

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**Diseño de una solución para ampliar la cobertura de la red móvil 3G
en la parroquia San Gerardo de la provincia de Chimborazo.**

AUTORA:

Ing. Saigua Carvajal, Silvia Fernanda

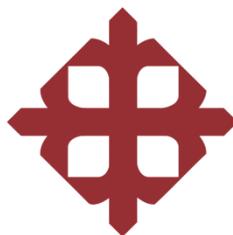
**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

Ing. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo, Mgs.

Guayaquil, Ecuador

11 de abril de 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la **Ing. Saigua Carvajal, Silvia Fernanda** como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones.

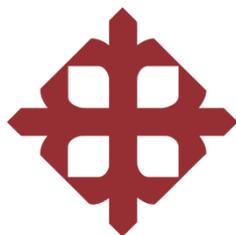
TUTOR

Ing. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo, MSc

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo PhD

Guayaquil, a los 11 días del mes de abril año 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Saigua Carvajal, Silvia Fernanda**

DECLARÓ QUE:

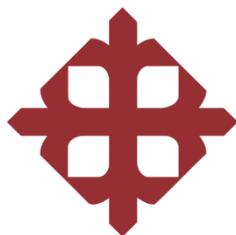
El trabajo de Titulación, **Diseño de una solución para ampliar la cobertura de la red móvil 3G en la parroquia San Gerardo de la provincia de Chimborazo**, previo a la obtención del Título de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme 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.

Guayaquil, a los 11 días del mes de abril año 2025

AUTORA

Ing. Saigua Carvajal, Silvia Fernanda



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

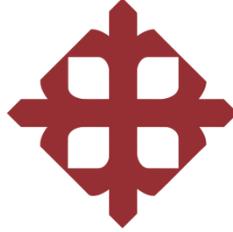
Yo, **Saigua Carvajal, Silvia Fernanda**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación**, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño de una solución para ampliar la cobertura de la red móvil 3G en la parroquia San Gerardo de la provincia de Chimborazo**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 11 días del mes de abril año 2025

AUTORA

Ing. Saigua Carvajal, Silvia Fernanda



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

INFORME SOFTWARE ANTIPLAGIO

COMPILATIO



Reporte Compilatio del trabajo de titulación de la Maestría en Telecomunicaciones denominado: **"Diseño de una solución para ampliar la cobertura de la red móvil 3G en la Parroquia San Gerardo de la Provincia de Chimborazo"**, del estudiante Ing. Silvia Fernanda Saigua Carvajal se encuentra al 1% de coincidencias.

Atentamente,

Ing. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo, MSc

DOCENTE-TUTOR

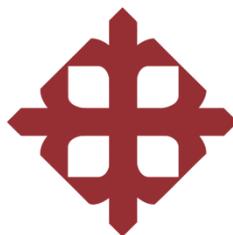
DEDICATORIA

A Octavio, Yilma, Cristian y Christopher por el amor, paciencia y apoyo incondicional que me brindan en cada paso de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado sabiduría y otorgarme la bendición de cumplir una meta más en mi vida.

A la UCSG por permitirme estudiar la maestría en Telecomunicaciones con alta calidad y a cada uno de los profesores que dedicaron su tiempo y cognición para transmitir sus conocimientos.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Daniel Bohórquez Heras. MSc

TUTOR

f. _____

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD

DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. _____

Ing. Zamora Cedeño, Néstor Armando MSc.

REVISOR

f. _____

Ing. Ubilla González, Ricardo Xavier MSc.

REVISOR

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT	XVII
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INTERVENCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA A INVESTIGAR.....	5
1.5. OBJETIVOS.....	6
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	6
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	6
1.6. HIPÓTESIS.....	7
1.7. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	7
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	8
2.1. INTRODUCCIÓN.....	8
2.2. MODELOS DE PROPAGACIÓN DE ONDA.....	8
2.2.1. <i>HATA</i>	8
2.2.2. <i>Walfisch – Ikegami</i>	9
2.2.3. <i>Recuento de Paredes</i>	9
2.2.4. <i>Espacio Libre</i>	10
2.2.5. <i>Longley-Rice</i>	10
2.3. ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	10
2.4. REDES CELULARES.....	12
2.4.1. <i>Primera Generación – 1G</i>	12

2.4.2.	<i>Segunda Generación - 2G</i>	13
2.4.3.	<i>Generación 2.5G y 2.75G</i>	14
2.4.4.	<i>Tercera Generación – 3G</i>	15
2.4.5.	<i>Generación 3.5G y 3.75G</i>	16
2.4.6.	<i>Cuarta Generación – 4G</i>	17
2.4.7.	<i>Quinta Generación – 5G</i>	18
2.5.	ARQUITECTURA UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELEPHONE SYSTEM).....	19
2.5.1.	<i>User Equipment (UE)</i>	19
2.5.2.	<i>Radio Access Network (UTRAN)</i>	19
2.5.3.	<i>Core Network (CN)</i>	21
2.6.	SOFTWARES DE SIMULACIÓN.....	23
2.6.1.	RADIO MOBILE.....	23
2.6.2.	ATOLL.....	24
CAPITULO III: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED MOVIL 3G		24
3.1.	DIAGNÓSTICO DE LA COBERTURA ACTUAL DE LA RED MÓVIL 3G EN LA PARROQUIA SAN GERARDO.....	25
3.1.1.	<i>Análisis de la Situación Actual de la Red en San Gerardo</i>	35
3.2.	IDENTIFICACIÓN DE FACTORES TÉCNICOS Y GEOGRÁFICOS QUE AFECTAN LA COBERTURA	35
3.2.1.	<i>Factores Geográficos</i>	35
3.2.2.	<i>Factores Técnicos</i>	36
3.2.3.	<i>Impacto de la Infraestructura y las Condiciones Ambientales</i>	37
3.3.	EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS Y SOLUCIONES DISPONIBLES.....	37
3.3.1.	<i>Implementación de Small Cells</i>	38
3.3.2.	<i>Repetidores de Señal (Relay Stations)</i>	38
3.3.3.	<i>Extensión de Cobertura con Redes Satelitales</i>	39
3.3.4.	<i>Implementación de Redes MESH</i>	40
3.3.5.	<i>Implementación de Nueva Estación Base</i>	40
3.3.6.	<i>Optimización de Parámetros de Red y Beamforming</i>	41
3.4.	DISEÑO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	42
3.5.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	44
3.6.	SIMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE RED PLANTEADA.....	44
CAPITULO IV: RESULTADOS		47
4.1.	INTRODUCCIÓN	47
4.2.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	47

4.3.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE SIMULACIÓN.....	52
4.4.	ESTUDIO TÉCNICO E IMPACTO SOCIAL	55
4.4.1.	<i>Análisis Económico.....</i>	56
4.4.2.	<i>Análisis Social.....</i>	58
4.5.	VIABILIDAD TÉCNICA.....	59
4.5.1.	<i>Análisis Preliminar</i>	59
4.5.2.	<i>Proyección Financiera.....</i>	60
4.5.3.	<i>Análisis de Mercado.....</i>	60
4.5.4.	<i>Plan Organizacional y Operativo</i>	60
4.5.5.	<i>Revisión de Datos.....</i>	60
4.5.6.	<i>Toma de Decisión.....</i>	61
4.6.	PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA RED	61
	CONCLUSIONES	63
	RECOMENDACIONES.....	64
	BIBLIOGRAFIA	65
	GLOSARIO	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Frecuencias y Nomenclaturas del Espectro Radioeléctrico	11
Tabla 2 Características de Primera Generación de Redes Móviles.....	12
Tabla 3 Características de Segunda Generación de Redes Móviles.....	13
Tabla 4 Evolución de la Segunda Generación.....	14
Tabla 5 Características Técnicas de la Tecnología 3G	15
Tabla 6 Evolución de la Tecnología 3G.....	16
Tabla 7 Características de la Tecnología 4G.....	17
Tabla 8 Características de la Tecnología 5G.....	18
Tabla 9 Resultados de las llamadas de voz.....	32
Tabla 10 Logs del nivel de señal obtenidos del Drive Test.....	33
Tabla 11 Ventajas y Desventajas de la Implementación de Small Cells	38
Tabla 12 Ventajas y Desventajas de la Implementación de Repetidores de Señal	39
Tabla 13 Ventajas y Desventajas de las Redes Satelitales	39
Tabla 14 Ventajas y Desventajas de Redes MESH.....	40
Tabla 15 Ventajas y Desventajas de la Implementación de una Estación Base Nueva.....	41
Tabla 16 Ventajas y Desventajas de Ajuste de Parámetros de Red	41
Tabla 17 Listado de Componentes para la Implementación del Sistema.....	44
Tabla 18 Configuración de los Programas de Simulación.....	45
Tabla 19 Eventos de Llamadas Realizadas.....	47
Tabla 20 Nivel de Señal de la Red 2G en Pruebas de Campo	48
Tabla 21 Nivel de Señal de la Red 3G en Pruebas de Campo	50

Tabla 22 Área de Cobertura Total en Zona 1 - Parque Central.....	53
Tabla 23 Área de Cobertura Total en Zona 2 – Junta Parroquial de San Gerardo	55
Tabla 24 Detalle de Costos Estación Base DBS3900.....	56
Tabla 25 Costos de Planta de Respaldo y Baterías	57
Tabla 26 Resumen de Costos de Implementación de la Red	57
Tabla 27 Retorno de Inversión de la Implementación de la Red 3G en San Gerardo.....	58
Tabla 28 Plan de Mantenimiento de Equipos e Infraestructura de la Red Propuesta	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Huella de cobertura CNT 3G en la parroquia de San Gerardo.....	3
Figura 2 Huella de cobertura CLARO 3G en la parroquia de San Gerardo.....	3
Figura 3 Huella de cobertura MOVISTAR 3G en la parroquia de San Gerardo	4
Figura 4 Análisis Geográfico de Cobertura en el Área de San Gerardo.....	5
Figura 5 Modelo de Propagación HATA	9
Figura 6 Modelo de Propagación por Recuento de Paredes	10
Figura 7 Espectro Radioeléctrico.....	11
Figura 8 Bloques que conforman la arquitectura UMTS	19
Figura 9 Arquitectura de UTRAN	20
Figura 10 Cobertura 3G CNT en la parroquia de San Gerardo.....	26
Figura 11 Cobertura 3G Claro en la parroquia de San Gerardo.....	26
Figura 12 Cobertura 3G Movistar en la parroquia de San Gerardo.....	26
Figura 13 Situación actual de nodos cercanos a la parroquia San Gerardo con cobertura 3G	27
Figura 14 Configuración del teléfono.....	28
Figura 15 Configuración del G-NetTrack Pro	29
Figura 16 Zona para el recorrido del drive test en la parroquia San Gerardo.....	29
Figura 17 Archivos KLM y TXT obtenidos del driver test.....	30
Figura 18 Secuencia de llamada de voz en la parroquia San Gerardo	31
Figura 19 Detalles de llamadas en la parroquia San Gerardo.....	31
Figura 20 Análisis de data Events.txt	32
Figura 21 Nivel de señal percibido en la parroquia San Gerardo.....	33

Figura 22 Parque central San Gerardo.....	36
Figura 23 Loma cerca del Parque Central	43
Figura 24 Junta Parroquial de San Gerardo.....	43
Figura 25 Eventos de Prueba de Red.....	48
Figura 26 Resultados de Nivel de Señal de la Red	49
Figura 27 Resultados de Nivel de Señal de la Red 3G.....	51
Figura 28 Resultados de Registros por Operadora	52
Figura 29 División de las Zonas de Cobertura en Simulaciones – Parque Central	53
Figura 30 División de las Zonas de Cobertura en Simulaciones – Junta Parroquial	54

RESUMEN

Las redes móviles han permitido que las personas se puedan comunicar de manera eficiente desde cualquier punto donde exista cobertura lo cual es indispensable en la era tecnológica actual. La parroquia de San Gerardo en la provincia de Chimborazo que no tiene acceso a un servicio móvil de calidad ya que posee en su mayoría de zonas niveles de señal bajos. Por esta razón se plantea el diseño de una solución para ampliar la cobertura de la red móvil 3G en esta parroquia. Se realizó un diagnóstico de la situación actual verificando la cobertura limitada, con niveles de señal muy bajos o inexistentes, mediante un Drive Test se registraron eventos obteniendo que únicamente el 7.55% de las llamadas se efectuaron con éxito. De igual manera se verificó que el 66.33% de eventos registrado se encuentra en el rango de -111 a -91 dB siendo una calidad muy baja en todo el recorrido, esto debido a la lejanía del nodo y las interferencias generadas por los obstáculos naturales. Se simuló las propuestas planteadas verificando que la mejor opción es la instalación del Nodo en la Junta Parroquial de San Gerardo generado una cobertura de 6.59 Km las cuales fueron comprobadas por Radio Mobile y Atoll. En base a esta propuesta se verificó que se necesita una inversión de \$ 27,880.00 analizando la rentabilidad a 6 años en donde se comprobó que se logra recuperar la inversión, un VAN de \$1.926,66 y con un TIR del 12.13% verificando la viabilidad económica de la propuesta, siendo un proyecto beneficioso para la empresa proveedora del servicio, así como para la población de San Gerardo.

Palabras Claves: 3G, Drive Test, Nivel de Señal, Cobertura, VAN, TIR

ABSTRACT

Mobile networks have allowed people to communicate efficiently from any point where there is coverage, which is essential in the current technological era. The parish of San Gerardo in the province of Chimborazo does not have access to quality mobile service since most areas have low signal levels. For this reason, the design of a solution to expand the coverage of the 3G mobile network in this parish is proposed. A diagnosis of the current situation was carried out, verifying the limited coverage, with very low or non-existent signal levels, which through a Drive Test event were recorded, obtaining that only 7.55 % of the calls were made successfully. Likewise, it was verified that 66.33% recorded events are in the range of -111 to -91 dB, being a very low quality throughout the entire route, due to the remoteness of the node and the interference generated by natural obstacles. The proposed proposals were simulated, verifying that the best option is the installation of the Node in the Parish Council of San Gerardo, generating a coverage of 6.59Km, which were verified by Radio Mobile and Atoll. Based on this proposal, it was verified that an investment of \$27,880.00 is needed, analyzing the 6-year profitability where it was proven this investment was recovered, a NPV of \$1.926,66 and an IRR of 12,13%, verifying the economic viability of the proposal, being a beneficial project for the company providing the service, as well as for the population of San Gerardo.

Keywords: 3G, Drive Test, Signal Level, Coverage, VAN, TIR

CAPÍTULO 1:

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INTERVENCIÓN

En el Capítulo 1 se expone al lector la introducción, antecedentes, problema, justificación, objetivos generales y específicos, hipótesis y metodología de investigación que se utilizará para el desarrollo del trabajo de investigación.

1.1. Introducción

La telefonía móvil desde sus inicios a finales de los 70's ha revolucionado las telecomunicaciones a nivel mundial. Probablemente la expansión de la telefonía móvil es la expresión más notoria ocurrida en el siglo XXI en el ámbito tecnológico. Esto debido a que los costos del servicio y de los dispositivos móviles han tenido una reducción significativa y hoy en día son accesibles a casi todo aquel que requiera comunicación instantánea, además el concepto de movilidad genera varias ventajas, entre las principales permite recibir una llamada o mensaje de manera inmediata en casi cualquier lugar del mundo y en cualquier momento (Vargas & Cardona, 2016).

El 11 de mayo de 1994 se inauguró el servicio de telefonía móvil en Ecuador. A mediados de la década de los 90, las proyecciones del crecimiento de esta industria no eran tan altas, se preveía que en 15 años el número de usuarios iba a llegar a apenas 180.000, pero la realidad fue otra, para el 2009 el número de abonados llegó a 13,3 millones. El principal factor que influyó en este drástico crecimiento fue la escasa penetración de los servicios de telecomunicaciones ya que la telefonía fija no llegaba al 3%, y conseguir una línea telefónica era caro y bastante complicado (Valle, 2009).

Los primeros años de operación de la telefonía móvil en el Ecuador fueron a través del Sistema Telefónico Móvil Avanzado o AMPS (Advanced Mobile Phone System) la cual es una tecnología móvil de primera generación estrictamente para voz analógica, más tarde se migró a la tecnología GSM (Global System for Mobile Communication: Sistema Global de Telecomunicaciones Móviles) de segunda generación, a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital, los sistemas 2G soportan velocidades de información más altas para voz pero limitados en comunicaciones de datos (mensajes de texto), después debido a la rápida evolución de las telecomunicaciones se adoptó la tecnología 3G la cual soporta velocidades más

altas de información para aplicaciones que van más allá de la voz tales como audio (MP3), video conferencia y acceso rápido a Internet. Desde el 2013 el país disfruta de los beneficios de redes LTE de cuarta generación, la cual no está orientada a voz sino a brindar servicios de datos de alta velocidad, tal como es la tendencia mundial se espera que Ecuador inicie las pruebas de acceso a la tecnología 5G para el 2020 (Peñañiel & Chenché, 2015).

Según los datos oficiales de ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control Telecomunicaciones) GSM en el 2012 era la tecnología que dominaba el mercado ecuatoriano, sin embargo, con la implementación de la red 3G poco a poco los usuarios GSM optaron por migrar sus servicios a esta red, ya para el 2017 la red 3G era la tecnología con más usuarios activos. En la actualidad en Ecuador existen 625 parroquias que tienen cobertura 3G, siendo esta la tecnología más solicitada ya que satisface las necesidades de un gran nicho de mercado que requiere llamadas de voz y de datos (ARCOTEL, 2020).

A pesar de que la telefonía móvil lleva más de 25 años operando en el país, existen varios sectores principalmente rurales como es el caso de la parroquia San Gerardo de la provincia de Chimborazo que no tiene acceso a este servicio o que presenta niveles de señal bajos, con apenas el 37.50% de cobertura dentro de la provincia, generando así una mala experiencia a nivel de usuario ya que en muchos casos a nivel de voz esta se robotiza o no se puede completar la llamada y a nivel de datos la velocidad es muy baja o simplemente no se tiene acceso a internet (Villacrés, 2017).

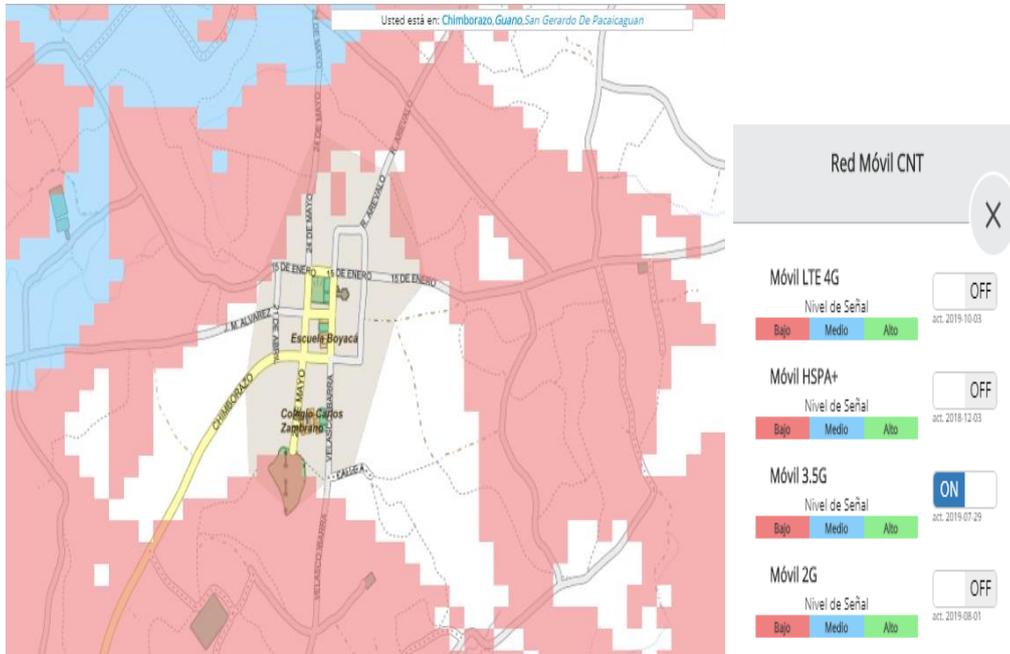
Mediante este trabajo de investigación se analizará los principales factores y parámetros que afectan a los niveles de señal de la red móvil 3G, para dar una solución que permita ampliar la cobertura en un sector determinado, con el objetivo de tener usuarios satisfechos por el servicio que pagan.

1.2. Antecedentes.

Según los mapas de cobertura de las tres operadoras existentes en el país, hay un hueco de cobertura de la red 3G en el centro de la parroquia San Gerardo y a sus alrededores se tiene niveles de señal bajos tal y como se observa en la **¡Error! No se e**

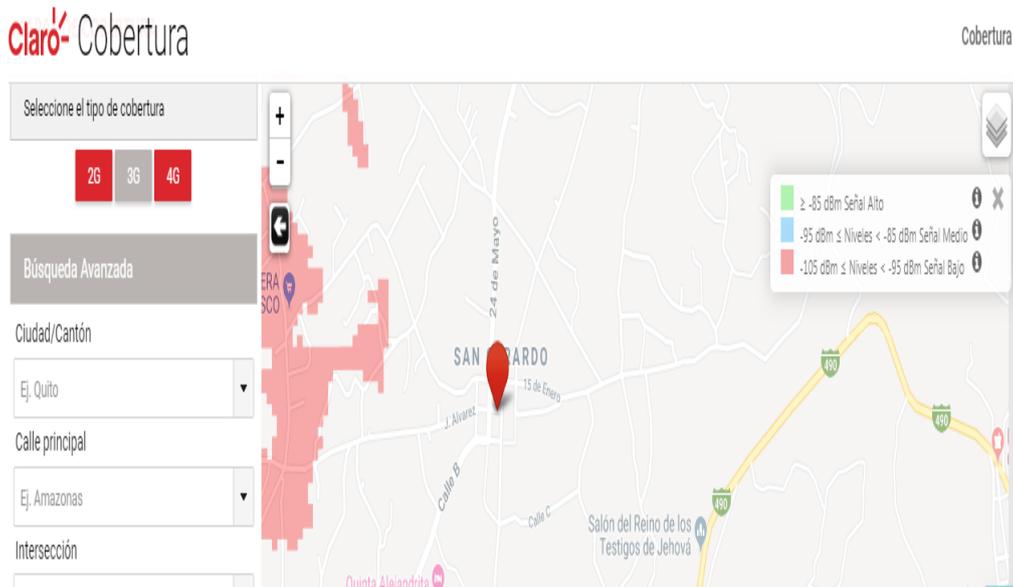
ncuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., y de los cuales no se garantiza que las llamadas y transferencia de datos sean exitosos.

Figura 1 Huella de cobertura CNT 3G en la parroquia de San Gerardo



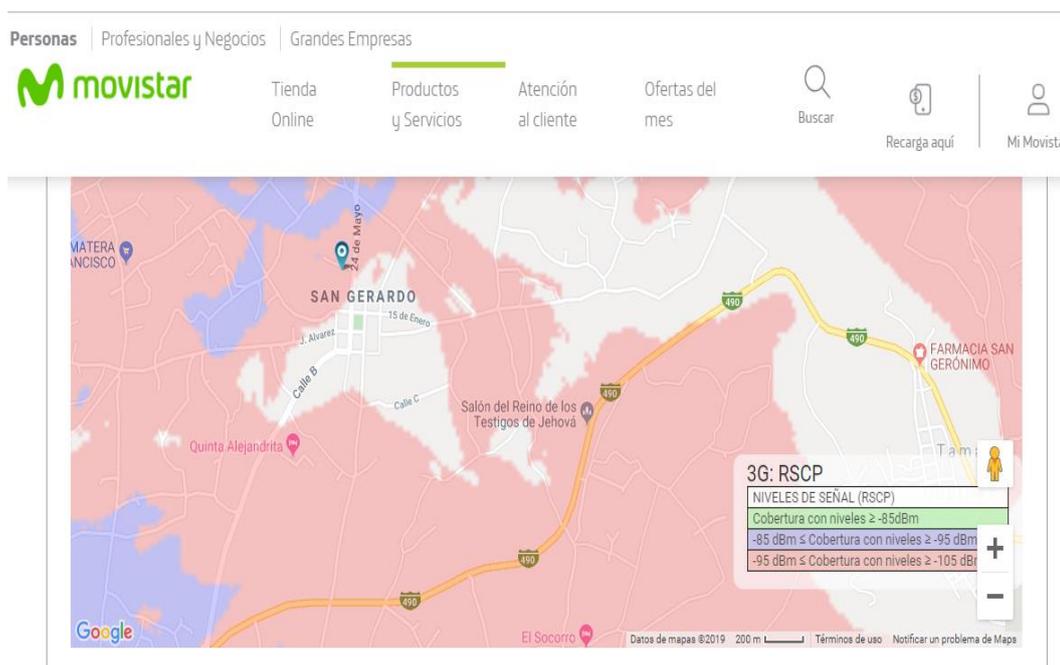
Fuente: (CNT, 2025)

Figura 2 Huella de cobertura CLARO 3G en la parroquia de San Gerardo



Fuente: (CLARO, 2025)

Figura 3 Huella de cobertura MOVISTAR 3G en la parroquia de San Gerardo



Fuente: (MOVISTAR, 2025)

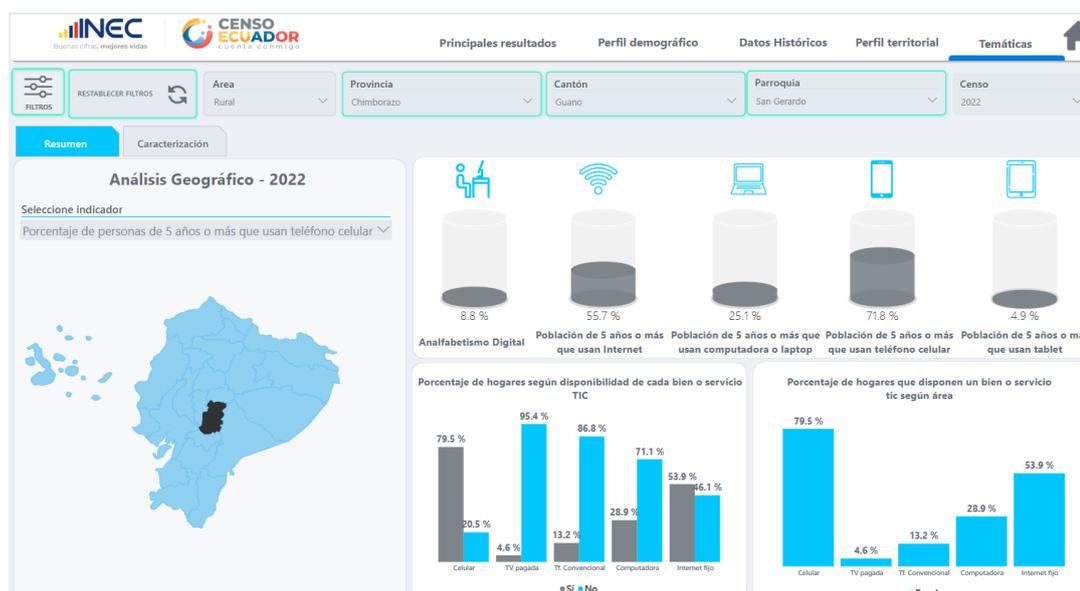
1.3. Planteamiento del problema

La falta de cobertura móvil 3G en la parroquia de San Gerardo afecta a diversos servicios y en gran parte al comercio, ya que esta problemática impide el contacto entre proveedores y clientes para negociar sus productos o para realizar transacciones en línea; también afecta a la capacidad de los servicios de emergencia para comunicarse y coordinar respuestas rápidas en situaciones críticas. Otros servicios importantes que sufren afectación por esta falencia es la teleeducación, que ha emergido de manera significativa en los últimos años a raíz de la pandemia del Covid-19, ya que las personas, estudiantes y profesores que no cuentan con internet fijo o presentan una falla en este servicio no pueden conectarse a través de la telefonía móvil. Debido a esta problemática la población en general sufre de un retraso en la capacidad de generar nuevos productos o servicios, implementar proyectos tecnológicos avanzados y que la industria tenga un impacto limitado en la zona.

Según el Censo 2022 en San Gerardo existen 958 hogares de los cuales el 79.5 % cuentan con teléfono celular sin embargo la red móvil 3G es limitada según los mapas de cobertura publicados en ARCOTEL. Cabe señalar que el 53.9% disponen de internet fijo como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la r**

eferencia., lo cual les permite estar conectados a través del wifi y utilizar los datos (WhatsApp, redes sociales, llamadas VoIP), sin embargo, cuando no se dispone del internet fijo los teléfonos tienen baja o nula cobertura de voz y datos.

Figura 4 Análisis Geográfico de Cobertura en el Área de San Gerardo



Fuente: (INEC, 2025)

1.4. Justificación del Problema a Investigar

Los usuarios de telefonía móvil 3G al establecer una comunicación, buscan que esta sea inmediata y de calidad, es decir, que al realizar una llamada sus palabras no se escuchen distorsionadas y al enviar un mensaje, la información llegue clara. Las empresas prestadoras del servicio móvil 3G en Ecuador han incrementado sus radios bases y actualizado sus tecnologías para atraer nuevos clientes; sin embargo, ignoran la cobertura deficiente en las zonas rurales, lo que trae como consecuencia la insatisfacción de los usuarios con respecto al servicio que reciben.

Específicamente la parroquia San Gerardo, que se encuentra situada al sur del cantón Guano, a tres kilómetros del centro de Riobamba, es una zona rural que posee servicios como un subcentro de Salud, la casa parroquial, una iglesia, canchas comunales, servicio de buses urbanos, tenencia política, recaudación del agua potable y Registro Civil. Al encontrarse a una altura de 2670 m.s.n.m y rodeada de varias montañas, es susceptible a la atenuación de la señal móvil y a la falta de cobertura debido a la infraestructura casi nula de la zona (GERARDO, 2020).

Esta falta de cobertura afecta de manera directa a la mayoría de su población, que actualmente se dedica a la agricultura y al sector textil, lo que produce retraso en la inclusión de soluciones tecnológicas que permitan mejorar la calidad en la manufactura de los diferentes productos de la zona. También se ve afectada la población más joven, ya que tienen un escaso involucramiento con las herramientas de teleeducación lo que genera una vulnerabilidad en situaciones extraordinarias en donde no se pueda asistir directamente a las clases.

Por esta razón se plantea el diseño de una solución que permita ampliar la cobertura de la red móvil en la zona de San Gerardo, analizando los factores y parámetros que influyen en los niveles de señal de la red móvil 3G, lo cual permitirá presentar una solución eficiente específicamente dirigida para el lugar de estudio, dando como resultado beneficios tanto para el usuario como para la empresa prestadora del servicio de telefonía móvil.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar una solución para ampliar la cobertura de la red móvil 3G en la parroquia San Gerardo de la provincia de Chimborazo.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico detallado de la cobertura actual de la red móvil 3G en la parroquia San Gerardo.
- Identificar los factores técnicos y geográficos que afectan la cobertura de la red móvil 3G en la parroquia.
- Evaluar tecnologías y soluciones disponibles para mejorar la cobertura de la red móvil 3G en áreas rurales como San Gerardo.
- Diseñar una propuesta técnica y económica para implementar la solución de ampliación de cobertura en la parroquia.
- Simular la propuesta planteada mediante el software Radio Mobile / Atoll y verificar que cumpla con los resultados esperados.

1.6. Hipótesis.

Mejorar la cobertura y los niveles de señal de la red móvil 3G en la parroquia rural San Gerardo de la provincia de Chimborazo incrementará el acceso y la calidad de los servicios de telecomunicaciones para los usuarios y contribuirá al desarrollo socioeconómico de la comunidad.

1.7. Metodología de investigación.

El tipo de investigación a desarrollar es del tipo exploratoria con un enfoque cuantitativo, dado que se requiere examinar información previa de las redes de telefonía 3G, así como estadísticas de la cobertura, población y situación actual de la infraestructura de red. De igual manera será de tipo analítico-sintético, puesto que permitirá caracterizar de forma individual los factores que influyen en la cobertura de la red móvil para luego sintetizar los resultados obtenidos, los cuales servirán de base para la investigación y demostrar la hipótesis. Utilizará también un método deductivo-inductivo ya que en base a la información recolectada permitirá seleccionar la mejor opción al momento de diseñar y simular una propuesta para ampliar la cobertura de la red móvil 3G en un sector determinado. También se utilizará un análisis explicativo de los resultados obtenidos en la simulación del diseño para demostrar el cumplimiento de los objetivos planteados.

En cuanto a las técnicas de recolección de datos, se plantea realizar una investigación bibliográfica basada en artículos de revistas, informes técnicos de los operadores de telefonía celular, estadísticas definidas por los entes reguladores y gobiernos de la zona de estudio. Por otro lado, se realizarán mediciones en campo mediante GNetTrack Pro, que es un software especializado para determinar la cobertura en los puntos más importantes de la población, como lo son el centro de salud, escuela, colegio y entidades públicas, y así lograr determinar las zonas de mayor impacto.

Finalmente, se simulará la red propuesta mediante herramientas como Radio Mobile y Atoll para verificar el correcto dimensionamiento de los equipos y componentes necesarios para entregar un servicio de calidad y con cobertura óptima en la zona de estudio.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1. Introducción

En el Capítulo 2 se expone al lector la fundamentación teórica necesaria para entender el funcionamiento de manera general de la telefonía móvil 3G, así como también los factores que influyen en la cobertura y niveles de señal de dicha tecnología. Se mencionan los modelos de propagación de onda, las redes celulares dando un vistazo a sus principales características y su evolución en base a las diferentes tecnologías. Finalmente se analiza la Arquitectura UMTS (Universal Mobile Telephone System) para comprender sus componentes y principales funciones dentro de la telefonía celular.

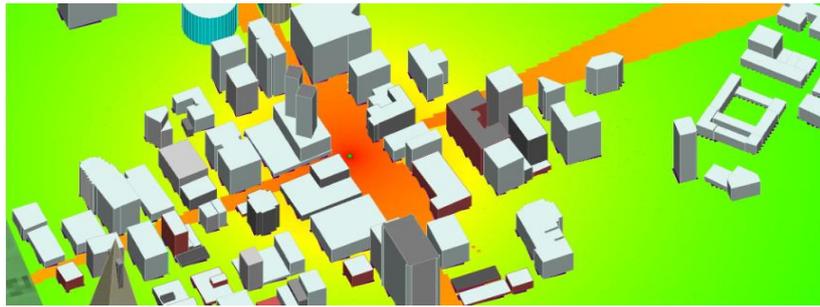
2.2. Modelos de Propagación de Onda

Los modelos de propagación permiten predecir la potencia de la señal bajo cualquier distancia entre el receptor y emisor para calcular la cobertura en los sistemas de radio. Estos se crean debido a la necesidad de generar un modelo en una zona geográfica con irregularidades y determinar las pérdidas de la señal hasta el dispositivo final. Existen diversos modelos propuestos para realizar esta predicción que varían en cuanto a su precisión, enfoque y complejidad (UDLAP, 2024). A continuación, se presentan varios de los modelos de propagación existentes.

2.2.1. HATA

Este es un modelo empírico no determinista que considera parámetros como la frecuencia, altura de antena de emisión y recepción, y la distancia entre estas para determinar la propagación en zonas urbanas. Con estas variables se puede lograr la predicción de la potencia de la señal utilizando una ecuación derivada de las medidas. Los resultados principales de este modelo utilizan la atenuación de espacio libre en línea vista y es válido para frecuencias de 30MHz a 1500 MHz (REMCOM, 2024).

Figura 5 Modelo de Propagación HATA



Fuente: (REMCOM, 2024)

2.2.2. Walfisch – Ikegami

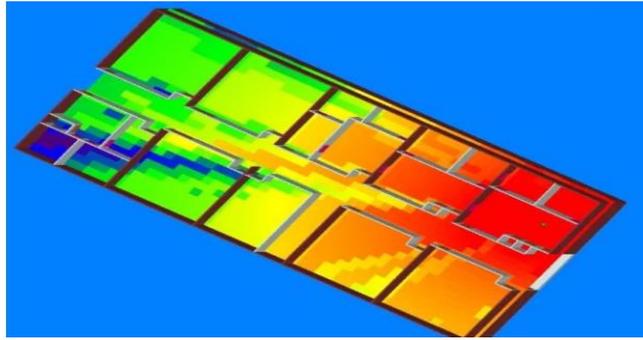
Este modelo resulta más complejo ya que se basa en parámetros como la cantidad de edificios en ambientes urbano, promedio de altura de edificios, ancho de las avenidas, separación entre edificios, altura de las antenas, dirección de las avenidas con respecto a las antenas de recepción y transmisión. Se considera como un modelo híbrido utilizado en sistemas de telefonía móvil de corto alcance que se utilizan en bandas como las SHF y UHF. Una de sus principales aplicaciones es en micro células para sistemas de telefonía celular (UDLAP, 2024).

2.2.3. Recuento de Paredes

Este modelo es un método en tiempo real para el cálculo de pérdidas en interiores. Realiza la construcción de rayos directamente entre el receptor y el transmisor, considerando cada pared que cruza con el haz dentro de la geometría interior como se observa en la

. Los cruces van añadiendo 3dB a la pérdida de trayectoria en el espacio libre (REMCOM, 2024).

Figura 6 Modelo de Propagación por Recuento de Paredes



Fuente: (REMCOM, 2024)

2.2.4. Espacio Libre

El modelo de espacio libre se utiliza para predecir directamente la señal recibida cuando existe línea vista entre el transmisor y receptor. En sistemas de comunicación como los satelitales y microondas generalmente la línea de vista se considera el espacio libre. Así como en otros modelos, este predice que la potencia recibida se reduce mientras la distancia entre las antenas de transmisión y recepción incrementa (UDLAP, 2024).

2.2.5. Longley-Rice

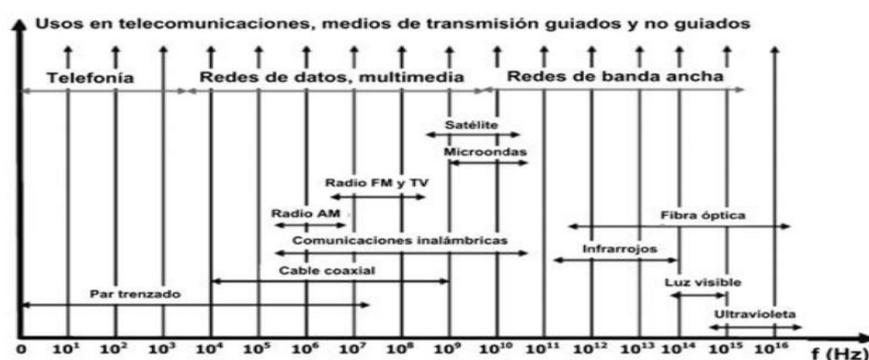
También conocido como **ITM (Irregular Terrain Model)**, uno de los modelos más usados para estimar la propagación de señales de radio a larga distancia, es un modelo semi-determinístico que predice la pérdida de propagación de señales de radio en entornos reales con terreno irregular. Se utiliza para frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y distancias de hasta 2.000 km, dependiendo de las condiciones. (UDLAP, 2024).

2.3. Espectro Radioeléctrico

Las ondas electromagnéticas, una vez procesadas y moduladas ya sea por amplitud, frecuencia o fase pueden ser transmitidas como información lo cual genera los sistemas de telecomunicaciones. Particularmente cuando estas ondas se propagan por medios no guiados se denomina comunicación inalámbrica o radiocomunicación. De esta manera se define el espectro radioeléctrico que se observa en la

y el cual es parte del espectro electromagnético considerando su aplicación principalmente en radiocomunicaciones.

Figura 7 Espectro Radioeléctrico



Fuente: (Luque, 2012)

El espectro radioeléctrico se conforma de manera general por 9 bandas de frecuencia que van desde la banda 4 (VLF) hasta la banda 12. Como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la banda LF se la conoce como onda larga, siguiendo la onda media correspondiente a la banda 5 y la onda corta para la banda 6. Las bandas que van desde -1 a 2 se añadieron en los últimos años por la Unión Radiocientífica Internacional (URSI), para abarcar las frecuencias más pequeñas del espectro (Luque, 2012).

Tabla 1 Frecuencias y Nomenclaturas del Espectro Radioeléctrico

BANDA	SÍMBOLO
-1	ELF (Extremely Low)
0	ELF (Extremely Low)
1	SLF (Super Low)
2	ULF (Ultra Low)
3	VLF (Very Low)
4	LF (Low)
5	MF (Medium)
6	HF (High)
7	VHF (Very High)
8	UHF (Ultra High)
9	SHF (Super High)
10	EHF (Extremely High)

Fuente: (Luque, 2012)

La banda UHF realiza su propagación mediante la onda espacial troposférica en línea de vista. La longitud de onda en esta banda de frecuencia permite que las antenas sean perfectas en dispositivos portátiles, lo que en conjunto con las características de propagación permite que la principal aplicación de esta sea ideal en servicios móviles. Por esta razón, esta banda es utilizada de gran manera en servicios

de comunicación de voz bidireccionales. Otros de los servicios para los cuales se utiliza esta banda están los de televisión digital terrestre (TDT), tecnologías de comunicación inalámbrica como WiFi o Bluetooth y para servicios de telefonía móvil como GSM, UMTS, etc (Luque, 2012).

2.4. Redes Celulares

Desde su inicio en la década de los 70's hasta la actualidad la telefonía móvil ha presentado una revolución para la mejora de las comunicaciones entre usuarios alrededor del mundo. En un comienzo, esta fue creada únicamente para generar servicios de voz, sin embargo, en la actualidad se puede tener servicios como datos, audio, video, televisión, entre otras aplicaciones (Lozano, 2015). A continuación, se presenta a detalle cada una de las transiciones entre las diversas tecnologías celulares.

2.4.1. Primera Generación – 1G

Esta primera generación de telefonía móvil tuvo su aparición a finales de los años 70, y cuyas características se basaron principalmente en brindar servicios de voz de manera análoga. La información transmitida se convertía en pulsos eléctricos de mayor o menor intensidad, los cuales generaban ondas electromagnéticas en el aire y las cuales llegaban de manera directa al receptor las cuales excitaban a los circuitos mediante estas señales para reproducir el altavoz del remitente (Barreno, Carrión, & Tenecora, 2016). Las principales características de esta generación se observan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 2 Características de Primera Generación de Redes Móviles

Categoría	Descripción
Año	1970 - 1980
Estándares	AMPS (Advanced Mobile Phone System)
Servicios	Sólo voz
Tecnología	Analógica
Velocidad	1 kbps a 2,4 kbps
Multiplexación	FDMA
Conmutación	Conmutación de circuitos
Core Network	PSTN

Frecuencia	800-900 MHz
Ancho de banda de RF	30 kHz

Fuente: Adaptado de Barreno, Carrión, & Tenecora (2016).

Esta banda tiene una capacidad de 832 canales dúplex de los cuales 21 se reservan para generar la llamada y el resto para la comunicación. Una de las principales desventajas de esta tecnología es que cualquier alteración en el aire insertaba ruido al sistema y ocupaba un gran espacio dentro del espectro lo que generaba un aumento en los costos (Barreno, Carrión, & Tenecora, 2016).

2.4.2. Segunda Generación - 2G

La GSM (Global System for Mobile Communication) fue la primera que permitió introducir el sistema de voz y de datos digitales expandiéndose principalmente en Europa y posteriormente en todo el mundo. Una de las ventajas principales de esta tecnología es que se basa en un sistema digital, es decir que los datos se transportan mediante una codificación de “1” o “0” lo cual aumenta la robustez y disminuye la pérdida de información durante la transmisión. Otro aspecto importante de esta tecnología es que permite generar varios enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda como voz, los mensajes de texto (SMS), así como un aumento en la capacidad de envío de datos como imágenes, música, video, etc (Martinez, 2001). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan las principales características de la segunda generación de redes móviles

Tabla 3 Características de Segunda Generación de Redes Móviles

Categoría	Descripción
Año	1980 - 1990
Tecnología	Digital
Velocidad	14 kbps a 64 kbps
Banda de frecuencia	850 - 1900 MHz (GSM) y 825 - 849 MHz (CDMA)
Ancho de banda / canal	GSM divide cada canal de 200 kHz en bloques de 25 kHz. El canal CDMA es nominalmente de 1,23 MHz
Multiplexación / Tecnología de acceso	TDMA y CDMA

Conmutación	Conmutación de circuitos
Estándares	GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles), IS-95 (CDMA - América y partes de Asia), JDC (Celular Digital Japonés, basado en TDMA, usado en Japón), iDEN (basado en TDMA, usado por Nextel en Estados Unidos)

Fuente: (Martinez, 2001)

Esta tecnología permite el roaming que es la comunicación entre diversas redes GSM del mundo y así aceptar de manera temporal a los usuarios de otras redes. También en esta generación se utiliza el HandOver que es la reconexión a diferentes nodos para que las redes no interrumpan una llamada o descarga de información (Martinez, 2001). En esta generación se presentaron variantes y evoluciones que mejoraron aspectos como la velocidad y ancho de banda tal y como se observa en la . y de las cuales se mencionará en la siguiente sección.

Tabla 4 Evolución de la Segunda Generación

Tecnología	Nombre	Símbolo	Red Utilizada	Velocidad de Bajada	Velocidad de Subida
GSM	Global System for Mobile communications. R'96	2G	GSM	14.4 Kbp/s	14,4 Kbp/s
GPRS	General Packet Radio System. R'97, R98, R99 (GSM)	2.5 G	GSM	160 Kbp/s	26,8 Kbp/s
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution. R5 (3GPP)	2.75 G	GSM	384 Kbp/s	108,8 Kbit/s

Fuente: (Martinez, 2001)

2.4.3. Generación 2.5G y 2.75G

No existe un estándar o tecnología que se llame 2.5G o 2.75G, pero se los denomina de esa forma a las tecnologías que dentro de 2G incorporaron mejores velocidades de transferencia como son la GPRS y EDGE. La primera de estas conocida como GPRS (General Packet Radio System) es una mejora de GSM, la cual utiliza la misma red, en donde se agregan ciertos equipos y configuraciones para que se

transmitan datos del usuario por los canales de voz. Esta mejora permitió solucionar la saturación de SMS y generó la conexión de los usuarios a Internet desde el móvil.

Por otro lado, la tecnología EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) se considera una evolución del GPRS, el cual usa la transferencia de datos basada en conmutación por paquetes (Packet Switched) para realizar la conexión a Internet. Las ventajas de esta variante es que se puede utilizar aplicaciones que requieren una mayor velocidad de transferencia de datos y altos anchos de banda como pueden ser reproducción de video u otros servicios multimedia (Arenas, Bettancourt, Grote, Soto, & Grote, 2004).

2.4.4. Tercera Generación – 3G

La tercera generación conocida como 3G/UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) es una tecnología móvil de banda ancha totalmente estandarizada, es decir que no tiene un propietario específico. Este estándar de redes inalámbricas fue desarrollado y aprobado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en donde se presentaron las recomendaciones necesarias para obtener un acceso inalámbrico mundial incentivando la unión de diversos sistemas de redes satelitales y terrestres (Rodríguez, Hernández, Torno, García, & Rodríguez, 2005). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las principales características que introdujo esta tecnología.

Tabla 5 Características Técnicas de la Tecnología 3G

Categoría	Descripción
Año	2000
Estándares	UMTS (WCDMA), basado en la infraestructura GSM 2G, estandarizado por 3GPP.
	CDMA 2000, basado en la tecnología CDMA (IS-95) estándar 2G, estandarizado por 3GPP2.
Velocidad según movilidad	Hasta 10 km/h (usuarios sin movilidad): 2 Mbps
	Sobre 100 km/h (movilidad limitada): 384 Kbps
	A partir de 500 km/h (rápida movilidad): 144 Kbps
Frecuencia	Aproximadamente 8 a 2,5 GHz

Ancho de banda	De 5 a 20 MHz
Interfaz de radio	WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)

Fuente: (Rodríguez, Hernández, Torno, García, & Rodríguez, 2005)

Esta tecnología ofrece a los usuarios una alta calidad en telefonía móvil, permitiendo el envío de servicios de voz, imágenes, video y datos. Pese a que el funcionamiento es parecido a GSM, esta red es totalmente independiente a la generación anterior. Al igual que en la segunda generación, en esta se presentaron variantes en donde se pudo aumentar la tasa de transmisión tal y como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** generando las tecnologías HSDPA y HSPA+ (Rodríguez, Hernández, Torno, García, & Rodríguez, 2005).

Tabla 6 Evolución de la Tecnología 3G

Tecnología	Nombre	Nombre Común	Red Utilizada	Velocidad de Bajada	Velocidad de Subida
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System. R'99, R3, R4 (3GPP)	3G	UMTS	384 Kbp/s	128 Kbp/s
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access. R5 (3GPP)	3.5 G	UMTS	14,4 Mbit/s	384 Kbp/s
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access. R6 (3GPP)	3.5 G	UMTS	14,4 Mbit/s	5,76 Mbit/s
HSPA+	High-Speed Packet Access Plus. R7 (3GPP)	3.75 G	UMTS	28 Mbit/s	11,5 Mbit/s
HSPA+	High-Speed Packet Access Plus. R8 (3GPP)	3.75 G	UMTS	42,2 Mbit/s	11,5 Mbit/s
HSPA+	High-Speed Packet Access Plus. R9 (3GPP)	3.75 G	UMTS	84,4 Mbit/s	11,5 Mbit/s
HSPA+	High-Speed Packet Access Plus. R10 (3GPP)	3.75 G	UMTS	168 Mbit/s	23,0 Mbit/s

Fuente: (Rodríguez, Hernández, Torno, García, & Rodríguez, 2005)

2.4.5. Generación 3.5G y 3.75G

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones - ETSI generó varias mejoras las cuales se conocen como Releases en la tercera generación lo cual permitió

generar la tecnología HSPA (High-Speed Packet Access) y HSPA+. La primera corresponde a una actualización de W-CDMA especificada en el Release conocido como R5 HSDPA ofreciendo una velocidad de 14,4 Mbit/s de bajada, mientras que R6 HSUPA entrega 5,76 Mbit/s de subida dependiendo de la red y las capacidades del dispositivo móvil.

Por otro lado, HSPA + el cual se especifica en el Release R7 - R10 genera velocidades pico que pueden llegar hasta 168 Mbit/s de bajada y 23 Mbit/s de subida (Orozco, Andrade, Orozco, & Villarroel, 2017).

2.4.6. Cuarta Generación – 4G

La cuarta generación o LTE (Long-Term Evolution Time) es una tecnología que permite alcanzar velocidades más altas que las que ofrece el estándar HSPA+ con un ancho de banda espectral mayor. Este sistema móvil 4G se basa totalmente en el protocolo IP. La arquitectura de esta tecnología contiene variaciones importantes en conceptos de UMTS con el objetivo de minimizar la arquitectura general de la red de acceso y el núcleo de esta (Martinez, 2001). En la **¡Error! No se encuentra el origen d e la referencia.** se muestran las principales características que entrega esta tecnología.

Tabla 7 Características de la Tecnología 4G

Categoría	Descripción
Año	2008
Especificación	La UIT-R define los requisitos para los sistemas 4G.
Estándares	LTE-TDD y LTE-FDD (Long-Term Evolution Time-Division Duplex) WiMAX móvil (802.16m, estandarizado por el IEEE)
Velocidad	100 Mbps en movimiento 1 Gbps inmóvil
Tecnologías de multiplexación / acceso	OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) en el enlace descendente SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) en el enlace ascendente
Esquemas de comunicación	MIMO (Multiple Input-Multiple Output)

Ancho de banda	5-20 MHz, opcionalmente hasta 40 MHz
-----------------------	--------------------------------------

Fuente: (Martinez, 2001)

Entre los principales servicios que incorpora esta generación se encuentra el acceso móvil web, telefonía IP, TV móvil de alta definición, videoconferencia, televisión 3D, computación en la nube, acceso a información dinámica, dispositivos portátiles (Martinez, 2001).

2.4.7. Quinta Generación – 5G

Esta tecnología indica se muestra como una Open Wireless Architecture (OWA) con respecto a la capa física y de enlace. Para lograr esto, la capa de red se encuentra subdividida en dos capas; una capa superior destinada al terminal móvil y una menor a nivel de red para la interfaz de usuario. En esta tecnología el enrutamiento se basa en direcciones IP que se asignan de manera independiente para cada dispositivo en todo el mundo. Esta tecnología presenta un adelanto al conocido como Wireless-World Wide Web (Barreno, Carrión, & Tenecora, 2016). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las principales características de esta generación.

Tabla 8 Características de la Tecnología 5G

Categoría	Descripción
Velocidad	1 a 10 Gbps
Ancho de banda	1.000x ancho de banda por unidad de superficie
Frecuencia	3 a 300 GHz
Tecnologías de multiplexación / acceso	CDMA y BDMA
Estándares	Banda ancha IP LAN / WAN / PAN & WWW
Infraestructura	Virtualizada

Fuente: Adaptado de Barreno, Carrión, & Tenecora (2016).

Las principales ventajas de esta tecnología es que se puede conectar más de 100 dispositivos de manera simultánea lo que facilita la implementación de IoT, con una mejor cobertura. También ofrece una reducción de cerca del 90% del consumo de energía de la red (Barreno, Carrión, & Tenecora, 2016).

2.5. Arquitectura UMTS (Universal Mobile Telephone System)

El estándar europeo UMTS estándar se desarrolló para redes móviles de tercera generación el cual forma parte de la familia global IMT-2000 y la ITU. Este sistema se compone por 3 bloques principales como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los terminales móviles (UE), las redes de acceso de radio (UTRAN) y la red central (CN) (Arriola, 2017).

Figura 8 Bloques que conforman la arquitectura UMTS



Fuente: (Arriola, 2017)

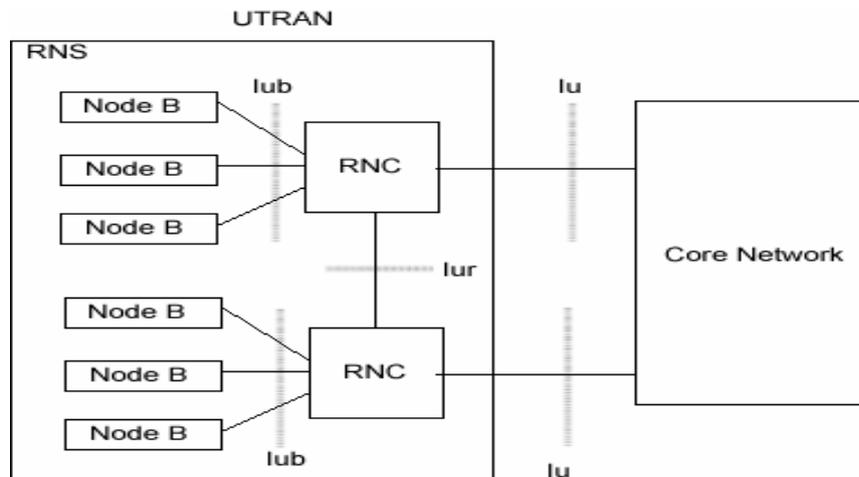
2.5.1. User Equipment (UE)

Se conoce como equipo de usuario o dispositivo móvil, el cual genera la suscripción para conseguir la comunicación. En este componente se tiene el USIM o módulo de identificación del abonado, la cual es una evolución de las SIM's tradicionales utilizadas en la tecnología GSM, poseen una mayor capacidad de memoria lo cual permite que se guarde la información del abonado para que la red lo identifique así como otras informaciones (Arriola, 2017).

2.5.2. Radio Access Network (UTRAN)

El componente conocido como UTRAN corresponde a la red de acceso diseñada para la tecnología UMTS. Esta consiste en varios Controladores de red de radio (RNC) y nodos base (BS) (Arriola, 2017). El conjunto de estos componentes conforma el Subsistema de Red de Radio (RNS) el cual se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 9 Arquitectura de UTRAN



Fuente: (Arriola, 2017)

2.5.2.1. Radio Network Controller (RNC)

El RNC o Controlador de la Red Radio es un elemento de red ubicado en la parte superior de la jerarquía de acceso en la tecnología UMTS, y se responsabiliza en el control de los nodos B que se conectan al sistema. Este componente está encargado de la gestión de los recursos de radio y movilidad del sistema. De igual manera, es el encargado de la encriptación de los datos, previamente a ser enviados desde o hacia el dispositivo móvil (Arriola, 2017). Posee diferentes interfaces las cuales se especifican a continuación:

- **IuCS:** Interfaz que une la RNC y la red de núcleo de conmutación de circuitos (CS-CN) mediante MSC (Mobile Switching Center).
- **IuPS:** Interfaz que une la RNC y la red de núcleo de conmutación de paquetes (PS-CN) mediante del SGSN (Serving GPRS Support Node).
- **Iub:** Interfaz lógica entre Nodo B y RNC.
- **Iur:** Interfaz lógica entre las RNC's.

2.5.2.2. Nodo B

El nodo B en UMTS equivale a una radio base o BTS (Base Transceiver Station) que se utilizan en la tecnología GSM. Este componente da servicio a una o más células, pero de forma general se usan 3 celdas. Cada uno de estos nodos se controla mediante un único RNC el cual se asigna a un determinado Nodo.

El principio de funcionamiento conserva el manejo de la movilidad y conexión de forma independiente del tipo de tecnología de radio en el área. Esto se lleva a cabo gracias a los conceptos de AS (Access Stratum) y NAS (Non Access Stratum). El AS es una entidad funcional en donde se incluyen los protocolos de acceso entre UE y UTRAN. Por otro lado, el NAS incluye la red central, y los protocolos entre el UE y la misma CN. Estos protocolos no terminan en UTRAN, sino que viajan hasta la CN en donde UTRAN es invisible para el NAS (Arriola, 2017). Las principales interfaces de este componente son:

- **Uu:** Interfaz entre el Nodo B y UE
- **Iub:** Interfaz entre el Nodo B y RNC

2.5.3. Core Network (CN)

El núcleo de red es el encargado del transporte y direccionamiento de la información de tráfico y señalización. El direccionamiento posee funciones de inteligencia las cuales son la lógica y control de los servicios que se ofrecen mediante ciertas interfaces, y también incluye la gestión de la movilidad. Mediante este componente la UMTS se puede conectar a otras redes de telecomunicaciones.

El CN se compone de varios elementos como el MSC (pieza central en una red basada en conmutación en circuito), el SGSN (pieza central en una red basada en conmutación de paquetes), GMSC, GGSN, HLR, etc. En la siguiente sección se mencionará a cada uno de los componentes que conforman el CN (Arriola, 2017).

2.5.3.1. MSC (Mobile Switching Center)

El MSC es una interfaz de comunicación entre el sistema de radio y la red fija. Este permite ejecutar las funciones requeridas para el manejo de servicios de conmutación de circuitos desde y hacia la radio base. Entre las principales funciones de este componente se encuentra la coordinación de llamadas, control del HandOver, asignación de frecuencia e intercambios de señales entre interfaces (Arriola, 2017).

2.5.3.2. HLR (Home Location Register)

El HLR guarda la información permanente del registro del suscriptor. Esta información ingresa dentro de un HLR cuando el usuario solicita una suscripción. Existen dos tipos de HLR, para registro temporal y entrada permanente. Los principales datos que registra este componente son la identidad internacional del suscriptor (IMSI), la clave de autenticación, las restricciones de roaming y los parámetros de servicio. Los datos temporales puede ser el número de VLR, MSC y la identidad de la estación móvil (LMSI) (Arriola, 2017).

2.5.3.3. VLR (Visitor Location Register)

El VLR almacena información relevante sobre el roaming dentro del área del MSC. Este contiene información de todos los suscriptores que se encuentra activos en la zona, aunque sea una red local. El VLR también contiene algunos datos que posee el HLR con la diferencia que en el VLR se mantienen de manera temporal. La información que se encuentra en este componente va desde la IMSI, el número ISDN de la estación móvil internacional, el área y la identidad de la estación móvil (Arriola, 2017).

2.5.3.4. EIR (Equipment Identity Register)

El EIR registra la identidad internacional del equipo móvil o IMEI usado en el sistema. Este puede contener una lista blanca con los IMEI's sin ningún problema, una lista negra con los identificadores de los equipos reportados como perdidos, y una lista gris que contiene información de equipo defectuoso (Arriola, 2017).

2.5.3.5. AuC (Authentication Center)

El centro de autenticación se asocia de manera directa con un HLR ya que almacena la clave de autenticación del suscriptor, así como el IMSI correspondiente del dispositivo. La información de este componente se genera de manera permanente cuando se genera una suscripción. La clave almacenada se utiliza para generar información de seguridad en cada suscriptor diferente (Arriola, 2017).

2.5.3.6. SGSN (Serving GPRS Support Node)

El SGSN es un elemento central que permite la conmutación de paquetes dentro de la red. Este se comunica con UTRAN mediante la interfaz lu-PS y con el GSM-BSS mediante la interfaz GB (Arriola, 2017).

2.5.3.7. Gateway MSC (GMSC)

GMSC es un MSC que se encuentra localizado entre la PSTN y los otros MSC's en la red. Su principal función es la de rutear llamadas entrantes al correcto MSC (Arriola, 2017).

2.6. Softwares de Simulación

2.6.1. Radio Mobile

Radio Mobile es un software que ha sido diseñado para realizar simulaciones de enlaces de radio bajo diferentes situaciones atmosféricas y geográficas. Este programa es de uso libre y está basado en el modelo de propagación de Longley-Rice, el cual consiste en predecir el rendimiento de enlaces inalámbricos, así como la cobertura de radio. Esta herramienta permite a los usuarios generar diferentes modelos de sistemas de comunicación que puede ir desde esquemas punto a punto hasta redes de mayor complejidad (IELECTEL, 2024).

Radio Mobile se ha convertido en una herramienta muy utilizada en el campo de las telecomunicaciones para analizar y simular la propagación de ondas de radio bajo diversos entornos geográficos. El objetivo principal de este programa es mejorar las etapas de diseño, optimización y planificación de redes de radio. Las aplicaciones más utilizadas son las siguientes:

- **Planificación de Cobertura:** Permite verificar la cobertura de la señal de radio en zonas determinadas considerando factores como potencia de transmisión, geografía del terreno y altura de las antenas.
- **Análisis de Interferencias:** Sirve como identificador de posibles interferencias entre señales lo que determina la calidad de la comunicación.
- **Optimización de Redes:** Permite simular diversos escenarios de prueba para poder optimizar la red y planificar la toma de decisiones como configuración de ciertos parámetros.

2.6.2. Atoll

El software Atoll es un programa que posee capacidades avanzadas de diseño de redes RAN en tecnologías de acceso por radio como 2G, 3G, 4G y 5G. Tiene la mayoría de los avances tecnológicos que van desde MIMO masivo y propagación de ondas milimétricas para el diseño y la implementación de redes 5G. Otra de las características es que ofrece a los operadores y proveedores sistema poderoso para el diseño y optimización de redes de acceso por radio en interiores y exteriores.

Posee funciones de integración y personalización las cuales ayudan a los operadores a mejorar los procesos de planificación y optimización, permitiendo generar escenarios con diferentes configuraciones independientes hasta configuraciones basadas en servidores para toda la empresa (Forsk, 2024).

CAPITULO III: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED MOVIL 3G

Ampliar la cobertura de la red móvil en las zonas rurales es un problema tecnológico y social, sobre todo en lugares con una conexión complicada, como la parroquia de San Gerardo. En el primer capítulo se examinan los principales inconvenientes de la red 3G actual: señal débil, cobertura insuficiente y frecuentes fallos en las llamadas y los datos. El segundo capítulo investiga los modelos de propagación, la tecnología celular existente y las técnicas de simulación más eficaces para abordar el reto.

Ahora, en este capítulo, se plantea una solución específica para mejorar la conectividad local. La idea integra principios de ingeniería de telecomunicaciones, análisis geográfico y optimización de recursos. Se basa en los resultados del diagnóstico de cobertura (drive test) y en los criterios internacionales de calidad de las redes UMTS. Además, utilizando herramientas especializadas como Atoll y Radio Mobile, se asegura de que el diseño no sólo cumpla las normas técnicas (RSCP, Ec/Io, capacidad de tráfico), sino que también sea económicamente viable y responda a las demandas reales de la comunidad.

3.1. Diagnóstico de la Cobertura Actual de la red móvil 3G en la parroquia San Gerardo

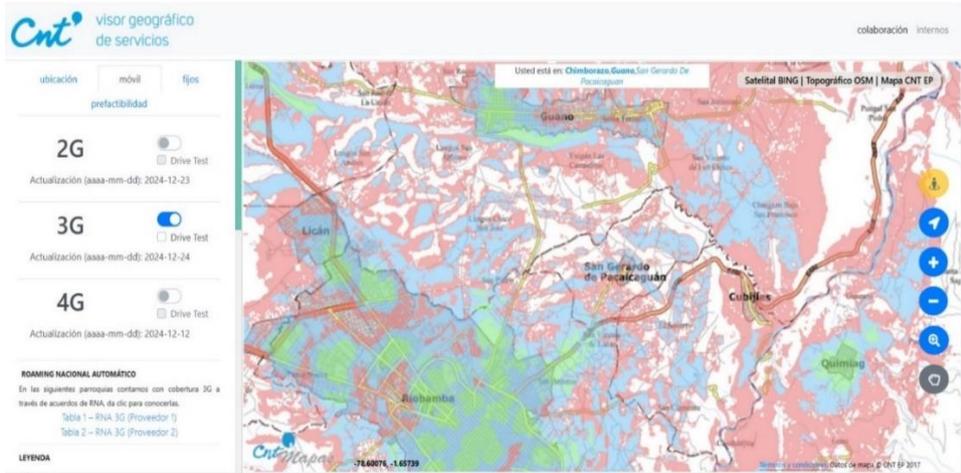
Para conocer la situación actual de la cobertura 3G en la parroquia San Gerardo, se obtiene información de las páginas oficiales de las diferentes operadoras de telefonía móvil donde publican anualmente su cobertura actual. Tal como se puede observar en la

,

y

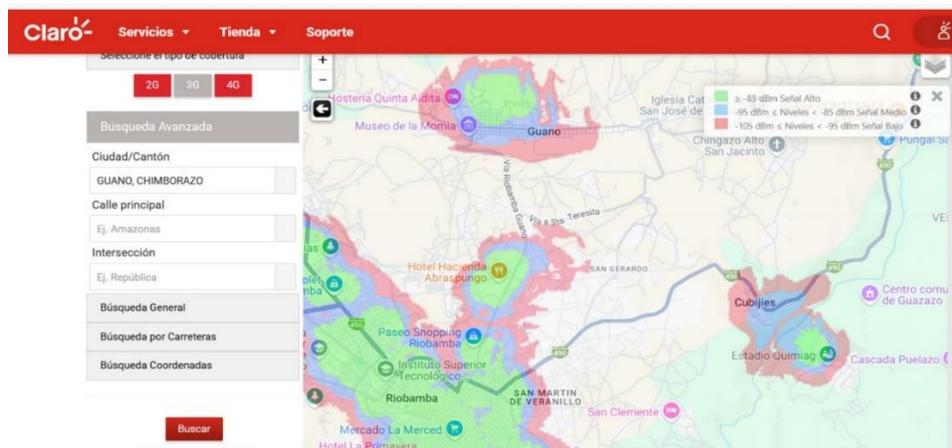
evidencia un hueco de cobertura 3G en la parroquia San Gerardo.

Figura 10 Cobertura 3G CNT en la parroquia de San Gerardo



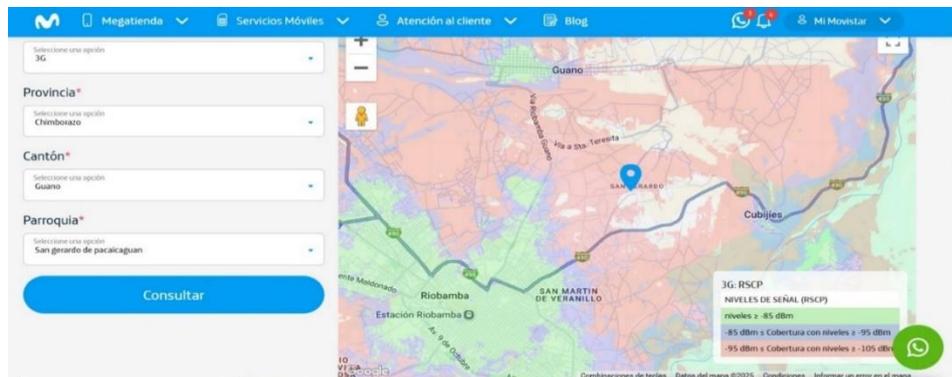
Fuente: (CNT, 2025)

Figura 11 Cobertura 3G Claro en la parroquia de San Gerardo



Fuente: (CLARO, 2025)

Figura 12 Cobertura 3G Movistar en la parroquia de San Gerardo



Fuente: (MOVISTAR, 2025)

Con la información obtenida y mediante Google Earth se determina a qué distancia aproximada se encuentran los Nodos con tecnología 3G de la parroquia San Gerardo. Los resultados obtenidos muestran que la cobertura es insuficiente, con niveles de señal bajos o nulos en diversas zonas de la parroquia, especialmente en el centro y en las áreas más alejadas de los nodos B existentes como lo muestra ¡Error! N o se encuentra el origen de la referencia.. En estas zonas se registraron altos niveles de pérdida de señal (-110 dBm a -120 dBm), lo que impide una comunicación estable tanto para llamadas de voz como para el uso de datos móviles. Esta lejanía provoca una degradación de la señal debido a la atenuación por distancia y a las interferencias generadas por obstáculos naturales como colinas y vegetación densa.

Figura 13 Situación actual de nodos cercanos a la parroquia San Gerardo con cobertura 3G



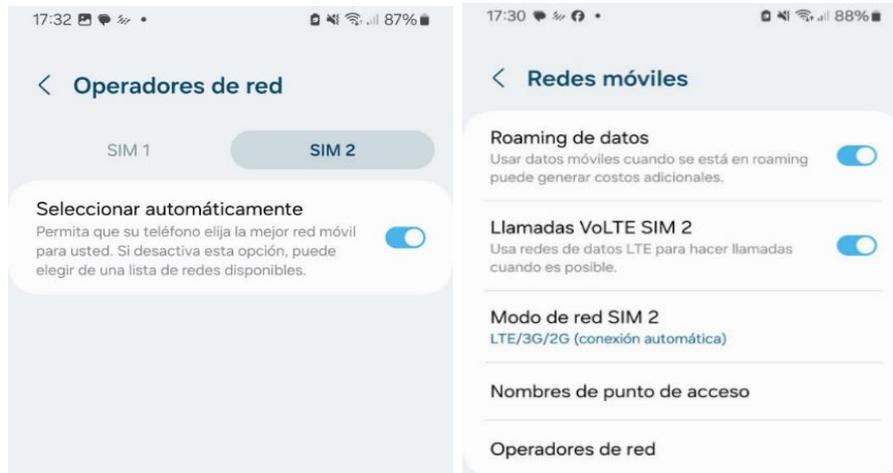
Fuente: Propia

Para realizar la evaluación de la cobertura actual de la red móvil en la parroquia San Gerardo, se realizan pruebas de campo (Drive Test) utilizando la aplicación G-NetTrack Pro. Estas pruebas consisten en recorridos estratégicos dentro de la parroquia con un dispositivo móvil configurado para registrar la calidad de la señal, niveles de cobertura y eventos de conectividad.

Para el Drive Test se emplea un celular modelo SAMSUNG:SM-A135M:UP1A.231005.007, con un chip de CNT ya que esta operadora cuenta con roaming nacional automático o RNA con Movistar y Claro, es decir que permite la selección automática de cualquiera de estas operadoras dependiendo del nivel de señal,

en la ;Error! No se encuentra el origen de la referencia. se muestra la configuración d el teléfono.

Figura 14 Configuración del teléfono.

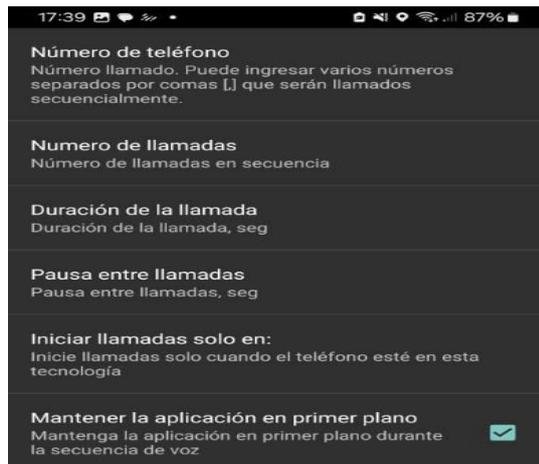


Fuente: Propia

La aplicación G-NetTrack Pro permite la configuración de secuencias de pruebas de voz y datos

, ofrece KMLs de los distintos KPIs medidos, logs de medidas en ficheros '.txt' para analizar y evaluar la tecnología 3G.

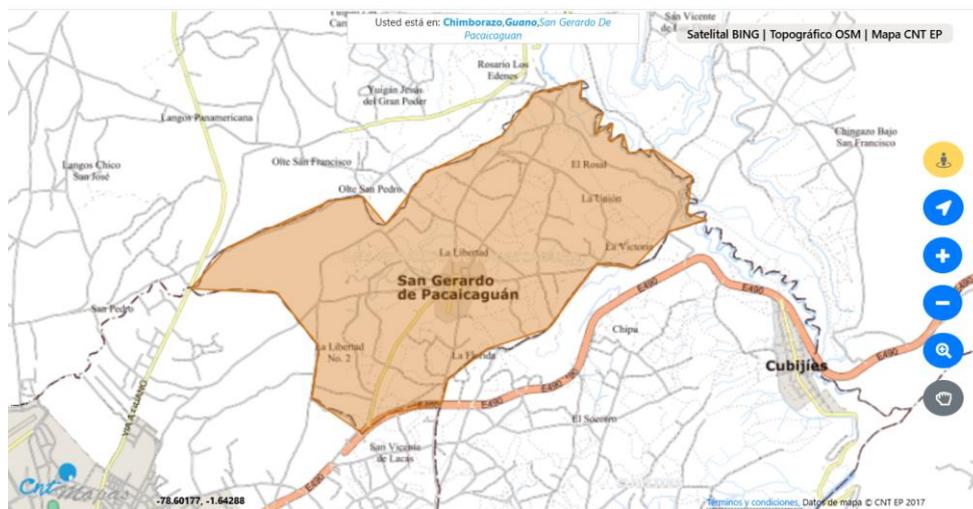
Figura 15 Configuración del G-NetTrack Pro



Fuente: Propia

Posteriormente se asigna un área determinada para hacer las pruebas respectivas. En la [Figura 16](#) se muestra el área que conforma la parroquia San Gerardo en donde se va a realizar el drive test.

Figura 16 Zona para el recorrido del drive test en la parroquia San Gerardo



Fuente: (CNT, 2025)

El análisis del Drive Test genera un aporte fundamental para el trabajo en el ámbito de las telecomunicaciones, específicamente en las tecnologías de redes móviles, siendo las fases principales la obtención de los datos que se muestran en [Figura 17](#), que corresponden a archivos KLM y TXT, para su posterior análisis.

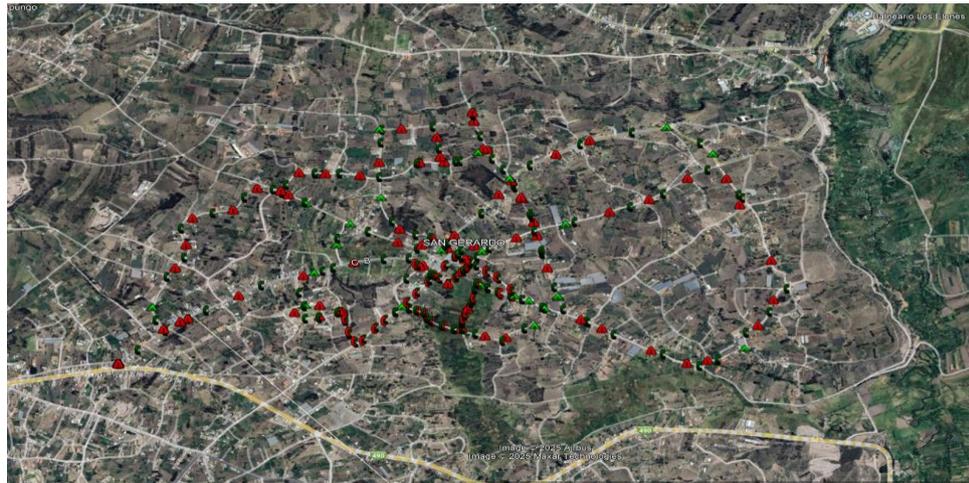
Figura 17 Archivos KLM y TXT obtenidos del driver test

TodoCNT_2025.01.27_15.22.19.zip\CNT_2025.01.27_15.22.19 - archivo ZIP, tamaño descomprimido 81.369.462 bytes					
Nombre	Tamaño	Comprimido	Tipo	Modificado	CRC32
CNT_2025.01.27_15.22.19_arfcn.kml	4.989.825	132.638	Archivo KML	27/1/2025 17:14	9B5D861C
CNT_2025.01.27_15.22.19_band.kml	4.984.898	132.065	Archivo KML	27/1/2025 17:14	EB25CB1C
CNT_2025.01.27_15.22.19_cellid.kml	5.024.590	128.687	Archivo KML	27/1/2025 17:14	4A5A8246
CNT_2025.01.27_15.22.19_cqi.kml	5.016.066	128.864	Archivo KML	27/1/2025 17:14	F3418127
CNT_2025.01.27_15.22.19_datatest.kml	106	96	Archivo KML	27/1/2025 17:14	35E6D441
CNT_2025.01.27_15.22.19_datatest.txt	195	136	Documento de texto	27/1/2025 15:22	2ABB562E
CNT_2025.01.27_15.22.19_datateststate.kml	106	96	Archivo KML	27/1/2025 17:14	35E6D441
CNT_2025.01.27_15.22.19_dlbitrate.kml	5.016.195	130.418	Archivo KML	27/1/2025 17:14	C9BA134A
CNT_2025.01.27_15.22.19_events.kml	127.487	6.347	Archivo KML	27/1/2025 17:14	9D5EE783
CNT_2025.01.27_15.22.19_events.txt	12.176	1.730	Documento de texto	27/1/2025 16:40	A8EA3439
CNT_2025.01.27_15.22.19_filemarks.kml	106	96	Archivo KML	27/1/2025 17:14	35E6D441
CNT_2025.01.27_15.22.19_lac.kml	4.992.933	132.321	Archivo KML	27/1/2025 17:14	25CF18E9
CNT_2025.01.27_15.22.19_pc.kml	5.019.098	130.072	Archivo KML	27/1/2025 17:14	AB33DBDD
CNT_2025.01.27_15.22.19_phonestate.kml	4.978.152	132.738	Archivo KML	27/1/2025 17:14	23B4CCCB
CNT_2025.01.27_15.22.19_ping.kml	106	96	Archivo KML	27/1/2025 17:14	35E6D441
CNT_2025.01.27_15.22.19_pingloss.kml	106	96	Archivo KML	27/1/2025 17:14	35E6D441
CNT_2025.01.27_15.22.19_qual.kml	5.016.136	128.951	Archivo KML	27/1/2025 17:14	E06F8DD2
CNT_2025.01.27_15.22.19_rmc.kml	4.986.368	132.013	Archivo KML	27/1/2025 17:14	467E5191
CNT_2025.01.27_15.22.19_rlev.kml	5.020.430	133.192	Archivo KML	27/1/2025 17:14	908E3A1D
CNT_2025.01.27_15.22.19_snr.kml	5.016.066	128.864	Archivo KML	27/1/2025 17:14	F3418127
CNT_2025.01.27_15.22.19_speed.kml	4.990.802	134.734	Archivo KML	27/1/2025 17:14	0FFC790E
CNT_2025.01.27_15.22.19_technology.kml	4.980.283	131.765	Archivo KML	27/1/2025 17:14	EFDC2A6
CNT_2025.01.27_15.22.19_technologymode.kml	4.980.283	131.776	Archivo KML	27/1/2025 17:14	7157BB58
CNT_2025.01.27_15.22.19_testdl.kml	106	96	Archivo KML	27/1/2025 17:14	35E6D441
CNT_2025.01.27_15.22.19_testul.kml	106	96	Archivo KML	27/1/2025 17:14	35E6D441
CNT_2025.01.27_15.22.19_ulbitrate.kml	5.016.182	130.790	Archivo KML	27/1/2025 17:14	A3764259

Fuente: Propia

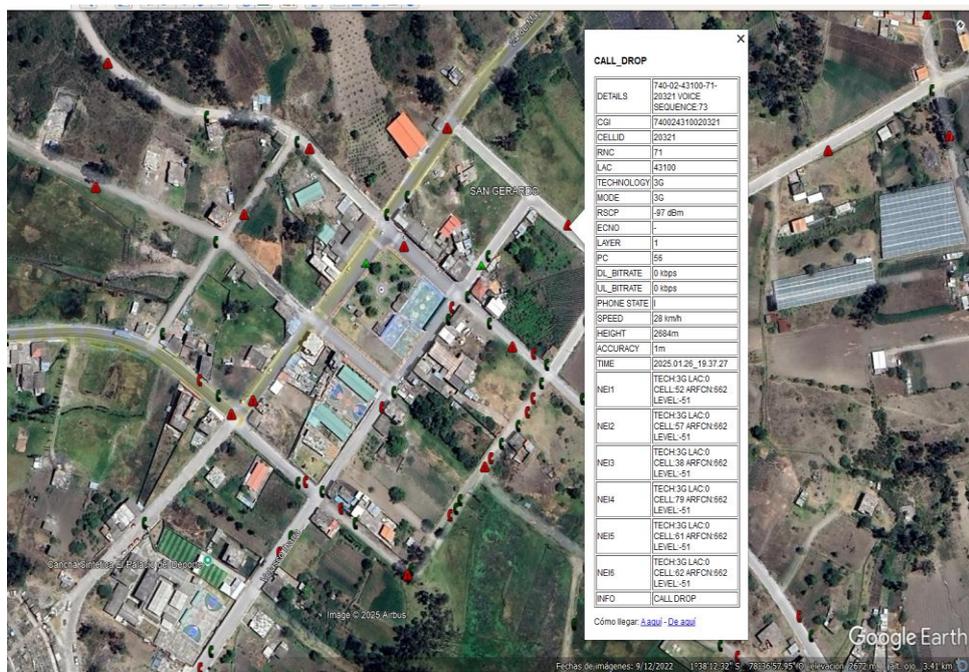
Una vez realizado el registro de los datos se observa los archivos KLM y TXT obtenidos. Se los visualiza mediante GOOGLE EARTH tal y como se muestra en la [Figura 18](#). En la [Figura 19](#) se muestran los eventos registrados en las pruebas de llamadas de voz.

Figura 18 Secuencia de llamada de voz en la parroquia San Gerardo



Fuente: (Earth, 2025)

Figura 19 Detalles de llamadas en la parroquia San Gerardo



Fuente: (Earth, 2025)

Figura 20 Análisis de data Events.txt

Sin_servicio_2025.01.26_19.10.54_events: Bloc de notas

Arhivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda											
Timestamp	Longitud	Latitude	Operatorname	Node	CellID	LAC	NetworkTech	Level	Qual	SNR	CQI	LTERSSE	EventType	EventDetails	State
2025.01.26.19.11.02	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:1	I
2025.01.26.19.11.04	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_DROP	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:1	D
2025.01.26.19.11.36	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:1	D
2025.01.26.19.11.41	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_DROP	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:2	I
2025.01.26.19.11.53	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:1	I
2025.01.26.19.12.18	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_DROP	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:1	I
2025.01.26.19.12.30	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:4	I
2025.01.26.19.12.44	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_DROP	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:1	I
2025.01.26.19.12.56	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:5	I
2025.01.26.19.13.11	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_DROP	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:5	I
2025.01.26.19.13.23	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:6	I
2025.01.26.19.13.36	-78.623146	-1.649964	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_DROP	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:6	I
2025.01.26.19.13.48	-78.622944	-1.648953	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:7	I
2025.01.26.19.14.08	-78.62245	-1.64688	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_DROP	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:7	I
2025.01.26.19.14.20	-78.621979	-1.645828	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:8	I
2025.01.26.19.14.38	-78.62137	-1.644499	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_DROP	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:8	I
2025.01.26.19.14.50	-78.620966	-1.643549	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:9	I
2025.01.26.19.15.09	-78.619915	-1.642213	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_DROP	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:9	I
2025.01.26.19.15.21	-78.619449	-1.641574	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:10	I
2025.01.26.19.15.34	-78.618688	-1.640531	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_DROP	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:10	D
2025.01.26.19.15.46	-78.61785	-1.639692	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:11	I
2025.01.26.19.16.08	-78.61644	-1.638203	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_DROP	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:11	I
2025.01.26.19.16.20	-78.616528	-1.639993	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:12	I
2025.01.26.19.16.50	-78.615837	-1.641277	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_END	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:12	D
2025.01.26.19.17.01	-78.61564	-1.641203	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-		740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:12	I
2025.01.26.19.17.02	-78.615547	-1.641106	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:13	D
2025.01.26.19.17.04	-78.615547	-1.641106	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_BLOCK	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:13	I
2025.01.26.19.17.17	-78.61527	-1.641105	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:14	D
2025.01.26.19.17.19	-78.615172	-1.641083	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_BLOCK	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:14	I
2025.01.26.19.17.32	-78.614968	-1.64103	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:15	I
2025.01.26.19.17.34	-78.614868	-1.64107	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_BLOCK	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:15	I
2025.01.26.19.17.46	-78.614795	-1.641191	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:16	I
2025.01.26.19.17.48	-78.614795	-1.641191	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_BLOCK	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:16	D
2025.01.26.19.18.00	-78.614588	-1.641222	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:17	I
2025.01.26.19.18.02	-78.614412	-1.641228	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_BLOCK	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:17	I
2025.01.26.19.18.14	-78.613978	-1.641175	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:18	I
2025.01.26.19.18.16	-78.613871	-1.641142	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_BLOCK	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:18	D
2025.01.26.19.18.20	-78.613493	-1.641032	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:19	I
2025.01.26.19.18.30	-78.613493	-1.641032	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_BLOCK	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:19	I
2025.01.26.19.18.42	-78.613225	-1.640847	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:20	D
2025.01.26.19.18.44	-78.613225	-1.640847	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_BLOCK	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:20	D
2025.01.26.19.18.56	-78.613474	-1.640589	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:21	I
2025.01.26.19.18.58	-78.613507	-1.640418	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_BLOCK	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:21	I
2025.01.26.19.19.10	-78.613561	-1.640308	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:22	I
2025.01.26.19.19.12	-78.613587	-1.640181	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_BLOCK	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:22	I
2025.01.26.19.19.25	-78.61364	-1.639825	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_START	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:23	D
2025.01.26.19.19.27	-78.613666	-1.639712	Sin servicio	71	20321	43100	3G	-97	-	-	-	-	CALL_BLOCK	740-02-43100-71-20321 VOICE SEQUENCE:23	I

Fuente: Propia

El análisis de llamadas de voz podría observarse en la distribución de eventos que reflejan la calidad y la estabilidad de las conexiones. Se documentan diferentes tipos de eventos relacionados con el principio y el final de las llamadas, así como los eventos que afectan su desempeño, como llamadas bloqueadas y problemas de red, cuyos resultados indican que solo un porcentaje reducido alcanza una conexión satisfactoria. La información sobre eventos registrados se proporciona a continuación en la  Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Tabla 9 Resultados de las llamadas de voz

EventType	Cantidad de eventos
CALL START: Inicio de una llamada.	147 (44,41%)
CALL END: Fin de llamada.	25 (7,55%)
BLOCKED CALL: Llamada bloqueada.	43 (12,99%)
DROPPED CALL: Llamada caída	79 (23,87%)
INTENTOS SIN RED	184 (55,59%)

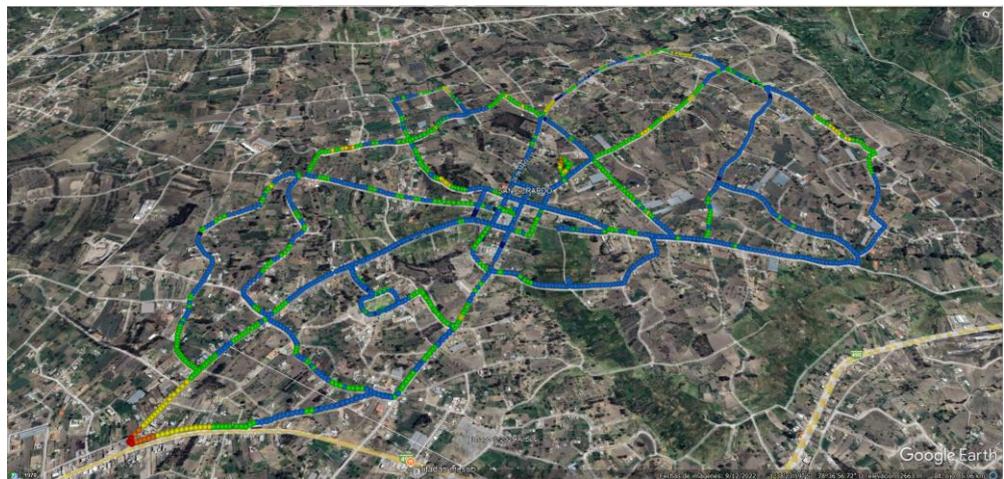
Fuente: Propia

De 147 llamadas realizadas solo 25 son satisfactorias, adicionalmente, se identifican bloqueos en el establecimiento de llamadas, intentos de conexión fallidos

y una velocidad de transmisión de datos considerablemente baja. En términos de latencia, las mediciones realizadas indican tiempos de respuesta elevados, afectando la experiencia del usuario en servicios como navegación web, mensajería instantánea y videollamadas.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa el nivel de recepción (Rx) mismo que indica la potencia de la señal recibida, medida en decibeles por milivatio (dBm).

Figura 21 Nivel de señal percibido en la parroquia San Gerardo



Fuente: (Earth, 2025)

De igual manera, se visualizan los Logs obtenidos del Drive Test, mismos que indican el nivel de señal según los eventos registrados tal y como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 10 Logs del nivel de señal obtenidos del Drive Test

CALIDAD DE COBERTURA	NIVEL DE SEÑAL	TECNOLOGIA		TOTAL DE REGISTROS	RAZON
		2G	3G		
MALA	-111	4	3	56	2,86%
	-109	9			
	-105	1			
	-103	22	7		
	-101	10	46		

DEBIL	-99	13	218	1244	63,47%
	-97	11	253		
	-95	11	263		
	-93	10	245		
	-91	21	265		
MODERADA	-89	16	209	570	29,08%
	-87	9	158		
	-85	6	97		
	-83	8	54		
	-81	4	52		
BUENA	-79	9	28	76	3,88%
	-77	7	23		
	-75		14		
	-73		5		
	-71		6		
EXCELENTE	-69		6	14	0,71%
	-67		3		
	-63		1		
	-61		1		
	-57		1		
	-55		2		

Fuente: Propia

Durante el recorrido por la parroquia de San Gerardo se evidencia que únicamente se tiene 0,71 % de eventos con excelentes niveles de percepción de señal, esto ocurre al ingreso a la parroquia donde el nivel del suelo es más elevado y se encuentra más próximo al Nodo B de la operadora CNT.

Estos resultados evidencian la necesidad urgente de una mejora en la infraestructura de telecomunicaciones en San Gerardo, con la implementación de una solución técnica que garantice una cobertura móvil estable y eficiente.

3.1.1. Análisis de la Situación Actual de la Red en San Gerardo

Entre los aspectos más importantes identificados en la definición de la situación actual de la red se encuentran los siguientes:

- **Cobertura insuficiente:** Los nodos más cercanos se encuentran a distancias desde los 2.4 km (CNT) y 3.25 km (Claro), lo cual supera el alcance normal de la tecnología 3G para zonas montañosas.
- **Eventos fallidos:** Únicamente el 7,55 % de las llamadas se realizan con éxito durante las pruebas de campo, con un total de 23,87% llamadas caídas, 12,99% bloqueadas y 55,59% intentos de llamadas sin red.
- **Niveles de señal críticos:** El 66,33 % de las mediciones de Rx Level se encuentran sobre los -90 dBm lo cual se consideran valores insuficientes para garantizar los servicios de voz y datos de manera estable.

3.2. Identificación de Factores Técnicos y Geográficos que afectan la cobertura

El análisis geográfico, apoyado en Google Earth y archivos KML, revela que San Gerardo está rodeado por montañas que obstaculizan la propagación de la señal. Además, la distancia de los nodos existentes genera una atenuación significativa en la potencia de la señal recibida.

San Gerardo se enfrenta a una serie de desafíos técnicos y geográficos que afectan significativamente la calidad de la cobertura 3G en la parroquia. A continuación, se detallan los factores principales que impactan directamente en la propagación de la señal móvil.

3.2.1. Factores Geográficos

San Gerardo está situado en una región montañosa, lo que contribuye a la atenuación de las señales de radiofrecuencia (RF). Las montañas y colinas, que caracterizan el terreno, generan zonas de sombra que impiden una cobertura continua. En especial, los picos de las montañas bloquean las señales provenientes de los nodos más cercanos, creando barreras naturales que limitan el alcance de las estaciones base. Esta falta de visibilidad directa entre las estaciones base y los puntos poblacionales clave agrava la cobertura móvil.

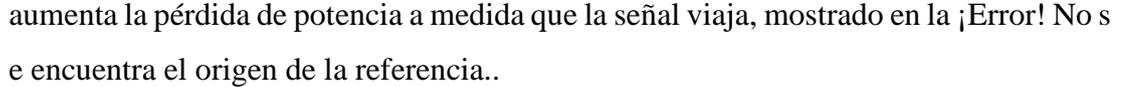
Se identifica que el relieve de la parroquia no es uniforme, con áreas de baja altitud cerca de los nodos, pero también zonas elevadas que requieren una mayor potencia de transmisión para garantizar la calidad del servicio. Además, la vegetación densa en varias partes de la parroquia contribuye a la absorción de la señal, lo que aumenta la pérdida de potencia a medida que la señal viaja, mostrado en la . No se encuentra el origen de la referencia..

Figura 22 Parque central San Gerardo



Fuente: Propia

3.2.2. Factores Técnicos

Desde el punto de vista técnico, las estaciones base que operan en la parroquia están configuradas en las bandas de 850 MHz y 1900 MHz, que, aunque son eficientes para cobertura de áreas urbanas, tienen limitaciones en terrenos con montañas y zonas de difícil acceso. Las bandas más altas, como la de 1900 MHz, tienden a ser menos eficientes en la propagación de la señal a largas distancias y a través de obstáculos naturales, lo que afecta gravemente la calidad de la cobertura en áreas rurales (Academia.edu., 2025).

El sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), utilizado en la red 3G, opera bajo estas frecuencias, y aunque ofrece una buena capacidad de datos, su rendimiento en áreas rurales y montañosas se ve comprometido. Para mejorar la cobertura, se hace necesario emplear tecnologías que permitan extender el alcance de las señales, como el uso de Small Cells o el incremento de la cantidad de nodos (Luque, 2012).

El tamaño y la configuración de las estaciones base existentes también son factores críticos. En la mayoría de los casos, las estaciones son de gran capacidad, pero la distancia y el número limitado de estaciones base en la zona rural no cubren de manera adecuada las necesidades de la población de San Gerardo. Esto genera una congestión en la red, especialmente en horas punta, y limita el acceso a servicios básicos de telecomunicaciones.

3.2.3. Impacto de la Infraestructura y las Condiciones Ambientales

La infraestructura en San Gerardo es otro aspecto importante para considerar. La falta de infraestructura adecuada para la colocación de nuevas estaciones base o antenas pequeñas es un desafío. Las zonas rurales, a menudo, carecen de instalaciones de energía confiables y de acceso vehicular a áreas clave, lo que hace que la instalación de nuevos equipos sea costosa y logísticamente compleja.

En términos de mantenimiento, las condiciones climáticas extremas, como las lluvias intensas y las bajas temperaturas en ciertas estaciones del año, también afectan la durabilidad y el rendimiento de las instalaciones de telecomunicaciones. La exposición constante a condiciones climáticas severas puede ocasionar fallos en los sistemas eléctricos y de antena, lo que contribuye a la inestabilidad de la cobertura.

3.3. Evaluación de Tecnologías y Soluciones Disponibles

La expansión de la cobertura de la red móvil 3G en zonas rurales como la parroquia San Gerardo en Chimborazo es un desafío tanto técnico como económico debido a la complejidad de implementación debido a factores geográficos, baja densidad poblacional y limitaciones en la infraestructura actual existente. Para poder afrontar estos problemas se evalúan diferentes soluciones tecnológicas para la ampliación de cobertura las cuales permitan mejorar la calidad del servicio de red móvil para los usuarios de la zona.

A continuación, se presentan las principales tecnologías y soluciones disponibles que se pueden implementar para la optimización de la cobertura en San Gerardo.

3.3.1. Implementación de Small Cells

Las Small Cells son estaciones base que generan una baja potencia y están diseñadas para completar la cobertura faltante en redes móviles para áreas en donde exista una señal deficiente. Estos dispositivos se instalan en postes, edificios o infraestructuras comunitarias, lo cual proporciona conectividad a las zonas de difícil acceso (Andrews, 2013). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan las principales ventajas y desventajas del uso de esta solución, siendo su mayor virtud el bajo costo y consumo energético.

Tabla 11 Ventajas y Desventajas de la Implementación de Small Cells

Ventajas	Desventajas
Incremento de la cobertura en áreas con baja señal sin la necesidad de una mayor infraestructura.	Cobertura limitada a pequeñas áreas (hasta 2 km en condiciones óptimas).
Disminución de la saturación en las macroceldas existentes.	
Menor consumo energético con respecto a las estaciones base tradicionales.	Depende de una red de transporte eficiente para la conexión con el núcleo de la red móvil
Costo bajo en comparación con la instalación de nuevas torres de telecomunicaciones	

Fuente: Propia

3.3.2. Repetidores de Señal (Relay Stations)

Los repetidores de señal o conocidos como Relay Stations reciben la señal de una estación base y la retransmiten a las zonas donde existe una cobertura deficiente o inexistente. Esta tecnología se utiliza en zonas rurales donde la topología del terreno es compleja lo que provoca que las señales de radiofrecuencia sean bloqueadas por edificios o montañas (Akyildiz, Balakrishnan, Yang, & Venkatachalam, 2011). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan las principales v

ventajas y desventajas de la implementación de repetidores de señal en donde se destaca que puede generar retardos en la comunicación, pero con un costo accesible.

Tabla 12 Ventajas y Desventajas de la Implementación de Repetidores de Señal

Ventajas	Desventajas
Incrementa la cobertura sin la necesidad de una conexión directa con la troncal.	Introduce un retardo adicional en la comunicación
Implementación rápida y a menor costo comparada con una nueva estación base	Depende de una señal de origen relativamente fuerte
Aumenta la calidad de la señal en interiores y exteriores.	Puede generar interferencias si no se configura correctamente

Fuente: Propia

3.3.3. Extensión de Cobertura con Redes Satelitales

Las redes satelitales se consideran como una alternativa viable para zonas de extremo aislamiento e infraestructura limitada. Las tecnologías como Starlink, VSAT (Very Small Aperture Terminal) o redes 5G sobre enlaces satelitales son una opción para la mejora del servicio móvil y conectividad de datos (Bailey, et al., 2021). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan las principales ventajas y desventajas de la implementación de redes satelitales, de las cuales se verifica que existen un alto costo de instalación.

Tabla 13 Ventajas y Desventajas de las Redes Satelitales

Ventajas	Desventajas
Cobertura global, sin limitaciones de distancia o topografía.	Alto costo de instalación y suscripción.
Viable en zonas donde no existe infraestructura de telecomunicaciones.	Dependencia de energía estable

Compatible con tecnologías 3G, 4G y 5G.

Latencia mayor que con redes terrestres.

Fuente: Propia

3.3.4. Implementación de Redes MESH

Las redes de malla o MESH permiten conectarse a múltiples nodos de telecomunicaciones con el objetivo de incrementar la cobertura en puntos donde las señales se hacen débiles. Este tipo de redes distribuyen la señal mediante múltiples puntos de acceso, lo cual permite ampliar la cobertura sin la necesidad de una infraestructura centralizada (Karl & Willing, 2007). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan las principales ventajas y desventajas de la implementación de redes MESH verificando que tiene una instalación compleja para la gestión de la red.

Tabla 14 Ventajas y Desventajas de Redes MESH

Ventajas	Desventajas
Distribuye de manera eficiente de la señal sin grandes inversiones en infraestructura.	Complejidad en la implementación y gestión de la red.
Mayor resiliencia ante fallos en un nodo individual.	Requiere un diseño estratégico de los nodos para evitar la congestión.
Adaptabilidad a diferentes condiciones topográficas.	

Fuente: Propia

3.3.5. Implementación de Nueva Estación Base

Una de las soluciones principales para la mejora de la red es una zona específica es la instalación de un nuevo Nodo B en un punto específico dentro de la parroquia de San Gerardo. Esta solución permitirá incrementar el alcance de la señal y así obtener una mejor estabilidad en el servicio proporcionado (Holma. & Toskala, 2011). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan las principales ventajas y desventajas de esta solución en donde se verifica que tiene una amplia cobertura en la zona, así como escalabilidad hacia redes 4G y 5G.

Tabla 15 Ventajas y Desventajas de la Implementación de una Estación Base Nueva

Ventajas	Desventajas
Cobertura amplia en la zona de interés	Alto costo de instalación y mantenimiento
Mejor estabilidad en la señal y reducción de llamadas fallidas	Necesidad de permisos y acuerdos con operadores de red
Posibilidad de expansión hacia tecnologías 4G y 5G	Requiere infraestructura eléctrica permanente para su funcionamiento

Fuente: Propia

3.3.6. Optimización de Parámetros de Red y Beamforming

Una alternativa para mejorar la cobertura en este tipo de redes es la optimización de los parámetros de red lo cual evita la instalación de nueva infraestructura. En esto se incluyen ajustes en características como la potencia de transmisión, el cambio de bandas de frecuencia y la configuración de celdas existentes para mejorar la propagación de las señales (Rappaport, MacCartney, Samimi, & Sun, 2015).

De igual manera, la implementación de Beamforming se utiliza en sistemas MIMO (Multiple Input Multiple Output) lo cual permite direccionar la señal de manera más eficiente hacia los usuarios, mejorando la cobertura y reduciendo interferencias (Guo, Ansari, & Fonseca, 2021). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan las principales ventajas y desventajas de la aplicación de ajustes a los parámetros de red, en donde se destaca que reduce las interferencias y mejora la calidad de red pero depende de la compatibilidad con la infraestructura de la operadora.

Tabla 16 Ventajas y Desventajas de Ajuste de Parámetros de Red

Ventajas	Desventajas
No requiere infraestructura adicional significativa.	Depende de la compatibilidad con la infraestructura de las operadoras

Reducción de interferencias y mejora en la calidad de la señal.

Resultados variables según la configuración actual de la red

Fuente: Propia

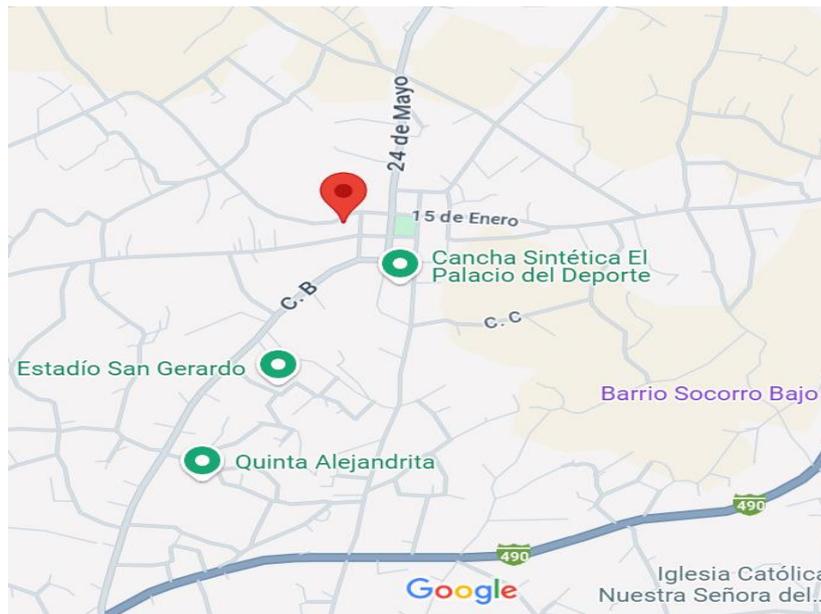
3.4. Diseño de la Propuesta Tecnológica

Para afrontar con cada uno de los desafíos observados en este estudio, se requiere la implementación de una solución que sea viable y permite considerar los factores geográficos y técnicos vistos anteriormente. Entre las principales propuestas se considera la implementación de un Nodo B macro como la solución idónea, sin embargo, posee costos elevados por lo que se realizará posteriormente un análisis de costos y viabilidad financiera.

La propuesta tecnológica para ampliar la cobertura 3G en la parroquia San Gerardo, plantea el diseño basado en la instalación de un nuevo nodo estratégicamente ubicado y la optimización de parámetros técnicos de la red existente. Esta propuesta consta de la colocación del nuevo nodo planteado en 2 puntos específicos y de los cuales se detalla a continuación:

- **Punto 1:** Ubicado en una loma cerca del Parque Central que tiene buena visibilidad de la zona poblada de San Gerardo ($1^{\circ}38'16.7''S$ $78^{\circ}37'02.8''W$) y de la cual se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

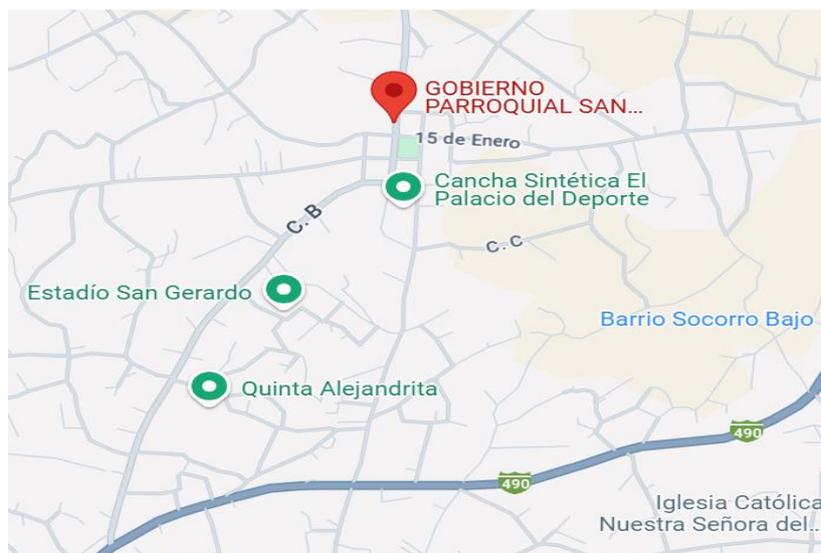
Figura 23 Loma cerca del Parque Central



Fuente: (Maps, 2025)

- **Punto 2:** Ubicados en la junta Parroquial de San Gerardo, (coordenadas: $1^{\circ}38'07.7''S$ $78^{\circ}36'53.2''W$), aprovechando la topografía para maximizar la cobertura, siendo el punto de referencia el que se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 24 Junta Parroquial de San Gerardo



Fuente: (Maps, 2025)

En base a estas ubicaciones planteadas se determinan los componentes necesarios para la implementación de la red propuesta, considerando las estaciones

base, componentes de respaldo de energía, entre otros. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa el listado de los componentes principales para la implementación de la mejora de red, de los cuales se analizarán los precios y cantidad de componentes posteriormente.

Tabla 17 Listado de Componentes para la Implementación del Sistema

Componentes
RRU3942 for multi-mode 2100MHz
BBU3900 Main Equipment
UMPT (Universal Main Processing & Transmission)
UBBP (Baseband Processing and Interface Unit)
APM30H, Outdoor Power Cabinet
DCDU Power Distribution Box 12C
High Speed Transceiver
Patch Cord Monomodo Duplex LC/LC 50 MT
Antena sectorial UNNPX206R3
Batería 12V 150AH

Fuente: Propia

3.5. Operación y Mantenimiento

La correcta operación y mantenimiento de la solución propuesta del Nodo B es necesaria para garantizar a los clientes una conectividad estable y la más alta calidad de servicio en la parroquia de San Gerardo. La operadora encargada de la implementación de este proyecto debe asumir varias responsabilidades en la gestión, garantizando el cumplimiento de los estándares técnicos y la normativa vigente para atender de manera oportuna las diferentes incidencias que puedan ocurrir en la operación. Se requiere de un Plan de Mantenimiento Preventivo adecuado lo cual permitirá gestionar de manera eficiente el desempeño de la red y así ofrecer un servicio de calidad a los habitantes de la zona.

3.6. Simulación de la Propuesta de Red Planteada

Para evaluar los puntos considerados en la etapa de diseño y comparar el que mejor se adapte tanto económicamente como técnicamente, se realiza una simulación con el uso de herramientas especializadas como Atoll o Radio Mobile. A continuación se detalla cada una de las herramientas necesarias para poder simular la red planteada.

- **Software Radio Mobile:** Programa basado en el modelo de propagación de Longley-Rice, el cual se utiliza para la simulación de enlaces de radio y predicción de cobertura en terrenos irregulares.
- **Software Atoll 3.5.2:** Herramienta de planificación y simulación de redes celulares que se utiliza para evaluar la cobertura de señal y capacidad de la red.
- **Google Earth Pro:** Utilizado para la obtención de coordenadas de la zona de estudio y para el análisis del terreno.
- **Datos SRTM (Shuttle Radar Topography Mission):** Son mapas de elevación con resolución de 30m que se utilizan en el modelamiento de la topografía del área de estudio.
- **Archivos KML/KMZ:** Generados a partir del software de simulación, y se utilizan para visualizar los resultados en Google Earth.

Una vez determinadas las herramientas necesarias para la extracción de datos de la zona de estudio se procede a la configuración de cada uno de los parámetros dentro de los softwares de simulación, en donde se destaca la frecuencia de transmisión, la altura de las antenas, el umbral de recepción mínima, entre otros. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los principales parámetros configurados dentro de Atoll y Radio Mobile.

Tabla 18 Configuración de los Programas de Simulación

Característica	Atoll	Radio Mobile
Modelo de propagación	HATA	Longley-Rice (ITM).
Frecuencia de transmisión	2100 MHz (banda utilizada por la red 3G UMTS).	2100 MHz.
Potencia de transmisión	40 W (equivalente a +46 dBm)	43 dBm (20 W).
Altura de la antena	30 metros sobre el nivel del suelo	30 m. sobre el nivel del suelo
Ganancia de la antena:	17 dBi con patrón sectorial	17 dBi con patrón sectorial

Ancho de banda de canal	5 MHz	NA
Umbral de recepción mínima	-110 dBm	-106 dBm.
Factor de pérdida por vegetación	8 dB en zonas con densa vegetación	NA
Tipo de Modulación	WCDMA (UMTS 3G).	WCDMA (UMTS 3G).
Resolución del mapa de elevación	30m	100 m
Altura del receptor (dispositivos móviles):	1.5 m.	2 m.

Fuente: (Maps, 2025)

Realizadas las simulaciones en los dos puntos seleccionados se observa que ambos cumplen con el objetivo de mejorar la cobertura en la parroquia San Gerardo, sin embargo, por costos en la instalación de la infraestructura, luz y seguridad, el punto más adecuado es junto a la junta parroquial ya que las operadoras pueden hacer convenio con el GAD y obtener beneficios para ambas partes.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1.Introducción

En el presente capítulo se desarrolla el análisis de cada uno de los aspectos observados en la etapa de diseño, como el estudio técnico e impacto social, el análisis de los resultados de la situación actual. La respuesta obtenida y comparación de las simulaciones realizadas en Radio Mobile y Atoll. Posteriormente se analizan los aspectos económicos, sociales, así como la viabilidad técnica y el desarrollo del plan de mantenimiento de la red, lo cual permitirá definir todos los requerimientos clave para una posterior implementación de la red diseñada en este trabajo.

4.2.Análisis de la Situación Actual

Para verificar la situación actual de la red en San Gerardo se realiza un análisis de eventos de llamadas en el cual se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en donde se ejecutaron 147 llamadas.

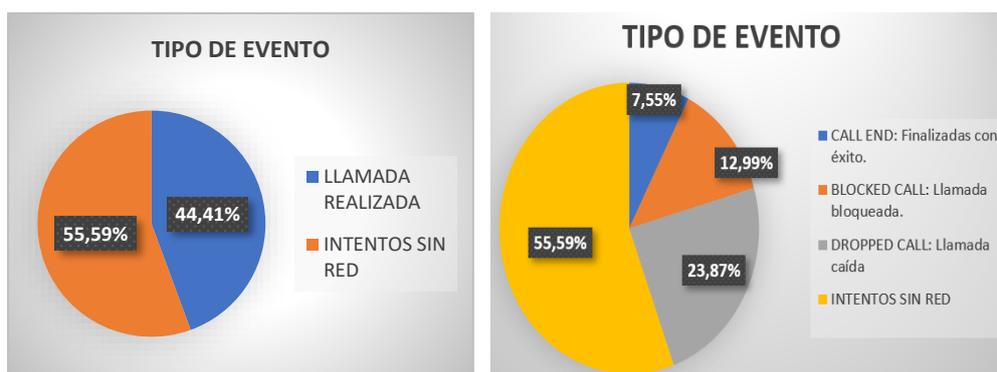
Tabla 19 Eventos de Llamadas Realizadas

EventType	Cantidad de eventos
CALL START: Inicio de una llamada.	147 (44,41%)
CALL END: Fin de llamada con éxito.	25 (7,55%)
BLOCKED CALL: Llamada bloqueada.	43 (12,99%)
DROPPED CALL: Llamada caída	79 (23,87%)
INTENTOS SIN RED	184 (55,59%)

Fuente: Elaboración Propia

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los eventos de prueba de red realizados, en donde se identifica que únicamente el 7,55 % de las llamadas se realizan con éxito durante las pruebas de campo, con un total de 23,87% llamadas caídas, 12,99% bloqueadas y 55,59% intentos de llamadas sin red. Se aprecia que más del 90% del total de las llamadas no se ejecutan de manera correcta lo cual indica la baja eficiencia que posee la red actualmente.

Figura 25 Eventos de Prueba de Red



Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, se realizaron pruebas en donde se verifica el nivel de intensidad de señal de la red actual, asignando un rango cualitativo que va desde Mala hasta Excelente de acuerdo con la cantidad de potencia registrada. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los resultados de las pruebas efectuadas en la red 2G con un total de 171 eventos.

Tabla 20 Nivel de Señal de la Red 2G en Pruebas de Campo

CALIDAD DE COBERTURA	NIVEL DE SEÑAL	TECNOLOGIA	TOTAL DE REGISTROS	PORCENTAJE
		2G		
MALA	-111	4	46	26.90%
	-109	9		
	-105	1		
	-103	22		
	-101	10		
DEBIL	-99	13	66	38.60%
	-97	11		
	-95	11		
	-93	10		
	-91	21		
MODERADA	-89	16	43	25.15%
	-87	9		
	-85	6		
	-83	8		
	-81	4		
BUENA	-79	9	16	9.36%
	-77	7		
	-75			

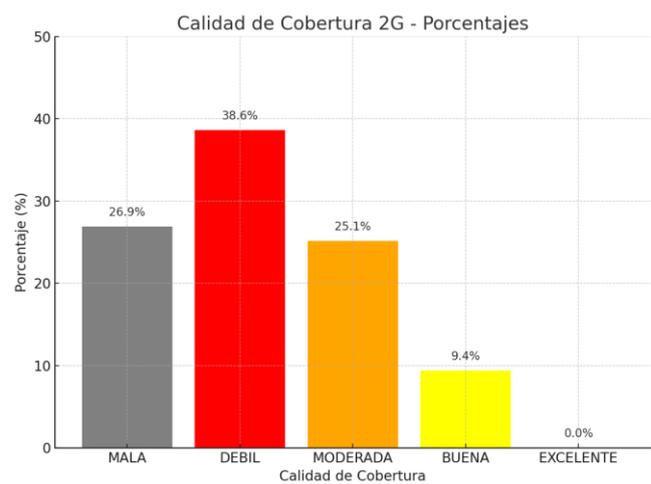
	-73			
	-71			
EXCELENTE	-69		0	0,00%
	-67			
	-63			
	-61			
	-57			
	-55			
		TOTAL	171	

Fuente: Elaboración Propia

En la

se observan los resultados obtenidos del nivel de señal de la red 2G, en donde se verifica que para el Nivel de Señal Mala y Débil que se encuentran en los rangos de -111 a -91 dB se tienen 46 y 66 eventos registrados respectivamente con estas intensidades. En cuanto al Nivel de Señal Moderada se tiene un registro de 43 eventos que se encuentran en los rangos de -90 a -81 dB. Se verifica para el nivel de señal Bueno que se encuentran en los rangos de -80 a -71 dB se tienen 16 eventos y Excelente se registraron 0 eventos en estos casos, los cuales se encuentra en un nivel de menor a -70 dB verificando que existe una deficiencia en el nivel de señal, siendo los principales encontrados en la prueba en los niveles más bajos con un total de 112.

Figura 26 Resultados de Nivel de Señal de la Red



Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a la red 3G, las pruebas efectuadas visualizan un total de 1960 eventos tal y como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la r**

Referencia. comprobando que en su mayoría los dispositivos se conectan a esta red, siendo el predominante el nivel Muy Bajo de señal.

Tabla 21 Nivel de Señal de la Red 3G en Pruebas de Campo

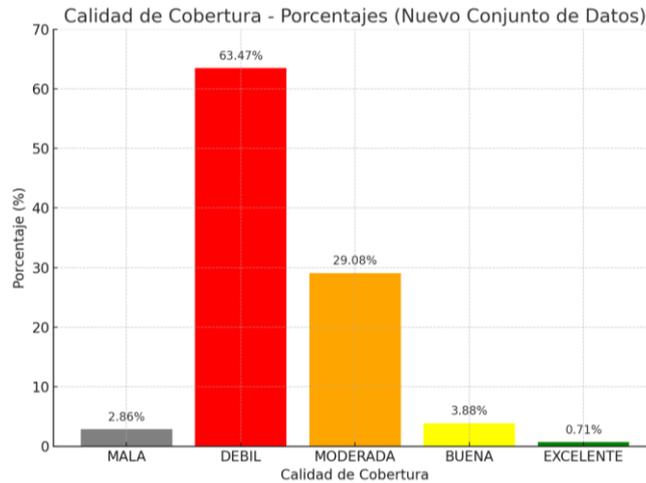
CALIDAD DE COBERTURA	NIVEL DE SEÑAL	TECNOLOGÍA	TOTAL DE REGISTROS	PORCENTAJE
		3G		
MALA	-111	3	56	2.86 %
	-109			
	-105			
	-103	7		
	-101	46		
DEBIL	-99	218	1244	63.47%
	-97	253		
	-95	263		
	-93	245		
	-91	265		
MODERADA	-89	209	570	29.08%
	-87	158		
	-85	97		
	-83	54		
	-81	52		
BUENA	-79	28	76	3.88%
	-77	23		
	-75	14		
	-73	5		
	-71	6		
EXCELENTE	-69	6	14	0.71%
	-67	3		
	-63	1		
	-61	1		
	-57	1		
	-55	2		
		TOTAL	1960	

Fuente: Elaboración Propia

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los resultados obtenidos de las pruebas de la Red 3G en donde se visualiza que para el nivel de Mala y Débil se tienen 1300 eventos registrados los cuales se encuentran entre -111

a -91 dB, siendo el que más ocurrencias ha tenido. En cuanto al siguiente es el Nivel de Señal Moderada que está en los rangos de -90 a -81 dB con un total de 570 registros. En cuanto a los niveles Buena y Óptima que están en los rangos menor que -80 dB se encontraron 76 y 14 eventos respectivamente, se verifica que el Nivel de Señal en General se encuentra en su mayoría en los rangos más bajos de potencia.

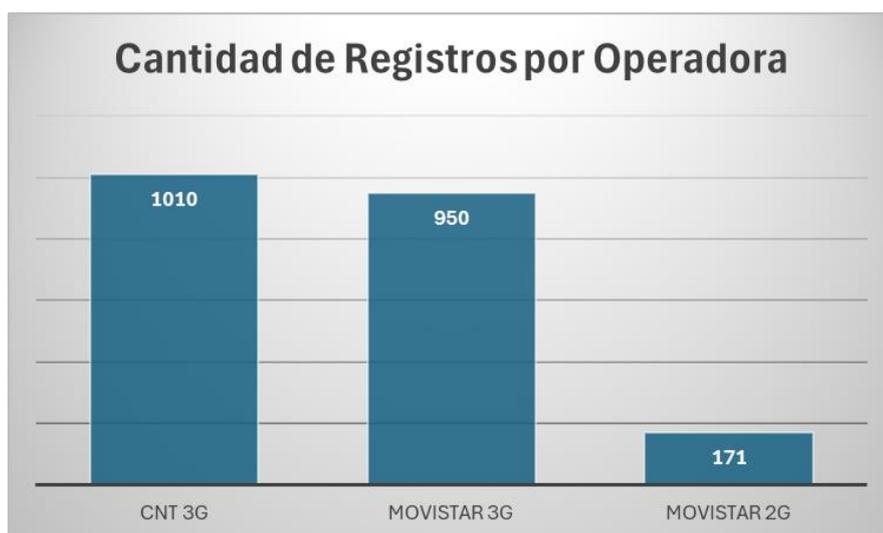
Figura 27 Resultados de Nivel de Señal de la Red 3G



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los resultados obtenidos por Operadora en donde se verifica la que mayores cantidades generar es CNT 3G con 1010, seguida de Movistar 3G con 950 y Movistar 2G con 175.

Figura 28 Resultados de Registros por Operadora

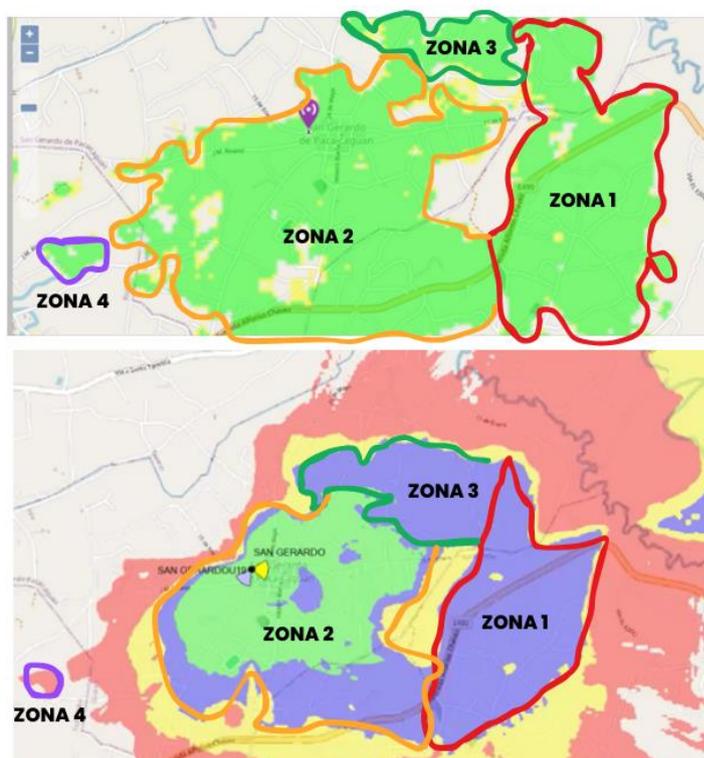


Fuente: Elaboración Propia

4.3.Comparación de Resultados de Simulación

Para verificar el área de cobertura con respecto al punto de análisis 1 que es la ubicada en una loma con respecto al Parque Central la cual está en las coordenadas 1°38'16.7"S 78°37'02.8"W, se verifica que existen 4 zonas principales donde la cobertura tiene una mayor potencia y de las cuales se divide tanto en la simulación de Radio Mobile como de Atoll, tal y como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 29 División de las Zonas de Cobertura en Simulaciones – Parque Central



Fuente: Elaboración Propia

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa el área de cobertura el punto de análisis 1 con respecto a las simulaciones de Radio Mobile y de Atoll, así como el porcentaje de error obtenido. Se verifica que el área de mayor cobertura en ambas simulaciones es la Zona 3 que posee un área de 4.28 Km² en Radio Mobile y 3.90 Km² en Atoll. Se verifica que el error entre ambas simulaciones se encuentra inferior del 14.29% en la zona 4 que tiene un área pequeña de cobertura para ambos casos. Con respecto al área total, en Radio Mobile se verifica que se tiene 7.11 Km², mientras que en Atoll 6.59 Km², comprobando la cercanía de estos datos.

Tabla 22 Área de Cobertura Total en Zona 1 - Parque Central

ZONA 1	Área Aproximada Radio Mobile (Km)	Área Aproximada Atoll (Km)	% Error
1	2,37	2,21	7,24%
2	4,28	3,90	9,74%
3	0,38	0,41	7,32%

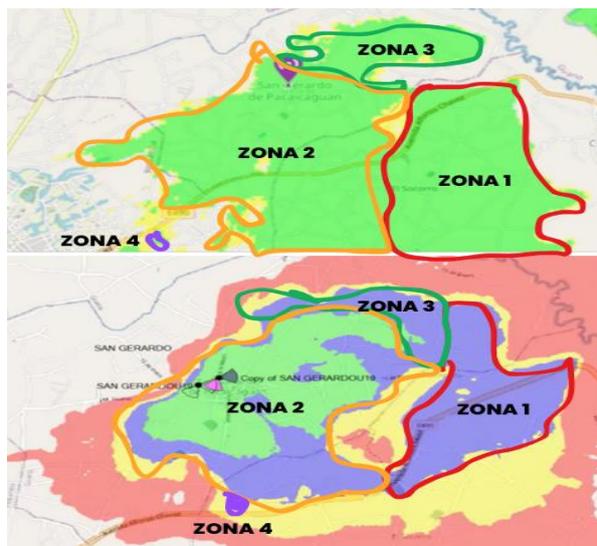
4	0,08	0,07	14,29%
Total	7,11	6,59	

Fuente: Elaboración Propia

De igual forma que en el caso anterior, se analiza las zonas de cobertura obtenidas en cada una de las simulaciones para el caso de la Junta Parroquial de San Gerardo ubicada en las coordenadas 1°38'07.7"S 78°36'53.2"W, tal y como se observa en la

. Se verifica que se obtienen 4 zonas principales de las cuales se analizará el área obtenida para comprobar los resultados con respecto al punto 2. Se considera que al estar cerca de la Junta Parroquial se cuenta con un menor costo referente a instalación de Luz, Seguridad e Infraestructura.

Figura 30 División de las Zonas de Cobertura en Simulaciones – Junta Parroquial



Fuente: Elaboración Propia

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se verifican los resultados del análisis del punto 2 ubicado en la Junta Parroquial de San Gerardo, se verifica que se tiene un área principal en la Zona 2 de 2.75 Km² según Radio Mobile y de 2.83 Km² según Atoll lo que da un error de 2.83%. Con respecto a la zona 1, se tiene 1.56 Km² de cobertura en Radio Mobile y 1.42 Km² en Atollo con un error del

9.86%. Finalmente, se tiene un total de área de cobertura para las 4 zonas de 6.34 Km² obtenidas en Radio Mobile, mientras que Atoll da un resultado de 6.16 Km² de área.

Tabla 23 Área de Cobertura Total en Zona 2 – Junta Parroquial de San Gerardo

ZONA 2	Área Aproximada Radio Mobile (Km²)	Área Aproximada Atoll (Km²)	% Error
1	1,56	1,42	9,86%
2	2,75	2,83	2,83%
3	1,13	1,08	4,63%
4	0,9	0,83	8,43%
Total	6,34	6,16	

Fuente: Elaboración Propia

Se comprueba que para ambos resultados se tiene un área de cobertura amplia, siendo mayor la obtenida en el punto cercano al parque central con 430 metros cuadrados más que con respecto a la Junta Parroquial, sin embargo, al ser la diferencia no muy grande, se considera que para esta última se requiere menos gastos económicos debido a que incluye ya una infraestructura con agua, luz y seguridad lo cual permitirá ahorrar costos operativos.

4.4. Estudio Técnico e Impacto Social

En esta sección se realiza un análisis social y económico del proyecto determinando el nivel de factibilidad en base a la inversión requerida para la ejecución. Se analiza la rentabilidad con el objetivo de incentivar a los proveedores del servicio la implementación en base a un esquema de viabilidad técnica y financiera, considerando la capacidad del servicio ofrecido a la población.

En base a estos se estiman los costos y valores necesarios para determinar un esquema a detalle de los ingresos por adquisición y consumo de los servicios prestados. Finalmente, se busca determinar el impacto dentro de la población que tendrá el proyecto considerando los beneficios positivos en los pobladores de San Gerardo.

4.4.1. Análisis Económico

Para el análisis económico se consideran todos los componentes y productos electrónicos necesarios para la implementación. En base a estos se establece el nivel de rentabilidad considerando los costos de operación y los ingresos esperados de acuerdo con la capacidad de servicios de datos que se puedan incluir.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los resultados de los costos de la estación base de la marca Huawei DBS3900 para la red 3G, en donde el rubro principal es del RRU3942 a \$7000.00, y con un valor total de \$15,085.00.

Tabla 24 Detalle de Costos Estación Base DBS3900

DBS3900 3G			
CANTIDAD	DETALLE	COSTO	TOTAL
2	RRU3942 for multi-mode 2100MHz	\$3,500.00	\$7,000.00
1	BBU3900 Main Equipment	\$240	\$240.00
1	UMPT (Universal Main Processing & Transmission unit with 4E1 and 2FE/GE interface UMPTb1)	\$645	\$645.00
2	UBBP (WD22UBBPd6, WD2DUB BPD600, Baseband Processing and Interface Unit)	\$1,752.00	\$3,504.00
1	APM30H, Outdoor Power Cabinet	\$1,820.00	\$1,820.00
1	DCDU Power Distribution Box 12C	\$360	\$360.00
4	High Speed Transceiver, QSFP-DD LR8-8*56Gb/s PAM4(1310nm) - 425Gb/s--2.8dbm-5.3dbm--9.1dbm-LC-SMF-10km	\$109	\$436.00

4	Patch Cord Monomodo Dúplex LC/LC 50 MT	\$120	\$480.00
2	Antena sectorial UNNPX206R3	\$300	\$600.00
			\$15,085.00

Fuente: Elaboración Propia

Se detallan de igual manera los costos de la planta de poder con sus respectivos componentes como las baterías y las unidades de control. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los rubros considerados para el respaldo de energía de la red, el cual tiene un valor total de \$12,795.

Tabla 25 Costos de Planta de Respaldo y Baterías

CANTIDAD	DETALLE	COSTO	TOTAL
1	Power Plant ELTEK VALERE con intercambiador de calor	\$9,225	\$9,225
1	Unidad de control Smart Pack	\$430	\$430
3	Rectificador Flat Pack2 -48V/3000W	\$460	\$1,580
4	Batería de Litio - HUAWEI	\$340	\$1,560
TOTAL			\$12,795

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto al costo total de implementación, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa cada uno de los componentes, dando un total de \$27,880.00 como costo de inversión total, siendo el rubro mas alto el correspondiente a la estación base con \$15,085.00.

Tabla 26 Resumen de Costos de Implementación de la Red

Detalle	Costo
Estación Base DBS3900	\$15,085.00
Respaldo de Energía	\$12,795.00
Total Inversión	\$27,880.00

Fuente: Elaboración Propia

Una vez definida la inversión total, se realiza un análisis de costos considerando la inversión inicial planteada anteriormente, con una estimación inicial de 500 usuarios y un incremento anual del 10%, un precio inicial de \$12 por plan y un total de gastos operativos del 10% del total de ingresos de cada año.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los detalles anuales de la estimación de recuperación de la inversión planificada. En esta se verifica que se tiene un flujo de caja neto de \$5.400,00 en el primer año hasta llegar a los \$8.894,23 en el sexto año. Se verifica que el retorno de inversión se da en el 5to año generando ganancias de 5.440,62. En cuanto al VAN se tiene un total de 1.926,66 con un TIR del 12.13% verificando que económicamente es considerado un proyecto rentable a largo plazo.

Tabla 27 Retorno de Inversión de la Implementación de la Red 3G en San Gerardo

Año	Usuarios	Precio Plan (\$)	Ingresos (\$)	Costos Operativos (\$)	Flujo Neto (\$)	Retorno de la Inversión
0	-	-	-	-	-27.880,00	-27.880,00
1	500	12	6.000,00	600	5.400,00	-22.480,00
2	550	12	6.600,00	630	5.970,00	-16.510,00
3	605	12	7.260,00	661,5	6.598,50	-9.911,50
4	666	12	7.992,00	694,575	7.297,43	-2.614,08
5	732	12	8.784,00	729,30375	8.054,70	5.440,62
6	805	12	9.660,00	765,76894	8.894,23	14.334,85
VAN	1.926,66					
TIR	12,13%					

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2. Análisis Social

Dentro del apartado del análisis social se considera el impacto que tendrá la implementación del sistema en cuanto a la vida cotidiana de las comunidades o personas que se encuentren en la zona beneficiaria, específicamente en el poblado de San Gerardo ubicado en la provincia de Chimborazo, el cual posee sitios relevantes como los analizados en la situación actual los cuales pueden aprovechar los beneficios

de la ejecución de este proyecto. Los principales beneficios se presentan a continuación:

- Mejora de la calidad de vida de los pobladores ya que puede contar con un servicio con mayor cobertura y mejor navegabilidad.
- Permite dar una red de acceso a internet que mejora el desarrollo de la educación en adolescentes y niños del poblado.
- Mejora la comunicación para el desarrollo de nuevos negocios e intercambio de información entre poblados cercanos.

El impacto social directo que presenta la ejecución de este proyecto es evidente ya que la mayoría de los pobladores consideran que la falta de cobertura es un problema importante en la zona dificultando la comunicación. En su mayoría el desconocimiento ha dejado que las personas que habitan en la zona tengan una idea errada que este tipo de sistemas puede perjudicar su salud o afectar a sus cultivos, sin embargo, la mayor parte de las personas identifican que mejorar la cobertura de red celular puede mejorar su calidad de vida de manera directa.

4.5. Viabilidad Técnica

Para determinar la viabilidad técnica se requiere seguir una serie de pasos que van desde un análisis preliminar hasta la toma de decisión de acuerdo con lo planteado tanto económicamente como operativamente. A continuación, se presentan todas las fases determinadas para comprobar la viabilidad técnica de la implementación de la red.

4.5.1. Análisis Preliminar

El esquema planteado para el desarrollo del proyecto se basa en aspecto técnicos y financieros lo cual generan una propuesta de obtener beneficios a partir de la implementación del servicio de datos en la población de San Gerardo. Con esta propuesta se pretende conseguir un apoyo tanto de la población como de las entidades gubernamentales que se encuentran a cargo de esta zona, siendo uno de los principales beneficiarios.

4.5.2. Proyección Financiera

La proyección financiera se considera a partir de los \$27.880,00 que es la inversión inicial los cuales se pretende obtener a través del convenio entre las operadoras privadas o CNT, así como con el Gobierno Autónomo Descentralizado de San Gerardo para obtener el capital inicial. Como se verificó en el análisis económico, se tiene una recuperación de la inversión a partir del quinto año lo cual resulta importante para establecer las relaciones con las entidades que van a contribuir con la inversión.

4.5.3. Análisis de Mercado

En cuanto al análisis de mercado, se comprueba que existe una alta demanda del servicio debido a que en la actualidad la mayoría de las personas poseen un teléfono inteligente que requiere de la conexión a internet para aprovechar al máximo sus capacidades. En visto de esto, en la zona de San Gerardo se requiere la mejora y ampliación de la cobertura que ofrece este proyecto. Por estas razones, se plantea que la propuesta planteada posee un buen mercado ya que la mayoría de los pobladores necesita comunicarse mediante el uso de telefonía móvil, considerando un precio accesible para la comunidad.

4.5.4. Plan Organizacional y Operativo

En esta etapa se define los elementos humanos que permiten la correcta operación del sistema, siendo principalmente el administrador de la estación, contadora y operadores los cuales se encargarán que todos los procedimientos se mantengan en orden y operación constantes.

De la misma manera, se obtendrán los productos y componentes necesarios para el correcto funcionamiento de la estación, ejecutando un soporte directo de los proveedores cuando se necesario.

4.5.5. Revisión de Datos

En cuanto a revisión de datos se refiere, se verifican los puntos fuertes del proyecto como la recuperación de la inversión antes de los ocho años, la amplia cobertura que se ofrecerá a la población y la estimación de los costos considerando un

valor accesible a los pobladores. En cuanto a las dificultades o riesgos se tiene la falta de inversión y cooperación de los habitantes de la zona y la mala selección de los equipos en cuanto a su dimensionamiento. Estos problemas deben evitarse o corregirse a tiempo permitiendo que la propuesta se pueda cumplir y ejecutar de la mejor manera.

4.5.6. Toma de Decisión

Considerando que en su mayoría se verifica una estimación positiva de crecimiento tanto de usuarios y económicamente rentable en un periodo de cinco años, se debe ejecutar cada uno de los aspectos de viabilidad de manera eficiente generando un análisis detallado de los aspectos técnicos, operativos, organizacionales, financieros y de mercado necesarios para la correcta ejecución del proyecto. Esta propuesta posee una inversión de alta impacto, generando beneficios dentro del sector tanto en el aspecto social como en el económico de la zona.

4.6. Plan de Mantenimiento de la Red

Finalmente, se realiza un plan de mantenimiento de Equipos e Infraestructura para la Red 3G propuesta. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa cada una de las actividades planificadas, así como una frecuencia con la que se deben ejecutar, considerando los meses para realizar de manera eficiente cada una de estas y así mantener los equipos en óptimas condiciones.

Tabla 28 Plan de Mantenimiento de Equipos e Infraestructura de la Red Propuesta

CANTIDAD	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	EQUIPO INVOLUCRADO
1	Inspección visual de antenas y torres para detectar corrosión, fisuras o daños estructurales.	Enero – Abril – Julio - Octubre	Torres, Antenas
1	Revisión y limpieza de los RRU (Remote Radio Units) para evitar acumulación de polvo y humedad.	Febrero – Mayo – Agosto – Noviembre	RRU (Unidades de Radio Remotas)

1	Inspección del BBU (Baseband Unit) y verificación de conexiones eléctricas.	Enero - Julio	BBU (Unidad de Banda Base)
1	Monitoreo del estado de la energía eléctrica en la estación base (verificación de UPS y generadores).	Mensual	UPS, Generador, Tablero eléctrico
1	Revisión y mantenimiento de baterías (capacidad de carga y conexiones).	Marzo – Junio - Septiembre – Diciembre	Baterías, Sistema de respaldo energético
1	Limpieza y ajuste de cables coaxiales y fibra óptica.	Febrero - Agosto	Cables coaxiales, Fibra óptica
1	Verificación de parámetros de transmisión y calidad de señal en la red.	Mensual	Equipos de medición, RRU, BBU
1	Actualización de software y firmware en equipos de transmisión y procesamiento de señal.	Marzo – Septiembre	RRU, BBU, Core de Red
1	Inspección del sistema de climatización en shelters o gabinetes de equipos.	Enero – Abril – Julio - Octubre	Aire acondicionado, Ventiladores, Sensores de temperatura
1	Mantenimiento preventivo de sistemas de seguridad (cámaras, cerraduras, alarmas).	Enero – Julio	Cámaras de seguridad, Sensores de acceso

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó un diagnóstico de manera detallada de la situación actual de la red 3G en la parroquia de San Gerardo, en donde se verificó que la cobertura es limitada, con niveles de señal muy bajos o inexistentes en varias zonas de la parroquia.
- ✓ Se identificó los principales factores técnicos y geográficos que afectan la cobertura actual de la red 3G en la zona de estudio. La lejanía de los nodos es la causa principal que provoca la degradación de la señal debido a la atenuación por distancia, así como interferencias generadas por obstáculos naturales como colinas y vegetación densa.
- ✓ Se evaluó las diversas tecnologías existentes para brindar una solución que considere todos los factores identificados. La opción de implementar un Nodo completo se considera una solución ideal, sin embargo, el tema de costos para los operadores es elevado por lo que se debe analizar económicamente la viabilidad del proyecto en base a esta propuesta.
- ✓ Se diseñó una propuesta de solución mediante el análisis de dos posibles puntos de ubicación para el nuevo Nodo de comunicación. El punto ubicado en la Junta Parroquial de San Gerardo sería el más óptimo al tener una infraestructura ya establecida, permitiendo reducir costos por temas de seguridad, luz y otros servicios indispensables para la operación.
- ✓ La simulación utilizando los softwares especializados Radio Mobile y Atoll, confirmaron que la propuesta cumple con los criterios técnicos establecidos, proporcionando una cobertura adecuada para el área objetivo. Además, se verificó que la planificación inicial es funcional y que los niveles de señal simulados están dentro del rango esperado para garantizar una calidad aceptable del servicio móvil.

RECOMENDACIONES

- ✓ Considerar que, los resultados pueden variar una vez que el nodo 3G esté implementado debido a condiciones reales del entorno como interferencias electromagnéticas locales u obstáculos imprevistos (edificaciones, árboles, clima), por esta razón, tras la instalación del nodo, es fundamental llevar a cabo un proceso de optimización en campo, que incluya mediciones reales de cobertura y calidad de servicio, ajuste de parámetros de radiofrecuencia (tilt, azimut, potencia) y reconfiguración de celdas vecinas y handovers, este proceso garantiza que la red 3G ofrezca el mejor rendimiento posible, asegurando la calidad del servicio (QoS) para los usuarios finales.
- ✓ Realizar una planificación detallada de cada una de las actividades necesarias para el cumplimiento de cada etapa dentro de la implementación del sistema, generando un esquema en donde se pueda visualizar de manera concreta todos los pasos necesarios para la implementación.
- ✓ Efectuar una encuesta con el objetivo de determinar dentro de la población las tarifas y cantidad de megas que requieren los habitantes, de tal manera que la empresa que brinde el servicio cree estrategias de venta para captar la mayor cantidad de usuarios.
- ✓ Analizar la viabilidad del proyecto incluyendo los aspectos organizacionales, económicos, financieros y proyecciones esperadas de manera mensual para que los inversionistas tengan una idea de donde se encuentran sus fondos y así incentivar a la inversión.
- ✓ Realizar convenios con la Junta Parroquial de San Gerardo de tal manera que se genere el menor impacto económico para la ejecución del proyecto y se genere beneficios para ambas partes.

BIBLIOGRAFIA

- Academia.edu. (18 de 02 de 2025). *Medición de banda ancha y simulación de trazado de rayos del canal de propagación en interiores de 1900 MHz*. Obtenido de https://www.academia.edu/51997688/Wide_band_measurement_and_ray_tracing_simulation_of_the_1900_MHz_indoor_propagation_channel_comparison_criteria_and_results
- Agudelo Quiroz, S. (2011). *REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS UTILIZANDO ZIGBEE/802.15.4*. Obtenido de https://nelwibaez.files.wordpress.com/2014/01/a_redes_de_sensores_inalambricos_utilizando_zigbee802154_a05yzx_.pdf
- Akyildiz, I., Balakrishnan, R., Yang, X., & Venkatachalam, M. (2011). Mobile relay and group mobility for 4G WiMAX networks. *2011 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 1224 - 1229. doi:10.1109/WCNC.2011.5779334.
- Aliaga, V. (2011). *Diseño, simulación y estudio de una red de sensores*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14237/Memoria.pdf?sequence=1>
- Amarillo, M. (2012). *Simulación de redes de sensores inalámbricos: un modelo energético a nivel de nodo-sensor bajo las especificaciones IEEE 802.15.4 y Zigbee*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12727/AmarilloRojasMiltonOsvaldo2012.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Anand, S., & Chandel, S. (2014). *Comparison of Routing protocols in Wireless Sensor Networks: A Detailed Survey*. Obtenido de The International Journal Of Engineering And Science (IJES). ISSN (e): 2319 – 1813 ISSN (p): 2319 – 1805: <http://www.theijes.com/papers/v3-i12/Version-3/D031203020027.pdf>
- Andrews, J. (2013). Seven ways that HetNets are a cellular paradigm shift. *IEEE Communications Magazine*, 51(3), 136 - 144. doi:doi:10.1109/MCOM.2013.6476878.

- ARCOTEL. (2020). INFRAESTRUCTURA Y COBERTURA. *Servicio Móvil Avanzado*, 02. Obtenido de <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BoletinEstadistico-May2020-SMA-CoberturaInfraestructura.pdf>
- Arenas, M., Bettancourt, R., Grote, A., Soto, M., & Grote, W. (2004). Análisis de Tasa Efectiva de Servicio y Retardo de GPRS y EDGE.
- Arriola, J. (2017). OPTIMIZACIÓN DE CLÚSTER EN REDES 3G MEDIANTE. *Universidad de San Carlos de Guatemala*.
- Bailey, S., Seegers, B., Werdell, P., Vandermeulen, R., Salls, W., Stumpf, R., . . . Loftin, K. (2021). Satellites for long-term monitoring of inland U.S. lakes: The MERIS time series and application for chlorophyll-a. *Remote Sensing of Environment*.
- Barbolla Asenjo, D. (2009). *Desarrollo de una aplicación de comunicación Bluetooth entre una PDA y sensores*. . Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior. Ingeniería en Informática.: <https://core.ac.uk/download/pdf/30043084.pdf>
- Barcell, F. (2010). *Wireless Sensor Network*. Obtenido de Sitio web: Manuel Fernández Barcell: <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>
- Barreno, D., Carrión, D., & Tenecora, I. (2016). EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÓVIL. CAMINO A 5G. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*. Obtenido de <http://www.eumed.net/rev/cccss/2016/04/5G.html>
- Capella, J. (2010). *Redes inalámbricas de sensores: Una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos*. . Obtenido de Tesis Doctoral de Universidad Politécnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8417/tesisUPV3326.pdf?seque>
- Casar Corredera, J. (2005). *TSSI Tecnologías y Servicios para la Sociedad de la Información*. . Consejo Social-UPM Universidad Politécnica de Madrid.

- CLARO. (22 de 01 de 2025). *MAPAS DE COBERTURA*. Obtenido de <https://www.claro.com.ec/personas/servicios/servicios-moviles/cobertura/>
- CNT. (22 de 01 de 2025). *Visor Geográfico de Servicios*. Obtenido de <https://gis.cnt.gob.ec/appgeoportal/?u=-78.61394,-1.63991,17>
- Dementyev, A., Hodges, S., Taylor, S., & Smith, J. (2016). *Power Consumption Analysis of Bluetooth Low Energy, ZigBee and ANT Sensor Nodes in a Cyclic Sleep Scenario*. Obtenido de Department of Electrical Engineering, University of Washington, Seattle, WA, USA: <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/IWS20201320wireless20power20consumption.pdf>
- Dietrich, I., Sommer, C., & Dressler, F. (2007). “*Simulating DYMO in OMNeT++*”, *Department of Computer Science, University of Erlangen, Technical*. Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.149.8764&rep=rep1&type=pdf>
- Dignani, J. (2011). *Análisis del protocolo Zigbee*. Obtenido de http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carreras/Especializaciones/Redes_y_Seguridad/Trabajos_Finales/Dignanni_Jorge_Pablo.pdf
- Earth, G. (Febrero de 2025). *Mapa San Gerardo*. Obtenido de https://earth.google.com/web/search/parroquia+cerca+de+San+Gerardo,+Ecuador/@-3.04981624,-79.63598588,1570.83219017a,82.11590518d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCU9AF4YdVjVAEU1AF4YdVjXAGfHE3uT3n0lAIS1Xi1eCDkrAQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP_____wEQAA
- Elahi, A., & Gschwender, A. (2009). *Introduction to the ZigBee Wireless Sensor and Control Network*. Obtenido de Informit: <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1409785>
- Fernández, R., Ordieres, J., González, A., & Alba, F. (2009). *Redes Inalámbricas de Sensores: Teoría y aplicación práctica*. ISBN: 978-84-692-30007-7 Logroño.

España: Publicaciones de Universidad de la Rioja. Obtenido de Repositorio Digital; Universidad de la Rioja.

Flores, E. (2012). *Redes de sensores Inalámbricos Aplicados a la Medicina*. Obtenido de Repositorio Digital de Universidad de Cantabria: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1288/349251.pdf?sequence=1>

Forsk. (23 de 01 de 2024). *Atoll Overview*. Obtenido de <https://www.forsk.com/atoll-overview>

GERARDO, G. A. (2020). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA*. Obtenido de https://gadsangerardo.gob.ec/wp-content/uploads/2024/03/PDOT_SAN_GERARDO_DEFINITIVO_DICIEMBRE_2.pdf

Glen, M., & J. Moreno. (2012). *Zigbee*. Obtenido de <https://sx-dc-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>

Grover, J., Sharma, S., & Sharma, M. (2014). *A Study of Geographic Adaptive Fidelity Routing Protocol in Wireless Sensor Network*. Obtenido de ResearchGate: <http://nubr.co/Po5iGm>

Guo, Y., Ansari, M., & Fonseca, N. (2021). Circuit Type Multiple Beamforming Networks for Antenna Arrays in 5G and 6G Terrestrial and Non-Terrestrial Networks. *IEEE Journal of Microwaves*, 704 - 722.

Holma., H., & Toskala, A. (2011). *LTE for UMTS: Evolution to LTE-advanced*. John Wiley & Sons.

Ibrahim, S. K. (2015). *Performance Evaluation of Zigbee Coordinator Fails Node with Different Topologies*. Obtenido de J Comput Sci Syst Biol 8:292-295.: <https://www.omicsonline.org/open-access/performance-evaluation-of-zigbee-coordinator-fails-node-with-different-topologies-jcsb-1000203.php?aid=60264>

- IELECTEL. (23 de 01 de 2024). *Radio Mobile: ¿Qué es y Cómo instalarlo?* Obtenido de <https://ielectel.com/radio-mobile-que-es-y-como-instalarlo/>
- INEC. (22 de 01 de 2025). *Geovisualizador - Resultados*. Obtenido de <https://www.censoecuador.gob.ec/resultados-censo/>
- Iraceburu González, J., & Goicoechea Fernández, J. (2014). *Desarrollo e implementación de una red inalámbrica de sensores de temperatura y humedad*. Obtenido de Universidad Pública de Navarra. Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación: http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/11846/TFG_IraceburuGonzalezJulen2014.pdf?sequence=1
- Javaid, N., Mohammad, N., Latif, K., Qasim, U., & Khan, A. (2013). *HEER: Hybrid Energy Efficient Reactive Protocol for Wireless Sensor Networks*. Obtenido de COMSATS Institute of Information Technology, Islamabad, Pakistan: <https://arxiv.org/pdf/1304.0617.pdf>
- Karl, H., & Willing, A. (2007). *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*.
- Kochar Tech. (2012). *Zigbee tutorial. Protocol,frame,PHY,MAC*. Obtenido de http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee_tutorial.html
- Lozano, G. (2015). DISEÑO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN MÓVIL UTILIZANDO TECNOLOGÍA 3G EN LA CIUDAD DE IQUITOS. *UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR*.
- Luque, J. (2012). Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. *ACTA*, 17 - 31.
- Maps, G. (18 de Febrero de 2025). Obtenido de <https://www.google.com/maps/@39.550051,-105.782067,6z?hl=es>
- Martinez, E. (2001). La evolución de la telefonía móvil - La guerra de los celulares . *Revista RED*, 2 - 6.
- Martínez, J., & Conde, H. (2013). *Red inalámbrica de sensores ambientales mediante uso de la tecnología Zigbee*. Obtenido de

<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/13168/1/Red%20Inalambrica%20de%20Sensores%20Ambientales%20Mediante%20el%20Uso%20de%20la%20Tecnologia%20ZIGBEE.pdf>

MOVISTAR. (22 de 01 de 2025). *Mapa de Cobertura*. Obtenido de <https://www.movistar.com.ec/mapa-de-coberturas>

Orozco, F., Andrade, M., Orozco, J., & Villarroel, M. (2017). Uso de tecnología HSPA (HSPA +) y su evolución con la generación de los celulares. *Revista CTU*, 4(3). doi:<https://doi.org/10.26423/rctu.v4i1.246>

Peñañiel, L., & Chenche, F. (2015). La convivencia de la tecnología 4G con 3G y 2G en Ecuador. *INVESTIGATIO*(6), 15 - 37. doi:<https://doi.org/10.31095/investigatio.2015.6.1>

Querol, J. (2011). *Estudio y evaluación de prestaciones de redes inalámbricas de sensores*. Obtenido de Repositorio Digital Universidad de Valencia: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10354/Proyecto_Querol.pdf

Rappaport, T., MacCartney, G., Samimi, M., & Sun, S. (2015). Wideband Millimeter-Wave Propagation Measurements and Channel Models for Future Wireless Communication System Design. *IEEE Transactions on Communications*, 3029 - 3056.

REMCOM. (23 de 01 de 2024). *Modelos empíricos de propagación*. Obtenido de <https://es.remcom.com/wireless-insite-em-propagation-software/empirical-propagation-models>

Risteska, B., Chatzimisios, P., & Avramova, A. (2014). *Application of Wireless Sensor Networks for Indoor Temperature Regulation*. Obtenido de SAGE Journals: <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1155/2014/502419>

Rodriguez, O., Hernández, R., Torno, L., García, L., & Rodriguez, R. (2005). Telefonía móvil celular: origen, evolución, perspectivas. *Ciencias Holguín*, 11(1), 1 - 8.

- Saldaña, J. M. (2011). *TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE RED PARA LA MEJORA DE LA COMUNICACIÓN EN SERVICIOS DE TIEMPO REAL*. Obtenido de http://diec.unizar.es/~jsaldana/personal/doctoral_thesis_jsaldana.pdf
- Shen, B., & Song, J. (2016). *A Method of Data Aggregation for Wearable Sensor Systems*. Obtenido de *Sensor* 16 (7). doi: 10.3390 / s16070954: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4970008/>
- Suárez, C. (2014). *Algoritmo de Detección y Notificación de Apuntamiento Entre Nodos de una Red Inalámbrica Móvil de Sensores* . Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12743/SuarezSuarezCarlosRene2014.pdf?sequence=1>
- Thakur, A. (2012). *EngineersGarage*. Obtenido de *La tecnología ZigBee*: <http://www.engineersgarage.com/articles/what-is-zigbee-technology?page=3>
- UDLAP. (2024). *Modelos de Propagación*. Obtenido de https://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/trevino_c_jt/capitulo5.pdf
- UIT-T. (2014). *Una visión general de las ciudades inteligentes sostenibles y el papel de las tecnologías de la información y comunicación* . Obtenido de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjv_6Ds35XRAhXC7iYKHe_HC8UQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.itu.int%2Fen%2FITU-T%2Ffocusgroups%2Fssc%2FDocuments%2FApproved_Deliverables%2FTR-Overview-SSC-espanol.docx
- Valle, V. (2009). Evolución de la telefonía celular en el Ecuador y la demanda de ingenieros en telecomunicaciones. *Revista Alternativas*, 10(14). Obtenido de link.gale.com/apps/doc/A233291768/IFME?u=anon~da6bac8e&sid=googleScholar&xid=d09d1940
- Vargas, D., & Cardona, J. (2016). Telefonía móvil: una utopía nacida con el DynaTAC 8000X. *Ventana Informática*(34), 25 - 40. Obtenido de

<https://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/ventanainformatica/article/view/1706/1758>

Villacrés, L. (2017). PRECIO E INGRESO Y SU INCIDENCIA EN LA DEMANDA DE TELEFONÍA MÓVIL EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA. AÑO 2015. *Repositorio UNACH*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/3809/1/UNACH-EC-FCP-ECO-2017-0009.pdf>

Wilamowski, B., & Irwin, D. (2011). *Industrial Communication Systems*. 2° Edición. Boca Ratón. USA: CRC Press.

XBee. (2016). *¿Qué es XBee?* Obtenido de Ingeniería MCI Ltda.: <http://xbee.cl/que-es-xbee/>

GLOSARIO

- **AMPS:** Advanced Mobile Phone System
- **GSM:** Global System for Mobile Communication
- **LTE:** Long-Term Evolution Time
- **ARCOTEL:** Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
- **CNT:** Corporación Nacional de Telecomunicaciones
- **VoIP:** Voz sobre IP
- **UMTS:** Universal Mobile Telephone System
- **URSI:** Unión Radiocientífica Internacional
- **UHF:** Ultra High Frequency
- **TDT:** Televisión Digital Terrestre
- **FDMA:** Frequency Division Multiple Access
- **SMS:** Servicio de Mensajes Cortos
- **CDMA:** Acceso Múltiple por División de Código
- **TDMA:** Acceso múltiple por división de tiempo
- **GPRS:** General Packet Radio System
- **HSPA:** High-Speed Packet Access
- **IP:** Internet Protocol
- **OFDMA:** Orthogonal Frequency Division Multiple Access
- **MIMO:** Multiple Input Multiple Output
- **OWA:** Open Wireless Architecture
- **WWW:** Wireless-World Wide Web
- **CN:** Red Central
- **UE:** User Equipment
- **RNS:** Subsistema de Red de Radio
- **RNC:** Controladores de Red de Radio
- **BTS:** Base Transceiver Station
- **NAS:** Non Access Stratum
- **MSC:** Mobile Switching Center
- **HLR:** Home Location Register

- **VLR:** Visitor Location Register
- **EIR:** Equipment Identity Register
- **AuC:** Authentication Center
- **SGSN:** Serving GPRS Support Node
- **VAN:** Valor Actual Neto
- **TIR:** Tasa de Retorno de Inversión



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Saigua Carvajal, Silvia Fernanda**, con C.C: # **0604180844** autor del trabajo de titulación: **Diseño de una solución para ampliar la cobertura de la red móvil 3G en la parroquia San Gerardo de la provincia de Chimborazo**, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 11 días del mes de abril año 2025.

f.  _____

Nombre: **Saigua Carvajal, Silvia Fernanda**

C.C: **0604180844**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Diseño de una solución para ampliar la cobertura de la red móvil 3G en la parroquia San Gerardo de la provincia de Chimborazo		
AUTOR(ES)	Saigua Carvajal, Silvia Fernanda		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Zamora Cedeño, Néstor Armando; Ubilla González, Ricardo Xavier; Bohórquez Heras, Daniel Bayardo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	11 de abril de 2025	No. DE PÁGINAS:	70 p.
ÁREAS TEMÁTICAS:	Tecnología, Telecomunicación, Medios de información, Análisis de datos.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	3G, Drive Test, Nivel de Señal, Cobertura, VAN, TIR.		
RESUMEN/ABSTRACT: La parroquia de San Gerardo en la provincia de Chimborazo que no tiene acceso a un servicio móvil de calidad ya que posee en su mayoría de zonas niveles de señal bajos. Por esta razón se plantea el diseño de una solución para ampliar la cobertura de la red móvil 3G en esta parroquia. Se realizó un diagnóstico de la situación actual verificando la cobertura limitada, con niveles de señal muy bajos o inexistentes, que mediante un Drive Test se registraron eventos obteniendo que únicamente el 17.01% de las llamadas se efectuaron con éxito. De igual manera se verificó que 1025 eventos registrado se encuentra en el rango de -101 a -93 dB siendo una calidad muy baja en todo el recorrido, esto debido a la lejanía del nodo y las interferencias generadas por los obstáculos naturales. Se simuló las propuestas planteadas verificando que la mejor opción es la instalación del Nodo en la Junta Parroquial de San Gerardo generado una cobertura de 6.59Km las cuales fueron comprobadas por Radio Mobile y Atoll.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +	E-mail:	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Bohórquez Escobar Celso Bayardo		
	Teléfono: 09995147293		
	E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			