



# **DIPLOMADO** **EN TECNOLOGÍA**

# **5G**

# **TEMARIO**

# M1: SISTEMAS DE COMUNICACIONES

## 1. Sistemas Digitales de Comunicación

- 1.1. Sistemas de Transmisión Analógico/Digital
- 1.2. Canal Analógico/Digital
- 1.3. Sistemas Satelitales

## 2. Representación de la Señal Pasa Banda a través de la Señal Banda Base

- 2.1. Transmisión en Banda Base y Transmisión en RF
- 2.2. Representación de la señal Pasa Banda
- 2.3. Densidad Espectral de Potencia

## 3. Modulación Analógica

- 3.1. Modulación AM
- 3.2. Modulación Angular
- 3.3. MatLab - Simulink

## 4. Modulación Digital

- 4.1. Modulación ASK
- 4.2. Modulación FSK
- 4.3. Modulación PSK
- 4.4. Modulación QAM

## 5. Modulación Analógica de Pulsos (PAM, PWM y PPM)

- 5.1. Teorema de muestreo
- 5.2. Modulación de pulsos en amplitud (PAM)
- 5.3. Modulación de pulsos por duración y posición (PWM y PPM)

## 6. Modulación Digital de Pulsos

- 6.1. Muestreo

6.2.Cuantificación

6.3.Codificación

6.4.PCM Diferencial y Modulación Delta

6.5.Tasa de Transmisión y Ancho de Banda

## 7.Análisis de desempeño en modulación Digital

7.1.Tasa de Error de Bit (BER)

7.2.Tasa de Error de Modulación (MER)

7.3.Probabilidad de Error ( $P_e$ )

## 8.Multiplexación

8.1.Conceptos

8.2.Multiplexación por División de Frecuencia FDM

8.3.Multiplexación por División de Tiempo TDM

8.4.Multiplexación por Longitud de Onda

## 9.Códigos de Línea

9.1.Conceptos y códigos de línea más usados

9.2.Características de código

## 10. Detección y Corrección de Errores

10.1.Métodos de Detección

10.2.Corrección de Errores

## 11. Señal OFDM

11.1.Conceptos

11.2.Generación señal OFDM

11.3.Transmisión señal OFDM – MatLab

## **M2: Principios y Arquitectura del Sistema 5G**

### **1. Principios y Fundamentos del Sistema 5G**

- 1.1.Necesitamos el 5G
- 1.2.Evolución de los Sistemas Móviles
- 1.3.Casos de Uso del 5G
- 1.4.Requisitos del Sistema 5G
- 1.5.The 3rd Generation Partnership Project
- 1.6.Especificaciones 3GPP
- 1.7.Configuraciones Non-Stand Alone & Stand Alone
- 1.8.Opciones de Despliegue del Sistema 5G
- 1.9.Rutas Potenciales de Migración al 5G
- 1.10.Doble Conectividad

### **2. Arquitectura del Sistema 5G**

- 2.1.Introducción
- 2.2.Arquitectura basada en servicios
- 2.3.Red Central (Core Network - NGC)
- 2.4.Red de Acceso por radio (NG-RAN)
- 2.5.New Radio (5G-NR)
- 2.6.Network Slicing
- 2.7.Multi-access Edge Computing (MEC)

## **M3: Radiopropagación y Geolocalización en 5G**

### **1. Conceptos Fundamentales de Radio propagación**

- 1.1. Ondas electromagnéticas
- 1.2. Fenómenos físicos de las ondas electromagnéticas
- 1.3. Efectos Combinados en la radio propagación

### **2. Radio propagación en Ondas Milimétricas**

- 2.1. Fundamentos de las ondas milimétricas
- 2.2. Ventajas del uso de ondas milimétricas
- 2.3. Desventajas del uso de ondas milimétricas
- 2.4. Radio propagación de ondas milimétricas

### **3. Difracción de Ondas Electromagnéticas**

- 3.1. Fundamentos de la difracción
- 3.2. Métodos de difracción
  - 3.2.1. Método de Epstein-Peterson
  - 3.2.2. Método Bullington
  - 3.2.3. Método Deygout
- 3.3. Método Uniform Theory Diffraction

### **4. Bloqueo Humano**

- 4.1. Fundamentos del bloque Humano
- 4.2. Modelos de estimación
- 4.3. Experimentos empíricos de Bloque Humano

### **5. Atenuación e Interferencia debida a la lluvia**

- 5.1. Características de la gota de lluvia
- 5.2. Representación matemática de atenuación debida a lluvia
- 5.3. Resultados empíricos de la atenuación debida a la lluvia
- 5.4. Fundamentos de la Interferencia debida a lluvia
- 5.5. Resultados empíricos de interferencia debida a la lluvia

## 6. Atenuación debida a la Vegetación

- 6.1. Fundamentos de la propagación en ambientes con vegetación
- 6.2. Modelos de atenuación debido a vegetación
- 6.3. Resultados empíricos de la estimación de atenuación
- 6.4. Comparación de modelos matemáticos

## 7. Atenuación debido al Espacio Libre y Gases Atmosféricos

- 7.1. Fundamentos de la propagación en espacio libre
- 7.2. Formulación matemática de la atenuación en espacio libre
- 7.3. Formulación matemática de la atenuación debida a gases atmosféricos

## 8. Modelos de Radio Propagación

- 8.1. Fundamentos de los modelos de propagación
- 8.2. Clasificación de los modelos de propagación
- 8.3. Modelo SUI
- 8.4. Resultados empíricos en redes 5G

## 9. Radio Propagación Indoor

- 9.1. Conceptos de propagación Indoor
- 9.2. Modelos de propagación Indoor
- 9.3. Resultados empíricos en ambientes Indoor

## 10. Conceptos Fundamentales de Geolocalización

- 10.1. Fundamentos de la geolocalización
- 10.2. Métodos de geolocalización en red 5G
  - 10.2.1. Geolocalización IP
  - 10.2.2. Geolocalización GNSS
  - 10.2.3. Geolocalización móvil

## 11. Geolocalización GPS

- 11.1. Fundamentos de Sistemas GPS

11.2. Errores en la propagación de señales GPS

11.3. Posicionamiento matemático

## 12. Geolocalización Móvil en redes 5G

12.1. Fundamentos de posicionamiento móvil

12.2. Geolocalización Híbrida

12.3. Posicionamiento matemático

## M4: Antenas para 5G

### 1. Introducción

1.1. Cómo se genera radiación.

1.2. Qué es una antena.

1.3. Circuito equivalente de una antena.

1.4. Zonas de radiación.

### 2. Parámetros de las antenas

2.1. Diagrama de radiación

2.2. Densidad de potencia de radiación

2.3. Potencia total de radiación.

2.4. Intensidad de radiación.

2.5. Directividad, eficiencia, ganancia.

2.6. Resistencia de pérdidas.

2.7. Impedancia de entrada.

2.8. Teorema de la reciprocidad.

2.9. Área efectiva de la antena.

2.10. Ecuación de transmisión de Friis.

### 3. Clasificación de las antenas

- 3.1. Antenas tipo cable.
- 3.2. Antenas de abertura.
- 3.3. Antenas microstrip.
- 3.4. Arreglos.

### 4. Antenas esenciales

- 4.1. Dipolos.
- 4.2. Antenas microstrip.
- 4.3. Vivaldi.

### 5. Arreglos de antenas

- 5.1. Lineales.
- 5.2. Planares.
- 5.3. Conformales.

### 6. Simulación electromagnética en FEKO

- 6.1. Dipolo.
- 6.2. Microstrip.
- 6.3. Arreglo.

### 7. Antenas usadas en 5G

- 7.1. Sistemas SISO.
- 7.2. Sistemas MIMO.
- 7.3. Antena tipo monopolo y dipolo impreso.
- 7.4. Antena Vivaldi y Antipodal.
- 7.5. Antena tipo fractal.
- 7.6. Antena F invertida (IFA) y planar invertida (PIFA)

### 8. Elementos para conformación del Haz (Beamforming)

- 8.1. Elementos para conformación del Haz (Beamforming).
- 8.2. Elementos radiadores que conforman el haz.

8.3.Ventajas del beamforming.

8.4.Manejo del haz.

8.5.Control del ángulo de escaneo.

8.6.División del Haz.

8.7.Clasificación de los tipos de beamforming.

## 9.Elementos para conformación del Haz (Beamforming)

9.1.Divisor de potencia.

9.2.Concepto.

9.3.Divisor de unión T.

## 10.Simulación de líneas de transmisión

10.1.Introducción al software Qucs.

10.2.Definición de parámetros del sustrato.

10.3.Dimensionamiento de una línea.

10.4.Simulación del circuito.

## 11. Simulación de antena en el programa Qucs

11.1.Sustrato y parámetros.

11.2.Configuración de impedancias.

11.3.Simulación de forma circuital.

11.4.Simulación electromagnética sencilla.

11.5.Resultados.

## 12. Técnicas para mejorar las antenas en 5G

12.13.Elección del sustrato.

12.14.Corrugación en la metalización.

12.15.Adición de múltiples elementos.

12.16.Lentes dieléctricos.

12.17.Minimización del acoplamiento mutuo y sus técnicas.

## 13. Técnicas para mejorar las antenas en 5G

- 13.1. Antenas para estación base 5G (gNodeB)
- 13.2. Necesidad de nuevas configuraciones
- 13.3. Capacidad de canal
- 13.4. Espectro de frecuencias principales
- 13.5. Nueva Interfaz de Aire (New radio)
- 13.6. Antenas sectoriales
- 13.7. MIMO masivo
- 13.8. Antenas de polarización cruzada
- 13.9. Advanced Antenna Systems (AAS)

## 14. Antenas para servicios 5G

- 14.1. Terminales móviles
- 14.2. Vehículos no tripulados (UAV)

## M5: MIMO y Beamforming

### 1. Introducción a los sistemas MIMO

- 1.1. Definición.
- 1.2. Diagrama de bloques de un sistema MIMO.
- 1.3. Diversidad y multiplexación espacial.
- 1.4. Modelaje del sistema MIMO.

### 2. Ejemplos de sistemas MIMO

- 2.1. Sistema MIMO
- 2.2. Sistema SIMO
- 2.3. Sistema MISO
- 2.4. Sistema SISO
- 2.5. Vector de ruido  $\mathbf{n}$
- 2.6. Técnicas de combinación

### 3. Detectores para los sistemas MIMO

- 3.1. Detector Zero Forcing.
- 3.2. Ejemplo detector Zero Forcing.
- 3.3. Desempeño en términos de tasa de error de bit BER del detector ZF
- 3.4. Detector Linear minimum mean squared error (L-MMSE)
- 3.5. Detector Maximum Likelihood (ML)
- 3.6. Detector Sphere Decoder (SD)

### 4. Estimación de canal

- 4.1. Estimación de canal
- 4.2. Estimación Least Square
- 4.3. Estimación MMSE

### 5. Códigos STBC en sistemas MIMO Lineales

- 5.1. Space Time Block Codes
- 5.2. Alamouti Space-Time
- 5.3. SBTC para señales reales
- 5.4. SBTC para señales complejas.

### 6. MIMO y MIMO Masivo

- 6.1. Diferencias entre MIMO y MIMO masivo
- 6.2. Ventajas de la utilización de los sistemas MIMO masivo
- 6.3. Desventajas de la utilización de los sistemas MIMO
- 6.4. Multi-user MIMO

### 7. Conceptos Beamforming

- 7.1. Qué es un Beam.
- 7.2. Cómo direccionar un Beam.
- 7.3. Múltiples Beams.

### 8. Arreglos

- 8.1. Procesamiento de arreglos.

8.2. Tipos de arreglos de sensores.

8.3. Aplicaciones.

## 9. Selección de Beams en escenarios con un solo usuario.

9.1. Barrido de beams en la BS y UE.

9.2. Barrido de beams en el UE.

9.3. Barrido de beams en la BS.

9.4. Aplicaciones

## 10. Selección de Beams multiusuarios

10.1. Selección de beams multiusuario.

10.2. Aplicaciones.

## 11. Beams fijos y adaptativos.

11.1. Codebook.

11.2. Beams fijos y adaptativos.

## 12. Precodificadores y combinadores híbridos

12.1. Ondas milimétricas.

12.2. Precodificadores/combinadores híbridos.

12.3. Arquitecturas de precodificadores/combinadores híbridos.

## **M6: Coexistencia entre 5G y otros sistemas inalámbricos**

### **1. Clasificación del espectro radioeléctrico para redes 5G**

- 1.1. Siglas y términos
- 1.2. 5G NR
- 1.3. Bandas de frecuencia para 5G NR
- 1.4. Bandas de operación en FR1
- 1.5. Bandas de operación en FR2
- 1.6. Casos de uso - Bandas de frecuencia 5G-NR
- 1.7. Puntos clave

### **2. Coexistencia entre 5G y otros sistemas de comunicaciones inalámbricas**

- 2.1. Siglas y términos
- 2.2. Introducción al concepto de coexistencia
- 2.3. Consideraciones del espectro para 5G
- 2.4. Coexistencia de redes 5G con otros sistemas de comunicaciones
- 2.5. Puntos Clave

### **3. Coexistencia entre redes 5G y sistemas de comunicaciones por satélite**

- 3.1. Siglas y términos
- 3.2. Clasificación de las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico
- 3.3. Banda C y sistemas que operan en esta banda
- 3.4. Espectro radioeléctrico para 5G en la Banda C
- 3.5. Coexistencia entre redes 5G y sistemas satelitales operando en la Banda C
- 3.6. Puntos Clave

### **4. Coexistencia entre red 5G y sistema satelital TVRO**

- 4.1. Siglas y términos

- 4.2.Descripción del problema de coexistencia
- 4.3.Montaje experimental
- 4.4.Resultados experimentales
- 4.5.Distancia mínima de protección
- 4.6.Soluciones propuestas
- 4.7.Puntos Clave

## 5.Coexistencia entre TDT y redes de comunicaciones 5G

- 5.1.Siglas y términos
- 5.2.Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones y armonización del espectro radioeléctrico
- 5.3.Banda de 700 MHz
- 5.4.Dividendo digital
- 5.5.Estado actual de la TDT en Latinoamérica
- 5.6.Interferencia entre TDT y sistemas 5G
- 5.7.Puntos Clave

## 6.Coexistencia entre red 5G y sistema DVB-T

- 6.1.Siglas y términos
- 6.2.Escenario de coexistencia
- 6.3.Parámetros técnicos del sistema DVB-T
- 6.4.Disposición de la canalización
- 6.5.Condiciones técnicas menos restrictivas
- 6.6.Criterios de protección
- 6.7.Herramienta de simulación
- 6.8.Puntos Clave

## 7.Introducción a sistemas de radares

- 7.1.Siglas y términos
- 7.2.Historia radar
- 7.3.Aplicaciones militares y civiles
- 7.4.Características del radar

7.5.Bandas de frecuencia

7.6.Puntos Clave

## 8.Principio de operación del radar y escenarios de coexistencia

8.1.Siglas y términos

8.2.Bandas con solapamiento

8.3.Principio de operación del radar

8.4.Formas de onda

8.5.Escenarios de coexistencia

8.6.Puntos Clave

## M7: REDES DE TRANSPORTE DE FIBRA ÓPTICA PARA 5G

### 1.Conceptos y repaso de un sistema de fibra óptica

1.1.Conceptos básicos y transmisor

1.1.1.Laboratorio sobre LASER, OSA, Potencia y longitud de onda.

1.1.2.Simulación de una señal óptica. Potencia y longitud de onda.

1.2.Modulación de datos, ASK, PSK y QAM.

1.2.1.Laboratorio, tratamiento de la fibra, transceptor, modulación ASK.

1.2.2.Simulación de un LASER CW y modulación ASK.

1.4.Fibra óptica, atenuación y dispersión.

1.4.1.Laboratorio Fibra mono-modo y multi-modo, MPO, atenuación y dispersión.

1.4.2.Simulación de atenuación y dispersión.

1.5.Fotodetectores APD, PIN. Receptor IM/DD. Ruido y SNR.

1.5.1.Laboratorio de Fotodetectores, señal de 10Gbps, amplificación eléctrica y PIN vs APD y transmisión en 40km y 80 km.

1.5.2.Simulación de un fotodetector, cálculo del BER, VER vs potencia recibida.

1.6.Arquitectura y topología de redes. WAN, MAN, LAN. Amplificación.

1.6.1.Laboratorio sobre amplificador EDFA.

1.6.2.Simulación de Amplificador EDFA y sistema amplificado.

1.7.Multimultiplexadores y de-multimultiplexadores de potencia y longitud de onda.

Circuladores e Isoladores.

1.7.1.Laboratorio sobre Multimultiplexadores y de-multimultiplexadores de potencia y longitud de onda, circuladores.

1.7.2.

## 2. 5G y la red de transporte de fibra óptica

2.1.¿Qué es el 5G?, estandarización, evolución, despliegue y principales características.

2.2.5G y la red de transporte de fibra óptica. Evolución de la red de transporte 4G a 5G. División de funcionalidades de la RAN.

2.3.Fronthaul, eCPRI y CPRI.

2.3.1.Laboratorio sobre eCPRI e CPRI.

2.3.2.Laboratorio sobre Transceptores

2.4.Redes de acceso. WDM y TDM.

2.5.Midhaul y Backhaul.

2.6.Sincronización y latencia en redes 5G.

2.7.Network Slicing.

2.8.Desagregación para ruteadores.

2.9.

## 3.Innovación y futuro

3.1.Auto-longitud de onda (Autolambda)

3.2.XR Optics