

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TÍTULO**

Estudio de factibilidad de implementar una estación base de telefonía móvil con tecnología UMTS / LTE que permita la comunicación de la comunidad de la Parroquia La Unión, Cantón Atacames, Provincia de Esmeraldas.

**AUTOR**

**MÉNDEZ RODRÍGUEZ, MIGUEL ALFONSO**

**TÍTULO**

Previo a la obtención del grado académico en  
**MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

**TUTOR**

**LÓPEZ RODRÍGUEZ, CARLOS VINICIO**

**Santa Elena, Ecuador**

**Año 2025**



**UPSE**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.  
COORDINADORA DEL  
PROGRAMA**

---

**Ing. Carlos López Rodríguez, MSc.  
TUTOR**

---

**Ing. Diego Intriago Rodríguez, MSc.  
DOCENTE  
ESPECIALISTA**

---

**Ing. Fernando Chamba Macas, Mgtr.  
DOCENTE  
ESPECIALISTA**

---

**Abg. María Rivera González, Mgtr.  
SECRETARIA GENERAL  
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por Miguel Alfonso Méndez Rodríguez, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Telecomunicaciones.

**TUTOR**

---

**CARLOS VINICIO LÓPEZ RODRÍGUEZ**

**Santa Elena, 15 de diciembre de 2024**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO  
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, MIGUEL ALFONSO MÉNDEZ RODRÍGUEZ**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de Titulación, Estudio de factibilidad de implementar una estación base de telefonía móvil con tecnología UMTS / LTE que permita la comunicación de la comunidad de la Parroquia La Unión, Cantón Atacames, Provincia de Esmeraldas. Previo a la obtención del título en Magíster en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 15 de diciembre de 2024

**EL AUTOR**

---

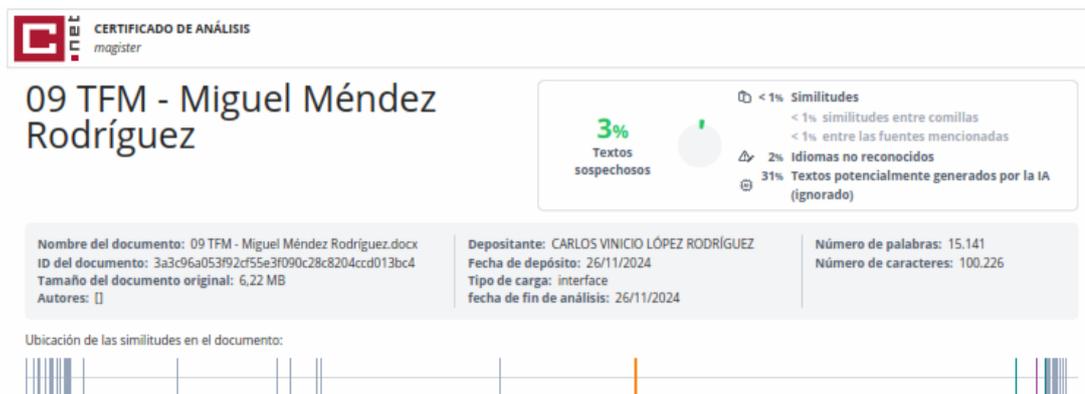
**MIGUEL ALFONSO MÉNDEZ RODRÍGUEZ**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO**

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado Estudio de factibilidad de implementar una estación base de telefonía móvil con tecnología UMTS / LTE que permita la comunicación de la comunidad de la Parroquia La Unión, Cantón Atacames, Provincia de Esmeraldas, presentado por el estudiante, Méndez Rodríguez Miguel Alfonso fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 3%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



**TUTOR**

**CARLOS VINICIO LÓPEZ RODRÍGUEZ**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Miguel Alfonso Méndez Rodríguez**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo de alto nivel con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, 15 de diciembre de 2024

**EL AUTOR**

---

**MGUEL ALFONSO MÉNDEZ RODRÍGUEZ**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, Ing. Carlos López Rodríguez, por su inestimable orientación, apoyo y paciencia durante todo el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y conocimiento en el campo de las telecomunicaciones han sido fundamentales para completar este proyecto, y estoy profundamente agradecido por las numerosas horas dedicadas a la revisión y mejora del mismo.

Quiero agradecer también a la UPSE por brindarme los recursos y el entorno académico adecuado para llevar a cabo esta investigación. Su compromiso con la excelencia académica ha sido una fuente constante de motivación.

Asimismo, agradezco a mis compañeros y amigos, quienes con su apoyo y estímulo me ayudaron a mantenerme enfocado y motivado a lo largo de este proceso. Sus palabras de aliento fueron esenciales en los momentos más desafiantes.

*Miguel Alfonso, Méndez Rodríguez.*

## **DEDICATORIA**

Primeramente, dedico este logro a Dios quien me dio la sabiduría y la paciencia para llegar a esta meta anhelada. A mi madre Ana Rodríguez, quien ha sido el pilar fundamental en cada paso que he dado en mi vida. A mi esposa Cinthya Castillo, quien fue la principal incentivadora para ingresar a este programa de maestría, su apoyo incondicional fue clave para culminar esta meta.

Por último, pero no menos importante, quiero dedicar este logro a mi familia, especialmente a mis hijos Milaine y Mikel por su amor, comprensión y apoyo incondicional. Sin ellos, este viaje no habría sido posible.

*Miguel Alfonso, Méndez Rodríguez.*

# ÍNDICE GENERAL

<b>TÍTULO .....</b>	<b>I</b>
<b>TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>III</b>
<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>IV</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO .....</b>	<b>V</b>
<b>AUTORIZACIÓN.....</b>	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>VII</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XVI</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Planteamiento de la investigación.....	4
Formulación del problema de investigación.....	5
Objetivo General: .....	5
Objetivos Específicos: .....	5
Planteamiento Hipotético.....	5
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>6</b>
1.1. Revisión de literatura .....	6
1.2. Desarrollo teórico y conceptual .....	7
1.2.1 Tecnologías UMTS y LTE.....	8

1.2.2 Estación Base Celular .....	9
1.2.3 Funciones de una estación base .....	9
1.2.3.1 Transmisión y recepción de señales .....	10
1.2.3.2 Conexión a la red.....	10
1.2.3.3 Gestión de recursos .....	10
1.2.3.4 Control de la calidad de servicio .....	10
1.2.4 Desafíos de Conectividad en Zonas Rurales.....	10
1.2.5 Codificación de la señal celular. ....	10
1.2.6 Antenas Sectoriales.....	11
1.2.7 Handover.....	12
1.2.8 Red de telefonía móvil. ....	12
1.2.8.1 Estaciones Base (BTS y eNodeB) .....	12
1.2.8.2 Red de Acceso por Radio (RAN) .....	12
1.2.8.3 Núcleo de la Red (Core Network).....	13
1.2.8.4 Elementos de Control de Movilidad (Handover) .....	13
1.2.8.5 Alcance de cobertura de una Estación base. ....	13
1.2.8.6 Alcance en zonas rurales.....	13
1.2.8.7 Alcance en zonas urbanas .....	13
1.2.8.8 Elección de frecuencias en redes de telefonía móvil.....	14
1.2.9 Beneficios de las redes móviles celulares. ....	15
1.2.9.1 Acceso global a la comunicación.....	15
1.2.9.2 Alta velocidad de datos.....	15
1.2.9.3 Soporte para IoT (Internet de las cosas) .....	15
1.2.9.4 Mejora en la seguridad pública y emergencias.....	15
1.2.9.5 Movilidad sin interrupciones .....	15
1.2.9.6 Innovación tecnológica .....	16
1.2.10 Desventajas de la tecnología celular.....	16
1.2.10.1 Impactos en la salud.....	16
1.2.10.2 Efectos en la salud mental .....	16
1.2.10.3 Interferencias y problemas de seguridad .....	16
1.2.10.4 Impacto ambiental .....	16

1.2.11 Estudios de Factibilidad y Casos de Éxito.....	17
1.2.12 Relevancia y Brecha en la Literatura.....	17
1.2.13 Grupo Electrónico.....	17
1.2.13.1 Motor Diesel.....	18
1.2.13.2 Alternador.....	18
1.2.13.3 Módulo de control.....	18
1.2.13.4 Cabina insonora.....	18
1.2.14 Planta de Poder (Power Plant) y sus componentes.....	19
1.2.15 Sistema de respaldo de Baterías.....	20
1.2.16 Equipos y componentes de los equipos de telecomunicación.....	22
1.2.16.1 RRU (Unidad de Radio Remota).....	22
1.2.16.2 BBU (Unidad de Banda Base).....	23
1.2.16.3 Antenas Sectoriales.....	25
1.2.16.4 Enlaces Microondas (MW).....	26
1.2.16.5 Antenas de polarización simple.....	27
1.2.16.6 Antenas de polarización doble.....	27
1.2.17 Diseño de la infraestructura.....	28
1.2.18 Ubicación geográfica de la RBS.....	28
1.2.19 Diseño de la Estación Base Remota (RBS).....	28
1.2.20 Diseño de la Estación Base Remota (RBS).....	30
1.2.20.1 MW RTN 910A.....	30
1.2.20.2 XPIC.....	31
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>32</b>
2.1. Contexto de la investigación.....	32
2.2. Diseño y alcance de la investigación.....	32
2.3. Tipo y métodos de investigación.....	33
2.4 Población y Muestra.....	33
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	33
2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.....	34
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>

3.1 Resultados.....	39
3.1.1 Propuesta de Diseño de la Estación Base .....	39
3.1.2 Simulación de cobertura según el terreno donde se aplica.....	40
3.1.2.1 Cobertura UMTS 850MHz y LTE AWS en La Unión de Atacames .....	42
3.1.2.2 Simulación de enlace MW punto a punto.....	44
3.1.3 Análisis de los beneficios de la existencia de una estación base de acceso móvil con tecnología UMTS/LTE en la parroquia La Unión para su desarrollo socioeconómico .....	47
3.2 Discusión .....	49
3.2.1 Análisis de Factibilidad Económica .....	50
3.2.2 PROPUESTA .....	54
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>62</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MODOS Y BANDAS DE FRECUENCIA SOPORTADA POR UNA RRU3953/RRU3953W FUENTE: (HUAWEI 2020).....	23
TABLA 2. TABLA MUESTRA RESULTADOS ENCUESTA. ....	36
TABLA 3. TABLA MUESTRA DE DATOS CONVERTIDA A ESCALA NUMÉRICA. ....	38
TABLA 4. PARÁMETROS SISTEMA RADIANTE UMTS .....	41
TABLA 5. PARÁMETRO SISTEMA RADIANTE LTE AWS .....	42
TABLA 6. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN ENLACE MW. ....	46
TABLA 7. TABLA DE COSTOS Y BENEFICIOS PROYECCIÓN A 5 AÑOS. ....	52

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FUENTE: <a href="https://mapcarta.com/map">HTTPS://MAPCARTA.COM/MAP</a>	1
FIGURA 2 DATOS DE POBLACIÓN DE LA PARROQUIA LA UNIÓN DE ATACAMES. FUENTE: INEC 2022.	2
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE LA PARROQUIA LA UNIÓN. FUENTE: GOOGLE EARTH.	3
FIGURA 4. DISPOSICIÓN DE ESTACIONES BASE EN EL ECUADOR ENERO 2018. FUENTE: ARCOTEL BOLETÍN MAYO 2018.	8
FIGURA 5. ANTENAS SECTORIALES.	11
FIGURA 6. COBERTURA EN ZONA URBANA VS ZONA RURAL. FUENTE: ANÓNIMA.	14
FIGURA 7. GRUPO ELECTRÓGENO Y SUS PARTES.	18
FIGURA 8. GRUPO ELECTRÓGENO HIMONINSA. FUENTE: HIMONINSA YANMAR COMPANY.	19
FIGURA 9. POWER PLANT HUAWEI.	20
FIGURA 10. BANCO DE BATERÍAS HUAWEI.	21
FIGURA 11. RRU HUAWEI 3953/RRU3953w	22
FIGURA 12. DIAGRAMA DE UNA BBU3900. FUENTE: (GUERRA, 2019).	23
FIGURA 13. CONEXIONES DE FO EN TARJETAS MODULARES. WBBP/GTMU.	24
FIGURA 14. ESPECIFICACIONES DE ANTENA. FUENTE: (HUAWEI, 2022).	25
FIGURA 15. ESPECIFICACIONES DE ANTENA. FUENTE: (HUAWEI, 2022).	26
FIGURA 16. ANTENA MICROONDA HUAWEI.	27
FIGURA 17. ESTRUCTURA DE UNA ESTACIÓN BASE.	29
FIGURA 18. MW HUAWEI RTN910A.	30
FIGURA 19. PERSONAS CON UNA CONEXIÓN A INTERNET.	36
FIGURA 20. GRÁFICO DISPONIBILIDAD SERVICIO MÓVIL.	37
FIGURA 21. CÁLCULO EN PYTHON DEL ALFA CRONBACH.	38
FIGURA 22 DISEÑO Y UBICACIÓN DE LA PROPUESTA DE RADIO BASE.	39
FIGURA 23. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA Y UBICACIÓN DE EQUIPOS EN LA MISMA,	40
FIGURA 24. PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL UMTS PARROQUIA LA UNIÓN DE ATACAMES.	43
FIGURA 25. PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL LTE AWS PARROQUIA LA UNIÓN DE ATACAMES.	44
FIGURA 26. DISTANCIA MEDIDA ENTRE NODO Y ESTACIÓN TERMINAL.	45
FIGURA 27. GRÁFICO DE PERFIL DEL ENLACE.	46
FIGURA 28. INFORME DE ENLACE.	47
FIGURA 29. GRÁFICO DE COSTOS INICIALES.	53
FIGURA 30. PROYECCIÓN A 5 AÑOS DE COSTOS E INGRESOS.	53

## **RESUMEN**

El trabajo aborda la factibilidad de implementar una estación base con tecnología UMTS/LTE en la Parroquia La Unión, Cantón Atacames, Esmeraldas, para mejorar la conectividad en esta comunidad rural de 3,358 habitantes. Se propone como objetivo evaluar la viabilidad técnica, económica y operativa del proyecto, con el fin de cerrar la brecha digital y fomentar el desarrollo socioeconómico.

El estudio emplea un enfoque no experimental, basado en análisis geográficos y demográficos, simulaciones con herramientas como XIRIO-ONLINE y un modelo costo-beneficio proyectado a cinco años. Los resultados incluyen el diseño técnico de la estación base, simulaciones de cobertura y análisis del impacto en la calidad de vida.

Se concluye que la implementación es viable, reduciendo significativamente las limitaciones de comunicación y facilitando acceso a educación, salud y comercio electrónico, promoviendo el desarrollo integral de la parroquia.

**Palabras claves:** ESTACIÓN BASE, UMTS, LTE, CDM, OFDM, HANDOVER, PDH

## **ABSTRACT**

The study examines the feasibility of implementing a base station with UMTS/LTE technology in La Unión Parish, located in Cantón Atacames, Esmeraldas, to enhance connectivity in this rural community of 3,358 inhabitants. The main objective is to evaluate the technical, economic, and operational viability of the project, aiming to bridge the digital divide and promote socioeconomic development.

The research employs a non-experimental approach, incorporating geographic and demographic analyses, simulations using tools like XIRIO-ONLINE, and a cost-benefit model projected over five years. The findings include the technical design of the base station, coverage simulations, and an analysis of its impact on quality of life.

The study concludes that the implementation is feasible, significantly reducing communication barriers and enabling access to education, healthcare, and e-commerce, thus fostering the integral development of the parish.

**Keywords:** BASE STATION, UMTS, LTE, CDM, OFDM, HANDOVER, PDH

# INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el acceso a servicios de comunicación de alta calidad es crucial para el desarrollo socioeconómico de cualquier comunidad. Las tecnologías móviles, como UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles) y LTE (Evolución a Largo Plazo), han transformado la forma en que las personas se comunican y acceden a la información. No obstante, en áreas rurales como la Parroquia La Unión, en el Cantón Atacames, Provincia de Esmeraldas, la falta de infraestructura sigue siendo un obstáculo significativo para la conectividad.

Esta investigación se centra en la factibilidad de implementar una estación base de telefonía móvil con tecnología UMTS/LTE en la Parroquia La Unión. El objetivo principal es evaluar la viabilidad técnica, económica y operativa de esta solución, para ofrecer cobertura de comunicación que responda a las necesidades de la comunidad local.

El estudio se organiza en varios capítulos. El primero presenta el marco teórico, con una revisión exhaustiva de la literatura sobre la problemática. El segundo describe la metodología de investigación, que combina métodos cuantitativos y cualitativos para la recopilación y análisis de datos. El tercer capítulo discute los resultados obtenidos de las simulaciones.

El último capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones basadas en los hallazgos. El análisis incluye las características geográficas y demográficas de la parroquia, las capacidades de las tecnologías UMTS y LTE, y un plan de implementación que evalúa costos, infraestructura necesaria e impacto en la comunidad. La propuesta defiende que, con la instalación de una estación base UMTS/LTE, es posible cerrar la brecha de conectividad, mejorando significativamente la calidad de vida de los habitantes.

La Parroquia La Unión. Es una parroquia rural ubicada en el centro del cantón Atacames, al Noroeste del cantón Esmeraldas, en las coordenadas Latitud: 0.716667 Longitud: 79.8667, a 21.6 kilómetros de la vía principal E-15 de la Provincia de Esmeraldas.(GAD PARROQUIAL RURAL DE LA UNION DE ATACAMES, 2023)

La figura 1 muestra el mapa de la parroquia la Unión de Atacames.

Figura 1. Fuente: <https://mapcarta.com/Map>



En el año 2022, el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) ejecutó el censo poblacional luego de 12 años después del anterior realizado en el año 2010, Arrojando los resultados donde la parroquia La Unión de Atacames posee una población total de 3,358 habitantes, y una extensión territorial de 114.22 km<sup>2</sup>.

Sus principales actividades económicas son la ganadería. La parroquia enfrenta una carencia de servicios de telecomunicaciones. No existen infraestructuras que cubran este servicio básico. Esta falta de servicios limita el acceso de la comunidad, especialmente de los agricultores y ganaderos. Les impide mejorar la logística en la producción y comercialización de sus productos. También afecta el acceso a servicios esenciales como comunicación móvil, Internet, educación en línea y servicios de emergencia. Todo esto impacta negativamente en el desarrollo socioeconómico de la parroquia.

La figura 2 muestra la población de la parroquia la UNIÓN según el último censo ejecutado por el INEC en el año 2022.

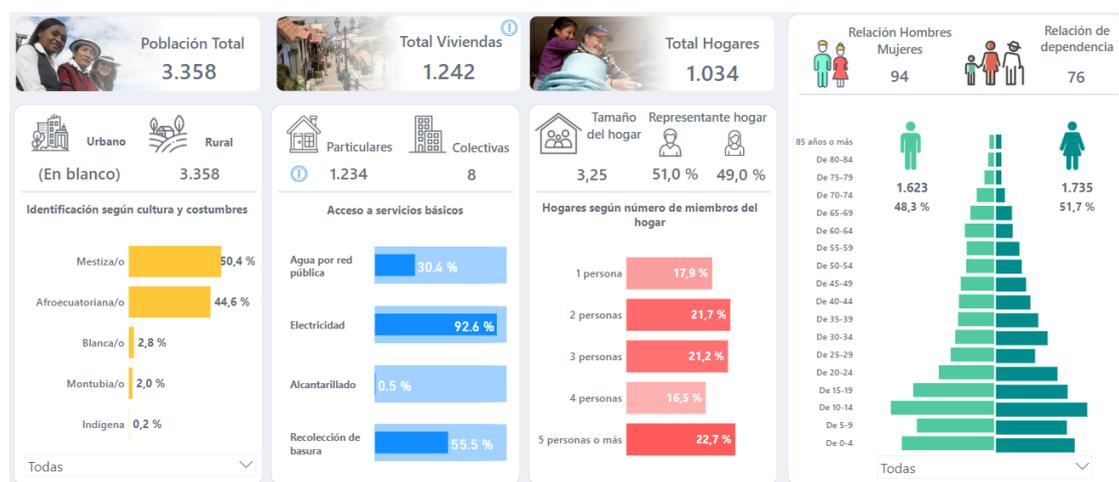


Figura 2 Datos de población de la parroquia la Unión de Atacames. Fuente: INEC 2022.

El informe de la International Telecommunication Union (ITU, 2020), resalta que las áreas con buena infraestructura de telecomunicaciones experimentan un desarrollo socioeconómico más robusto. La conectividad permite acceder a nuevas oportunidades económicas y mejora la calidad de vida. La carencia de estos servicios perpetúa el aislamiento y limita las oportunidades de desarrollo.

Por lo tanto, la falta de telecomunicaciones en la parroquia impacta negativamente en su desarrollo socioeconómico. La implementación de infraestructura de telecomunicaciones es fundamental para mejorar la calidad de vida y promover un desarrollo más equilibrado en la región.

La figura 3 muestra el área principal de la parroquia donde se quiere proveer la señal de telefonía móvil, ya que es la parte con mayor concentración de pobladores.



*Figura 3. Distribución de la población de la Parroquia la Unión. Fuente: Google Earth.*

El problema de investigación se centra en la falta de un análisis sobre la viabilidad técnica y operativa de implementar una estación base de telefonía móvil con tecnología UMTS/LTE en la Parroquia La Unión. Sin un estudio de factibilidad que evalúe adecuadamente las condiciones geográficas, demográficas y económicas de la región, es difícil justificar la inversión necesaria y garantizar el éxito del proyecto.

En el ámbito social, la implementación de la estación base permitirá a la comunidad acceder a servicios esenciales como educación en línea, telemedicina, comercio electrónico y demás. Esto promoverá el desarrollo integral de la parroquia.

En el ámbito profesional, el estudio proporcionará un caso práctico sobre la planificación y ejecución de proyectos de telecomunicaciones en zonas rurales. Servirá como referencia para futuros proyectos similares en otras comunidades.

Desde una perspectiva académica, este trabajo contribuirá al conocimiento sobre la implementación de tecnologías móviles en entornos rurales. Proporcionará datos y análisis valiosos para la industria de las telecomunicaciones.

En resumen, este estudio de factibilidad no solo busca determinar la viabilidad de una estación base UMTS/LTE en la Parroquia La Unión, sino que también pretende generar

un impacto positivo en la comunidad. Mejorará la conectividad y abrirá nuevas oportunidades para el desarrollo económico y social de la región.

### **Planteamiento de la investigación**

La Parroquia La Unión, ubicada en el Cantón Atacames, Provincia de Esmeraldas, enfrenta una notable carencia de infraestructura de telecomunicaciones, lo que limita el acceso de la comunidad a servicios esenciales y afecta de manera negativa su desarrollo socioeconómico. A pesar del incremento en la demanda de servicios de comunicación, hasta la fecha no se ha realizado un análisis exhaustivo que explore la viabilidad técnica y operativa de implementar una estación base de telefonía móvil con tecnología UMTS/LTE en la región.

El problema principal de esta investigación radica en la ausencia de un estudio de factibilidad que evalúe adecuadamente las condiciones geográficas, demográficas y económicas de la Parroquia La Unión. Sin este análisis, resulta difícil justificar la inversión necesaria y garantizar el éxito de la implementación de la estación base. La falta de datos precisos dificulta la toma de decisiones informadas y la planificación eficaz del proyecto.

La instalación de una estación base UMTS/LTE tiene el potencial de transformar significativamente la calidad de vida en la parroquia. Esta mejora en la conectividad permitiría un mejor acceso a servicios esenciales como la educación en línea, la telemedicina y el comercio electrónico, impulsando el desarrollo integral de la comunidad. Además, ofrecería la oportunidad de documentar un caso práctico de planificación y ejecución de proyectos de telecomunicaciones en zonas rurales, lo que podría servir de referencia para iniciativas similares en otras regiones.

Desde una perspectiva académica, este estudio de factibilidad contribuirá al cuerpo de conocimiento sobre la implementación de tecnologías móviles en entornos rurales, proporcionando datos y análisis valiosos para la industria de las telecomunicaciones.

En resumen, la investigación tiene como objetivo determinar la viabilidad de la implementación de una estación base UMTS/LTE en la Parroquia La Unión, así como evaluar su impacto potencial en la conectividad y en el desarrollo económico y social de la región.

## **Formulación del problema de investigación**

¿Es viable la implementación de una Estación Base UMTS/LTE en la Parroquia La Unión para mejorar la conectividad y, en consecuencia, el desarrollo socioeconómico de la comunidad?

### **Objetivo General:**

Estimar los beneficios sociales y económicos que se obtienen con la implementación de una estación base de telefonía móvil con tecnología UMTS / LTE mediante herramienta de simulación.

### **Objetivos Específicos:**

1. Diseñar una estación base de tipo solución Huawei que tenga los elementos necesarios para generar la señal celular en la parte habitada de la Parroquia La Unión, garantizando una cobertura efectiva y confiable.
2. Realizar la simulación de la señal celular con las tecnologías UMTS y LTE tomando en consideración las ubicaciones y concentraciones de la población mediante el uso de la herramienta XIRIO-ONLINE.
3. Analizar los beneficios que traería la existencia de una Estación Base de acceso móvil con tecnología UMTS/LTE en la zona para su desarrollo socioeconómico.

## **Planteamiento Hipotético**

La instalación de una estación base UMTS/LTE en la Parroquia La Unión es la solución más adecuada para satisfacer la necesidad de suplir la carencia de un servicio básico como es la telefonía celular, al proporcionar un servicio de comunicación móvil eficiente que responda a las necesidades actuales y futuras de la parroquia, favoreciendo así su inclusión en la economía digital. Lo que nos lleva a plantearnos las siguientes preguntas:

1. ¿Es técnicamente viable la instalación de una estación base UMTS/LTE en la Parroquia La Unión considerando sus características geográficas y demográficas?
2. ¿Qué impacto tendría la implementación de una estación base UMTS/LTE en la calidad de vida y el desarrollo socioeconómico de la comunidad de la Parroquia La Unión?

# CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Con este estudio se desea demostrar la falta de desarrollo en que se encuentra la parroquia La Unión de Atacames por no haber una red de acceso móvil.

Este trabajo de investigación pretende aportar de manera positiva a la zona comprende la parroquia rural, dando a conocer una tecnología que mejoraría considerablemente ciertos problemas de comunicación existente en esta zona.

## 1.1. Revisión de literatura

El diseño de estaciones base en zonas rurales de Ecuador ha sido un tema recurrente debido a la falta de conectividad que afecta a diversas comunidades, tanto en términos de acceso a servicios de telecomunicaciones como en el desarrollo socioeconómico. Un enfoque común en estos estudios ha sido el uso de tecnologías móviles avanzadas como UMTS, LTE, y la reutilización de infraestructura de generaciones anteriores para cubrir estas zonas desfavorecidas.

En 2023, Pinta en su estudio "Diseño de radio base multi operadora celular para centro parroquial de Nambacola", aborda la problemática de la falta de cobertura en parroquias rurales, como Nambacola. En este trabajo, se propone una solución técnica que reutiliza la tecnología UMTS, que se espera ser desplazada por la implementación de redes 5G en áreas urbanas, para dar servicio a zonas rurales excluidas de los proyectos de las grandes operadoras debido a la baja rentabilidad económica de estas áreas.

Por otro lado, en 2022 el trabajo de Mosquera y Orozco sobre el "Diseño y simulación de una estación de cobertura celular a la población del recinto Cabuyal del cantón Santa Lucía", también enfoca la necesidad de conectividad en áreas rurales. En su estudio, los autores emplean simulaciones para evaluar la cobertura de las redes 3G y 4G en Cabuyal. Utilizan tecnologías avanzadas y determinan la ubicación óptima para la estación base mediante un análisis técnico y financiero.

Ambos trabajos comparten una metodología de diseño basada en análisis de cobertura mediante simulaciones de radiofrecuencia y en la evaluación de la infraestructura existente para minimizar costos. La reutilización de tecnología obsoleta, como se observa en el estudio de (Jaramillo Pinta, 2023), es una estrategia clave para aprovechar las

inversiones existentes y evitar el desperdicio de equipos que aún pueden brindar servicios adecuados en áreas rurales.

En el 2022, Mosquera y Orozco en su estudio realizaron un análisis de viabilidad técnica y social que permitió identificar los beneficios de la implementación de una estación base en el recinto Cabuyal, lo que generaría un impacto positivo en la actividad económica de la región, al mejorar el acceso a las TIC. Este análisis fue fundamental para establecer la pertinencia de la inversión y los beneficios esperados en términos de mejora de la conectividad.

Ambos estudios subrayan la importancia de las estaciones base para mejorar la calidad de vida en comunidades rurales. Sin embargo, también identifican desafíos como los costos asociados a la instalación de nuevas infraestructuras y el mantenimiento de estos equipos en entornos de difícil acceso. En el caso de Nambacola propone una solución multioperadora que optimiza los recursos, permitiendo que varias compañías compartan la misma infraestructura, lo que reduce los costos y hace viable el proyecto a largo plazo

.

## **1.2. Desarrollo teórico y conceptual**

En telecomunicaciones, la cobertura de una estación base hace referencia al área geográfica donde la estación puede permitir la comunicación.

La cobertura depende de varios factores tales como la orografía (Parte de la geografía física que trata de la descripción de las montañas.), los edificios, qué tecnología de radio frecuencia se emplee. Además, es muy importante el tipo de hardware que se emplee considerando el nivel de sensibilidad, tolerancia a interferencias y la eficiencia que tengan para la transmisión de comunicación (Mosquera Herrera et al, 2022).

La población del Ecuador que tiene acceso al servicio móvil avanzado, se menciona que el 89,54% lo tiene; y, que el prestador CONECEL S.A. tiene la mayor participación del mercado con el 59,82% (ARCOTEL, 2018).

Según la ARCOTEL (2018) en su boletín publicado, el Ecuador cuenta con un total de 16.485 Estaciones Base repartidas entre las 3 operadoras que trabajan en el país (CONECEL, OTECEL y CNT). La Figura 4 permite observar que al mes de enero del año 2018 existen 16.917 Radio Bases (RBS) instaladas en el todo el territorio nacional,

de ellas el 52,05% corresponde al operador CONECEL S.A., el 32,71% OTECEL S.A. y el 13,24% CNT EP. La figura 4 detalla en números el estado de cobertura de telefonía móvil en el Ecuador.

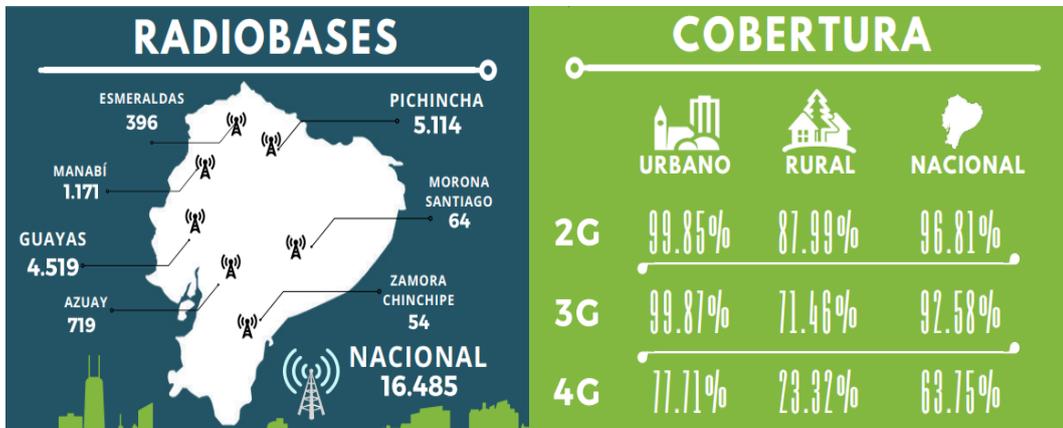


Figura 4. Disposición de Estaciones Base en el Ecuador enero 2018. Fuente: ARCOTEL Boletín mayo 2018.

Este apartado revisa la literatura existente sobre las tecnologías UMTS/LTE, los desafíos de conectividad en zonas rurales y los estudios de factibilidad previos relacionados con la instalación de infraestructuras de telecomunicaciones en entornos similares al de la Parroquia La Unión, Cantón Atacames, Provincia de Esmeraldas.

### 1.2.1 Tecnologías UMTS y LTE

Un caso de éxito donde la implementación de una estación base es por ejemplo las comunidades de Selva Alegre y Timbiré, ubicadas la parroquia Borbón del cantón Eloy Alfaro de la provincia de Esmeraldas, que hasta el año 2022 no contaban con una red comunicaciones que les permita la conectividad con el entorno.

La conectividad es un pilar esencial para el desarrollo económico y social en cualquier comunidad (Bidwell, 2021). En las zonas rurales y remotas, la falta de infraestructura de telecomunicaciones ha generado una significativa brecha digital, limitando el acceso a servicios básicos como la educación, la salud, oportunidades.

La implementación de tecnologías móviles avanzadas como UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles) y LTE (Evolución a Largo Plazo) ha sido una solución efectiva en muchas áreas del mundo para cerrar esta brecha (Bidwell, 2021).

Las tecnologías UMTS y LTE representan dos generaciones importantes en la evolución de las redes móviles. UMTS, perteneciente a la tercera generación (3G), ofrece mejoras significativas en la capacidad de datos y la eficiencia espectral en comparación con las tecnologías anteriores, como GSM. Por otro lado, LTE es parte de la cuarta generación (4G) y proporciona aún mayores velocidades de datos, menor latencia y mejor rendimiento en movilidad (Scholastica Ukamaka et al., 2023).

UMTS, ha sido ampliamente utilizado para mejorar la conectividad en áreas con baja densidad de población, debido a su capacidad para ofrecer servicios de voz y datos de manera más eficiente que las tecnologías 2G (Scholastica Ukamaka et al., 2023)

UMTS es particularmente adecuado para regiones rurales donde la demanda de datos es moderada, pero la cobertura de red es crítica (Scholastica Ukamaka et al., 2023).

LTE, con su arquitectura simplificada y eficiencia en el uso del espectro, se ha convertido en la opción preferida para nuevas implementaciones, especialmente en zonas donde se prevé un aumento en la demanda de servicios de datos (Párraga Villamar et al., 2023).

Los estudios realizados por (Redhwan et al., 2019) en su investigación: “Planificación y Optimización de la Red de Acceso de Radio LTE para el Área Suburbana y Rural en la Ciudad de Taiz, Yemen”, demuestran que LTE no solo mejora la velocidad de conexión en áreas rurales, sino que también es más escalable y permite la implementación de servicios adicionales, como VoIP y aplicaciones de IoT.

### **1.2.2 Estación Base Celular**

Una estación base es un componente fundamental en las comunicaciones inalámbricas, especialmente en redes móviles y de telecomunicaciones. Su función principal es actuar como un punto de acceso que permite la comunicación entre dispositivos móviles (como teléfonos celulares) y la red de telecomunicaciones (Rappaport, 2022).

### **1.2.3 Funciones de una estación base**

En este apartado vamos a abordar conceptos básicos de todos los elementos que intervienen en la operación de una estación base.

### **1.2.3.1 Transmisión y recepción de señales**

La estación base envía y recibe señales de radiofrecuencia a los dispositivos móviles dentro de su área de cobertura. Esto incluye tanto la transmisión de datos como la voz (Rappaport, 2022).

### **1.2.3.2 Conexión a la red**

Facilita la conexión de los dispositivos móviles a la red más amplia, permitiendo el acceso a servicios de voz, datos y otros recursos de la red (Rappaport, 2022).

### **1.2.3.3 Gestión de recursos**

Administra el uso del espectro de frecuencia y asigna recursos a los dispositivos conectados, asegurando una comunicación eficiente y minimizando la interferencia (Rappaport, 2022).

### **1.2.3.4 Control de la calidad de servicio**

Monitorea y ajusta la calidad de la señal y la conexión, lo que es crucial para mantener un servicio de alta calidad para los usuarios (Rappaport, 2022).

## **1.2.4 Desafíos de Conectividad en Zonas Rurales**

En 2021, el estudio realizado por Dlamini y Vilakati concluyen que a medida que las redes móviles avanzan hacia el cumplimiento de los requisitos de los usuarios móviles, la división rural-urbana sigue siendo un gran desafío. Mientras que las áreas dentro del espacio urbano (espacio móvil metropolitano) están siendo desarrolladas, es decir, se despliegan pequeñas Estaciones Base equipadas con capacidades informáticas para satisfacer la cantidad de demanda de recurso, que implica la utilización de los servicios móviles por parte de los usuarios. Por otro Lado, las áreas rurales se quedan rezagadas. Debido a los desafíos de baja densidad de población, bajos ingresos, terrenos difíciles, infraestructura inexistente y falta de red eléctrica, las zonas remotas tienen una baja penetración digital. Esta situación hace que las áreas remotas sean menos atractivas para las inversiones y para operar redes de conectividad, lo que impide lograr el acceso universal a Internet.

### **1.2.5 Codificación de la señal celular.**

La codificación de la señal móvil es un área fundamental de las comunicaciones móviles, especialmente en las nuevas tecnologías como las redes 5G y las futuras redes 6G. Este

proceso garantiza la integridad de los datos durante la transmisión, lo que permite la corrección de errores y una eficiencia espectral mejorada (Patil et al., 2021).

La codificación de señales celulares ha evolucionado significativamente desde 2G hasta 4G. En 2G, la codificación utilizó técnicas como el GSM con códigos convolucionales y de bloque para la corrección de errores. 3G introdujo la codificación de canal en CDMA, utilizando códigos Turbo para mejorar la eficiencia de la transmisión de datos. Finalmente, 4G (LTE) adoptó la codificación OFDM junto con códigos LDPC y Turbo para maximizar la eficiencia espectral y la robustez frente a errores, permitiendo altas velocidades de transmisión de datos y mayor capacidad de red (Ratul y Wang, 2023).

### 1.2.6 Antenas Sectoriales

Las antenas sectoriales son fundamentales en las estaciones base para optimizar la cobertura en áreas específicas, al dirigir la señal hacia sectores definidos. Esto optimiza el uso de las frecuencias y se mejora la calidad de servicio especialmente en zonas urbanas de alta densidad.

La configuración de las antenas sectoriales varía según la densidad poblacional y las necesidades de cobertura. Por lo general se emplean tres sectores de  $120^\circ$  cada uno (X, Y, Z) para cubrir los  $360^\circ$ . Sin embargo, en áreas con gran demanda, se pueden agregar sectores adicionales (U, V, W, etc.) para incrementar la capacidad.

La orientación y distribución de las antenas sectoriales en una estación base son estratégicas para garantizar una cobertura uniforme. La figura 5 muestra cómo se ubican estas antenas en una estructura.



Figura 5. Antenas Sectoriales.

### **1.2.7 Handover**

El handover en las redes móviles es un proceso crítico que asegura la transferencia continua de una llamada o sesión de datos de una celda a otra sin interrupciones.

El handover en redes UMTS y LTE es crucial para mantener la conectividad continua cuando un usuario se desplaza entre celdas o tecnologías. En UMTS, el proceso de soft handover permite que un dispositivo esté conectado a múltiples estaciones base simultáneamente, lo que facilita una transición más suave entre celdas. En contraste, LTE utiliza un enfoque de hard handover, en el que el dispositivo se desconecta de una estación base antes de conectarse a la siguiente (Gheorghe et al., 2023).

La migración de UMTS a LTE presenta desafíos debido a las diferencias en los parámetros de propagación de la señal. Por ejemplo, la potencia recibida de la señal (RSCP en UMTS y RSRP en LTE) y la velocidad del usuario juegan un papel crucial en el rendimiento del handover. Simulaciones han mostrado que a una velocidad de 10 m/s, el rendimiento es óptimo con un bajo número de handovers necesarios para mantener una conexión estable (Pinem et al., 2019).

### **1.2.8 Red de telefonía móvil.**

Una red de telefonía móvil es un sistema de telecomunicaciones que permite la comunicación inalámbrica a través de dispositivos móviles. Los componentes clave de una red móvil incluyen:

#### **1.2.8.1 Estaciones Base (BTS y eNodeB)**

Estas son las torres de comunicación que transmiten y reciben señales de los dispositivos móviles. Las estaciones base están conectadas a la red de acceso por radio (RAN), que gestiona la comunicación entre los usuarios y el núcleo de la red (Boccuzzi, 2019).

#### **1.2.8.2 Red de Acceso por Radio (RAN)**

Es la parte de la red que conecta los dispositivos móviles con el núcleo de la red. En redes 3G (UMTS), se utiliza la RAN basada en WCDMA, mientras que en 4G (LTE), se emplea OFDMA para una mayor eficiencia espectral (Boccuzzi, 2019).

### **1.2.8.3 Núcleo de la Red (Core Network)**

El núcleo de la red gestiona las funciones centrales, como la autenticación de los usuarios, la conmutación de llamadas, y el enrutamiento de datos. En 4G, el núcleo incluye elementos como el MME (Gestor de Movilidad) y el SGW (Gateway de Servicio), mientras que en 5G este núcleo se ha rediseñado para mayor flexibilidad y soporte de aplicaciones de baja latencia (Boccuzzi, 2019).

### **1.2.8.4 Elementos de Control de Movilidad (Handover)**

El proceso de handover es clave para la continuidad del servicio cuando un usuario se desplaza entre celdas. En redes LTE, se utiliza un hard handover, donde el dispositivo se desconecta de una celda antes de conectarse a otra, mientras que en UMTS se utiliza un soft handover, que permite al dispositivo estar conectado a varias estaciones base simultáneamente para una transición más suave (Boccuzzi, 2019).

### **1.2.8.5 Alcance de cobertura de una Estación base.**

Una estación base es un componente esencial de las redes de telefonía móvil porque permite que los dispositivos móviles se comuniquen inalámbricamente con la red central. La altura de la torre, la potencia de transmisión, el entorno (urbano o rural) y las frecuencias utilizadas son factores que afectan la cobertura de una estación base (Alexander et al., 2019).

### **1.2.8.6 Alcance en zonas rurales.**

En zonas rurales, donde hay menos obstáculos, las estaciones base pueden cubrir áreas mucho más amplias, con rangos de cobertura que pueden llegar a 10 kilómetros o más. En estos entornos, se usan torres más altas y señales de mayor potencia para maximizar el alcance y cubrir grandes áreas con menos estaciones base (Alexander et al., 2019).

### **1.2.8.7 Alcance en zonas urbanas**

En áreas urbanas, la cobertura de las estaciones base suele estar limitada por la presencia de edificios y otras estructuras que pueden bloquear o reflejar las señales. Como resultado, la distancia de cobertura suele ser menor, alrededor de 0.5 a 2 kilómetros en entornos densamente poblados (Boccuzzi, 2019).

En estas áreas el número de estaciones bases es alto para poder manejar la gran cantidad de usuarios.

se puede observar de forma gráfica en la figura 6, la cobertura de una estación base en zona rural y zona urbana.

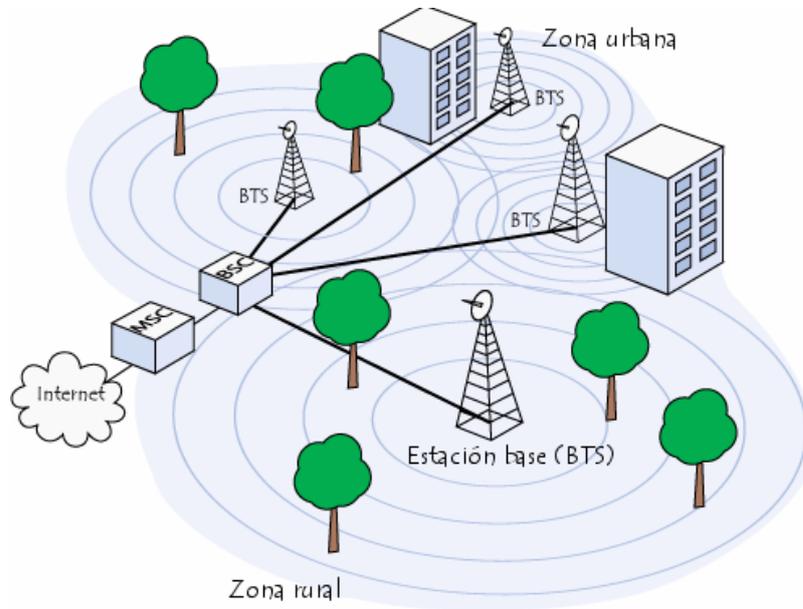


Figura 6. Cobertura en zona urbana vs zona rural. Fuente: Anónima.

### 1.2.8.8 Elección de frecuencias en redes de telefonía móvil

La elección de frecuencias en redes de telefonía móvil es un proceso crucial para garantizar la eficiencia y minimizar la interferencia entre celdas adyacentes. Bajo este escenario, la planificación y reutilización de frecuencias juegan un papel fundamental.

En redes celulares, un esquema común es el patrón de reutilización 3/9, donde cada sitio de celda contiene tres sectores y las frecuencias se reutilizan en un ciclo de nueve celdas.

Este patrón es efectivo para mejorar la relación señal/interferencia (C/I), generalmente superior a 9 dB, lo que reduce la interferencia entre celdas adyacentes. El diseño y planificación de la red considera factores como la demanda de tráfico y la distancia entre estaciones base para asignar frecuencias adecuadamente (Greenstein, 2020).

Adicionalmente, se implementan técnicas como salto de frecuencia y control dinámico de potencia para reducir la interferencia en las fronteras entre celdas. La planificación continua es necesaria a medida que las demandas de tráfico cambian, lo que implica reconfigurar los tamaños de los clústeres de celdas para optimizar el rendimiento.

La correcta selección de frecuencias asegura que las redes móviles puedan operar eficientemente, incluso en entornos con alta densidad de usuarios o zonas con interferencia significativa (Alyouzbaki, 2023).

### **1.2.9 Beneficios de las redes móviles celulares.**

Las redes celulares han evolucionado significativamente, proporcionando una serie de beneficios en la actualidad tales como:

#### **1.2.9.1 Acceso global a la comunicación**

Permiten la conectividad en prácticamente cualquier lugar del mundo, facilitando la comunicación entre individuos y empresas, lo que impulsa la productividad y las relaciones sociales (Alexander et al., 2019).

#### **1.2.9.2 Alta velocidad de datos**

Con la llegada de redes 4G y 5G, las velocidades de transmisión de datos han mejorado enormemente, permitiendo el uso de aplicaciones avanzadas como videollamadas, transmisión en vivo y servicios de nube en tiempo real (Greenstein, 2020).

#### **1.2.9.3 Soporte para IoT (Internet de las cosas)**

Las redes celulares son esenciales para el funcionamiento de dispositivos conectados, como sensores, automóviles inteligentes y dispositivos de salud, permitiendo un ecosistema de dispositivos interconectados (Alateyah, 2024).

#### **1.2.9.4 Mejora en la seguridad pública y emergencias**

Las redes celulares ofrecen sistemas de alerta en tiempo real y permiten una mejor coordinación durante situaciones de emergencia, proporcionando conectividad crítica a servicios de socorro (Redhwan et al., 2019).

#### **1.2.9.5 Movilidad sin interrupciones**

Las redes celulares brindan conectividad constante mientras los usuarios se desplazan, a través de procesos como el handover, lo que es esencial para mantener las comunicaciones sin interrupciones, incluso en tránsito (Prabhala et al., 2018).

### **1.2.9.6 Innovación tecnológica**

La implementación de redes 5G está impulsando avances en áreas como la realidad virtual y aumentada, vehículos autónomos y telemedicina, lo que está transformando industrias enteras. Estos beneficios permiten una mayor conectividad, eficiencia y flexibilidad, haciendo de las redes celulares un componente esencial en la infraestructura tecnológica global (Greenstein, 2020).

### **1.2.10 Desventajas de la tecnología celular**

Aunque la tecnología celular ha transformado la comunicación global, también presenta algunas desventajas notables tales como:

#### **1.2.10.1 Impactos en la salud**

Existen preocupaciones sobre la exposición a la radiación de los teléfonos móviles. Algunos estudios han sugerido que la radiación de los celulares podría estar vinculada a tipos específicos de cáncer, como el glioma o el schwannoma, aunque estos hallazgos han sido limitados a estudios en animales y no son concluyentes en humanos. La comunidad científica aún no ha llegado a un consenso definitivo sobre los riesgos a largo plazo (Tontonoz, 2024).

#### **1.2.10.2 Efectos en la salud mental**

El uso excesivo de dispositivos móviles, especialmente entre adolescentes, ha sido relacionado con trastornos mentales como la ansiedad, depresión, y problemas de sueño. Esto se debe en parte al uso continuo de pantallas y redes sociales, que puede afectar el bienestar emocional y el sueño de los usuarios (Girela-Serrano et al., 2024).

#### **1.2.10.3 Interferencias y problemas de seguridad**

La expansión de la tecnología celular también ha incrementado el riesgo de interferencias entre señales y redes, además de problemas de seguridad, como el espionaje o las brechas en la privacidad de los datos, dado que los dispositivos móviles son vulnerables a ataques cibernéticos (Dlamini y Vilakati, 2021).

#### **1.2.10.4 Impacto ambiental**

La proliferación de redes celulares implica un gran consumo de energía y materiales, lo que conlleva un impacto ambiental considerable. Las torres de telecomunicaciones y la

producción masiva de teléfonos móviles generan residuos electrónicos y contribuyen a la huella de carbono (Girela-Serrano et al., 2024).

### **1.2.11 Estudios de Factibilidad y Casos de Éxito**

Los estudios de factibilidad son cruciales para evaluar la viabilidad de implementar una nueva infraestructura de telecomunicaciones en áreas rurales. Un análisis detallado de casos de estudio similares, como el realizado en el año 2022 por Mosquera y Orozco en la comunidad del recinto CABUYAL del cantón Santa Lucía perteneciente a la provincia del Guayas, revela que una planificación cuidadosa que considere los aspectos técnicos, económicos y sociales puede llevar a una implementación exitosa de una estación base. Estos estudios también destacan la importancia de involucrar a la comunidad local y de asegurar que la solución tecnológica propuesta esté alineada con las necesidades específicas de la población.

### **1.2.12 Relevancia y Brecha en la Literatura**

Aunque existen estudios sobre la implementación de redes móviles en áreas rurales, la mayoría se centran en regiones con características geográficas y demográficas diferentes a las de la Parroquia La Unión. Esto crea una brecha en la literatura, ya que se necesitan estudios más específicos que aborden las particularidades de la región, como su topografía y su estructura económica. Este trabajo busca llenar esta brecha, proporcionando un análisis detallado y contextualizado sobre la viabilidad de implementar una Estación Base UMTS/LTE en esta localidad.

### **1.2.13 Grupo Electrónico**

Un grupo electrógeno es un dispositivo que utiliza un motor de combustión interna para poner en funcionamiento un generador eléctrico. Este tipo de equipo es necesario en áreas sin acceso a la red eléctrica, siendo demandado en diversas industrias y en comunidades remotas. Además, se emplea en condominios como sistema de respaldo en caso de cortes de energía, y los hospitales también lo utilizan como una medida de emergencia.

La figura 7, muestra a un grupo electrógeno solución de la empresa SELMEC.

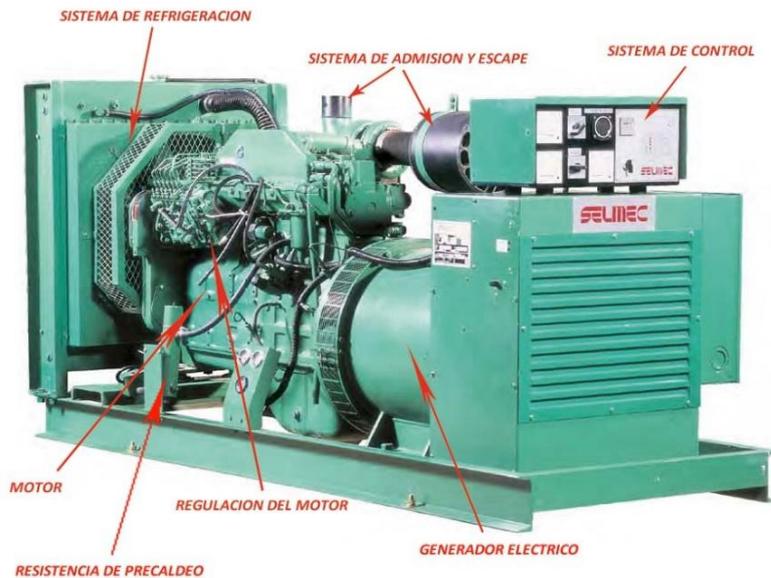


Figura 7. Grupo Electrógeno y sus partes.

### 1.2.13.1 Motor Diesel

Es un componente básico de los generadores, porque es el que se encarga de generar la energía mecánica, la cual será transmitida al alternador.

### 1.2.13.2 Alternador

Es el componente del grupo electrógeno que tiene la función de convertir la energía mecánica, generada por el motor de combustión interna, en energía eléctrica.

### 1.2.13.3 Módulo de control

Es el componente electrónico que tiene la función de gobernar el grupo electrógeno, responsable de los eventos de supervisión, protección y control.

### 1.2.13.4 Cabina insonora

Una cabina insonora en un grupo electrógeno es una estructura diseñada para reducir el ruido generado durante su funcionamiento. Estas cabinas están fabricadas con materiales especiales que absorben el sonido, minimizando la propagación del ruido hacia el exterior. Además de su función acústica, también protegen el equipo de condiciones ambientales adversas, como la lluvia, el polvo y otros factores externos. Estas cabinas son

comunes en entornos donde el nivel de ruido debe mantenerse bajo, como en áreas residenciales, hospitales y oficinas (Asis y Coronel, 2020).

Para la presente propuesta se utilizará un grupo electrógeno con capacidad de 10KVA. Podemos observar las características del equipo sugerido en la figura 8.



Figura 8. Grupo Electrónico HIMOINSA. Fuente: HIMOINSA a YANMAR COMPANY.

### 1.2.14 Planta de Poder (Power Plant) y sus componentes

Una Power Plant es el sistema que gestiona y suministra energía a los equipos de la estación base. En el mundo de los equipos que permiten las telecomunicaciones se utiliza el voltaje de -48VDC como estándar desde hace muchos años. El uso de -48V DC en este tipo de equipos se debe principalmente a la seguridad, eficiencia, y estandarización. Desde sus inicios en sistemas telegráficos, el voltaje de -48V DC ha sido adoptado como estándar en telecomunicaciones debido a su bajo riesgo de electrocución, ya que este voltaje es más seguro para el personal que trabaja en los equipos, reduciendo las probabilidades de accidentes eléctricos.

Además, la naturaleza de corriente continua (DC) permite una mayor eficiencia en la distribución de energía en centros de telecomunicaciones, ya que minimiza las pérdidas de energía en la conversión y transmisión. Esto es particularmente relevante en redes que dependen de sistemas de respaldo con baterías, donde el -48V DC facilita la integración de estas soluciones para garantizar la continuidad del servicio en caso de cortes de energía

Por último, la estandarización global en este rango de voltaje facilita la interoperabilidad de equipos entre diferentes fabricantes y redes, simplificando la instalación y mantenimiento a nivel mundial (Prabhala et al., 2018).

Para esta propuesta se utiliza una Power Plant HUAWEI MODELO MTS9000A. ver figura 9.



*Figura 9. Power Plant HUAWEI.*

### **1.2.15 Sistema de respaldo de Baterías**

El sistema de baterías actúa como el respaldo final de energía para una estación base, suministrando corriente continua (DC) rectificadas dentro del rango de -45 a -54 Vdc. Su función es mantener operativa la estación durante interrupciones en el suministro eléctrico principal.

Las baterías se activan de manera automática solo si el generador de respaldo no se pone en marcha debido a alguna falla. De este modo, garantizan la continuidad del servicio al proporcionar energía a los equipos de telecomunicaciones cuando todas las demás fuentes han fallado. Para esta propuesta de investigación se utiliza un banco de baterías HUAWEI compuesta por 4 baterías de litio de 100 Amperios Hora de capacidad por cada una, sumando un total de 400 amperios/hora.

Se tienen evidencia propia que en estaciones base rurales se tiene un promedio de consumo de energía de los equipos de alrededor más o menos 35 amperios DC.

Realizando las operaciones matemáticas para calcular el tiempo de suministro de energía que tendrá que el banco de baterías proporcionará 12 Horas de energía continua a la estación base.

El cálculo se lo realiza con la siguiente fórmula:

#### DATOS

**Capacidad de Banco:** 400 Amperios Hora.

**Carga total de RBS:** 35 Amperios.

**Promedio de conductancia del Banco:** 95%

$$\text{Respaldo Total} = \left( \frac{\text{Cap total del Banco de baterías}}{\text{Carga total de la RBS}} \right) * \text{Promedio Conductancia del Banco de Baterías}$$

$$\text{Respaldo Total} = \left( \frac{400 \text{ Amperios Hora}}{35 \text{ Amperios}} \right) * 0.95$$

$$\text{Respaldo Total} = (11.43 \text{ Horas}) * 0.95$$

$$\text{Respaldo Total} = (10.9 \text{ Horas})$$

En esta propuesta de investigación se utiliza las baterías HUAWEI modelo: ESM-48150A1, el cual es un tipo de baterías Smart. Para mayor referencia ver la Figura 10.



Figura 10. Banco de baterías HUAWEI.

### **1.2.16 Equipos y componentes de los equipos de telecomunicación.**

Una estación base celular es un componente clave en las redes de telecomunicaciones móviles. Su principal función es gestionar la comunicación entre los dispositivos móviles y la red central del operador, permitiendo la transmisión de voz, datos y mensajes. Las estaciones base están compuestas por varios elementos clave que garantizan su funcionamiento adecuado (Matracia et al., 2023).

#### **1.2.16.1 RRU (Unidad de Radio Remota)**

La RRU es el dispositivo que se encarga de amplificar la señal de RF y convertir la señal digital en señales de radio y viceversa. La mejor opción para reducir la pérdida de potencia se las instala junto o relativamente cerca de las antenas.

En este estudio se ha seleccionado la RRU HUAWEI modelo: RRU3953/RRU3953w. Este tipo de RRU es una unidad remota de radio multimodo que admite diferentes modos como GSM, UMTS y LTE en varias bandas de frecuencia entre 800-2100MHz.

Tiene 2 canales de transmisión y 4 de recepción, puede admitir hasta 8 unidades de transceptor de radio según el modo. La unidad tiene dimensiones de 400x300x150 mm sin carcasa y requiere una entrada de energía de -48V DC. Está diseñada para operar entre -40 y 55 grados Celsius en una amplia gama de niveles de humedad y presión atmosférica. Para mayor referencia de la RRU ver la figura 11.



*Figura 11. RRU HUAWEI 3953/RRU3953w*

A continuación, se presenta una tabla con características de operación de este tipo de modelos.

Tipo	Banda de Frecuencia (MHz)	Banda de frecuencia de recepción (MHz)	Banda de frecuencia de transmisión (MHz)	Modo	Ancho de Banda Instantáneo (MHz)
RRU3953w	1800	1710 to 1785	1805 to 1880	GSM, LTE FDD, GL	75
RRU3953	900 EGSM	880 to 915	925 to 960	GSM, UMTS, GU	35
	1800	1710 to 1785	1805 to 1880	GSM, LTE FDD, GL	45
	1900	1850 to 1910	1930 to 1990	GSM, UMTS, LTE FDD, GU, GL, UL, GUL	40
	2100	1920 to 1980	2110 to 2170	UMTS, LTE FDD, UL	60

Tabla 1. Modos y bandas de frecuencia soportada por una RRU3953/RRU3953w Fuente: (HUAWEI 2020).

### 1.2.16.2 BBU (Unidad de Banda Base)

Una BBU se encarga de procesar las señales digitales y maneja tareas como codificación, decodificación y modulación. También gestiona el control de las capas inferiores del protocolo de comunicación. La BBU utilizada en este estudio es una solución HUAWEI 3900 ver figura 12.

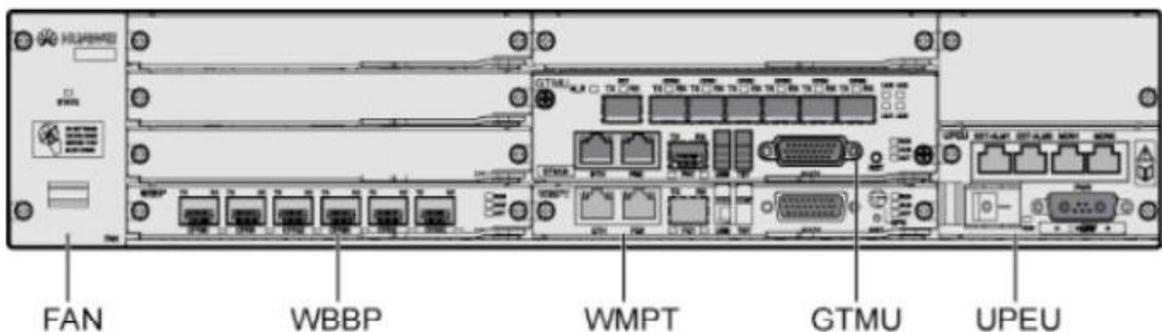


Figura 12. Diagrama de una BBU3900. Fuente: (Guerra, 2019).

La BBU es una solución modular, donde permite alojar las diferentes tarjetas que cumplen la función de banda base para cada tecnología.

Por ejemplo, la tarjeta utilizada para trabajar con la tecnología GSM se llama GTMU (GSM Transmission, Timing and Management Unit).

Para la tecnología UMTS/LTE se utilizan tarjetas como WBBP. Realiza las operaciones matemáticas necesarias para codificar, decodificar, modular y demodular las señales de voz y datos.

La WBBP se comunica con la unidad de procesamiento principal (WMPT) para recibir las señales de radiofrecuencia y enviar las señales procesadas. Ayuda a la WMPT en la asignación eficiente de los recursos de radiofrecuencia.

la UMPT es como el cerebro que coordina todas las operaciones, mientras que la WBBP es como el procesador que realiza los cálculos complejos necesarios para el procesamiento de señales.

Para ver las conexiones de las tarjeas mencionadas ver la Figura 13.



Figura 13. Conexiones de FO en tarjetas modulares. WBBP/GTMU.

### 1.2.16.3 Antenas Sectoriales

Las antenas sectoriales son un tipo de antena de transmisión utilizada principalmente en telecomunicaciones móviles y sistemas inalámbricos para cubrir áreas geográficas específicas. Estas antenas se dividen el área de cobertura en sectores, lo que permite optimizar la distribución de la señal y mejorar el rendimiento de la red.

Para este estudio utilizaremos la antena sectorial es una antena de banda hexagonal con capacidades específicas para telecomunicaciones móviles, optimizada para aplicaciones de estaciones base. Esta antena tiene características como ganancia alta, rango de frecuencia ajustable, y la capacidad de inclinación mecánica para adaptarse a diferentes condiciones de transmisión. Está diseñada para operar eficientemente en condiciones ambientales difíciles, siendo resistente a la intemperie y capaz de soportar grandes cargas de viento. Para mayor referencia ver las siguientes figuras 14 y 15.

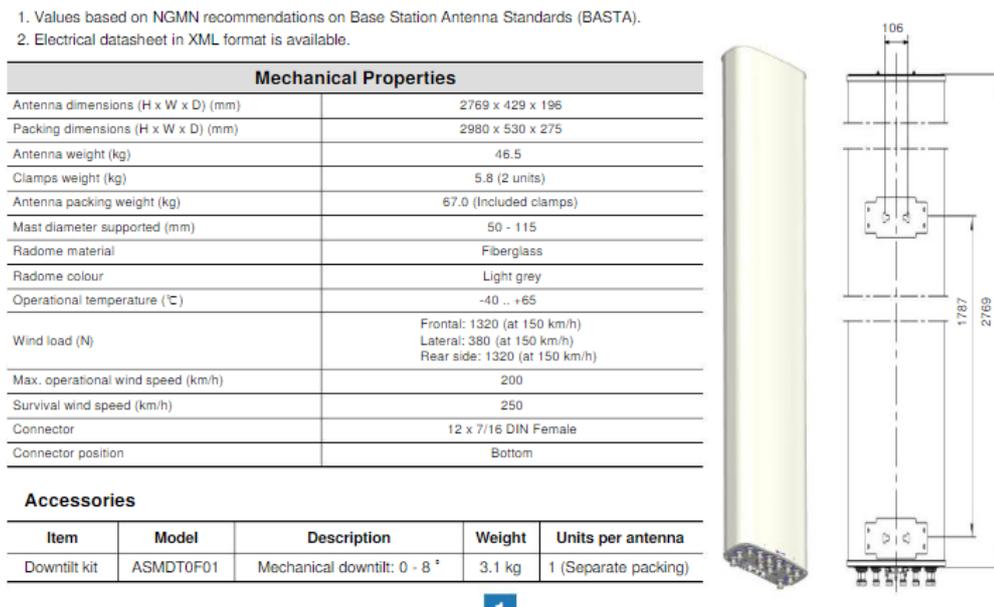


Figura 14. Especificaciones de Antena. Fuente: (HUAWEI, 2022).

**Standards:** UL 60950-1 (Safety), UL 60950-22 (Safety – Equipment installed outdoor), EN 55022 (Emission), EN 55024 (Immunity), ETSI EN 301 489, FCC Part15, ICES-003  
**Certification:** CE, FCC, IC, RCM

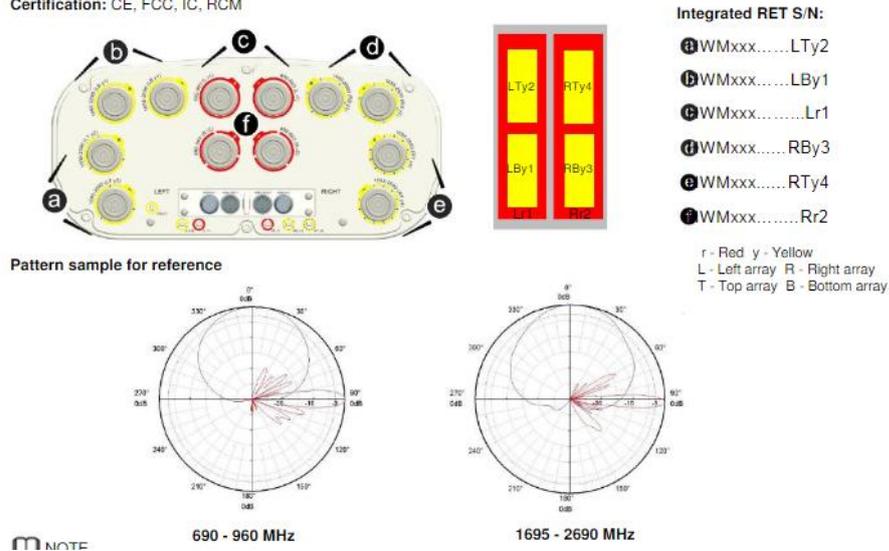


Figura 15. Especificaciones de Antena. Fuente: (HUAWEI, 2022).

En la simulación se trabajará en las bandas de frecuencias 850 a 1900 MHz. Sabiendo que cuando se opera en frecuencias más bajas, la señal se dispersa más lejos, como estamos investigando la aplicación en una zona rural es la mejor opción.

#### 1.2.16.4 Enlaces Microondas (MW)

Las microondas son fundamentales en las telecomunicaciones, particularmente en sistemas como 5G, satélites y radares. Estas ondas electromagnéticas operan en un rango de 1 a 300 GHz, permitiendo la transmisión de datos de alta velocidad en largas distancias. Su aplicación incluye el uso de antenas especializadas y guías de ondas, que dirigen las señales de forma eficiente y minimizan las pérdidas (Hernández, 2021).

La figura 16 muestra a una antena MW de 30cm de diámetro con sus respectivas ODUS instaladas en una estructura.



*Figura 16. Antena Microonda Huawei.*

#### **1.2.16.5 Antenas de polarización simple**

Las antenas de microondas con polarización simple se utilizan ampliamente en sistemas de telecomunicaciones, ya que transmiten y reciben ondas electromagnéticas en una única orientación del campo eléctrico. Este tipo de polarización es más fácil de implementar y se utiliza cuando no es necesario separar las señales en diferentes polarizaciones. Las antenas de polarización simple son esenciales en aplicaciones de comunicaciones por satélite, radioenlaces y sistemas de radar (Hernández Virgil, 2021).

#### **1.2.16.6 Antenas de polarización doble**

Los radioenlaces que utilizan antenas de doble polarización son esenciales en redes de telecomunicaciones modernas, especialmente en entornos donde la capacidad y eficiencia del espectro son críticas. Este tipo de radioenlaces permite transmitir dos señales independientes en polarización ortogonal, típicamente horizontal y vertical, a través de la misma frecuencia. Esto duplica la capacidad de transmisión sin necesidad de aumentar el ancho de banda o agregar más canales (Hernández Virgil, 2021).

### **1.2.17 Diseño de la infraestructura**

Al momento de crear el diseño de una RBS es muy importante la ubicación donde se levantará la infraestructura, sea ésta de tipo monopolo, tipo torreta con sujeción de tensores tipo torre auto soportada. Donde se definirán la altura, el azimut de los polos donde se instalarán las antenas de la red móvil. De esta manera, se garantice la cobertura esperada en los sectores de la población y sus alrededores.

### **1.2.18 Ubicación geográfica de la RBS**

Se localiza la ubicación geográfica idónea para la implementación de la estación base mediante una visita técnica a la parroquia. Se obtuvo la siguiente información:

- Altura del predio.
- Se identificó los sectores con mayor concentración de usuarios, a donde se redirige la cobertura.
- Geolocalización del predio.

### **1.2.19 Diseño de la Estación Base Remota (RBS)**

Cuando se diseñamos una estación base remota (RBS) tomamos en consideración los componentes primordiales que la conforman.

En este estudio se divide el diseño en dos partes, la primera va relacionada a garantizar el suministro de energía constante para que no interrumpa la operación la RBS.

La segunda parte está relacionada con el sistema de radiocomunicaciones, encargado de ofrecer los servicios que brinda una red de telefonía móvil con tecnología UMTS/LT.

La figura 17 muestra la propuesta del diseño de la estructura de la RBS.

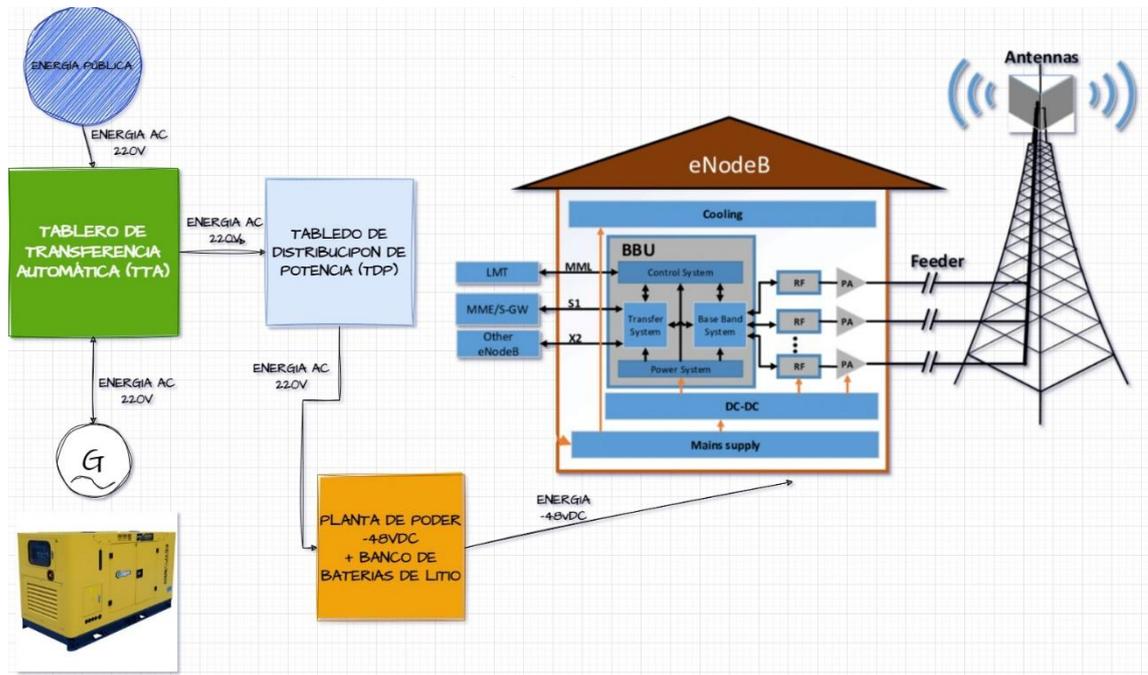


Figura 17. Estructura de una Estación Base.

Para que haya comunicación entre la RBS y la central telefónica, se utilizará un enlace de microondas de jerarquía digital plesiócrona o conocida por sus siglas en inglés PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).

### 1.2.20 Diseño de la Estación Base Remota (RBS)

En la presente propuesta se utilizará una MW HUAWEI RTN910A. ver figura 18.

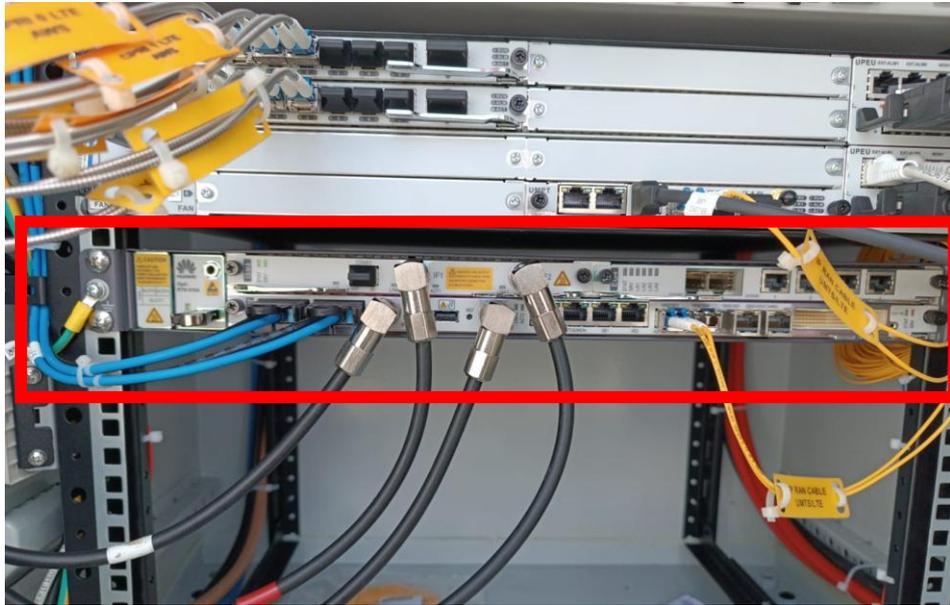


Figura 18. MW HUAWEI RTN910A.

#### 1.2.20.1 MW RTN 910A

La MW Huawei RTN 910A es una unidad de microondas punto a punto (P2P) de la serie de radios de microondas de la familia RTN de Huawei, Su flexibilidad y alto rendimiento la convierten en una opción ideal para implementaciones en entornos urbanos, rurales y remotos, especialmente en redes de acceso móvil y transporte de datos de larga distancia.

Tiene como características principales capacidad de alta transmisión, que admite anchos de banda de hasta 400Mbps siendo ideal para redes LTE y UMTS. Soporta la técnica XPIC (Cross Polarization Interference Cancellation), técnica que permite utilizar la misma frecuencia tanto en polarización horizontal como en polarización vertical. Modulación adaptativa, lo que quiere decir que cambia dinámicamente la modulación para mantener la conexión incluso en condiciones adversas (hasta 256QAM). Y bajo consumo de energía (Huawei, 2022).

### 1.2.20.2 XPIC

XPIC (Cross Polarization Interference Cancellation) es una tecnología clave que permite el uso simultáneo de las polarizaciones horizontal y vertical de una misma frecuencia de radio. Esto duplica la capacidad del enlace de microondas al eliminar las interferencias entre las dos polarizaciones. Los principales beneficios de esta técnica son los siguientes:

- **Incremento de la capacidad sin necesidad de más espectro:** Utiliza el mismo ancho de banda en ambas polarizaciones, lo que permite doblar la capacidad de transmisión sin adquirir más frecuencias.
- **Mejor utilización del espectro:** En entornos donde el espectro es limitado, XPIC optimiza su uso sin sacrificar la calidad del enlace.
- **Eficiencia en costos:** Permite a los operadores duplicar la capacidad del enlace sin necesidad de una inversión adicional en frecuencia

## **CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Contexto de la investigación**

La Parroquia La Unión, en el Cantón Atacames, Provincia de Esmeraldas, es una zona rural con características topográficas que pueden impactar la instalación de una estación base de telefonía móvil. La accesibilidad a la parroquia también influye en los costos y logística del proyecto.

Con aproximadamente 3,358 habitantes, La Unión enfrenta una falta de infraestructura de comunicación que limita su acceso a servicios esenciales y desarrollo. Es crucial entender las necesidades específicas de la comunidad para diseñar una estación base adecuada.

La falta de conectividad afecta negativamente el desarrollo económico local. Esta investigación trata de analizar los costos de implementación y los beneficios esperados en términos de desarrollo económico y social.

La elección de tecnología UMTS/LTE se basa en su capacidad para satisfacer los tipos de servicios actuales que ofrece el internet.

Considerar las regulaciones y políticas locales de telecomunicaciones que podrían influir en la implementación del proyecto.

Se toma en consideraciones investigaciones previas relacionadas en este tema de investigación. casos similares en otras comunidades rurales para identificar buenas prácticas y desafíos comunes.

### **2.2. Diseño y alcance de la investigación**

En la presente investigación se ha combinado la investigación de campo con un enfoque transversal y un alcance descriptivo. La investigación de campo permite recopilar datos demográficos, técnicos y geográficos directamente en la Parroquia La Unión, obteniendo información contextualizada sobre las necesidades de la población y las condiciones geográficas para la instalación de la estación base. El enfoque transversal se emplea para evaluar en un momento específico las condiciones actuales de conectividad. Como estudio descriptivo, se busca caracterizar la situación actual y prever el impacto de la

implementación de la tecnología UMTS/LTE en el desarrollo socioeconómico de la zona, proporcionando una visión integral de la viabilidad del proyecto.

### **2.3. Tipo y métodos de investigación**

La presente investigación es de tipo no experimental, ya que no se manipulan deliberadamente las variables del entorno para observar sus efectos, sino que se estudian tal como ocurren en la realidad. En este caso, se analiza la factibilidad de implementar una estación base de telefonía móvil en la Parroquia La Unión bajo sus condiciones actuales, sin alterar los factores geográficos, demográficos o técnicos presentes. Este enfoque permite obtener datos objetivos y precisos sobre la situación existente de conectividad y las posibles implicaciones de la instalación de la infraestructura UMTS/LTE.

El método de investigación utilizado es la observación, ya que se recopilan datos directamente del entorno a través de visitas de campo, donde se identifican las características geográficas y demográficas que influyen en la implementación del proyecto. Esta técnica permite conocer de manera directa las condiciones de la zona y evaluar las necesidades de la población en cuanto a servicios de telecomunicaciones, lo que aporta información esencial para la evaluación de la viabilidad técnica y operativa del proyecto.

### **2.4 Población y Muestra**

La parroquia la Unión es una comunidad que se encuentra ubicada 10km de la cabecera cantonal del cantón Atacames de la Provincia de Esmeraldas, es una comunidad de 3.358 pobladores según datos del (INEC, 2022).

Se ha calculado la muestra con la que se trabajará en esta investigación, aplicando un margen de error del 10%, y un nivel de confianza del 95% a la población de La Unión, tenemos una muestra de: 94 personas.

### **2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En la investigación se emplearon dos técnicas principales de recolección de datos: la entrevista y la encuesta, seleccionadas para obtener una visión integral tanto de las necesidades de la población como de la viabilidad técnica del proyecto.

La entrevista fue aplicada a los habitantes de la Parroquia La Unión, con el propósito de conocer de primera mano las problemáticas de conectividad que enfrentan en su vida cotidiana y cómo la falta de infraestructura de telecomunicaciones afecta su desarrollo socioeconómico. Por otro lado, se realizó una encuesta dirigida a las autoridades de la Junta Parroquial y a profesionales con experiencia en el campo de las telecomunicaciones. Este instrumento permitió recopilar información técnica y opiniones calificadas sobre la factibilidad de la instalación de una estación base UMTS/LTE en la parroquia, así como las posibles implicaciones operativas y económicas del proyecto. Ambos instrumentos fueron esenciales para obtener un panorama completo y fundamentado para el análisis de factibilidad.

En el Anexo 1 podemos observar el cuestionario utilizado para entrevistar a la población de la Parroquia.

Por otro lado, podemos observar en el Anexo 2 el modelo de encuesta utilizado en las autoridades de la parroquia y personas profesionales o con experiencia en las telecomunicaciones.

## **2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información**

La validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados (entrevista y encuesta) se garantiza mediante varias técnicas:

### 1. Validez:

- Validez de contenido: Se asegura que las preguntas incluyan aspectos clave relacionados con la factibilidad del proyecto, tomando en cuenta factores sociales, técnicos y económicos.
- Validez de criterio: Se comparan las respuestas con estudios previos y datos técnicos que se han utilizado en proyectos similares.

### 2. Confiabilidad:

- Prueba piloto: Se realiza una prueba previa con un grupo reducido para identificar posibles ambigüedades o problemas.

Validamos la confiabilidad de los datos obtenidos de la encuesta realizada a la población de la parroquia la Unión, para esto nos valemos del método TEST-RETES.

El cual ejecutamos la entrevista a la población tomando en cuenta la muestra obtenida (94 personas) de la Parroquia la Unión de Atacames. Se obtuvieron los resultados.

Se acordó con los entrevistados ejecutar una nueva entrevista en 30 días posteriores a la actual.

Luego de 30 días se ejecutó la entrevista y como se esperaba se obtuvieron los mismos resultados en comparación con los datos de la primera entrevista.

Ya con los datos tabulados Generamos dos tablas una con cada dato de cada entrevista correspondiente, se seleccionan las variables que nos permiten identificar la problemática objeto de este estudio para evaluar la consistencia interna de las preguntas sobre la frecuencia de problemas de conectividad y su impacto en las actividades diarias donde las preguntas seleccionadas son:

- ¿Tienes una conexión a Internet? (Si, No)
- ¿Es la conexión a internet estable en tu hogar? (Sí, No)
- ¿Tienes servicio de Telefonía móvil de cualquier operadora? (Sí, No)

Se registraron 94 encuestados, cantidad total según la muestra calculada. Se define una tabla con las variables seleccionadas como se muestra a continuación en una tabla ejemplo:

<b>¿Tienes una conexión a Internet? (Si, No)</b>	<b>¿Es la conexión a internet estable en tu hogar? (Sí, No)</b>	<b>¿Tienes servicio de Telefonía móvil de cualquier operadora? (Sí, No)</b>
--	---	---

NO	NO	NO
SI	NO	NO
SI	NO	NO
NO	NO	NO
NO	NO	NO
NO	NO	NO

NO	NO	NO
SI	NO	NO
NO	NO	NO
NO	NO	NO

Tabla 2. Tabla muestra resultados encuesta.

Para la consulta si los habitantes de la parroquia la Unión cuenta con una conexión a internet se obtuvo que el 86% no cuenta con una conexión. Mientras que el 14% de los entrevistados indicaron que, si cuentan con una conexión a internet, pero la conexión que tienen es con una empresa que les brinda servicio satelital, pero es muy lenta o se le corta, lo que indica una alta latencia en sus conexiones. Ver figura 19.



Figura 19. Personas con una conexión a internet.

En lo que corresponde a la pregunta donde se consulta si tiene el servicio de telefonía móvil, el total de los entrevistados indicaron que no, que es necesario contar con dicho servicio. Ver figura 20.

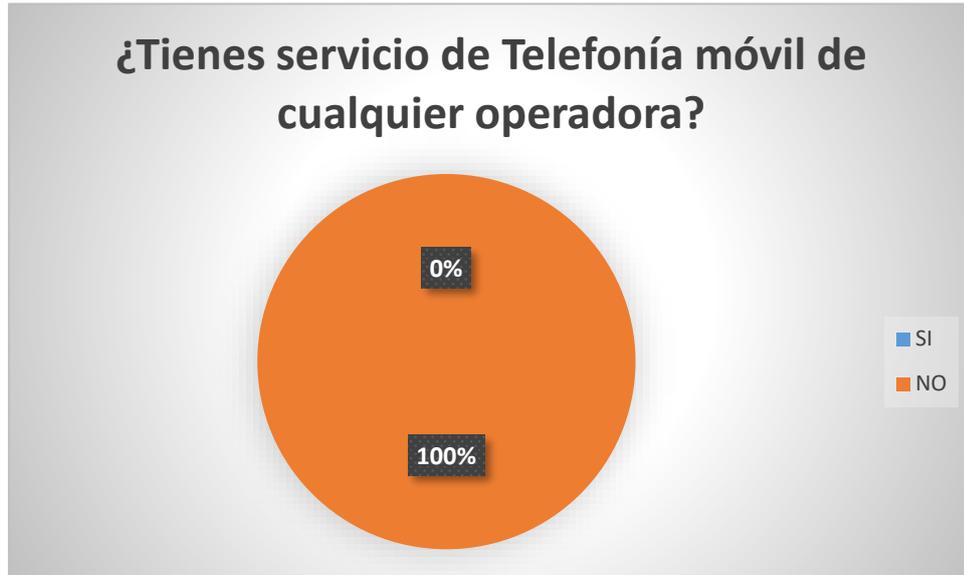


Figura 20. Gráfico disponibilidad servicio móvil.

Para efectos del cálculo del coeficiente de correlación del método seleccionado Test-Retest, se definió la escala numérica para las respuestas Si y No:

La escala de 0 a 1 corresponde:

- SI = 1
- NO = 0

La tabla con la escala establecida queda de la siguiente manera:

¿Tienes una conexión a Internet? (Si, No)	¿Es la conexión a internet estable en tu hogar? (Sí, No)	¿Tienes servicio de Telefonía móvil de cualquier operadora? (Sí, No)
0	0	0
1	0	0
1	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0

1	0	0
0	0	0
0	0	0

Tabla 3. Tabla muestra de datos convertida a escala numérica.

Para calcular la validez de los datos obtenidos en las entrevistas, se escribe un código en Python valiéndome de la herramienta GoogleColab, donde se importa de las respuestas obtenidas de la entrevista aplicada a la población de la parroquia la Unión. Convertidos a la escala numérica como se explica en el apartado anterior, almacenados en un Dataset.

Los resultados del cálculo se muestran en la siguiente Figura. (ver Figura 21).

```

#Procedemos a calcular el coeficiente de Person.

#para determinar la correlación entre la primera y segunda entrevista

correlacion = datos[['A','B','C']].corrwith(datos[['D','E','F']])
print(correlacion)

```

```

A NaN
B NaN
C NaN
D NaN
E NaN
F NaN
dtype: float64

```

Figura 21. Cálculo en Python del Alfa Cronbach.

Debido a que las columnas tienen el mismo valor en todas las filas, la correlación no puede calcularse porque no hay dispersión en los datos.

Esto significa que los valores de las variables son constantes, es decir, no varían. En otras palabras, todos los datos tienen el mismo valor o están muy cerca entre sí, lo que implica que no hay diversidad en las observaciones.

En términos estadísticos, esto significa que la desviación estándar de esos datos es cero. La desviación estándar es una medida que indica cuánto se alejan los datos de la media. Cuando no hay dispersión, todos los datos están exactamente en la media, y la desviación estándar es cero.



En lo corresponde al diseño la estructura y la ubicación de los equipos en la misma se tiene la siguiente propuesta. Ver figura 23.

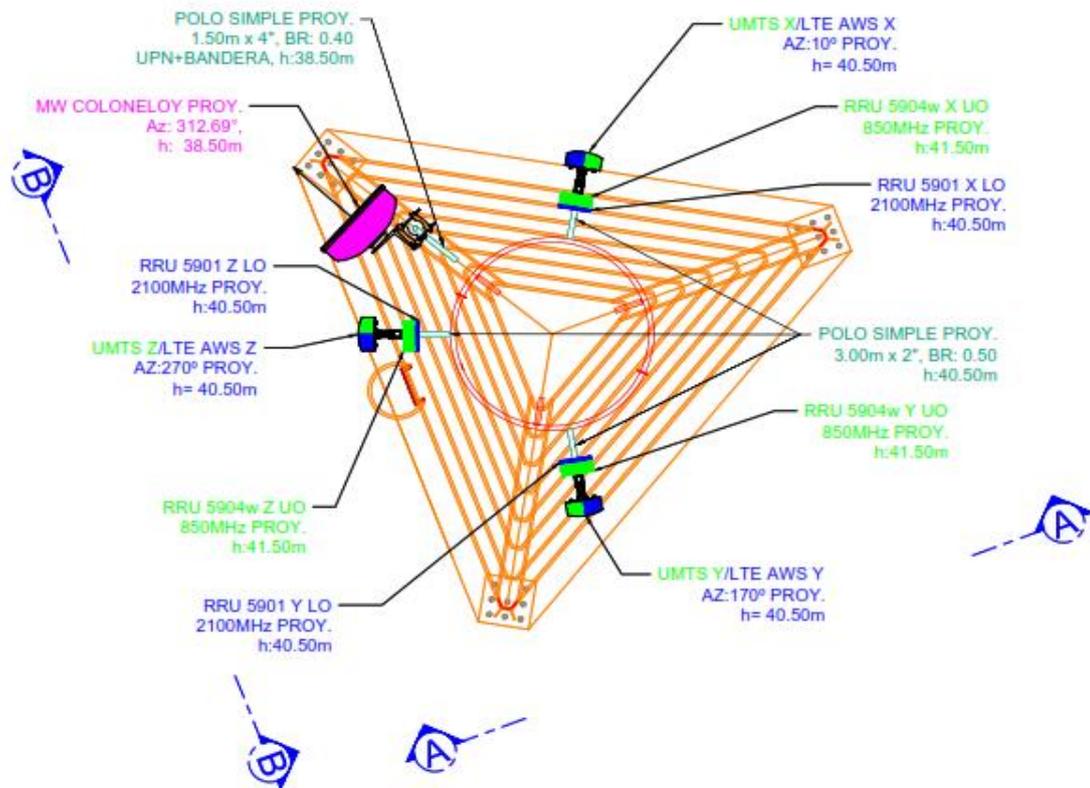


Figura 23. Diseño de la estructura y ubicación de equipos en la misma,

### 3.1.2 Simulación de cobertura según el terreno donde se aplica

Luego de la investigación en campo se pudo determinar la ubicación necesaria de donde se ubicaría la estación base sería en las siguientes coordenadas:

- **Latitud:** 00°48'44.77"N
- **Longitud:** 079°51'51.74"W

La ubicación seleccionada garantiza una excelente cobertura para la parroquia La Unión de Atacames, además de extender la señal hasta el recinto Las Brisas, ubicado a 3 km al noroeste. De igual manera, la cobertura abarca el recinto 4 de diciembre, que se encuentra a 1 km al sureste.

La altitud de la parroquia la unión tiene como valor máximo 25m.s.n.m., siendo un terreno llano. Con esta información se determina que la altura de la estructura (Monopolo) debe de ser máximo de 60m, altura suficiente para poder propagar la señal sin obstáculos.

En la Tabla 4, se muestran las especificaciones de los parámetros del sistema radiante UMTS.

CONFIGURACIÓN DE ANTENAS UMTS PROYECTADO												
SECTOR	AZIMUTH	TIPO DE ANTENA	ALTURA	TE (MHz)		T M	TIPO DE FEEDER		LONGITUD DE FEEDER		LONGITUD DE JUMPER	
				850 MHz	1900 MHz		850 MHz	1900 MHz	850 MHz	1900 MHz	850 MHz	1900 MHz
X	10°	ASI4518R10v18	50m	5°	N/A	0°	N/A	N/A	N/A	N/A	3.00m x2	N/A
Y	170°	ASI4518R10v18	50m	5°	N/A	0°	N/A	N/A	N/A	N/A	3.00m x2	N/A
Z	270°	ASI4518R10v18	50m	5°	N/A	0°	N/A	N/A	N/A	N/A	3.00m x2	N/A

Tabla 4. Parámetros Sistema Radiante UMTS

En la Tabla 5, se muestra las especificaciones de los parámetros del sistema radiante LTE.

CONFIGURACIÓN DE ANTENAS LTE PROYECTADO												
SECTOR	AZIMUTH	TIPO DE ANTENA	ALTURA	TE (MHz)		T M	TIPO DE FEEDER		LONGITUD DE FEEDER		LONGITUD DE JUMPER	
				850 MHz	1900 MHz		850 MHz	1900 MHz	850 MHz	1900 MHz	850 MHz	1900 MHz
X	10°	ASI4518R10v18	50m	5°	N/A	0°	N/A	N/A	N/A	N/A	3.00m x2	N/A
Y	170°	ASI4518R10v18	50m	5°	N/A	0°	N/A	N/A	N/A	N/A	3.00m x2	N/A
Z	270°	ASI4518R10v18	50m	5°	N/A	0°	N/A	N/A	N/A	N/A	3.00m x2	N/A

Tabla 5. Parámetro Sistema Radiante LTE AWS

Como se puede evidenciar en cada tabla con los parámetros del sistema radiante para cada tecnología (UMTS/LTE), contienen los mismos datos debido a que el tipo de antena escogida para el estudio, permite manejar ambas tecnologías al mismo tiempo.

En la investigación de campo realizada también se determinó la línea de vista que permita el enlace punto a punto para la transmisión de la estación base. Se determinó que debe crear el enlace de 7GHz hasta el nodo DONJUAN que queda ubicado en Casablanca de la parroquia SAME con coordenadas: Latitud: 00°51'00.46"N y Longitud: 079°54'32.37"W al oeste de la parroquia la unión, con una distancia de 7.5Km entre estas.

### 3.1.2.1 Cobertura UMTS 850MHz y LTE AWS en La Unión de Atacames

Mediante la herramienta Xirio-Online se realiza el cálculo del estudio de propagación de la señal UMTS en la banda de los 850MHz, y para la Señal LTE AWS 2500MHz. Para el cálculo se consideraron parámetros tales como el método Okomura-Hata, el cual es un Método empírico válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos cuando no se disponga de cartografía de alta resolución.

Como resultados de los cálculos, se observa que hay una excelente cobertura de la señal en ambas tecnologías. Esto se debe principalmente a que la orografía del sector es plana, con ciertos sectores donde la mayor altitud es  $\pm 25\text{m}$ . También no existe edificaciones mayores a 2 pisos, lo que ayuda a que la propagación de la señal no se encuentre con obstáculos que ofrezcan resistencia a su paso.

Se definieron rangos de potencia para clasificar los niveles de señal en el área de cobertura delimitado asignándoles un color para mayor facilidad de identificación.

- Rango de  $-75\text{dBm}$  o más se considera (EXCELENTE) y se establece el color Verde.
- Rango de  $-75\text{dBm}$  a  $-90\text{dBm}$  se considera (BUENA) y se establece el color celeste.
- Rango de  $-90\text{dBm}$  a  $-100\text{dBm}$  se considera (REGULAR) y se establece el color Amarillo.
- Rango de  $-100\text{dBm}$  a  $-120\text{dBm}$  se considera (MALA) y se establece el color Rojo.
- Rango de  $-120\text{dBm}$  o menos se considera (REGULAR) y se establece el color Blanco.

En la figura 24, se puede evidenciar las áreas de cobertura marcadas con colores. Se estableció un rango de propagación máximo de  $5\text{km}^2$ . No existe áreas de cobertura con señal regular o inferior.

Se observa el área delimitada como objetivo para la cobertura de la señal celular es excelente, excediendo los objetivos de cobertura planteados.

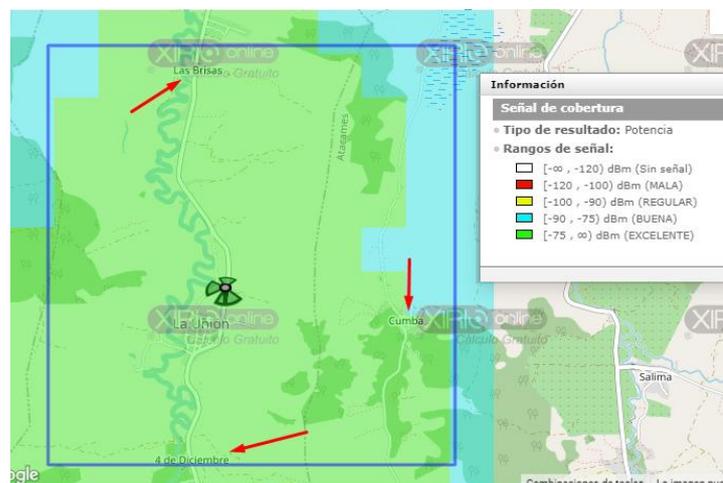


Figura 24. Propagación de la señal UMTS Parroquia LA UNIÓN DE ATACAMES.

Con los resultados del estudio se evidencia que, la estación base permitiría brindar el servicio a la parroquia LA UNIÓN completamente y en adición, se beneficiarían los a los recintos aledaños a la parroquia en un radio de 5km<sup>2</sup>.

### **Cobertura LTE AWS en La Unión de Atacames**

Para el cálculo de la señal LTE AWS, son los mismos parámetros utilizados en la tecnología UMTS, la diferencia es que se configura la banda de operación.

Los resultados del cálculo del estudio para LTE AWS determinó que hay una propagación excelente en la zona poblada y buena en zonas poco pobladas y recintos aledaños.

La figura 25, muestra el área de cobertura. Donde el color verde (Excelente) cubre la parte de mayor concentración de la población y el color morado (Bueno) cubre las zonas con menor concentración de la población y las áreas de los recintos aledaños en un área de 5km<sup>2</sup>.

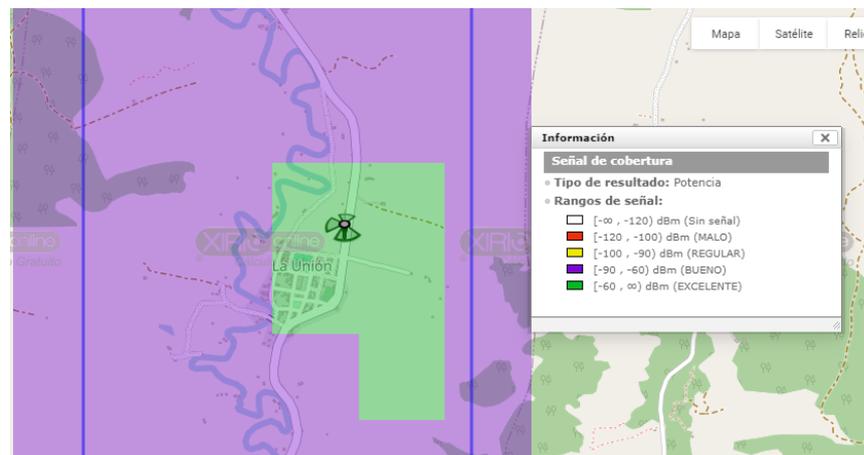


Figura 25. Propagación de la señal LTE AWS Parroquia LA UNIÓN DE ATACAMES.

### **3.1.2.2 Simulación de enlace MW punto a punto**

En este apartado se describe los resultados obtenidos de realizar cálculo del estudio para el enlace PDH punto a punto, por lo cual se utilizó de la herramienta Xirio-Online. Los parámetros que se tomaron en consideración para este estudio, fueron los siguientes.

La transmisión del tráfico que capta la estación base de La Unión, se direcciona a través de un enlace PDH punto a punto, donde la estación remota se enlaza es el nodo llamado “ATACAMES” ubicado en las afueras de la ciudad de Atacames.

Para propósitos de fácil identificación, pasaré a llamar a la estación base que es tema de este estudio en la parroquia la UNIÓN como “ATACAUNION”.

La figura 26 muestra la distancia entre ATACAMES y ATACAUNIÓN, la cual es de 5.47 Km.



Figura 26. Distancia medida entre nodo y estación terminal.

El enlace es de 7GHz, configurado con la tecnología de cancelación de interferencia de polarización cruzada (XPIC) en combinación con la tecnología de polarización dual cocanal (CCDP).

Ya que la aplicación de las dos tecnologías duplica la capacidad de transmisión sin cambios en las condiciones del canal, con el objetivo de duplicar la capacidad de transmisión de enlace en las mismas condiciones de canal.

La tabla 6 se detalla la configuración aplicada al enlace proyectado.

CONFIGURACIÓN DEL ENLACE PROYECTADO					
ESTACIÓN	AZIMUT	ALTURA	DIÁMETRO ANTENA	DIRECCIÓN	FRANJA
ATACAUNION	310.50°	40m	0.9m	DONJUAN	38 - 50m
DONJUAN	137.27°	70m	0.9m	ATACAUNION	68 – 80m

Tabla 6. Parámetros de configuración enlace MW.

Para la simulación del enlace punto a punto se consideró el parámetro de cálculo Rec. UIT-R P.452, el cual es un método de cálculo determinístico válido en la gama de frecuencias de 700 MHz a 50 GHz. Especialmente recomendado para el cálculo de interferencias en radioenlaces del servicio fijo.

La figura 27, muestra el resultado del cálculo de del estudio correspondiente al enlace punto a punto para la transmisión de la estación base en la parroquia la UNIÓN.

La infografía detalla con color verde el rayo de la transmisión, la línea color naranja indica la elipse de Fresnel entre otros parámetros.

### Gráfico de Perfil.

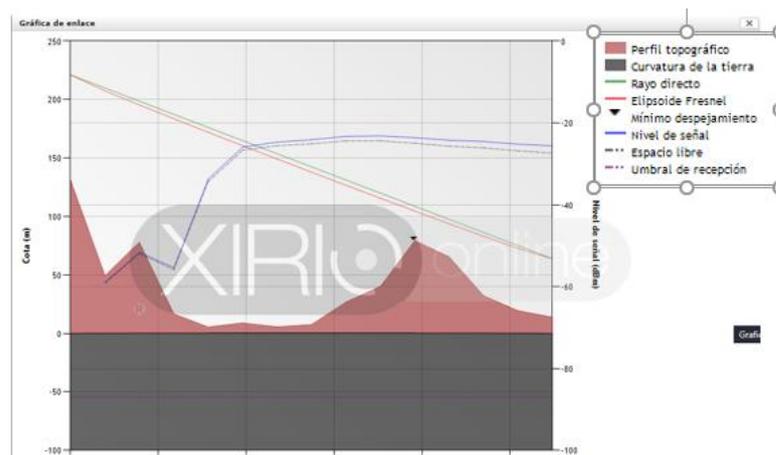


Figura 27. Gráfico de perfil del Enlace.

En el informe del enlace, se puede evidenciar los niveles de señal en el trayecto de la línea de vista del enlace. La figura 28 muestra la evidencia lo mencionado.

Informe de enlace			
Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal - Trayecto directo (dBm)	Nivel de señal - Trayecto inverso (dBm)
0	131.04	---	-25.81
0.391	49.33	-58.99	-26.75
0.783	77.82	-51.6	-25.33
1.174	16.33	-55.41	-37.4
1.565	5.07	-33.7	-44.92
1.956	8.52	-25.92	-35.8
2.348	5.12	-24.69	-33.89
2.739	7.07	-24.1	-22.33
3.13	26.32	-23.28	-19.95
3.522	39.74	-23.16	-18.4
3.913	78.82	-23.62	-21.07
4.304	65.23	-24.23	-20.84
4.695	31.98	-24.55	-16.72
5.087	19.3	-25.17	-45.86
5.478	13.8	-25.61	---

Figura 28. Informe de enlace.

### 3.1.3 Análisis de los beneficios de la existencia de una estación base de acceso móvil con tecnología UMTS/LTE en la parroquia La Unión para su desarrollo socioeconómico

En este apartado luego de las simulaciones realizadas, vamos a analizar los beneficios de la existencia de una estación base UMTS/LTE.

El análisis de los beneficios socioeconómicos de la implementación de una estación base con tecnología UMTS/LTE en la Parroquia La Unión, Cantón Atacames, se puede abordar desde múltiples dimensiones:

#### 1. Mejora en la conectividad y acceso a la información.

La conectividad móvil permitirá que los habitantes de la Parroquia La Unión accedan a servicios de comunicación rápida, eficiente y estable. Esto implica:

- **Acceso a internet** para todos los sectores, brindando oportunidades de educación en línea, acceso a información médica y asistencia técnica para actividades agrícolas y ganaderas, que son predominantes en la zona.

- **Inclusión digital:** Las poblaciones rurales podrán participar más activamente en la economía digital, generando nuevas oportunidades laborales y comerciales.

## 2. Desarrollo económico y comercial

La tecnología móvil facilita la creación de redes comerciales en zonas rurales.

Algunos de los efectos que se prevén son:

- **Mejora de la logística en la producción y comercialización:** Los agricultores y ganaderos pueden utilizar aplicaciones móviles para optimizar procesos de producción, encontrar mejores mercados y mejorar la distribución de productos. Esto tiene el potencial de aumentar la competitividad y las ganancias de los productores locales.
- **Comercio electrónico:** La población podrá acceder a plataformas de comercio electrónico para vender productos fuera de la parroquia, expandiendo su mercado.

## 3. Educación y Telemedicina

Con una estación base de UMTS/LTE, se abren las puertas a:

- **Educación a distancia:** Los estudiantes de La Unión tendrán acceso a plataformas educativas en línea, reduciendo las limitaciones geográficas para acceder a una mejor educación.
- **Telemedicina:** La comunidad podrá acceder a servicios de salud a distancia, lo que es crucial para zonas alejadas con acceso limitado a médicos y centros de salud. Esto permitirá diagnósticos tempranos y monitoreo continuo de pacientes.

## 4. Seguridad y emergencias

La cobertura móvil mejorará la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia:

- **Atención rápida a emergencias:** La instalación de una estación base permitirá que los residentes y las autoridades se comuniquen de manera más eficiente en caso de emergencias como desastres naturales o problemas de salud.

- **Sistemas de alerta temprana:** La conectividad móvil puede integrarse con sistemas de alerta ante desastres naturales, como inundaciones, muy relevantes en la región costera de Esmeraldas.

## 5. Aumento en la calidad de vida

- **Acceso a servicios esenciales:** Las comunicaciones móviles son un servicio básico que permite a los residentes mejorar su calidad de vida, al facilitar la interacción social, la coordinación de actividades y la posibilidad de comunicarse sin barreras.

## 6. Incentivo a la inversión

La mejora en la infraestructura de telecomunicaciones puede atraer inversión privada y pública:

- **Empresas locales** podrían encontrar incentivos para invertir en la región, al ver la posibilidad de integrarse en un sistema de comunicaciones más eficiente.
- **Nuevos emprendimientos:** Los habitantes locales podrán desarrollar negocios que antes no eran viables debido a la falta de conectividad, como negocios turísticos o servicios basados en la conectividad móvil.

## 7. Reducción de la brecha digital

Una estación base de UMTS/LTE contribuirá a reducir la brecha digital entre las zonas urbanas y rurales. La parroquia La Unión, que ha estado marginada por la falta de infraestructura de telecomunicaciones, podrá conectarse y acceder a las mismas oportunidades tecnológicas que las ciudades más desarrolladas.

Estos beneficios pueden ser fundamentales para impulsar el desarrollo socioeconómico de la parroquia La Unión, facilitando la inclusión digital, mejorando la calidad de vida y proporcionando nuevas oportunidades para los residentes

### 3.2 Discusión

En este apartado, se hace una reflexión sobre los resultados obtenidos de las simulaciones y el análisis de la viabilidad técnica. Las simulaciones de cobertura muestran que tanto la

tecnología UMTS como LTE tienen la capacidad de proporcionar una cobertura adecuada en la Parroquia La Unión.

**Cobertura UMTS (850 MHz):** Se demuestra que la banda de 850 MHz puede cubrir eficientemente las áreas habitadas de la parroquia, garantizando servicios de voz y datos a velocidades moderadas.

**Cobertura LTE (AWS 1900 MHz):** Esta tecnología proporciona velocidades superiores de datos, pero la cobertura es más limitada en comparación con UMTS debido a la mayor frecuencia. Sin embargo, su implementación en áreas más concentradas de la parroquia permitiría un uso intensivo de datos para servicios como educación en línea o telemedicina.

### **Evaluación de los Beneficios Socioeconómicos**

El análisis de la viabilidad económica muestra que la inversión en la infraestructura UMTS/LTE puede tener un retorno a mediano y largo plazo, dado que la comunidad, aunque pequeña, puede beneficiarse de la conectividad móvil en múltiples áreas, como se detalló en los apartados anteriores de la investigación.

**Inversión inicial:** Aunque los costos de instalación y mantenimiento son elevados, los beneficios económicos, sociales y de seguridad para la comunidad pueden justificar esta inversión.

#### **3.2.1 Análisis de Factibilidad Económica**

##### **1. Identificación de costos principales:**

- **Equipos Huawei:** El diseño incluye componentes clave como la RRU Huawei 3953 y la BBU 3900, con un costo aproximado dependiendo del mercado.
- **Energía y respaldo:**
  - Uso de una planta de energía Huawei modelo MTS9000A.
  - Banco de baterías de 400 Ah para asegurar 10-12 horas de energía continua.

- **Infraestructura:**
  - Alquiler de una torre de telecomunicaciones (monopolo o torre auto soportada).
  - Implementación de enlaces de microondas (Huawei RTN910A).
- **Operación y mantenimiento:**
  - Incluye valores por mantenimiento preventivo, correctivo y emergentes de equipos.

## 2. Estimación de costos aproximados:

- Equipamiento de la estación base: **\$60,000 - \$80,000** (estimación basada en configuraciones estándar).
- Infraestructura física y torre: **\$20,000 - \$40,000** (Contrato de alquiler a 5 años).
- Energía y respaldo: **\$15,000**. (Costos de combustible para abastecer al grupo electrógeno y pago de facturas de energía eléctrica).
- Costos de instalación y mano de obra: **\$10,000 - \$15,000**.
- Total, inicial estimado: **\$105,000 - \$140,000**.

## 3. Proyecciones de ingresos:

- Estimando una población de 3,358 habitantes y una tasa de penetración del 30% para servicios móviles iniciales:
  - Usuarios potenciales: 1,000.
  - Tarifa mensual promedio: \$10. entre usuarios prepago y pospago.
  - Ingresos anuales: **\$120,000**.
- Retorno esperado en 1-2 años, considerando costos operativos anuales de **\$20,000**.

## 4. Impacto socioeconómico:

- Mejora en actividades productivas locales como ganadería, turismo comunitario, comercio etc.

- Acceso a educación en línea, telemedicina, servicios digitales etc.
- Incremento en valor de la tierra y atracción de inversiones.

La tabla 7 muestra un resumen de los valores de costos y beneficios proyectados a 5 años.

<b>AÑO</b>	<b>INGRESOS TOTALES (\$)</b>	<b>COSTOS TOTALES (\$)</b>	<b>BENEFICIO NETO (\$)</b>
<b>1</b>	120000	125000	-5000
<b>2</b>	240000	145000	95000
<b>3</b>	360000	165000	195000
<b>4</b>	480000	185000	295000
<b>5</b>	600000	205000	395000

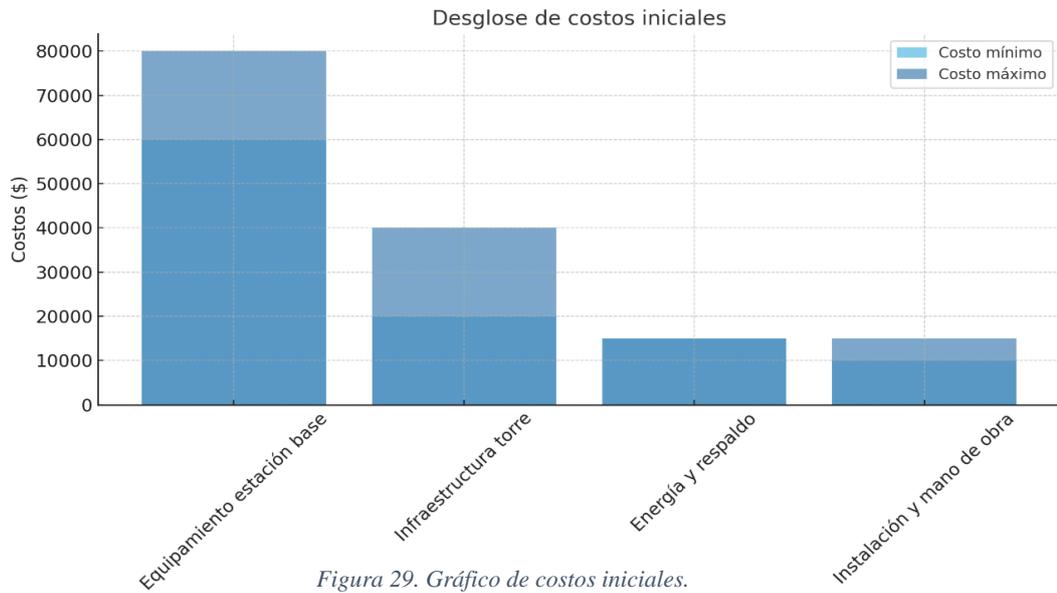
*Tabla 7. Tabla de costos y beneficios proyección a 5 años.*

### **Desglose de costos iniciales**

Se detallan los costos mínimos y máximos por categoría:

- Equipamiento estación base: \$60,000 - \$80,000.
- Infraestructura torre: \$20,000 - \$40,000.
- Energía y respaldo: \$15,000.
- Instalación y mano de obra: \$10,000 - \$15,000.

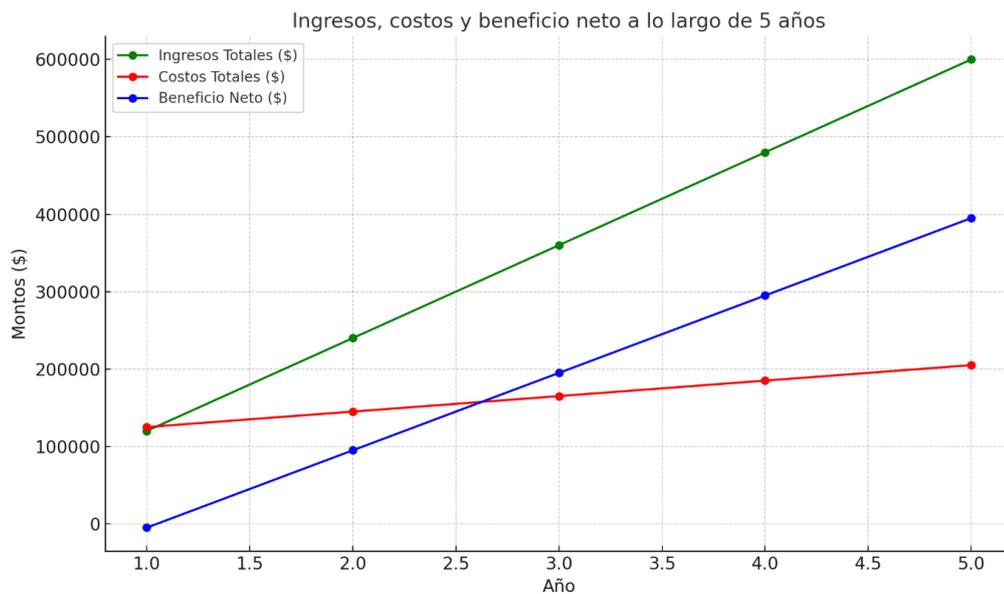
La figura 29 muestra el gráfico de desglose de costos iniciales.



### Ingresos, costos y beneficios a 5 años

La figura 230 muestra la proyección del análisis de los ingresos y costos anuales, mostrando el beneficio neto esperado.

- En el **año 2**, se comienza a generar beneficios netos significativos.
- A los **5 años**, el beneficio neto acumulado sería de **\$395,000**.



El proyecto presenta una alta viabilidad económica y social, con un retorno financiero esperado a corto plazo y beneficios duraderos para la comunidad.

### **Identificación de Desafíos**

Se destacan ciertos desafíos en la implementación de la estación base:

- **Dificultades de acceso a la energía eléctrica:** La falta de infraestructura eléctrica estable en la región implica la necesidad de soluciones energéticas alternativas, como generadores eléctricos.
- **Mantenimiento de la infraestructura:** En áreas rurales, los costos de mantenimiento y operación pueden ser altos debido a la necesidad de personal técnico capacitado.

### **3.2.2 PROPUESTA**

A partir de la revisión teórica y los análisis de factibilidad, se propone la implementación de un modelo híbrido para la estación base, que combine las tecnologías UMTS y LTE para maximizar la cobertura y capacidad, mientras se minimizan los costos operativos.

#### **Infraestructura Técnica**

Selección de Tecnología Dual (UMTS/LTE): Basado en los estudios de cobertura y las condiciones de la región, se propone un modelo de estación base que combine ambas tecnologías.

UMTS se implementará en la banda de 850 MHz para maximizar la cobertura, garantizando que la mayor parte de la parroquia tenga acceso a servicios básicos de comunicación.

LTE se utilizará en la banda AWS 2500 MHz, enfocada en las áreas con mayor densidad de población, donde la demanda de datos es más alta.

#### **Soluciones Energéticas Sostenibles**

**Grupo electrógeno:** Para resolver el problema de acceso a energía, se propone utilizar un grupo electrógeno de 10KVA de capacidad que, combinados con un sistema de

respaldo de baterías, asegurará un suministro continuo de energía a la estación base, incluso en áreas sin acceso a la red eléctrica convencional.

**Dimensionamiento del sistema:** De acuerdo con los estudios de consumo energético realizados en estaciones base rurales (30-35 amperios DC), se debe dimensionar un banco de baterías que garantice al menos 12 horas de operación en caso de fallas eléctricas, como lo indican las simulaciones de respaldo.

### **Estrategia de Implementación y Mantenimiento**

Implementación modular: Se sugiere comenzar con una fase piloto en las áreas de mayor concentración poblacional para establecer la infraestructura LTE, con un enfoque en ofrecer acceso a datos móviles. Posteriormente, expandir la cobertura de UMTS para las áreas más alejadas y menos densamente pobladas.

## CONCLUSIONES

La instalación de una estación base con tecnología UMTS/LTE en la Parroquia La Unión es técnicamente viable y socialmente beneficiosa. Los resultados del estudio confirman que esta infraestructura puede mejorar significativamente la conectividad en la zona, impulsando el desarrollo económico y social de la comunidad. A través de la implementación de soluciones energéticas sostenibles y estrategias de mantenimiento adecuadas, este proyecto tiene el potencial de ser sostenible a largo plazo, ofreciendo a la Parroquia La Unión las herramientas necesarias para integrarse plenamente en la economía digital y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

### **1. Diseño técnico de la estación base Huawei**

En el presente estudio se diseñó una estación base que incluye todos los elementos necesarios para garantizar una cobertura confiable en la Parroquia La Unión. El diseño contempla el uso de equipos de alta calidad, como la RRU Huawei 3953, la BBU 3900, y antenas sectoriales, además de un sistema de respaldo energético con baterías y generadores. Este diseño responde a las necesidades geográficas y demográficas específicas del área, optimizando los recursos disponibles para maximizar la efectividad de la cobertura.

Cumplimiento: Este objetivo se cumplió de manera integral, desarrollando una solución técnica robusta y adaptada al contexto local.

### **2. Simulación de cobertura con UMTS y LTE**

La simulación realizada con la herramienta XIRIO-ONLINE demostró que las tecnologías UMTS y LTE proporcionan una cobertura adecuada en la Parroquia La Unión, alcanzando a la mayor parte de la población con niveles óptimos de señal. Este análisis técnico confirmó que la propuesta es viable desde el punto de vista de propagación de la señal, considerando las características orográficas y demográficas del sector.

Cumplimiento: Este objetivo se alcanzó exitosamente, validando la factibilidad técnica del proyecto.

### **3. Beneficios socioeconómicos de la implementación**

La instalación de la estación base UMTS/LTE traerá beneficios significativos a la Parroquia La Unión, mejorando el acceso a servicios críticos como la educación en línea, la telemedicina o el comercio electrónico entre otros. Además, reducirá la brecha digital existente, incrementando las oportunidades de desarrollo económico y social para la comunidad. La inclusión tecnológica fortalecerá la integración de la parroquia en la economía digital.

Cumplimiento: Este objetivo se logró plenamente, demostrando un impacto positivo y sostenible en el ámbito socioeconómico.

## **RECOMENDACIONES**

### **1. Fortalecer el monitoreo del diseño técnico**

Se recomienda realizar revisiones periódicas del diseño técnico de la estación base para garantizar su sostenibilidad y adaptabilidad a futuras tecnologías, como 5G. Estas revisiones deben incluir evaluaciones de rendimiento, mantenimiento preventivo, y actualizaciones de software y hardware para asegurar que la infraestructura continúe cumpliendo con los estándares requeridos.

### **2. Implementar una fase piloto de pruebas de cobertura**

Antes de la instalación definitiva, es fundamental ejecutar una fase piloto en la que se realicen pruebas de cobertura en campo. Esto permitirá ajustar parámetros técnicos, como la orientación de las antenas y los niveles de potencia, para optimizar la calidad del servicio. Además, estas pruebas pueden servir como base para futuras expansiones o mejoras en la infraestructura.

### **3. Promover la integración de servicios digitales en la comunidad**

Para maximizar los beneficios de la conectividad, se recomienda implementar programas de capacitación en tecnologías digitales dirigidos a la población local. Estos programas deben enfocarse en el uso de herramientas de comunicación, educación en línea, y comercio digital, promoviendo así una adopción efectiva de los servicios disponibles y estimulando el desarrollo económico y social.

## REFERENCIAS

- Alateyah, S. A. (2024). Using Wireless Networks and Internet of Things for Enhanced Monitoring of Students During Virtual Class. *Journal of Computer Science*, 20(6), 602–609. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2024.602.609>
- Alexander, T., Mazurczyk, W., Mishra, A., & Perotti, A. (2019). Mobile Communications and Networks. *IEEE Communications Magazine*, 57(1), 42–42. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2019.8613272>
- Alyouzbaki, Y. A. G. (2023). Novel simple algorithm for frequency planning and optimization in cellular networks. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 14(1), 68–75. <https://doi.org/10.1556/1848.2022.00435>
- ARCOTEL. (2018). *SERVICIO MÓVIL AVANZADO- BOLETÍN ESTADÍSTICO JUNIO-2018*. [https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-Junio-2018\\_f.pdf](https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-Junio-2018_f.pdf)
- Asis, Gover., & Coronel, W. (2020). *ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN GRUPOS ELECTRÓGENOS EN LAS EMPRESAS INDUSTRIALES”: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA*. (p. 38).
- Bidwell, N. J. (2021). Rural Uncommoning. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 28(3), 1–50. <https://doi.org/10.1145/3445793>
- Boccuzzi, J. (2019). Introduction to Cellular Mobile Communications. En *Multiple Access Techniques for 5G Wireless Networks and Beyond* (pp. 3–37). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92090-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92090-0_1)
- Dlamini, T., & Vilakati, S. (2021). Remote and Rural Connectivity: Infrastructure and Resource Sharing Principles. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021(1). <https://doi.org/10.1155/2021/6065119>
- GAD PARROQUIAL RURAL DE LA UNION DE ATACAMES. (2023). *Plan de Desarrollo Unión de Atacames 2019 - 2023*. 1–99.
- Gheorghe, M. G., Marghescu, I., Martian, A., & Stoian, T. C. (2023). Comparative analyses of the handover procedure in UMTS and LTE. *2023 31st*

- Telecommunications Forum, TELFOR 2023 - Proceedings.*  
<https://doi.org/10.1109/TELFOR59449.2023.10372809>
- Girela-Serrano, B. M., Spiers, A. D. V., Ruotong, L., Gangadia, S., Toledano, M. B., & Di Simplicio, M. (2024). Impact of mobile phones and wireless devices use on children and adolescents' mental health: a systematic review. *European Child & Adolescent Psychiatry, 33*(6), 1621–1651. <https://doi.org/10.1007/s00787-022-02012-8>
- Greenstein, S. (2020). The Basic Economics of Internet Infrastructure. *The Journal of Economic Perspectives, 34*(2), 192–214. <https://www.jstor.org/stable/26913190>
- Hernández Virgil, R. J. (2021). *PROYECTO FASE I ENLACE POR MICROONDAS A LA COMUNIDAD DE CUYAMEL, OMOA, CORTÉS.*
- INEC. (2022). *CENSO POBLACIONAL ECUADOR 2022.*  
<https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>
- Jaramillo Pinta, S. R. (2023). *Diseño de radio base multi operadora celular para centro parroquial de Nambacola.*
- Matracia, M., Kishk, M. A., & Alouini, M.-S. (2023). Aerial Base Stations for Global Connectivity: Is It a Feasible and Reliable Solution? *IEEE Vehicular Technology Magazine, 18*(4), 94–101. <https://doi.org/10.1109/MVT.2023.3301228>
- Mosquera Herrera, P. A., & Orozco Aguilera, J. I. (2022). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE COBERTURA CELULAR A LA POBLACIÓN DEL RECINTO CABUYAL DEL CANTÓN SANTA LUCÍA PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DEL GUAYAS.*
- Mosquera Herrera, P. A., & Orozco Aguilera Julio Isaac. (2022). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE COBERTURA CELULAR A LA POBLACIÓN DEL RECINTO CABUYAL DEL CANTÓN SANTA LUCÍA PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DEL GUAYAS.*  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22855>
- Mosquera, P., & Orozco, J. (2022). *Diseño y simulación de una estación base de cobertura celular a la población del recinto CABUYAL del cantón Santa Lucía perteneciente a la provincia del Guayas.* 10–130.

- Párraga Villamar, V., Rocha, C., Navarrete, H., & Lupera-Morillo, P. (2023). Modelos Predictivos de Zonas de Handover en Redes LTE con Base a Mediciones de Campo y Árboles de Decisión (Caso de Estudio Ciudad de Quito). *Revista Politécnica*, 52(1), 15–24. <https://doi.org/10.33333/rp.vol52n1.02>
- Patil, M., Pawar, S., & Saquib, Z. (2021). *Performance Analysis of Channel Coding Techniques for 5G Networks* (pp. 303–316). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81462-5\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81462-5_28)
- Pinem, M., Tanjung, C., Sinulingga, E., & Suherman, S. (2019). Impact Signal Propagation Parameters to UMTS-LTE Handover. *Proceedings of the Proceedings of The 2nd International Conference On Advance And Scientific Innovation, ICASI 2019, 18 July, Banda Aceh, Indonesia*. <https://doi.org/10.4108/eai.18-7-2019.2288516>
- Prabhala, V. A., Baddipadiga, B. P., Fajri, P., & Ferdowsi, M. (2018). An Overview of Direct Current Distribution System Architectures & Benefits. *Energies*, 11(9), 2463. <https://doi.org/10.3390/en11092463>
- Rappaport, T. S. (2022). *Wireless Communications: Principles and Practice (2nd Edition)*. [www.vsofts.net](http://www.vsofts.net)
- Ratul, R. H., & Wang, H.-C. (2023). *Cellular Communication Network Evolution and the Reliability of System Design from 1G to 6G* (pp. 165–187). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-33242-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-33242-5_12)
- Redhwan, S., Saleh, N. Y., Mohammed, A. A., Saeed, Z. A., Shaif, A. A., & Al-Gaijalni, S. A. (2019). Planning and Optimization of LTE Radio Access Network for Suburban and Rural Area at Taiz City, Yemen. *SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHING AGGEWERBESTRASSE 11, CHAM, CH-6330, SWITZERLAND*, 843, 440–450.
- Scholastica Ukamaka, N., Isaac Ochim, O., Chinenye Sunday, O., & Oluchi Christiana, U. (2023). Evaluating the level of interference in UMTS/LTE heterogeneous network system. *International Journal of Informatics and Communication Technology (IJ-ICT)*, 12(2), 92. <https://doi.org/10.11591/ijict.v12i2.pp92-102>

# ANEXOS

## Anexo 1: Entrevista a pobladores de la Parroquia la Unión.

### TELEFONÍA CELULAR EN LA PARROQUIA LA UNIÓN

ENCUESTA DE SERVICIOS DE TELEFONÍA MÓVIL EN LA PARROQUIA LA UNIÓN

1. ¿Utiliza actualmente algún servicio de telecomunicaciones (telefonía móvil, internet)?

Marca sólo un óvalo.

- Sí
- No
- Especifique cuál

2. ¿Con qué frecuencia tiene problemas de conectividad en su área?

Marca sólo un óvalo.

- Todos los días
- Varias veces a la semana
- Ocasionalmente
- Nunca

3. ¿Qué actividades realiza en su vida diaria que se ven afectadas por la falta de conectividad?

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- Trabajo
- Educación
- Comunicación con familiares y amigos
- Acceso a servicios públicos (telemedicina, emergencia)
- Otros

4. ¿Qué beneficios específicos espera de una mejora en los servicios de telecomunicaciones?

*Selecciona todas las opciones que correspondan.*

- Mejoras en la educación
- Acceso a nuevas oportunidades económicas
- Mejora en la comunicación
- Otros (especificar)

## Anexo 2: Encuesta para las Autoridades y Profesionales en Telecomunicaciones

# Encuesta para las Autoridades y Profesionales en Telecomunicaciones

1. ¿Cuál es su evaluación actual de la cobertura de telecomunicaciones en la Parroquia La Unión?

Marca solo un óvalo.

- Inadecuada
- Adecuada pero insuficiente
- Satisfactoria

2. ¿Considera viable la instalación de una estación base UMTS/LTE en la parroquia, considerando los factores geográficos y demográficos?

Marca solo un óvalo.

- Si
- No
- No está seguro

3. ¿Qué aspectos técnicos considera clave para garantizar una cobertura efectiva en la parroquia?

Marca solo un óvalo.

- Elección de frecuencias
- Altura y ubicación de la torre
- Tipos de antenas
- Energía de respaldo
- Otros (especificar)

4. En su opinión, ¿qué beneficios tendría la comunidad con la implementación de esta infraestructura?

*Selecciona todas las opciones que correspondan.*

- Aumento de oportunidades económicas
- Mejora de la educación y acceso a servicios en línea
- Mayor seguridad y acceso a emergencias
- Otros

5. ¿Qué impacto económico y social cree que tendría este proyecto en la parroquia a mediano y largo plazo?

---

---

---

---

---

**Anexo 3:** Código en Python para realizar el cálculo de correlación de datos por el método de Pearson.

```
#leemos los datos del excel y lo cargamos a la variable datos.
datos = pd.read_excel('encuestas-1-2.xlsx')

#renombramos los nombres de las columnas
datos.columns = ['A','B','C','D','E','F']

#Aseguramos que los valores sean numéricos
datos = datos.apply(pd.to_numeric, errors ='coerce')

#eliminamos datos con valores nulos
datos = datos.dropna()

#mostramos los datos
print(datos)
```

	A	B	C	D	E	F
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
3	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
..	...	...	...	...	...	...
90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
92	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
93	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
94	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0

[94 rows x 6 columns]

```
#Procedemos a calcular el coeficiente de Person.

#para determinar la correlación entre la primera y segunda entrevista

correlacion = datos[['A','B','C']].corrwith(datos[['D','E','F']])
print(correlacion)
```

A	NaN
B	NaN
C	NaN
D	NaN
E	NaN
F	NaN

dtype: float64