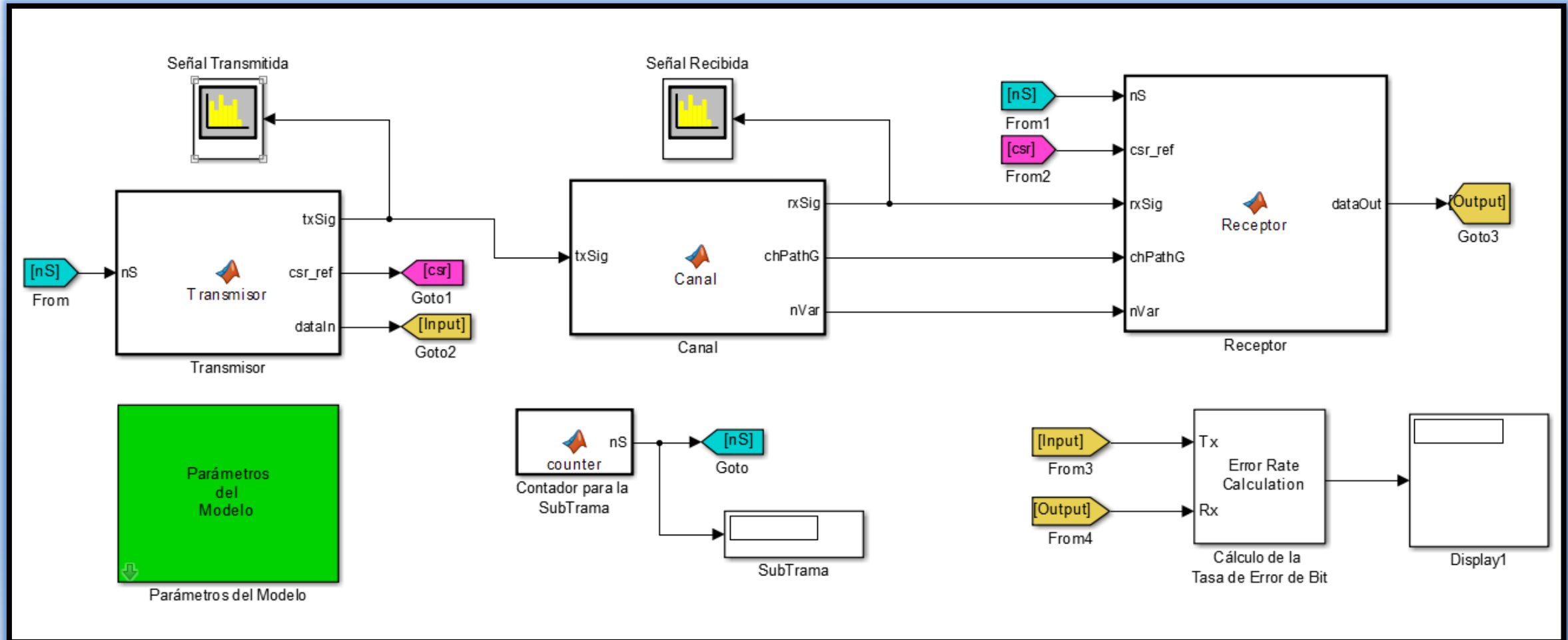
Frecuencia Central (400-4400) [MHz]: 2120

Ganancia (1 - 30): [dB] 20

Ancho de Banda [MHz]: 1.4

Transmitir

Transmisión y Recepción



Resultados

Codificación

Modulación

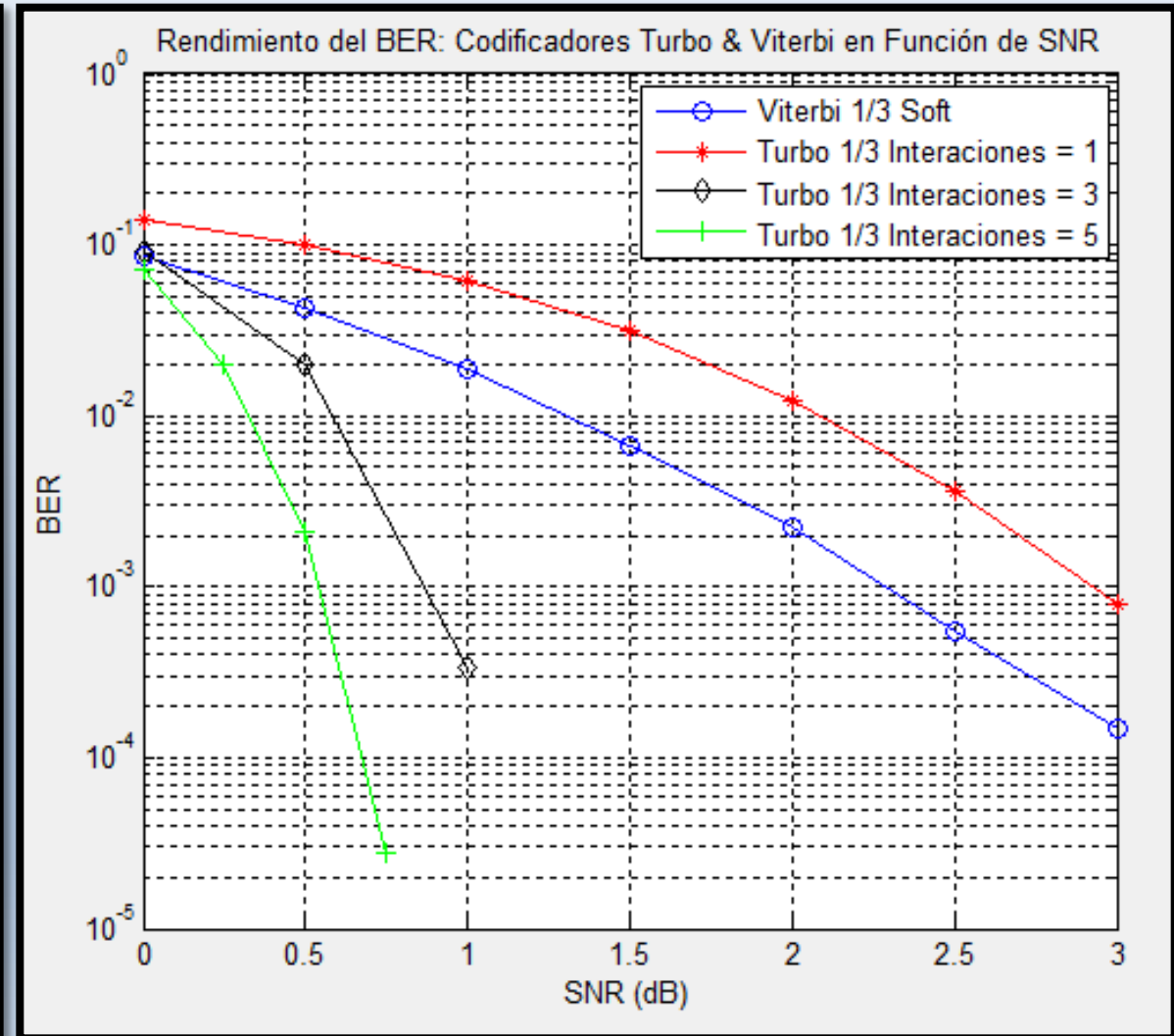
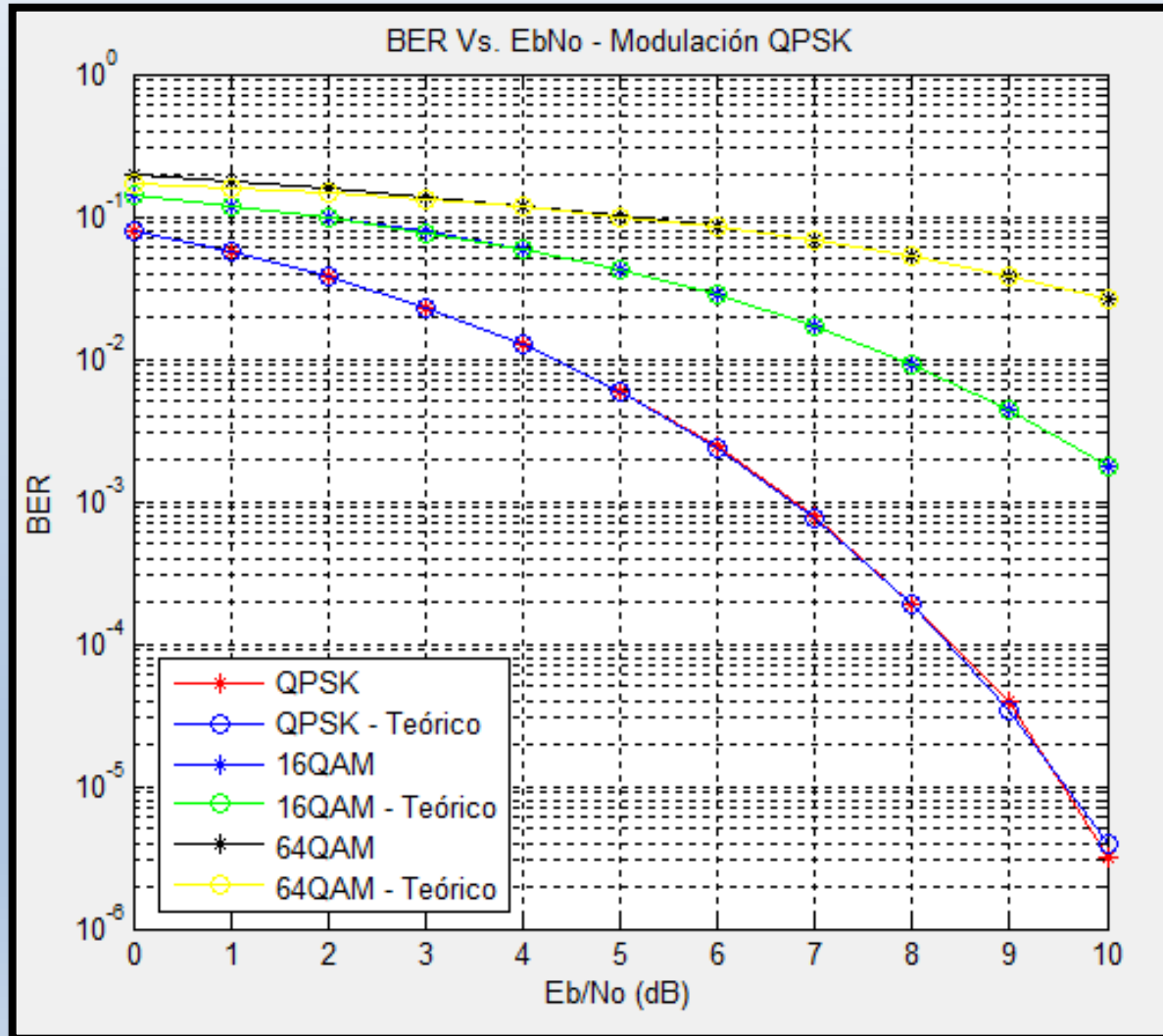
Modos de Transmisión

Downlink

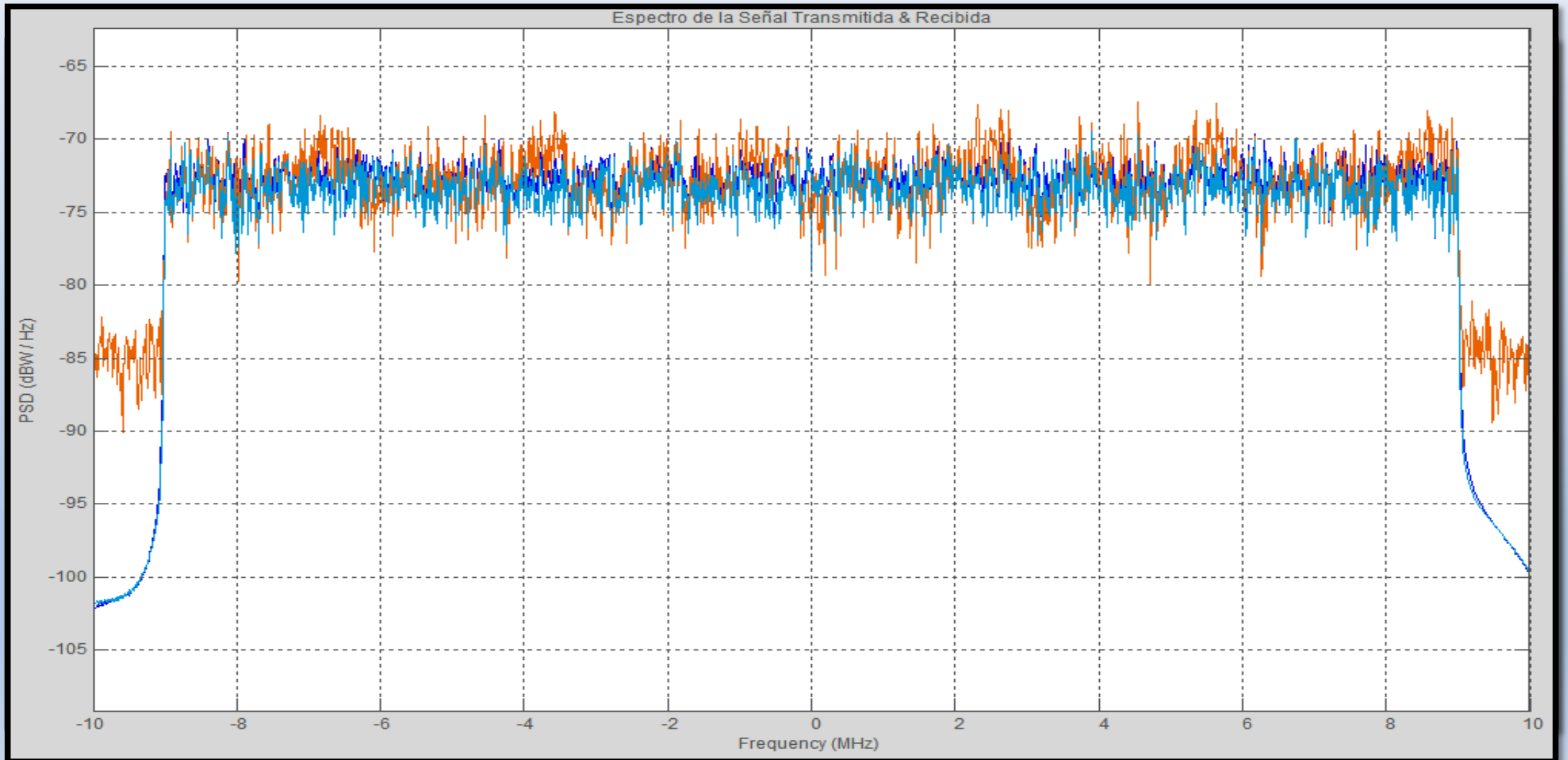
Uplink

Sistema Completo

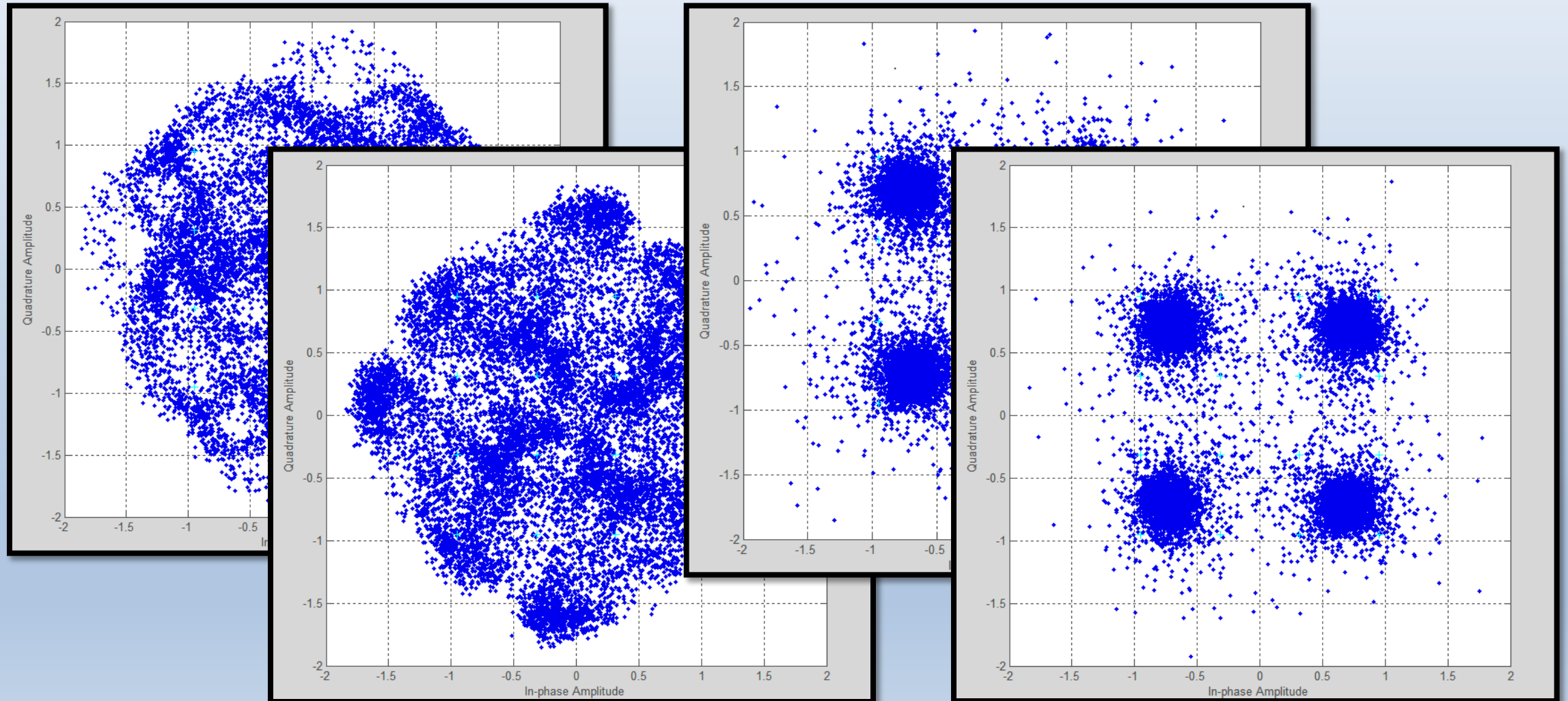
Modulación



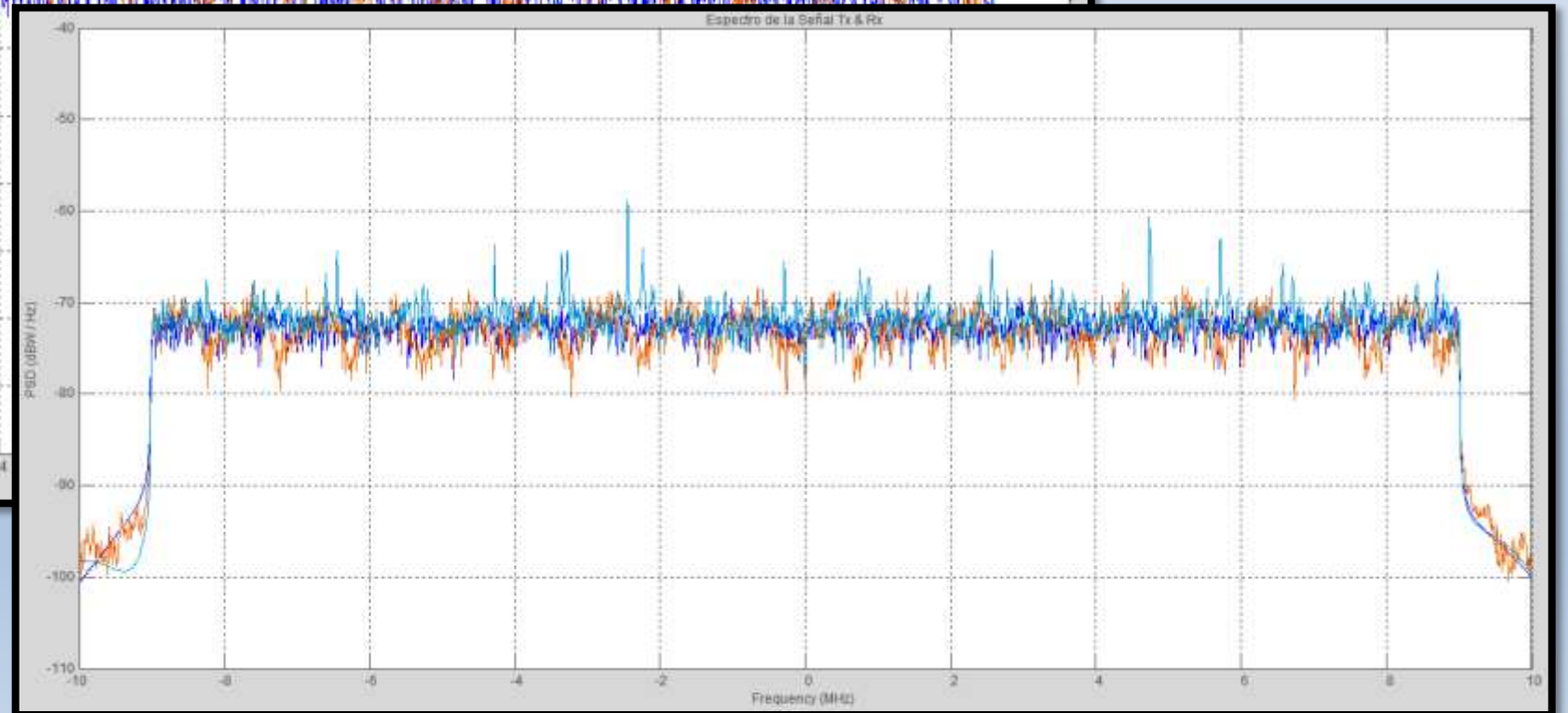
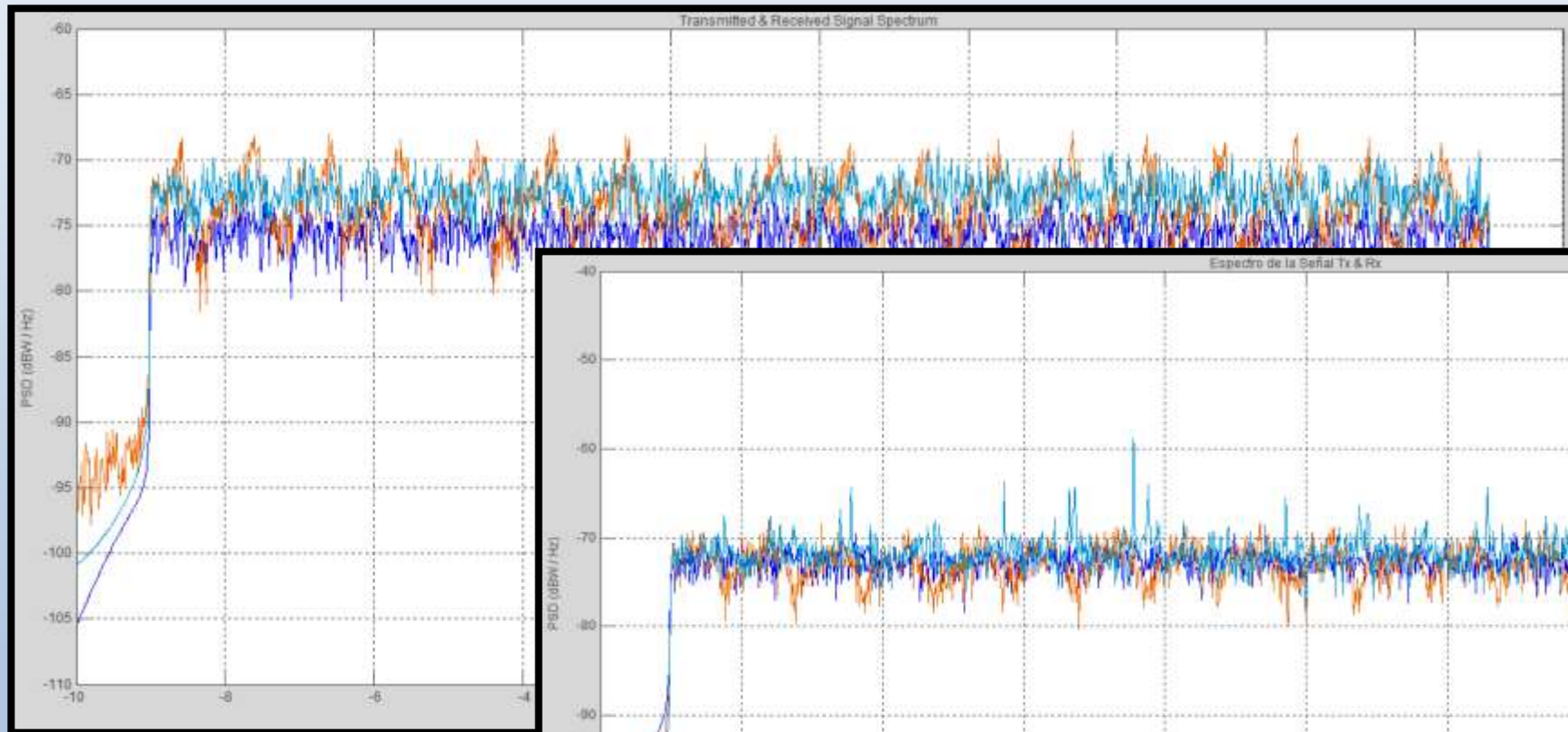
Modos de Transmisión



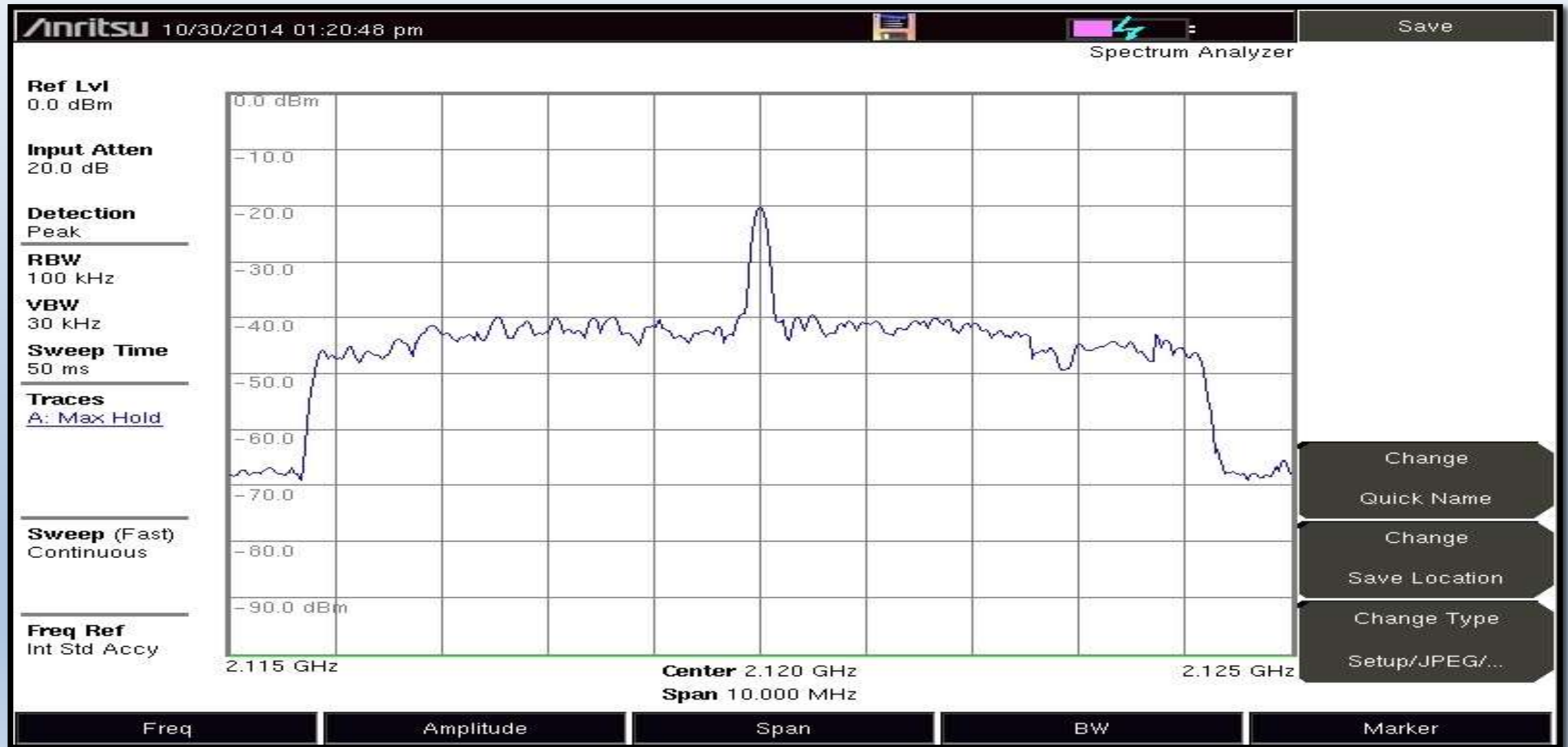
Modos de Transmisión



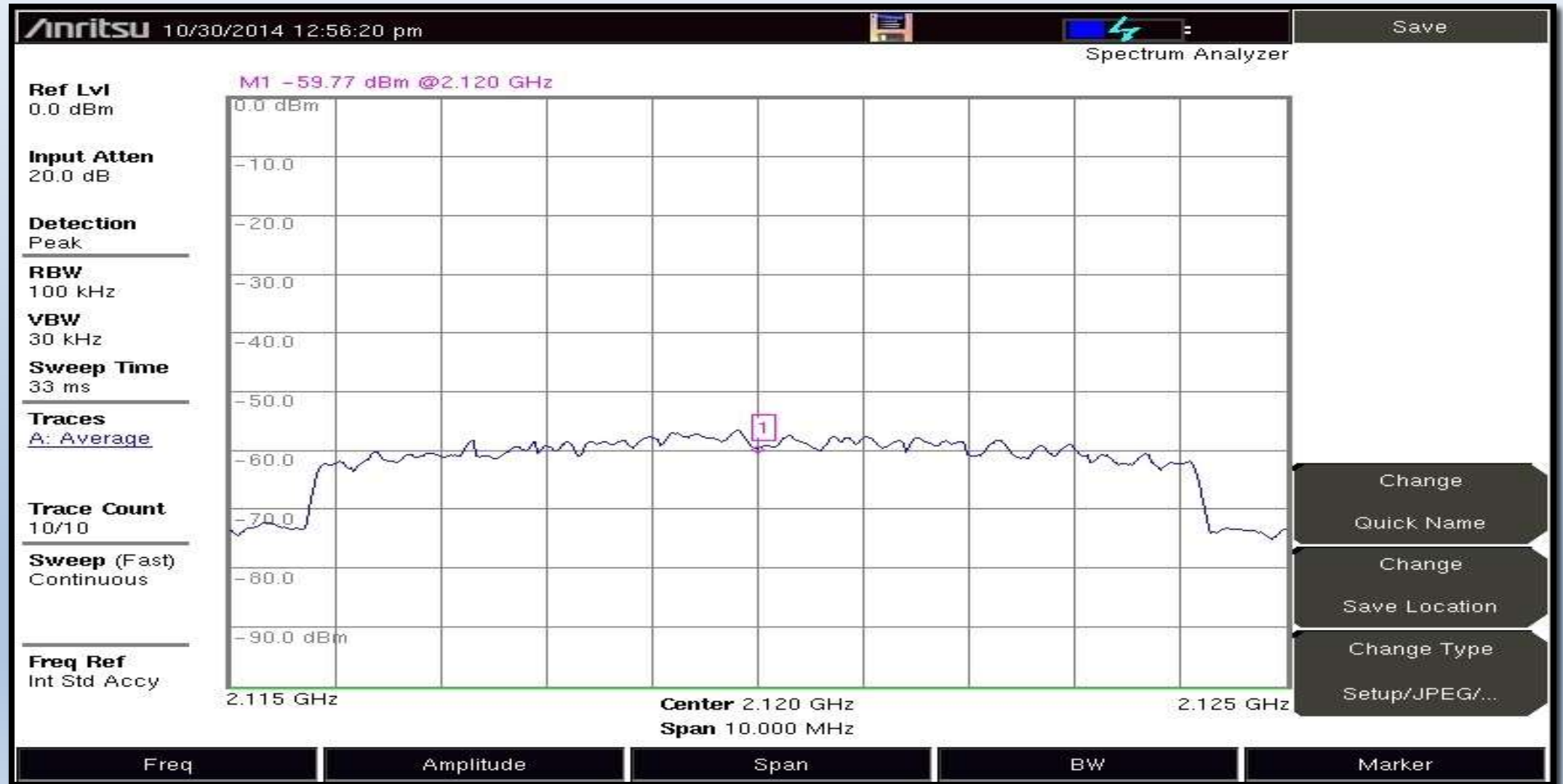
Modos de Transmisión



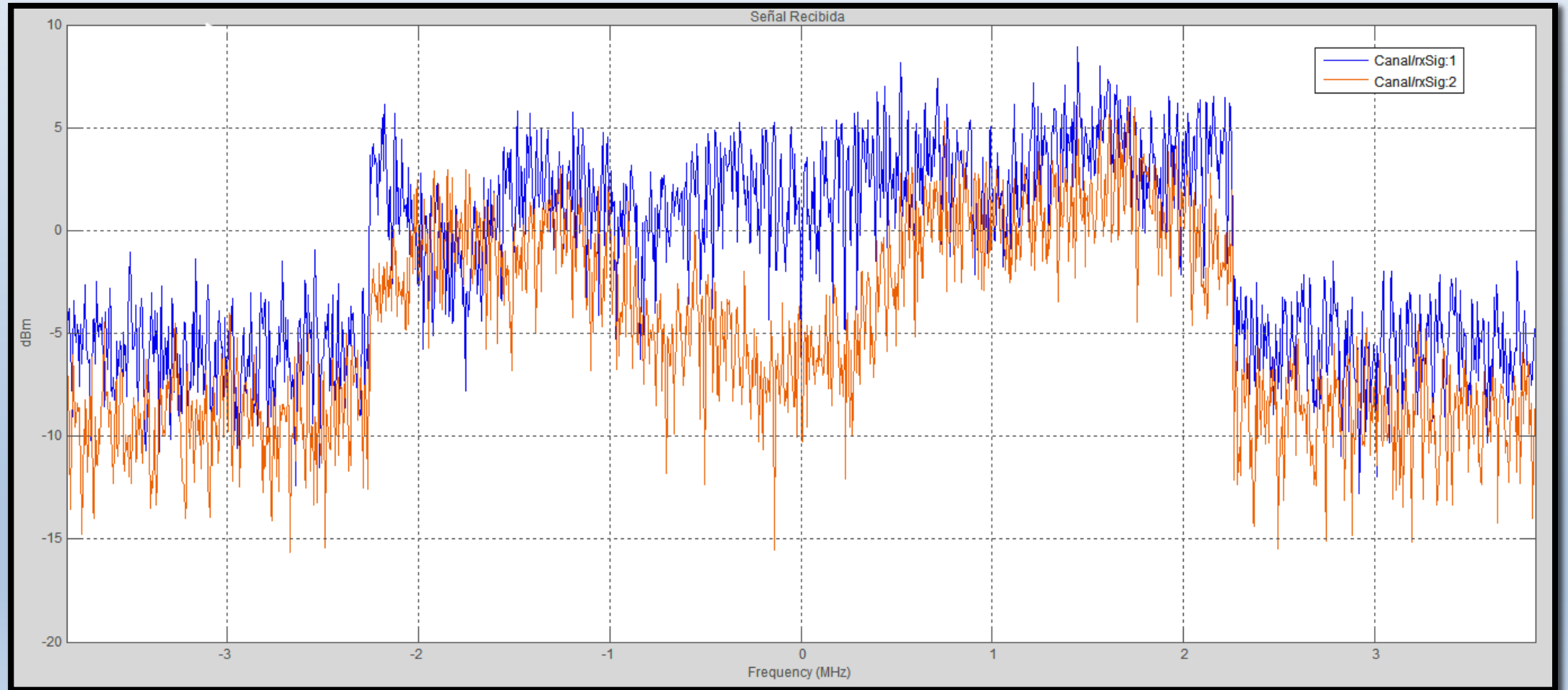
Downlink

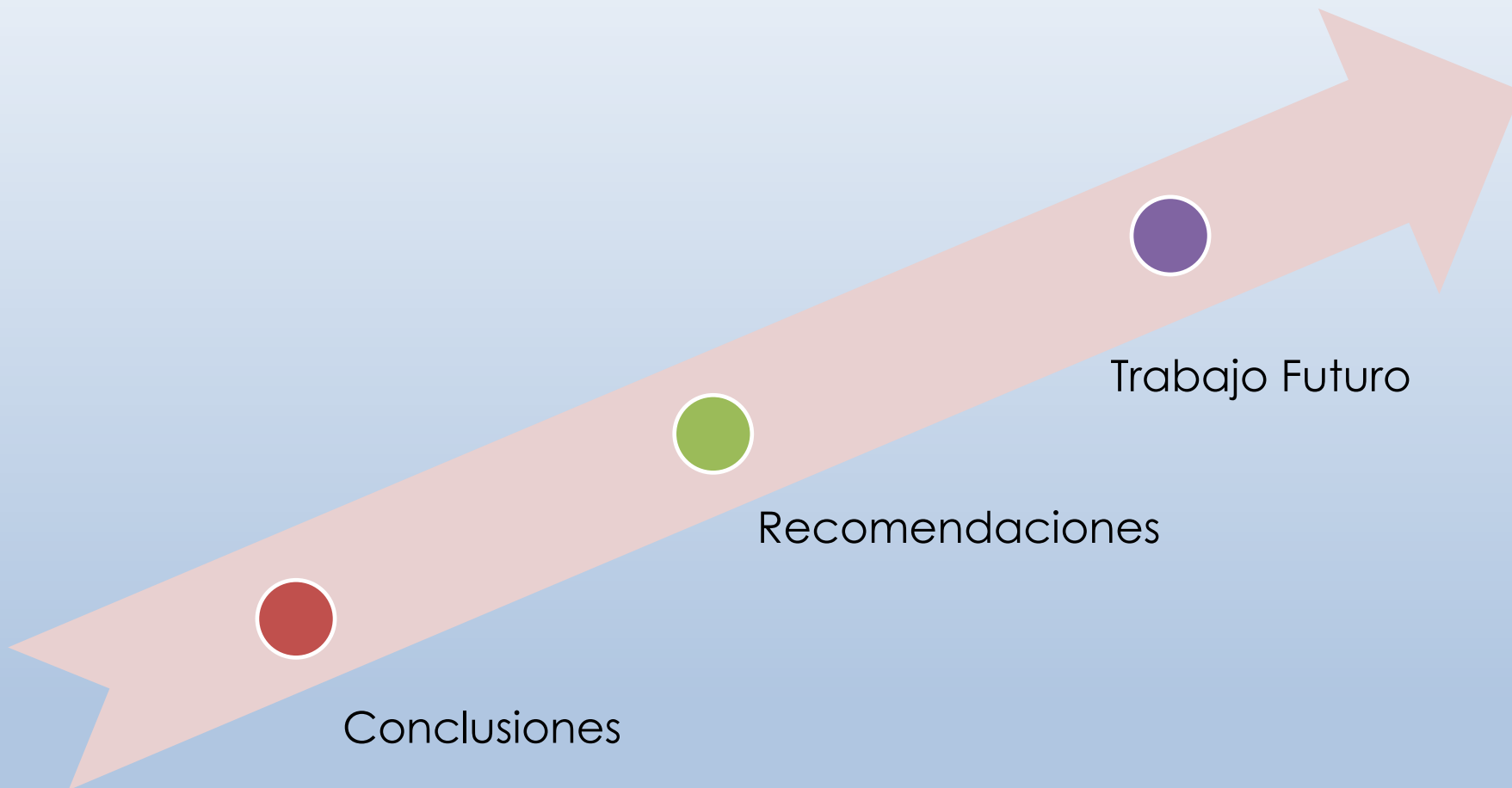


Uplink



Sistema Completo





Conclusiones

- Se logró implementar una plataforma amigable al usuario la cual contiene las simulaciones necesarias para la comprensión del funcionamiento de la capa física de LTE (R8) y de esta manera realizar diferentes análisis de los datos y gráficas obtenidas mediante la integración de algoritmos fundamentales en el procesamiento de la información.
- Se investigó y analizó las especificaciones técnicas de la capa física de LTE (R8) con lo cual se realizó la implementación de las simulaciones que permiten realizar un análisis completo y fundamentado.
- Las gráficas de las modulaciones estructuradas en LTE permiten observar el porque de las tasas de transmisión son elevadas para el sistema LTE.

Conclusiones

- ▶ Las señales obtenidas al transmitir mediante el equipo USRP N210 permiten analizar el comportamiento en un entorno real al variar los parámetros de la Capa Física.
- ▶ Como se observó en los resultados el rendimiento para el caso del enlace de bajada es similar al de una estación radio base usada comercialmente, pero con la limitación de los filtros del USRP; Mientras que para el enlace de bajada se tiene un rendimiento casi igual al de un equipo comercial, lo cual se justifica por el uso del Toolbox de LTE de MATLAB que usan librerías especiales y de uso específico para generar señales de referencia al estándar.

Conclusiones

- ▶ De las codificaciones que se implementaron la que mejor rendimiento respecto a las otras fue la Codificación Turbo, la cual en apenas 1dB tiene un BER de aproximadamente 1×10^{-4} mientras que las otras alcanzan este rendimiento con una Relación Señal/Ruido mas alta.
- ▶ La adaptación de enlace da una idea clara de como es que LTE logrará mantener esas tasas de transmisión elevadas, mediante el SINR la modulación y la tasa de velocidad se modifica en función de mantener una tasa de transmisión promedio estable, para que de esta manera el usuario no note cortes en la transmisión de su información y así brindar un mejor servicio.

Recomendaciones

- ▶ Para realizar el procesamiento de las señales tanto para el enlace de bajada como de subida se debe realizar una revisión bibliográfica extensa de los temas tomados en cuenta en el presente trabajo, debido a la complejidad de estos.
- ▶ Al realizar la comparación entre el espectro de una señal generada con este software y una con la estación base profesional se debe tomar en cuenta los costos que esto implica, siendo el USRP N210 un equipo de bajo costo respecto a otros equipos de esta índole.
- ▶ Esta herramienta debe de ser usada en conjunto con la parte teórica de LTE la cual se dicta en la materia de Redes de Nueva Generación en la Universidad, para que de esta manera se tenga un entendimiento y un enfoque mas acertado para comprender el estándar.

Trabajo Futuro

- ▶ Como trabajo futuro se plantea la implementación de los cambios realizados en Releases superiores al 8 de la 3GPP como agregación de portadora y variaciones de OFDM para el enlace de subida. La plataforma es actualizable en este sentido ya que es de código abierto, mas no el software en donde se ejecuta.
- ▶ Se propone también realizar la implementación de las capas superiores de LTE para tener una comunicación con dispositivos terminales que usen este estándar.
- ▶ Y finalmente se propone la implementación de un receptor en el cual se pueda observar la información que es transmitida con esta plataforma para la verificación de los parámetros de LTE.