

**Diseño de antena para la planificación de infraestructura móvil 5G en Santa Marta  
utilizando Xirio Online**

María Fernanda Padilla Oñate

Asesor

Maira Cecilia Gasca Mantilla

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD  
Escuela de Ciencias Básicas, Ingenierías y Tecnologías ECBIT  
Tecnología en Gestión de Redes Inalámbricas

2026

**Nota de Aceptación**

---

Nombre Director de Trabajo de Grado

---

Jurado

---

Jurado

### **Dedicatoria**

A Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en todo momento, por darme la sabiduría y la perseverancia necesarias para alcanzar cada meta propuesta y culminar con éxito esta etapa académica.

A mi primo Yordy Joseph Padilla Ramos, quien fue una gran inspiración y me motivó a estudiar la Tecnología en Gestión de Redes Inalámbricas, despertando en mí el interés por el mundo de las telecomunicaciones y el deseo de seguir creciendo profesionalmente.

Y a mi pareja Jose Cristóbal Villamil Hernández, por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante todo este proceso. Gracias por acompañarme en cada momento, por creer en mí y por brindarme la fuerza emocional que necesitaba para no rendirme. Este logro también es fruto de tu presencia constante y de tu cariño.

María Fernanda Padilla Oñate

## **Agradecimientos**

Mi más sincero agradecimiento a mi tutora Maira Cecilia Gasca Mantilla por su constante acompañamiento, dedicación y orientación a lo largo de este proceso. Su compromiso, paciencia y disposición fueron fundamentales para superar los desafíos y lograr los objetivos propuestos. Gracias por estar presente en cada momento, brindando apoyo académico y motivacional con verdadero sentido humano.

Extiendo también mi gratitud a todos los docentes que hicieron parte de mi proceso de formación integral en la Tecnología en Gestión de Redes Inalámbricas, por compartir su conocimiento, experiencia y vocación de enseñanza. Cada uno de ellos contribuyó significativamente a mi crecimiento profesional y personal, dejando huellas valiosas en mi aprendizaje.

Finalmente, agradezco a mi familia, compañeros y amigos que me acompañaron durante esta etapa, por su comprensión, palabras de aliento y apoyo incondicional. Este logro es el resultado de un esfuerzo compartido y del compromiso de todos los que creyeron en mí.

## Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una antena para infraestructura móvil 5G en la ciudad de Santa Marta, utilizando la herramienta Xirio Online como apoyo en el proceso de planificación. Esta propuesta surge como complemento a una metodología previa de gestión de infraestructura para redes móviles, y busca aportar una visión más técnica y aplicada al despliegue de la tecnología 5G en contextos urbanos.

A través del análisis del entorno geográfico y de conectividad de Santa Marta, se seleccionan parámetros clave como frecuencia, altura, ganancia y potencia de transmisión, los cuales se incorporan en la simulación de cobertura realizada en Xirio Online. Los resultados permiten evaluar el comportamiento de la señal, el alcance de la antena y la capacidad de usuarios que podría soportar, identificando zonas óptimas para su instalación.

El estudio demuestra cómo el uso de herramientas de simulación fortalece el proceso de toma de decisiones en la planificación de redes inalámbricas, permitiendo optimizar recursos y mejorar la eficiencia del diseño. Esta propuesta contribuye al avance de la infraestructura digital en Santa Marta y puede servir como base para futuras implementaciones de redes 5G en otras ciudades de características similares.

**Palabras clave:** Diseño de antenas, 5G, Xirio Online, Planificación red.

## Abstract

This project aims to design a 5G mobile infrastructure antenna for the city of Santa Marta, using the Xirio Online tool to support the planning process. This proposal builds upon a previous methodology for mobile network infrastructure management, and seeks to provide a more technical and practical perspective on the deployment of 5G technology in urban environments.

Through an analysis of Santa Marta's geographical and connectivity environment, key parameters such as frequency, height, gain, and transmission power are selected and incorporated into the coverage simulation performed using Xirio Online. The results allow for the evaluation of signal performance, antenna coverage area, and the number of users the antenna could support, identifying optimal locations for its installation.

This study demonstrates how the use of simulation tools strengthens the decision-making process in wireless network planning, enabling resource optimization and improved design efficiency. This proposal contributes to the advancement of digital infrastructure in Santa Marta and can serve as a basis for future 5G network deployments in other cities with similar characteristics.

**Keywords:** Antenna design, 5G, Xirio Online, Network planning.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	12
Justificación .....	14
Objetivos.....	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos .....	16
Contextualización .....	17
Planteamiento del problema .....	17
Estado del arte .....	18
Marco teórico.....	19
Marco metodológico.....	21
Condiciones geográficas, urbanas y de conectividad móvil actuales en Santa Marta .....	23
Identificación del escenario .....	23
Selección y parametrización de la antena 5G .....	27
Parametrización .....	27
Especificaciones técnicas.....	27
Selección de equipo transmisor/receptor .....	33
Cálculo del Radioenlace .....	34
Simulación y evaluación del desempeño de la antena 5G utilizando Xirio.....	38
Diseño online en Xirio.....	38
Resultados de Xirio Online.....	41
Discusión.....	46
Conclusiones.....	47

Recomendaciones .....	48
Referencias bibliográficas.....	49



## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Selección de puntos a través de la aplicación Google Earth</i> .....	25
<b>Figura 2</b> <i>Perfil de elevación entre el punto seleccionado con infraestructura de telecomunicaciones (Punto A) y punto sin conectividad (Punto C)</i> .....	25
<b>Figura 3</b> <i>Enlace entre el punto A y el punto B con línea de vista directa</i> .....	26
<b>Figura 4</b> <i>Enlace entre el punto B y el punto C con línea de vista directa</i> .....	26
<b>Figura 5</b> <i>Dimensiones</i> .....	28
<b>Figura 6</b> <i>Patrón de radiación en azimuth</i> .....	29
<b>Figura 7</b> <i>Patrón de radiación en elevación</i> .....	29
<b>Figura 8</b> <i>Configuración en Xirio del estudio</i> .....	38
<b>Figura 9</b> <i>Configuración en Xirio del estudio</i> .....	39
<b>Figura 10</b> <i>Configuración en Xirio del estudio</i> .....	39
<b>Figura 11</b> <i>Configuración en Xirio del equipo de Microondas (MW)</i> .....	39
<b>Figura 12</b> <i>Extremo (A-B) y (B-C)</i> .....	40
<b>Figura 13</b> <i>Vano (A-B)</i> .....	41
<b>Figura 14</b> <i>Vano (B-C)</i> .....	41
<b>Figura 15</b> <i>Vano (A-B)</i> .....	42
<b>Figura 16</b> <i>Vano (B-C)</i> .....	42
<b>Figura 17</b> <i>Vano (A-B)</i> .....	42
<b>Figura 18</b> <i>Vano (B-C)</i> .....	43
<b>Figura 19</b> <i>Vano (A-B)</i> .....	43
<b>Figura 20</b> <i>Vano (B-C)</i> .....	43
<b>Figura 21</b> <i>Vano (A-B)</i> .....	44

<b>Figura 22</b> <i>Vano (B-C)</i> .....	44
<b>Figura 23</b> <i>Vano (A-B)</i> .....	45
<b>Figura 24</b> <i>Vano (B-C)</i> .....	45

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Coordenadas geográficas de los puntos de interés</i> .....	24
<b>Tabla 2</b> <i>Diseño de la antena</i> .....	32
<b>Tabla 3</b> <i>Transmisor/receptor seleccionado</i> .....	34
<b>Tabla 4</b> <i>Presupuesto de potencia del radioenlace</i> .....	36

## Introducción

En esta monografía se aborda la importancia y la necesidad de diseñar una antena específica para la planificación de la infraestructura de una red móvil 5G en la ciudad de Santa Marta. De acuerdo con The Competitive Intelligence Unit en su artículo “Avance de la Conectividad Móvil y 5G en Latinoamérica” (2024) señala que con la creciente demanda de conectividad móvil en la región y el avance de las tecnologías de comunicación, surge la necesidad de adaptarse y optimizar la implementación de redes móviles avanzadas como el 5G. La aparición de una nueva generación implica la ampliación de capacidad para satisfacer necesidades y requisitos cada vez más complejos. Según González (2016) al hablar de tecnologías 5G nos referimos a una red de telefonía móvil universal súper eficiente atenta a la demanda, y donde los recursos son optimizados continuamente para ofrecer un rendimiento suficiente, con el fin de que los usuarios perciban una conexión a una red con infinito ancho de banda.

De igual manera, se destacan los antecedentes teóricos y prácticos que respaldan esta investigación, incluyendo estudios previos sobre gestión de infraestructura de redes móviles y avances en tecnología 5G a nivel mundial. Sin embargo, a pesar de estos avances, se identifica una brecha en la literatura respecto a planificaciones específicas para gestionar la infraestructura de 5G en contextos urbanos como Santa Marta. Esta brecha motiva la presente investigación. El éxito de la planificación, optimización y calidad de servicio en un campo determinado se debe a la buena gestión o administración de procesos de una infraestructura. En el artículo de postgrado de la Universidad Católica de San Pablo (2020) la gestión de infraestructura es la gestión de los componentes operativos esenciales, tales como normas, procesos, equipos, datos, recursos humanos y contactos externos para la eficacia general. El término refiere al conjunto de métodos, herramientas y actividades que son utilizados para gestionar, supervisar y mantener

eficientemente los componentes físicos y tecnológicos de una infraestructura en cualquier área, ya sea tecnológico, industrial, de transporte, energético, entre otros.

Por otro lado, los objetivos del estudio se centran en diseñar una antena para infraestructura móvil 5G en la ciudad de Santa Marta, utilizando la herramienta Xirio Online, una plataforma de planificación de redes inalámbricas que facilita la evaluación de parámetros técnicos y la generación de mapas de cobertura. Asimismo, se establecen los alcances y las limitaciones del estudio, reconociendo las posibles dificultades y restricciones que puedan surgir durante la investigación, como limitaciones de recursos o la complejidad del entorno urbano.

Por lo tanto, la metodología empleada se describe detalladamente, destacando un enfoque mixto que combina análisis cualitativo y cuantitativo. Esto permitirá evaluar múltiples metodologías de gestión de infraestructura, recopilar datos sobre la infraestructura existente y llevar a cabo observaciones directas para obtener una comprensión completa del problema.

Esta investigación busca llenar una brecha en la literatura al desarrollar una metodología específica para gestionar la infraestructura de una red móvil 5G en un entorno urbano como Santa Marta. Se espera que los resultados de este estudio contribuyan significativamente al avance del campo y tengan aplicaciones prácticas en la mejora de la conectividad móvil en la región.

## **Justificación**

El desarrollo tecnológico y el crecimiento de la demanda digital han impulsado la necesidad de mejorar la infraestructura de telecomunicaciones en las ciudades intermedias de Colombia. Santa Marta, como capital del departamento del Magdalena, se ha consolidado en los últimos años como un destino turístico estratégico, registrando un crecimiento del 84% en la llegada de visitantes entre 2005 y 2007, de acuerdo con la Evaluación del potencial para el desarrollo de turismo sostenible en el corregimiento de Taganga, distrito de Santa Marta (Colombia). Este aumento sostenido de turistas, sumado al crecimiento poblacional y comercial, genera una presión constante sobre los sistemas de conectividad actuales, que deben evolucionar para satisfacer las nuevas demandas de comunicación móvil de alta velocidad, baja latencia y mayor capacidad de dispositivos.

En este contexto, la implementación de redes 5G representa una oportunidad clave para mejorar la infraestructura digital de la ciudad. Sin embargo, el despliegue de esta tecnología requiere una adecuada planificación técnica, especialmente en lo relacionado con el diseño y ubicación de antenas. Para que la red cumpla con sus objetivos de cobertura y rendimiento, es necesario considerar variables geográficas, densidad de usuarios y condiciones del entorno urbano.

La presente investigación se justifica como una contribución técnica al proceso de planificación de redes móviles en Santa Marta. A través del diseño de una antena 5G utilizando la herramienta Xirio Online, se busca fortalecer una metodología de gestión de infraestructura previamente desarrollada, integrando simulaciones reales que permitan evaluar el comportamiento de la señal, alcance y capacidad del sistema. Xirio Online permite modelar

condiciones reales del terreno, lo que optimiza la ubicación de las antenas y reduce los riesgos de fallos en el despliegue físico de la red.

Asimismo, esta propuesta es pertinente desde un enfoque social y económico, ya que una red 5G bien planificada puede apoyar el desarrollo de actividades clave para la ciudad, como el turismo inteligente, el comercio electrónico, la educación virtual y la atención médica digital. En una ciudad que crece como destino turístico y que busca proyectarse como una zona de desarrollo sostenible, contar con una infraestructura de conectividad moderna se convierte en un factor esencial de competitividad.

Este proyecto no solo aporta un valor técnico y académico, sino que también responde a una necesidad concreta del territorio: planificar el crecimiento digital de Santa Marta con base en herramientas especializadas, optimizando recursos y anticipando los desafíos del despliegue tecnológico en el entorno urbano actual.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar una antena para infraestructura móvil 5G en la ciudad de Santa Marta, utilizando la herramienta Xirio Online, con el fin de optimizar la planificación técnica y geográfica del despliegue de red móvil en el contexto urbano.

### **Objetivos Específicos**

Analizar las condiciones geográficas, urbanas y de conectividad móvil actuales en Santa Marta, con el fin de identificar los factores que influyen en el diseño de infraestructura 5G.

Seleccionar y parametrizar técnicamente una antena 5G, definiendo variables como frecuencia, altura, potencia de transmisión y ganancia, en función de los requerimientos del entorno urbano.

Simular y evaluar el desempeño de la antena 5G utilizando Xirio Online, validando el alcance, calidad de señal y capacidad de usuarios para su posterior integración en propuestas de planificación de red.



## Contextualización

### Planteamiento del Problema

El crecimiento acelerado de la demanda de servicios móviles y el surgimiento de nuevas aplicaciones basadas en el Internet de las Cosas (IoT), el entretenimiento en tiempo real y la digitalización de procesos sociales y económicos, han generado la necesidad de adoptar tecnologías de comunicación de mayor capacidad y eficiencia. En este sentido, la quinta generación de redes móviles (5G) se posiciona como una solución clave, al ofrecer mayor velocidad, menor latencia y la posibilidad de conectar simultáneamente un gran número de dispositivos.

Sin embargo, la implementación de infraestructura 5G presenta múltiples retos, especialmente en ciudades intermedias como Santa Marta, donde confluyen características geográficas, urbanísticas y sociales particulares. La topografía de la ciudad, la diversidad de sus zonas (centro histórico, áreas turísticas, zonas residenciales y rurales) y el constante crecimiento poblacional plantean desafíos significativos para garantizar una cobertura móvil uniforme y de calidad. A esto se suma que la actual infraestructura de telecomunicaciones, orientada principalmente a tecnologías 3G y 4G, resulta insuficiente para responder a las nuevas demandas de conectividad.

Uno de los aspectos más críticos en la planificación de redes 5G es el diseño de antenas y la ubicación estratégica de estaciones base, ya que de ello depende el alcance, la calidad de la señal y la eficiencia en el uso del espectro. No obstante, realizar este proceso de manera empírica implicaría altos costos y tiempo. Por ello, surge la necesidad de utilizar herramientas de simulación como Xirio Online, que permiten modelar escenarios reales y predecir el comportamiento de la señal en diferentes condiciones urbanas y geográficas.

Ante esta situación, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar una antena y planificar la infraestructura móvil 5G en la ciudad de Santa Marta utilizando Xirio Online, de manera que se optimice la cobertura y se responda a las necesidades actuales y futuras de conectividad?

### **Estado del Arte**

La evolución hacia la tecnología 5G ha sido ampliamente estudiada en los últimos años debido a la creciente demanda de servicios móviles de alta capacidad. Diversas investigaciones internacionales, como los informes de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y estudios publicados por el IEEE, destacan que las redes 5G requieren infraestructuras más densas, antenas con mayor directividad y herramientas de planeación avanzadas para garantizar coberturas eficientes en entornos urbanos y rurales. Estas investigaciones resaltan la importancia de la propagación en bandas medias y altas, los desafíos asociados a la topografía, y la necesidad de optimizar la ubicación de estaciones base mediante modelos computacionales confiables.

En el ámbito nacional, instituciones como el MinTIC y la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) han desarrollado hojas de ruta y análisis del despliegue 5G en Colombia, enfatizando la importancia de realizar pruebas piloto, evaluar bandas disponibles, y promover metodologías de simulación para planificar adecuadamente la infraestructura. Informes recientes sobre conectividad móvil en el país evidencian que ciudades costeras, como Santa Marta, presentan variaciones en la calidad del servicio debido a la diversidad geográfica y al crecimiento urbano acelerado, lo que convierte la planeación radioeléctrica en un componente esencial.

En el campo específico del diseño de antenas, la literatura científica muestra un avance significativo en modelos analíticos y simulaciones que permiten caracterizar parámetros como

patrón de radiación, ganancia, impedancia y directividad. El uso de herramientas como MATLAB y plataformas de simulación radioeléctrica, entre ellas Xirio Online, ha permitido desarrollar estudios aplicados en distintos contextos para evaluar la propagación de señal, estimar pérdidas y determinar zonas óptimas de instalación.

## **Marco Teórico**

**Evolución de las Redes Móviles.** Las redes móviles han evolucionado desde la primera generación (1G), orientada únicamente a la transmisión de voz, hasta la actual quinta generación (5G), diseñada para soportar servicios de alta velocidad, baja latencia y masiva conectividad de dispositivos. Mientras que 3G introdujo la transmisión de datos y 4G permitió la banda ancha móvil, 5G incorpora capacidades como el network slicing, comunicaciones ultra fiables y el soporte a millones de dispositivos por kilómetro cuadrado, facilitando el desarrollo de aplicaciones basadas en IoT, vehículos autónomos y ciudades inteligentes.

**Fundamentos del 5G.** El estándar 5G opera en diversas bandas de frecuencia divididas en *banda baja*, *media (sub-6 GHz)* y *mmWave*, cada una con características de propagación particulares. Las bandas medias, donde se ubica la frecuencia de estudio de este proyecto, ofrecen un equilibrio entre cobertura y capacidad. Además, 5G utiliza tecnologías como MIMO masivo, beamforming y modulación de alto orden, que permiten mejorar la eficiencia espectral y la calidad del enlace.

**Propagación de Ondas Electromagnéticas.** La propagación radioeléctrica depende de factores como la frecuencia, obstáculos, topografía y condiciones atmosféricas. A medida que aumenta la frecuencia, las señales presentan mayores pérdidas por espacio libre (Free Space Loss, FSL) y una mayor susceptibilidad a la difracción y la absorción. La determinación de la

zona de Fresnel es fundamental para asegurar un trayecto despejado y evitar pérdidas adicionales que afecten la potencia recibida.

**Diseño de Antenas.** El diseño de antenas se basa en parámetros como ganancia, directividad, impedancia, polarización, ancho de haz y eficiencia. Las antenas de tipo horn (bocina) se caracterizan por su directividad y su capacidad para concentrar la energía en un lóbulo principal definido, lo que las hace adecuadas para enlaces punto a punto en frecuencias altas. Su desempeño se analiza mediante el patrón de radiación, el coeficiente de reflexión ( $S_{11}$ ) y la eficiencia total.

**Equipos Transmisores y Potencia Radiada.** Un transmisor debe operar en la misma banda de frecuencia de la antena y cumplir con las regulaciones establecidas por entidades como la UIT y la CRC. La potencia radiada efectiva (PIRE) es un elemento clave para evaluar la cobertura y determinar si el enlace cumple con los márgenes requeridos para una transmisión confiable.

**Herramientas de Simulación.** Las herramientas de simulación son esenciales para predecir el comportamiento real de un sistema inalámbrico antes de su implementación. **MATLAB** permite modelar parámetros electromagnéticos y patrones de radiación, mientras que **Xirio Online** ofrece mapas de cobertura, análisis de pérdidas, potencia recibida y efecto de la topografía. El uso combinado de ambas herramientas reduce errores y optimiza la planificación del enlace.

**Planificación de Infraestructura Móvil.** La planificación radioeléctrica consiste en seleccionar el tipo de antena, altura, potencia, ubicación y parámetros de operación adecuados para lograr una cobertura eficiente. Para ello se consideran modelos de propagación, análisis de

terreno, estimación de pérdidas y simulaciones de campo, factores indispensables para el despliegue de redes móviles 5G.

### **Marco Metodológico**

**Tipo de Investigación.** El presente estudio se enmarca dentro de una investigación de tipo aplicada, ya que busca utilizar conocimientos teóricos de telecomunicaciones para resolver una necesidad concreta: el diseño y análisis de un sistema de comunicación inalámbrico en el corredor Taganga–El Rodadero–Ciénaga. Además, presenta características de una investigación descriptiva, debido a que analiza y caracteriza los parámetros técnicos que intervienen en el diseño de la antena, la propagación de la señal y la planificación del enlace.

También puede considerarse cuantitativa, ya que se basa en cálculos matemáticos, mediciones, simulaciones y parámetros numéricos para validar la viabilidad del sistema

**Diseño de la Investigación.** El diseño de la investigación corresponde a un diseño no experimental y de corte transversal, puesto que no se manipulan variables directamente, sino que se estudian tal como se presentan dentro del escenario de simulación.

El estudio se apoya en un diseño documental–analítico, al basarse en literatura especializada, estándares de la UIT, reportes técnicos y manuales de equipos que sustentan el proceso de análisis.

Además, incorpora un diseño de simulación computacional, ya que utiliza herramientas como MATLAB y Xirio Online para modelar el comportamiento de la antena, estimar la propagación y verificar los parámetros del enlace radioeléctrico.

**Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.** Para la recolección de información se emplearán técnicas de carácter documental y técnico, entre ellas:

**Técnicas.** Revisión bibliográfica, analizando libros, artículos científicos, estándares de telecomunicaciones, informes del MinTIC, CRC y UIT.

Observación indirecta mediante simulación, usando datos generados por MATLAB y Xirio Online para evaluar el desempeño del sistema.

Consulta técnica de manuales de fabricantes de equipos transmisores/receptores (Ubiquiti, MikroTik, Cambium)

**Instrumentos.** Fichas de análisis documental para registrar información relevante del marco teórico, normativo y tecnológico.

Software MATLAB, como instrumento para generar patrones de radiación, parámetros de antena y valores electromagnéticos.

Plataforma Xirio Online, como instrumento de simulación para obtener pérdidas, potencia recibida, mapas de cobertura y análisis de terreno.

Google Earth, para obtener coordenadas, distancias y referencias geográficas del escenario de estudio.

## **Condiciones Geográficas, Urbanas y de Conectividad Móvil Actuales en Santa Marta**

### **Identificación del Escenario**

La ciudad de Santa Marta (Alcaldía de Santa Marta, 2018), capital del departamento del Magdalena, se ubica en la región Caribe colombiana y constituye uno de los principales polos turísticos y económicos del país. Su localización estratégica en el litoral Caribe, sumada a la presencia del puerto marítimo, la Sierra Nevada y una creciente dinámica urbana, convierten a la ciudad en un territorio con alta demanda de servicios de telecomunicaciones.

La llegada de la tecnología 5G representa una oportunidad para cerrar la brecha digital sigue siendo la máxima prioridad: mayor cobertura, capacidad y asequibilidad para todos (MinTIC, s.f), además de favorecer la digitalización de sectores clave como el turismo, la educación y la logística portuaria. Sin embargo, para que esta implementación sea efectiva, es necesario planificar la ubicación y características de las antenas que conformarán la red.

La presente monografía se centra en el diseño de una antena para infraestructura móvil 5G en el corredor comprendido entre Taganga y Ciénaga, tomando como punto intermedio el sector de El Rodadero, en la ciudad de Santa Marta y sus alrededores.

Este escenario es representativo por varias razones:

Taganga es una zona turística de alta afluencia, especialmente de visitantes nacionales y extranjeros, lo que demanda conectividad móvil estable y de alta velocidad.

El Rodadero, como punto medio del corredor, constituye uno de los sectores más concurridos de Santa Marta, tanto por su vocación turística como por el desarrollo de actividades comerciales y residenciales.

Ciénaga, municipio cercano y con proyección de crecimiento, conecta la zona metropolitana de Santa Marta con la Troncal del Caribe, siendo un punto estratégico para la continuidad de la cobertura en la región.

El diseño de antenas en este tramo resulta clave, ya que combina diferentes realidades: alta densidad urbana, zonas costeras abiertas y áreas de tránsito intermunicipal. Estas condiciones hacen necesario un análisis detallado de propagación de señal y planificación de celdas que garanticen la eficiencia de la red 5G.

A continuación, se muestran en la siguiente tabla los datos de ubicación de cada punto.

**Tabla 1**

*Coordenadas geográficas de los puntos de interés*

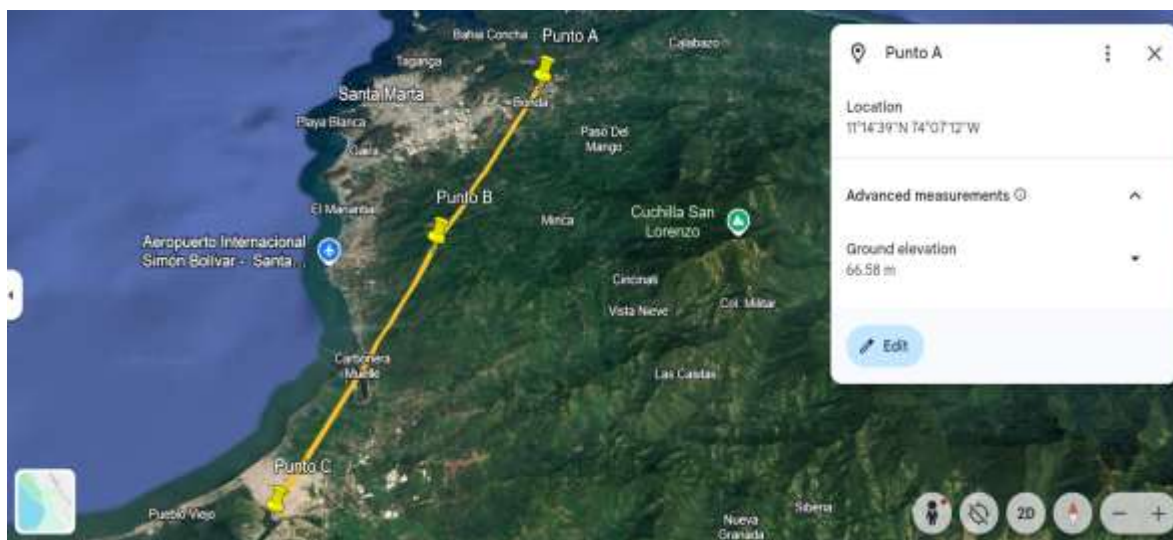
Municipio o vereda	Punto geográfico			
	Coordenada	Longitud	Latitud	Altura
Taganga	Punto A (origen)	74°7'12.40"O	11°14'39.51"N	86 m
Rodadero	Punto B (Repetidora)	74°10'49.65"O	11° 7'24.99"N	732 m
Ciénaga	Punto C (Destino)	74°14'47.93"O	10°59'23.69"N	4 m

*Nota.* Datos específicos de los puntos de origen, medio y destino. *Elaboración propia.*



## Figura 1

*Selección de puntos a través de la aplicación Google Earth*

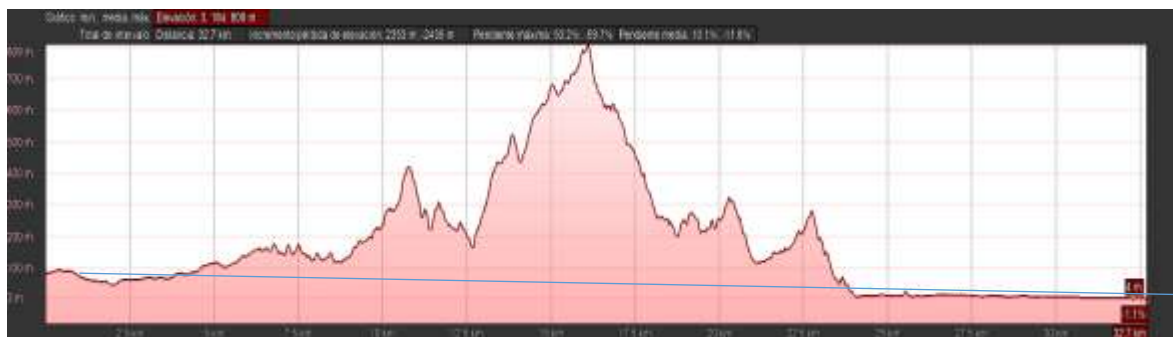


*Nota.* Presentación de los puntos seleccionados por medio de Google Earth. *Elaboración propia, Google Earth.*

Con ayuda de la herramienta Google Earth, se presenta el perfil de elevación entre el punto seleccionado (Punto A) y (Punto C) teniendo en cuenta que entre la coordenada A (Origen) y la coordenada C (Destino) no debe haber línea de vista directa.

## Figura 2

*Perfil de elevación entre el punto seleccionado con infraestructura de telecomunicaciones (Punto A) y punto sin conectividad (Punto C)*



*Nota.* Se puede observar en la imagen que no hay línea de vista entre el punto A y el punto C.

*Elaboración propia, Google Earth.*

Ahora bien, entre los puntos A – B y B – C, se presenta línea de vista directa. A continuación, se muestra el perfil de elevación.

### Figura 3

*Enlace entre el punto A y el punto B con línea de vista directa*



*Nota.* Presenta una distancia de 15.1 km. *Elaboración propia, Google Earth.*

### Figura 4

*Enlace entre el punto B y el punto C con línea de vista directa*



*Nota.* Presenta una distancia de 16.7 km. *Elaboración propia, Google Earth.*

## Selección y Parametrización de la Antena 5G

### Parametrización

En este capítulo se abordará el diseño y selección de una antena para la planificación de infraestructura móvil 5G en el corredor comprendido entre Taganga, El Rodadero y Ciénaga. El proceso de diseño de antenas constituye un aspecto fundamental en el despliegue de redes de nueva generación, ya que de sus características dependen parámetros críticos como la ganancia, la directividad, el ancho de banda y la estabilidad de la señal en el medio de propagación.

La elección de una antena no puede realizarse de manera arbitraria, sino que debe responder a las condiciones específicas del enlace y a los requerimientos técnicos de la tecnología 5G, garantizando una transmisión eficiente, estable y capaz de soportar altas tasas de datos. En este sentido, se considerará una antena de tipo horn cónica, adecuada para la banda de frecuencias de 5.725 a 5.850 MHz, la cual ofrece un patrón de radiación direccional, baja relación de onda estacionaria y una ganancia suficiente para cubrir las necesidades de conectividad en el área de estudio.

A lo largo del capítulo se presentarán las especificaciones técnicas de la antena, los cálculos de diseño, las dimensiones resultantes, así como la evaluación de parámetros clave como la impedancia, la polarización y el ancho de banda. Estos elementos permitirán validar la idoneidad del diseño propuesto y sentar las bases para la posterior simulación de cobertura en la herramienta Xirio Online.

### *Especificaciones Técnicas*

Con apoyo de MATLAB, se insertaron los datos fundamentales del diseño, tales como el tipo de antena (horn cónica) y la banda de frecuencia de operación (5.725 – 5.850 MHz). A partir de estos parámetros, se generaron las dimensiones de la antena y los patrones de radiación y de

elevación, los cuales permiten visualizar el comportamiento direccional de la antena y su cobertura angular.

A continuación, se muestran los datos obtenidos en MATLAB de las dimensiones de la antena.

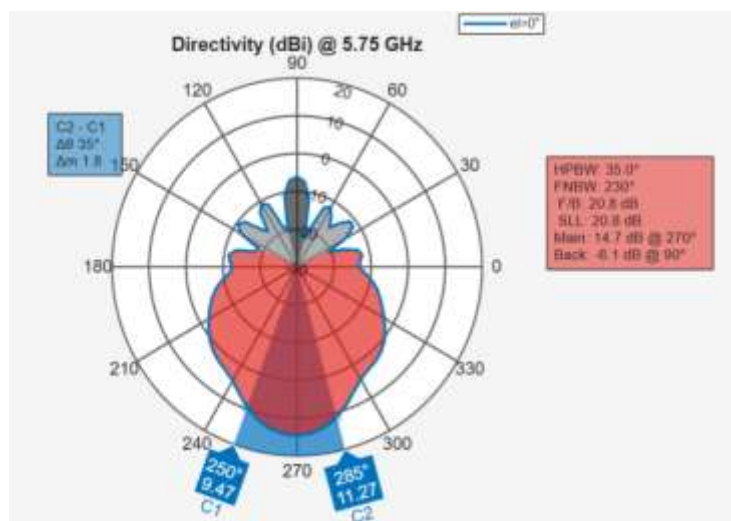
## Figura 5

### *Dimensiones*



Properties	
▾ hornConical	
Radius (m)	0.019614
WaveguideHeight (m)	0.04903
FeedHeight (m)	0.012258
FeedWidth (m)	0.004901
FeedOffset (m)	0.016345
ConeHeight (m)	0.056877
ApertureRadius (m)	0.057206
Tilt (deg)	0
TiltAxis	[1 0 0]

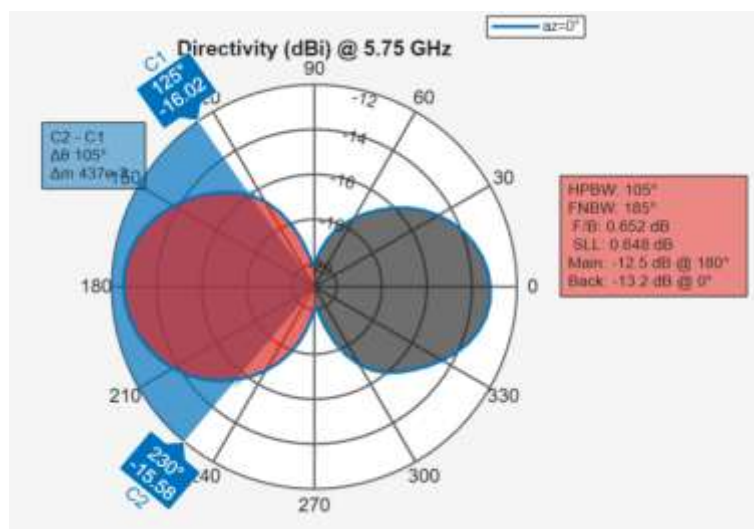
*Nota.* Datos específicos de la antena extraído de MATLAB. *Elaboración propia.*

**Figura 6***Patrón de radiación en azimuth*

*Nota.* La figura 6 muestra los elementos como HPBM, FNBW, F/B, SLL, Main y Back.

*Elaboración propia.*

Con esta imagen de patrón de radiación en azimuth se puede observar que la ganancia es de 14.7 dB.

**Figura 7***Patrón de radiación en elevación*

*Nota.* La figura 7 muestra los elementos como HPBW, FNBW, F/B, SLL, Main y Back.  
*Elaboración propia.*

Con esta imagen de patrón de radiación en elevación se puede observar que la ganancia es de -12.5 dB.

Antes de continuar con el desarrollo del diseño de la antena, es necesario indicar el concepto de cada uno de los parámetros que se presentan en las imágenes del patrón de radiación, tales como HPBW, FNBW, F/B, SLL, Main Lobe y Back Lobe. Estos elementos constituyen la base para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos y comprender el comportamiento electromagnético de la antena.

**HPBW (Half-Power Bandwidth).** Es el ancho del haz a media potencia, es decir, el ángulo entre los puntos donde la potencia de radiación cae a la mitad (-3 dB) del valor máximo. Indica la direccionalidad de la antena.

**FNBW (First Null Bandwidth).** Es el ancho del haz hasta el primer nulo, es decir, el ángulo entre los primeros puntos donde la radiación cae completamente a cero.

**F/B (Front-to-Back Ratio).** Relación entre la potencia radiada en la dirección principal (frontal) y la potencia radiada en la dirección opuesta (trasera). Se mide en dB y ayuda a evaluar la direccionalidad de la antena.

**SLL (Side Lobe Level).** Nivel de los lóbulos laterales en comparación con el lóbulo principal. Expresa cuánta energía se pierde en direcciones no deseadas y se mide en dB.

**Main (Lóbulo Principal).** Es la región donde la antena radia la mayor parte de su energía, definiendo la dirección principal de la señal.

**Back (Lóbulo Trasero).** Es la parte del patrón de radiación opuesta al lóbulo principal, generalmente no deseada en antenas altamente direccionales.

Teniendo en cuenta estos conceptos, es posible proceder al cálculo de parámetros complementarios que permiten evaluar con mayor precisión el desempeño de la antena, entre ellos el factor de corrección de pérdidas, la directividad y la eficiencia global del diseño.

### Factor de Corrección de Pérdidas

$$K = 1 - \frac{\frac{SLL_{\theta}}{main_{\theta} + SLL_{\theta}} + \frac{SLL_{\phi}}{main_{\phi} + SLL_{\phi}}}{2}$$

$$K = 1 - \frac{\frac{10^{20.8/10}}{10^{14.7/10} + 10^{20.8/10}} + \frac{10^{0.648/10}}{10^{-12.5/10} + 10^{0.648/10}}}{2}$$

$$K = 1 - \frac{\frac{120.22}{29.51 + 120.22} + \frac{1.1609}{0.0562 + 1.1609}}{2}$$

$$K = 1 - \frac{0.8029 + 0.9538}{2}$$

$$K = 1 - 0.87835$$

$$K = 0.12165$$

### Directividad

$$\Omega_A = \theta_{HPBW}(\text{radianes})\varphi_{HPBW}(\text{radianes}) \quad D \approx \frac{4\pi}{\Omega_A}$$

$$D \approx \frac{4\pi}{\Omega_A} \approx \frac{41253}{(35.0^\circ)(105^\circ)} = 11.22$$

### Eficiencia

$$\eta_r = \frac{G}{D}K$$

$$\eta_r = \frac{29.51}{11.22}(0.12165) = 0.319 \approx 31.9\%$$

Con estos resultados podemos ver que la antena diseñada logra una directividad aceptable, aunque presenta un nivel de eficiencia relativamente bajo, lo que evidencia la presencia de pérdidas que limitan su desempeño global y podrían optimizarse en futuras mejoras del diseño.

A continuación, se muestra un resumen de la antena diseñada.

**Tabla 2**

*Diseño de la antena*

<b>Tipo de antena</b>	<b>Frecuencia de operación central [GHz]</b>	<b>Ganancia [dB]</b>	<b>Impedancia</b>	<b>Tipo de patrón de radiación</b>	<b>Polarización</b>
HornConical	5750	14.7 dB	43.6 + j4.61	Direccional	Horizontal o vertical

*Nota.* Características específicas de la antena. *Elaboración propia.*

Ahora bien, de acuerdo con los puntos de interés establecidos en el capítulo anterior, se procede a calcular la primera zona de Fresnel entre el Punto A y el Punto B, así como la altura mínima requerida de la antena para garantizar condiciones adecuadas de propagación. Para estos cálculos se considera la frecuencia de operación del radioenlace definida en el diseño de la antena, de modo que se asegure un adecuado despejamiento del trayecto y se minimicen pérdidas por difracción u obstrucciones a lo largo del corredor de estudio.

### **Primera Región de Fresnel**

$$F_{1[m]} = 8.656 \sqrt{\frac{D[km]}{f[GHz]}}$$



$$F_{1[m]} = 8.656 \sqrt{\frac{15.07}{5.75}}$$

$$F_{1[m]} = 14.01$$

### **Altura Mínima**

$$h'(m) = 0.6F_1$$

$$h'(m) = 0.6(14.01) = 8.406 \text{ m}$$

De igual manera, se aplican las ecuaciones para los puntos de interés B – C.

### **Primera Región de Fresnel**

$$F_{1[m]} = 8.656 \sqrt{\frac{D[km]}{f[GHz]}}$$

$$F_{1[m]} = 8.656 \sqrt{\frac{16.55}{5.75}}$$

$$F_{1[m]} = 14.68$$

### **Altura Mínima**

$$h'(m) = 0.6F_1$$

$$h'(m) = 0.6(14.68) = 8.808 \text{ m}$$

### ***Selección de Equipo Transmisor/Receptor***

Con el fin de garantizar la compatibilidad del sistema diseñado, se consultaron diferentes fabricantes y distribuidores de equipos que operan en la banda de 5.8 GHz, correspondiente a la frecuencia empleada en el diseño de la antena y en los cálculos de altura mínima. Entre las marcas revisadas se encuentran Ubiquiti Networks, MikroTik y Cambium Networks, las cuales ofrecen soluciones de radioenlaces punto a punto y punto a multipunto ampliamente utilizadas en el sector de telecomunicaciones.

Tras el análisis, se seleccionó el Ubiquiti Rocket M5 (Datasheet, s.f), un equipo transmisor/receptor que trabaja en el rango de 5.150 – 5.850 MHz, con potencias configurables de salida de hasta 27 dBm ( $\approx 0.5$  W), cumpliendo con las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y las normativas locales respecto a los límites de potencia. Este dispositivo ofrece además compatibilidad con antenas externas, lo que facilita su integración con la antena horn cónica diseñada en este proyecto.

La elección de este equipo se justifica debido a:

Compatibilidad de frecuencia con el rango de operación del diseño de antena.

Potencia ajustable, que permite cumplir con las restricciones de radiación efectiva (EIRP) establecidas por la UIT y la CRC.

Disponibilidad comercial en el mercado colombiano y soporte técnico reconocido.

Flexibilidad de configuración para enlaces punto a punto, que se adapta al escenario definido entre Taganga, El Rodadero y Ciénaga.

A continuación, se muestra un resumen de las especificaciones técnicas de la antena.

**Tabla 3**

*Transmisor/receptor seleccionado*

<b>Fabricante</b>	<b>Potencia de</b>	<b>Frecuencia de</b>	<b>Modulaciones</b>	<b>Sensibilidad</b>
<b>modelo</b>	<b>transmisión</b>	<b>operación</b>		<b>del receptor</b>
Ubiquiti	27 dBm	5725 - 5850	802.11 <sup>a</sup>	-94 dBm Min.
ROCKETM5			802.11n/airMAX	

*Nota.* Especificaciones técnicas de la antena. *Extraído de*

*[https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketm/RocketM\\_DS.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketm/RocketM_DS.pdf)*

***Cálculo del Radioenlace***

Para los cálculos del radioenlace se debe tener en cuenta la Potencia de Transmisión de acuerdo con la modulación seleccionada, pérdidas en el cable, y la ganancia de la antena seleccionada para este trabajo.

Se asume un valor de pérdidas en cables y conectores de 1 dB.

PIRE del lado de transmisión del Punto A al Punto B:

$$PIRE(dBm) = P_t(dBm) - A_t(dB) + G_t$$

$$PIRE(dBm) = 27 dBm - 1 dB + 14.7 dBi$$

$$PIRE(dBm) = 40.7 dBm$$

PIRE del lado de transmisión del Punto B al Punto C:

$$PIRE(dBm) = P_t(dBm) - A_t(dB) + G_t$$

$$PIRE(dBm) = 27 dBm - 1 dB + 14.7 dBi$$

$$PIRE(dBm) = 40.7 dBm$$

Ahora bien, teniendo en cuenta la información de las distancias en km de las figuras 3 y 4 y la frecuencia de la antena seleccionada, es posible hallar las pérdidas en el espacio libre del Punto A al Punto B y del Punto B al Punto C.

Pérdidas en el Espacio Libre (LFS) de A – B:

$$L_{FS}(dB) = 32.45 + 20\log f(MHz) + 20\log d(Km)$$

$$L_{FS}(dB) = 32.45 + 20\log(5725) + 20\log(15.1)$$

$$L_{FS}(dB) = 131.18 dB$$

Pérdidas en el Espacio Libre (LFS) de B – C:

$$L_{FS}(dB) = 32.45 + 20\log f(MHz) + 20\log d(Km)$$

$$L_{FS}(dB) = 32.45 + 20\log(5725) + 20\log(16.7)$$

$$L_{FS}(dB) = 132.05 dB$$

Se resumen los datos obtenidos hasta ahora en la siguiente tabla:

**Tabla 4**

*Presupuesto de potencia del radioenlace*

	Coordenada A	–	Coordenada B	–
Datos del Radioenlace	Coordenada B		Coordenada C	
Distancia (Km)	15.1 km		16.7 km	
Frecuencia central	5725		5725	
Frecuencia mínima	5150		5150	
Frecuencia máxima	5850		5850	
<b>Presupuesto del enlace</b>				
<b>Elemento</b>	<b>Valor</b>		<b>Valor</b>	
+ Potencia del Transmisor	27		27	
[dBm]				
- Pérdidas en el Cable TX	-1		-1	
[dB]				
+ Ganancia de Antena TX	14.7		14.7	
[dBi]				
- FSL [dB]	-131.18		-132.05	
+ Ganancia de Antena RX	14.7		14.7	
[dBi]				
- Pérdidas en el Cable RX	-1		-1	
[dB]				

- Sensibilidad del receptor	-(-96)	-(-96)
[dBm]		
= Margen	19.22	18.35

---

*Nota.* Datos específicos de la antena diseñada. *Elaboración propia.*

El cálculo del nivel de señal que se llegará al receptor del Punto A al B para la modulación seleccionada es la siguiente:

$$Pr = Pt + Gt + At - FSL + Gr - Ar$$

$$Pr = 27 \text{ dBm} + 14.7 \text{ dBi} - 1 \text{ dB} - 131.18 \text{ dB} + 14.7 \text{ dB} - 1 \text{ dB} = -76.78 \text{ dBm}$$

El cálculo del nivel de señal que se llegará al receptor del Punto B al C para la modulación seleccionada es la siguiente:

$$Pr = Pt + Gt + At - FSL + Gr - Ar$$

$$Pr = 27 \text{ dBm} + 14.7 \text{ dBi} - 1 \text{ dB} - 132.05 \text{ dB} + 14.7 \text{ dB} - 1 \text{ dB} = -77.65 \text{ dBm}$$

## Simulación y Evaluación del Desempeño de la Antena 5G utilizando Xirio

### Diseño Online en Xirio

Mediante el software Xirio, se presenta el radioenlace diseñado teniendo en cuenta los puntos geográficos y el equipo seleccionado. Con esto, se evidencia el correcto funcionamiento de la antena y la verificación de los cálculos matemáticos con la simulación.

A continuación se muestra las configuraciones realizadas por medio del software online.

### Figura 8

*Configuración en Xirio del estudio*



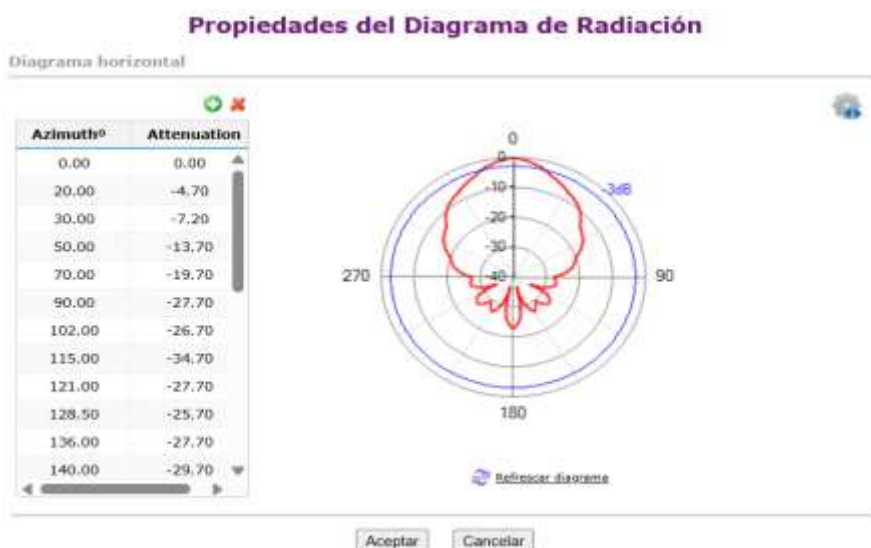
The image shows a screenshot of the 'Parámetros de radio' (Radio Parameters) window in the Xirio software. The window contains several configuration fields:

- Tipo sistema:** Estándar (dropdown menu)
- Antena principal:** Bocina 14.7 (text field)
- Altura antena:** 202.05 m (text field)
- Orientación:** 206.279725996537 ° (text field)
- Inclinación mecánica:** -2.11089931604868 ° (text field)
- Antena auxiliar:** (empty text field)
- Altura antena auxiliar:** 0 m (text field)
- Referencia de alturas de antenas:**
  - Alturas respecto a:** Nivel de azotea (dropdown menu)
  - Usar altura de edificio:** Capa de elevación (MDE) (dropdown menu)
  - Altura edificio:** 0 m (text field)

*Nota. Altura de la antena. Elaboración propia, Xirio Online.*

Figura 9

Configuración en Xirio del estudio



Nota. Patrón de radiación de la antena. *Elaboración propia, Xirio Online.*

Figura 10

Configuración en Xirio del estudio

**Propiedades del Diagrama de Radiación**

**Propiedades**

Tipo de diagrama:  Copolar  Xpolar

Polarización: Horizontal

Ganancia: 14.7 dBi

Frecuencia inicial: 5725 MHz

Frecuencia final: 5850 MHz

Tilt eléctrico: 0 °

XPD 90: 0 dB

Ancho de haz: 31 °

Rel. delante/atrás: 22.7 dB

---

**Diagrama horizontal**

Diagrama horizontal

---

**Diagramas verticales**

No se ha definido ningún diagrama vertical

Aceptar    Aplicar    Recargar    Cancelar

Nota. Polarización, ganancia y frecuencia de la antena. *Elaboración propia, Xirio Online.*

**Figura 11**

*Configuración en Xirio del equipo de Microondas (MW)*

**Equipo MW**

Nombre: UbiquitiM5

Descripción: Equipo de radio...

Tecnología: IP-Nativo

Servicio: Punto-Punto definido por usuario

Subcategoría: Banda definida por usuario

Ancho de banda: 5 MHz

Potencia de saturación: 27 dBm

Denominación de emisión: Fijo

MTBF: 3000 h

Frecuencia inicial: 5725 MHz

Frecuencia final: 5850 MHz

**Modulaciones**

Nombre	Modulación	Velocidad	Potencia	Umbral	C/I
BPSK	BPSK	1.63 Mbps	27.00 dBm	-96.00 dBm	20.00 dB

*Nota. Potencia de transmisión y sensibilidad del equipo seleccionado. Elaboración propia, Xirio Online.*

**Figura 12**

*Extremo (A-B) y (B-C)*

Feeder:

Longitud del feeder: 0 m

Pérdidas del feeder: 1.00 dB

Pérdidas pasivos: 0 dB

MTTR: 16 h

*Nota. Todos los puntos de los extremos tienen la misma pérdida de línea (1dB). Elaboración propia, Xirio Online.*



### Resultados de Xirio Online

A continuación el informe del vano digital obtenido del resultado de la simulación del radioenlace para cada tramo del proyecto y para la modulación seleccionada.

PIRE obtenido en Xirio vs la calculada.

#### Figura 13

Vano (A-B)

Balance de enlace		Extremo 1 - Extremo 2	Extremo 2 - Extremo 1
PIRE en acimut	dBm	40.7	40.7

*Nota.* Valor obtenido del informe digital del Vano A – B. *Elaboración propia, Xirio Online.*

Si se calcula el porcentaje de error, se tiene que:

$$\text{Error} = \frac{Vt - Ve}{Vt}$$

$$\text{Error} = \left| \frac{40.7 - 40.7}{40.7} \right| * 100 = 0\%$$

#### Figura 14

Vano (B-C)

Balance de enlace		Extremo 1 - Extremo 2	Extremo 2 - Extremo 1
PIRE en acimut	dBm	40.7	40.7

*Nota.* Valor obtenido del informe digital del Vano B – C. *Elaboración propia, Xirio Online.*

$$\text{Error} = \frac{Vt - Ve}{Vt}$$

$$\text{Error} = \left| \frac{40.7 - 40.7}{40.7} \right| * 100 = 0\%$$

Pérdidas en el espacio libre o propagación obtenida en Xirio vs la calculada.

**Figura 15***Vano (A-B)*

Atenuación espacio libre	dB	131.07	131.07
--------------------------	----	--------	--------

*Nota.* Valor obtenido del informe digital del Vano A – B. *Elaboración propia, Xirio Online.*

$$\mathbf{Error} = \frac{\mathbf{Vt} - \mathbf{Ve}}{\mathbf{Vt}}$$

$$\mathbf{Error} = \left| \frac{131.18 - 131.07}{131.18} \right| * 100 = 0.08\%$$

**Figura 16***Vano (B-C)*

Atenuación espacio libre	dB	131.94	131.94
--------------------------	----	--------	--------

*Nota.* Valor obtenido del informe digital del Vano B – C. *Elaboración propia, Xirio Online.*

$$\mathbf{Error} = \frac{\mathbf{Vt} - \mathbf{Ve}}{\mathbf{Vt}}$$

$$\mathbf{Error} = \left| \frac{132.05 - 131.94}{132.05} \right| * 100 = 0.08\%$$

Pérdidas en las líneas consideradas en Xirio y en los cálculos.

**Figura 17***Vano (A-B)*

Pérdidas del feeder	dB	1	1
Longitud del feeder	m	0	0
Pérdidas de divisores en transmisión	dB	0	0
Pérdidas de divisores en recepción	dB	0	0
Pérdidas adicionales	dB	0	0

*Nota.* Valor obtenido del informe digital del Vano A – B. *Elaboración propia, Xirio Online.*

$$Error = \frac{Vt - Ve}{Vt}$$

$$Error = \left| \frac{1 - 1}{1} \right| * 100 = 0\%$$

### Figura 18

Vano (B-C)

Pérdidas del feeder	dB	1	1
Longitud del feeder	m	0	0
Pérdidas de divisores en transmisión	dB	0	0
Pérdidas de divisores en recepción	dB	0	0
Pérdidas adicionales	dB	0	0

Nota. Valor obtenido del informe digital del Vano B – C. *Elaboración propia, Xirio Online.*

$$Error = \frac{Vt - Ve}{Vt}$$

$$Error = \left| \frac{1 - 1}{1} \right| * 100 = 0\%$$

Nivel de señal que llega en el receptor.

### Figura 19

Vano (A-B)

Potencia disponible en recepción	dBm	-76.81	-76.81
----------------------------------	-----	--------	--------

Nota. Valor obtenido del informe digital del Vano A – B. *Elaboración propia, Xirio Online.*

$$Error = \frac{Vt - Ve}{Vt}$$

$$Error = \left| \frac{(-76.78) - (-76.81)}{(-76.78)} \right| * 100 = 0.03\%$$

### Figura 20

Vano (B-C)

Potencia disponible en recepción	dBm	-77.69	-77.69
----------------------------------	-----	--------	--------

Nota. Valor obtenido del informe digital del Vano B – C. *Elaboración propia, Xirio Online.*

$$\mathbf{Error} = \frac{\mathbf{Vt} - \mathbf{Ve}}{\mathbf{Vt}}$$

$$\mathbf{Error} = \left| \frac{(-76.65) - (-76.69)}{(-76.65)} \right| * 100 = 0.05\%$$

Margen de desvanecimiento del sistema.

### Figura 21

Vano (A-B)

Margen bruto para cielo claro	dB	19.19	19.19
-------------------------------	----	-------	-------

*Nota.* Valor obtenido del informe digital del Vano A – B. *Elaboración propia, Xirio Online.*

$$\mathbf{Error} = \frac{\mathbf{Vt} - \mathbf{Ve}}{\mathbf{Vt}}$$

$$\mathbf{Error} = \left| \frac{19.22 - 19.19}{19.22} \right| * 100 = 0.15\%$$

### Figura 22

Vano (B-C)

Margen bruto para cielo claro	dB	18.31	18.31
-------------------------------	----	-------	-------

*Nota.* Valor obtenido del informe digital del Vano B – C. *Elaboración propia, Xirio Online.*

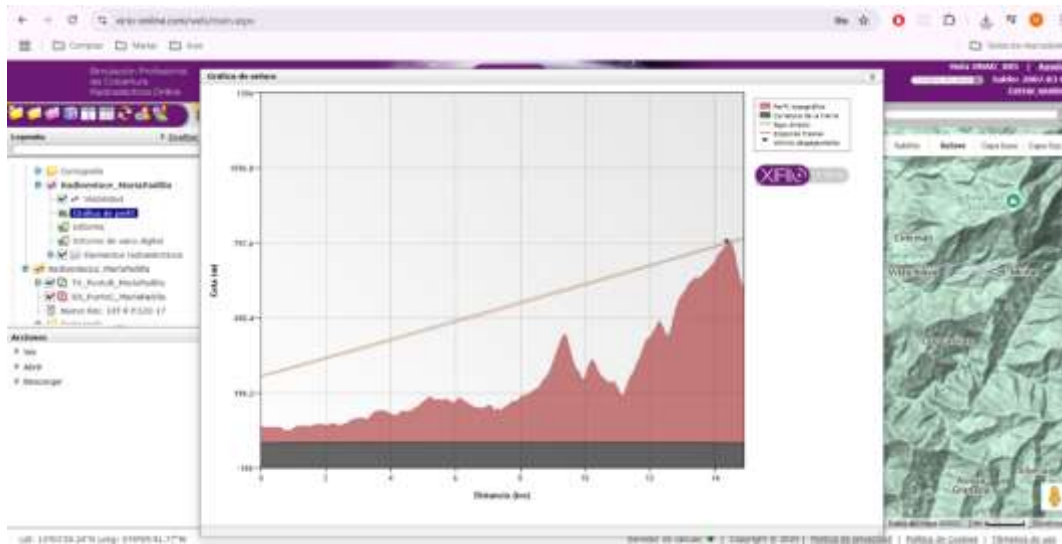
$$\mathbf{Error} = \frac{\mathbf{Vt} - \mathbf{Ve}}{\mathbf{Vt}}$$

$$\mathbf{Error} = \left| \frac{18.35 - 18.31}{18.35} \right| * 100 = 0.21\%$$

Resultado de perfil de elevación para cada vano generado por Xirio Online:

**Figura 23**

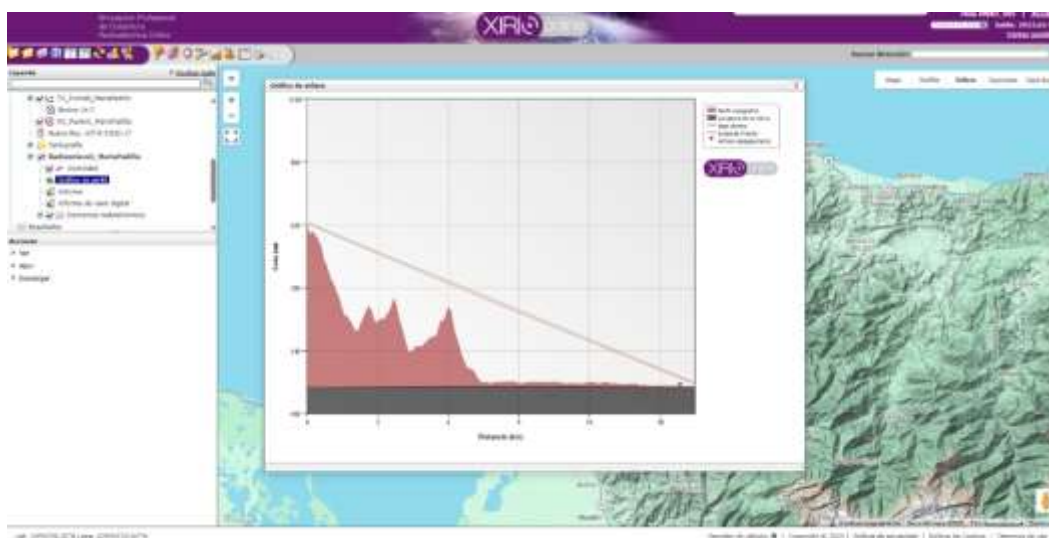
*Vano (A-B)*



*Nota. Gráfico del vano. Elaboración propia, Xirio Online.*

**Figura 24**

*Vano (B-C)*



*Nota. Gráfico del vano. Elaboración propia, Xirio Online.*

## Discusión

La simulación realizada en la plataforma Xirio Online permitió validar los parámetros técnicos previamente calculados durante el desarrollo del proyecto, confirmando la coherencia entre los resultados teóricos y los obtenidos digitalmente. El informe generado por el software presentó valores concordantes con los cálculos estimados del Poder Isotrópico Radiado Efectivo (PIRE), las Pérdidas por Espacio Libre (LFS), la Potencia recibida ( $P_r$ ) y el Margen de Desvanecimiento, lo que demuestra la precisión del diseño y la correcta aplicación de los principios de propagación y enlace radioeléctrico.

Esta correspondencia entre los resultados teóricos y simulados refleja la consistencia técnica del modelo desarrollado, evidenciando que las condiciones de enlace y los parámetros de la antena se ajustan adecuadamente a las características del entorno geográfico del corredor Taganga – El Rodadero – Ciénaga. Además, la simulación permitió visualizar con claridad la distribución espacial de la señal, identificando zonas de cobertura óptima y áreas donde el nivel de potencia tiende a disminuir, información esencial para la planificación de futuras celdas o estaciones repetidoras.

La concordancia entre ambos métodos de análisis reafirma la validez de la metodología empleada, así como la pertinencia de utilizar herramientas digitales como Xirio Online para el diseño y optimización de sistemas inalámbricos. Este tipo de validación no solo fortalece la confiabilidad del proyecto, sino que también demuestra la importancia de combinar el cálculo analítico con la simulación computacional, logrando resultados más precisos y aplicables a entornos reales.

## Conclusiones

En conclusión, el desarrollo de esta monografía permitió comprender de manera integral el proceso de diseño, simulación y validación de un sistema de comunicación inalámbrico bajo los principios de la tecnología 5G, aplicándolo a un escenario real en la ciudad de Santa Marta.

Desde la identificación del corredor Taganga – El Rodadero – Ciénaga hasta la simulación final en Xirio Online, se logró establecer una metodología sólida que integra análisis teórico, cálculo de parámetros de enlace y verificación digital, demostrando la importancia de planificar cuidadosamente la infraestructura móvil para garantizar conectividad estable y de calidad.

El proyecto pone en evidencia la viabilidad técnica y estratégica de fortalecer la infraestructura 5G en Santa Marta, no solo como una necesidad tecnológica, sino como una oportunidad para el desarrollo social, económico y educativo de la región Caribe. La experiencia obtenida a través de este trabajo representa un aporte significativo para futuras investigaciones en el campo de las telecomunicaciones, fomentando la innovación, la sostenibilidad y el uso responsable del espectro radioeléctrico en la construcción de ciudades más conectadas e inteligentes.

### **Recomendaciones**

Se recomienda continuar con el desarrollo del proyecto mediante la implementación práctica del sistema diseñado, con el fin de comparar los resultados experimentales con los obtenidos en las simulaciones. Sería conveniente realizar pruebas de campo que permitan evaluar el comportamiento real de la antena en condiciones ambientales propias de la zona costera de Santa Marta, considerando factores como humedad, salinidad y variaciones topográficas. Asimismo, se sugiere explorar otras configuraciones de antenas y frecuencias dentro del rango 5G para analizar su desempeño en distintos escenarios urbanos y rurales. El uso de herramientas de planificación como Xirio Online debe mantenerse como apoyo en futuros proyectos, complementándose con mediciones en tiempo real para optimizar la exactitud de los modelos de propagación.

Finalmente, se recomienda fortalecer la cooperación entre instituciones académicas y entidades del sector de telecomunicaciones, con el propósito de impulsar proyectos de conectividad sostenible, orientados al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y al avance tecnológico de la región Caribe.



## Referencias Bibliográficas

Comisión de Regulación de Comunicaciones. (n.d.). Tendencias en el desarrollo de redes móviles 5G.

*Editorial Unimagdalena*, 89–102.

Gómez Rojas J, Camargo Ariza LL, Beltrán Gómez YT. (2019). Implementación de antenas. En *Radiocomunicaciones: Teoría y Principios*.

González, J., & Salamanca, O. (2016). El Camino Hacia La Tecnología 5g.

[http://mintic.gov.co/micrositios/plan\\_5g/764/articles-162230\\_recurso\\_1.pdf](http://mintic.gov.co/micrositios/plan_5g/764/articles-162230_recurso_1.pdf)

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3677036.pdf>

[https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketm/RocketM\\_DS.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketm/RocketM_DS.pdf)

<https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/ereader/unad/111760?page=89>

<https://la.mathworks.com/products/antenna.html#antdes-arrdes>

<https://postgrado.ucsp.edu.pe/articulos/que-es-gestion-infraestructura/>

<https://www.crcm.gov.co/system/files/Biblioteca%20Virtual/Estudio%20de%20tendencias%20en%20el%20desarrollo%20de%20redes%20m%C3%B3viles%205G/Estudio-tendencias-desarrollo-redes-moviles-5G.pdf>

<https://www.mintic.gov.co/portal/715/articles->

[236811\\_documento\\_soporte\\_consulta\\_publica\\_desarrollo\\_5g\\_colombia.pdf](https://www.mintic.gov.co/portal/715/articles-236811_documento_soporte_consulta_publica_desarrollo_5g_colombia.pdf)

<https://www.santamarta.gov.co/visita-santa-marta>

<https://www.theciu.com/publicaciones-2/2024/7/15/avance-de-la-conectividad-mvil-y-5g-en-latinoamrica>

MathWorks Academy. (2020) Apps Antenna Designer and Array Designer.

Ministerio de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones. (n.d.). Documento soporte y consulta pública - Desarrollo de 5G en Colombia.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (n.d.). *Plan 5G Colombia El Futuro Digital es de Todos.*

s.f. (2020, diciembre 23). *Conoce qué es la gestión de la infraestructura.*

sshroot. (2018, febrero 1). *Visita Santa Marta.*

*Télématique*, 15(1), 27–47. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78445977002>

The CIU. (2024, julio 15). *Avance de la Conectividad Móvil y 5G en Latinoamérica.*

Turismo y Sociedad. (2010). Evaluación del Potencial para el Desarrollo De Turismo Sostenible en el Corregimiento De Taganga, Distrito De Santa Marta (Colombia).

ui.com. (n.d.). Rocket M Datasheet.