

Nombre: Eber Santiago González Castillo Código: 20232678009

Nombre: Andres Camilio Torres Sossa Código: 20251678055

Nombre: Juan David Sosa Suarez Código: 20251678043

**Sistema de Configuración de Señales en Formación de Haces para 5G,
5G Avanzado y 6G**



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

TEORIA DE LA INFORMACION

Docente: GERARDO ALBERTO CASTANG MONTIEL.

**Universidad Francisco Jose De Caldas
Bogota D.C.
2025.**

Índice

1. Introducción	3
2. Planteamiento del Problema	4
3. Objetivos	5
3.1 Objetivo General.....	5
3.2 Objetivos Específicos.....	5
4. Estado del Arte	6
5. Metodología de Desarrollo	7
5.1 Arquitectura del Sistema	7
5.2 Tecnologías y Herramientas	8
Resultados Esperados.....	8

1. Introducción

El avance hacia las redes de quinta generación (5G), su evolución hacia 5G Advanced, y la investigación en sexta generación (6G), demandan sistemas de comunicación inalámbrica capaces de soportar altas tasas de transmisión, baja latencia y alta eficiencia espectral. La formación de haces (beamforming) se ha consolidado como una técnica fundamental para optimizar el uso de recursos radioeléctricos, direccionando la energía hacia los usuarios específicos en lugar de irradiar de manera omnidireccional.

Este proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema software que permita configurar parámetros clave de transmisión y recepción de señales en 5G, 5G Avanzado y 6G, incluyendo:

1. Potencia de transmisión
2. Frecuencia de operación
3. Distancia de alcance (rango)
4. Configuración de haces para envío y recepción de señales

2. Planteamiento del Problema

Las redes actuales enfrentan diversos retos:

Uso ineficiente del espectro: la creciente demanda de usuarios y dispositivos IoT genera saturación en bandas de frecuencia tradicionales.

Gestión compleja de recursos de red: la correcta configuración de potencia, frecuencia y rango requiere algoritmos adaptativos y sistemas de control avanzados.

Limitaciones en movilidad y latencia: las técnicas convencionales no permiten garantizar el rendimiento en escenarios de alta densidad de usuarios o aplicaciones críticas (vehículos autónomos, telemedicina).

Interoperabilidad: la coexistencia de tecnologías 5G, 5G Advanced y 6G requiere plataformas flexibles que soporten múltiples configuraciones y estándares.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de software que permita configurar, enviar y recibir señales en formación de haces para entornos 5G, 5G Advanced y 6G, optimizando el rendimiento en términos de potencia, frecuencia y distancia.

3.2 Objetivos Específicos

- Implementar una interfaz de usuario que permita configurar parámetros de transmisión y recepción.
- Diseñar un módulo de simulación para validar el comportamiento de la señal bajo diferentes condiciones.
- Integrar algoritmos de formación de haces (beamforming digital, híbrido y análogo).
- Garantizar compatibilidad con escenarios de multiusuario (MU-MIMO).
- Evaluar el impacto de las configuraciones en métricas como SNR, SINR, throughput y latencia.

4. Estado del Arte

La formación de haces (beamforming) en 5G, 5G Advanced y 6G se basa en arreglos masivos de antenas (mMIMO) y en técnicas de precodificación que maximizan la relación señal-a-interferencia-ruido (SINR). Su correcta implementación determina la capacidad del canal, la eficiencia espectral y la latencia del sistema.

4.1. Modelos de canal y presupuesto de enlace

- Pérdida de trayectoria (Friis, espacio libre):
$$PL_{FS}(d,f)[dB] = 32.44 + 20 \log_{10}(f_{MHz}) + 20 \log_{10}(d_{km})$$
- Modelo de referencia cercana (CI):
$$PL_{CI}(d) = PL(f, d_0) + 10n \log_{10}(d/d_0) + X\sigma$$
- Presupuesto de enlace:
$$Prx = Ptx + Gtx + Grx - PL - Lmisc$$
$$SNR = Prx / (N_0 B)$$
- Capacidad de Shannon:
$$C = B \log_2(1+\gamma)$$

4.2. Formación de haces en arreglos de antenas

- Vector de dirección en un ULA de N elementos:
$$a(\theta) = [1, e^{-jkd \sin\theta}, \dots, e^{-j(N-1)kd \sin\theta}]^T$$
- Haz óptimo (MRT):
$$w_{MRT} = h^* / ||h||$$
- Factor de arreglo y ganancia:
$$AF(\theta) = w^H a(\theta), \quad G(\theta) = |AF(\theta)|^2$$

4.3. MU-MIMO, SINR y precodificadores

- SINR del usuario k:
$$SINR_k = (\rho |h_k^H w_k|^2) / (\sum_{i \neq k} \rho |h_k^H w_i|^2 + \sigma^2)$$
- Precodificadores clásicos:
ZF:
$$W_{ZF} = \beta H^H (H H^H)^{-1}$$

MMSE:
$$W_{MMSE} = \beta H^H (H H^H + (\sigma^2/\rho)I)^{-1}$$

4.4. Métricas clave

- Eficiencia espectral:
$$\eta = (1/B) \sum_k \log_2(1+SINR_k) \text{ [bit/s/Hz]}$$
- Eficiencia energética:
$$EE = R \sum / P_{total} \text{ [bit/J]}$$
- PAPR en OFDM:
$$PAPR = \max_t |x(t)|^2 / E[|x(t)|^2]$$

4.5. Extensión hacia 6G

- Modelo RIS:
$$y = (h_{UR}^H \Phi H_{BR} w)s + n$$
$$\Phi = \text{diag}(e^{j\varphi_1}, \dots, e^{j\varphi_M})$$
- Las fases φ_m se optimizan para maximizar SINR.

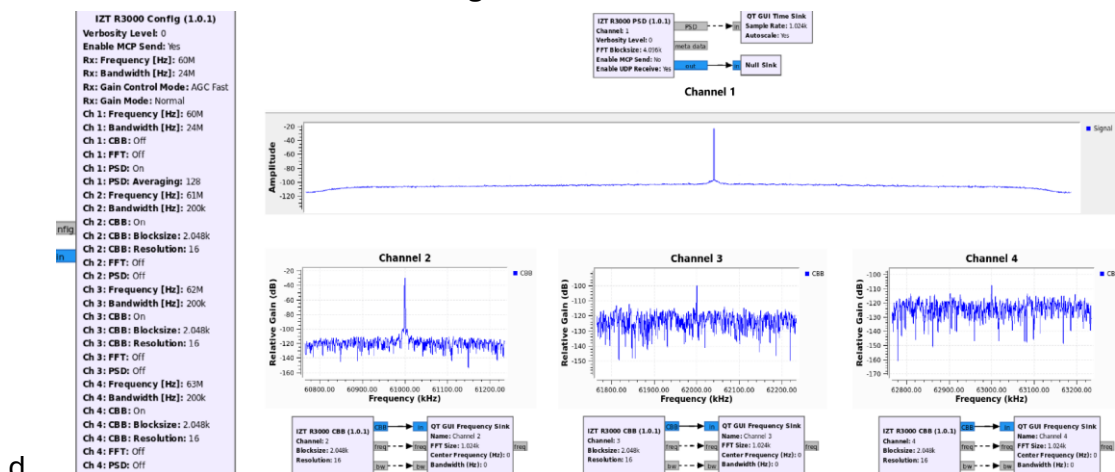
4.6. Ejemplo de cálculo (28 GHz)

- Frecuencia: $f = 28$ GHz, distancia $d = 200$ m
- Potencia transmitida: $P_{tx} = 30$ dBm
- Ganancias antenas: $G_{tx} = 18$ dBi, $G_{rx} = 12$ dBi
- $PL_{FS} \approx 101.4$ dB, $P_{rx} \approx -44.4$ dBm, $N_{0B} = -94$ dBm
- $SNR \approx 49.6$ dB, Capacidad ≈ 1.65 Gb/s

5. Metodología de Desarrollo

5.1 Arquitectura del Sistema

1. **Capa de Simulación (Existente):** Se usará MATLAB, Python o ns-3 para modelar todo el sistema de forma ideal, validando sus algoritmos de *beamforming*.
2. **Capa de Emulación (Puente al Hardware):**
 - a. Genere las señales digitales (muestras I/Q) en su software.
 - b. En lugar de solo graficarlas, utilice un framework como **GNU Radio Companion** para enviar este flujo de muestras a un **SDR (como un USRP)**.
 - c. El SDR convertirá sus datos digitales en una señal de radio real.



3. Capa de Experimentación (Mundo Real):

- a. Configure un segundo SDR como receptor.
- b. Capturar la señal transmitida y devolver está a GNU Radio o MATLAB para su análisis.
- c. **Comparar los resultados:** medir el SNR, el throughput y el EVM reales y compárelos con los resultados de su simulación. La diferencia entre ambos revelará el impacto del mundo físico (ruido del hardware, interferencias no modeladas, efectos del canal).

Este enfoque completo permitirá no solo diseñar un sistema en software, sino también validar su comportamiento y comprender las limitaciones y desafíos de la implementación física en redes 5G, 5G-A y 6G.

5.2 Tecnologías y Herramientas

- **Lenguajes:** Python, C++ (para simulación de señales).
- **Librerías:** MATLAB/Simulink, GNU Radio, NumPy, SciPy.Frameworks de simulación: ns-3 (extensiones 5G/6G), Simu5G.

Resultados Esperados

- Sistema funcional que permita configurar parámetros y observar el impacto en las métricas de red.
- Optimización del uso del espectro mediante beamforming adaptativo.
- Validación de escenarios multiusuario con mejoras en throughput y eficiencia energética.
- Base experimental para futuras investigaciones en inteligencia artificial aplicada al beamforming en 6G.