



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Maestría en Telecomunicaciones

Diseño de radio base multi operadora celular para centro parroquial de Nambacola

**Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Magíster
en Telecomunicaciones.**

AUTOR:

Ing. Sergio René Jaramillo Pinta

DIRECTOR:

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 08 de junio de 2023

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de radio base multi operadora celular para centro parroquial de Nambacola**, , previo a la obtención del título de **Magíster en Telecomunicaciones** de autoría del estudiante **Sergio René Jaramillo Pinta**, con **cédula de identidad N.º 1104190705**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, Sergio René Jaramillo Pinta, declaro ser autor presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1104190705

Fecha: 12 06/2023

Correo electrónico: sergio.r.jaramillo@unl.edu.ec

Teléfono : 0995913252

Carta de autorización por parte del autor para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Titulación.

Yo, **Sergio René Jaramillo Pinta**, declaro ser autor del trabajo de Titulación denominado: **Diseño de radio base multi operadora celular para centro parroquial de Nambacola**, como requisito para optar el título de **Magíster Telecomunicaciones**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los doce días del mes de junio de dos mil veintitrés.

Firma:

Autor: Sergio René Jaramillo Pinta

Cédula: 1104190705

Dirección: Loja, calle Zapotillo 1815 y Chile

Correo Electrónico: sergio.r.jaramillo@unl.edu.ec

Teléfono: 0995913252

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Daniel Jaramillo y Esther Pinta (+) por cuidar de mi cuando niño y enseñarme a vivir correctamente, a mi esposa Verónica por su apoyo incondicional, a mis hijos Alison, Daniel, Samantha, Romina y Renata por ser el soporte de mi día a día.

Dedico también este trabajo a mi querida parroquia Nambacola, por ser el lugar donde nací y recibí la instrucción primaria, pilar de toda la formación académica que he recibido.

Sergio René Jaramillo Pinta

Agradecimiento

Inicio mis agradecimientos recordando las palabras de Cantinflas “Y como decía Napoleón: El que parte y reparte, le toca su Bonaparte”.

Agradezco a Dios por darme vida, salud y rodearme de personas positivas que me incentivan y motivan diariamente a ser mejor.

Mi agradecimiento a mis padres por inculcarme siempre la búsqueda de la superación, a través del estudio y de la vida diaria.

A mi esposa e hijas por acompañarme en este reto académico, brindándome el espacio y el tiempo necesario para desarrollar mis estudios.

A mis 10 Hermanos, por el apoyo y ánimos expresados al inicio de este proceso de estudios.

A la empresa Telconet por facilitarme los medios para continuar con mis estudios superiores, particularmente a mi jefe Ing. Efraín Encarnación por sus palabras de aliento y motivación para seguir adelante y en general a todos mis compañeros de labores.

A los maestros de la Universidad Nacional de Loja por los importantes conocimientos y experiencias compartidos en las clases, de manera particular el agradecimiento a mi tutor Ing. Pabel Merino por el apoyo y motivación en el desarrollo del presente proyecto.

Sergio René Jaramillo Pinta

Índice de Contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de tablas:	ix
Índice de figuras:	ix
Índice de anexos:	x
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	2
3. Introducción	3
3.1. Servicio Móvil Avanzado	3
3.2. Servicio Móvil Avanzado en el Ecuador	4
3.3. Servicio Móvil Avanzado en sectores rurales del Ecuador	5
4. Marco Teórico	7
4.1. Contexto regulatorio de Telecomunicaciones en zonas rurales	7
4.2. Realidad de las Telecomunicaciones en zonas rurales del Ecuador	7
4.3. Cobertura de operadoras en parroquia Nambacola	8
4.4. Tecnología UMTS	10
4.5. Arquitectura de red	10
4.5.1. RNS (Radio Network Subsystem)	11
4.5.2. RNC (Radio Network Controller)	11
4.5.3. NodoB	12
4.5.4. Radio base	12
4.5.5. UE (User Equipment)	12
5. Metodología	14

5.1.	Metodología de la investigación.....	14
6.	Resultados.....	15
6.1.	Radio base	15
6.2.	Sistema de energía eléctrica	16
6.3.	Torre auto-soportada	17
6.4.	Conexiones de backbone.....	18
6.5.	Cobertura	20
6.6.	Implementación, Operación y Mantenimiento	22
	6.6.1. Implementación	22
	6.6.2. Operación y mantenimiento.....	22
7.	Discusión.....	24
7.1.	Ventajas	24
7.2.	Desventajas.....	24
8.	Conclusiones.....	25
9.	Recomendaciones.....	26
10.	Referencias bibliográficas.....	27
11.	Anexos.....	29

Índice de Tablas:

<i>Tabla 1. Tecnologías 3gpp release 12</i>	13
<i>Tabla 2. Frecuencias 4G</i>	20

Índice de Figuras:

<i>Figura 1. Elementos de SMA</i>	3
<i>Figura 2. Líneas activas y participación en el mercado</i>	5
<i>Figura 3. Mapa de Cobertura de Conecel S.A.</i>	8
<i>Figura 4. Mapa de cobertura Otecel S.A.</i>	9
<i>Figura 5. Mapa de cobertura CNT E.P.</i>	9
<i>Figura 6. Arquitectura UMTS</i>	11
<i>Figura 7. NodoB en UMTS</i>	12
<i>Figura 8. Organigrama del diseño de radio base multi operadora</i>	14
<i>Figura 9. Ubicación geográfica</i>	15
<i>Figura 10. Esquema interno de radio base</i>	16
<i>Figura 11. Torre auto soportada de base cuadrada</i>	17
<i>Figura 12. Esquema de conexión de backbone</i>	18
<i>Figura 13. Ruta de fibra óptica desde manga Telconet</i>	19
<i>Figura 14. Esquema de conexión entre ODF y CPE</i>	20
<i>Figura 15. Cobertura Claro</i>	21
<i>Figura 16. Cobertura esperada de Movistar</i>	21
<i>Figura 17. Cobertura esperada de CNT</i>	21

Índice de Anexos:

Anexo 1. Recomendación G.652.....	29
Anexo 2. Interfaces 1000BASE-BX.....	30
Anexo 3. Resumen de características Cisco 1111 8p	31
Anexo 4. Certificado de traducción de resumen.....	32

1. Título

Diseño de radio base multi operadora celular para centro parroquial de Nambacola

2. Resumen

En el presente proyecto se diseñó una radio base multi operadora celular con la finalidad de brindar una alternativa de solución a la cobertura de red de Servicio Móvil Avanzado (SMA) deficiente en las comunidades rurales del Ecuador y particularmente en la parroquia Nambacola; estos sectores por lo general son excluidos de los proyectos de cobertura de las operadoras de telefonía móvil por lo que se plantea esta solución económicamente viable para las operadoras celulares, reutilizando tecnología de cuarta generación UMTS la cual se prevé sea desmontada en los próximos años en las ciudades principales por la implementación de 5G. Se define la conexión de backbone mediante una única fibra óptica y por la cual se implementará túneles lógicos que nos permitan la interconexión a cada una de las 3 operadoras; finalmente se plantea las reglas de operación y mantenimiento de la radio base.

***Palabras Clave:** Rurales, UMTS, backbone, 5G, túneles lógicos.*

2.1. Abstract

This project a multi-operator cellular base radio was designed with the purpose of providing an alternative solution to the deficient Advanced Mobile Service (AMS) network coverage in rural communities of Ecuador and particularly in the Nambacola parish; these sectors are generally excluded from the coverage projects of the mobile operators, thus this solution is economically viable for the cellular operators, reusing fourth generation UMTS technology which is expected to be dismantled in the coming years in major cities due to the implementation of 5G. The backbone connection is defined by means of a single optical fiber and through which logical tunnels will be implemented to allow interconnection to each of the 3 operators; finally, the rules of operation and maintenance of the radio base are raised.

***Keywords:** Rurals, UMTS, backbone, 5G, logical tunnels.*

3. Introducción

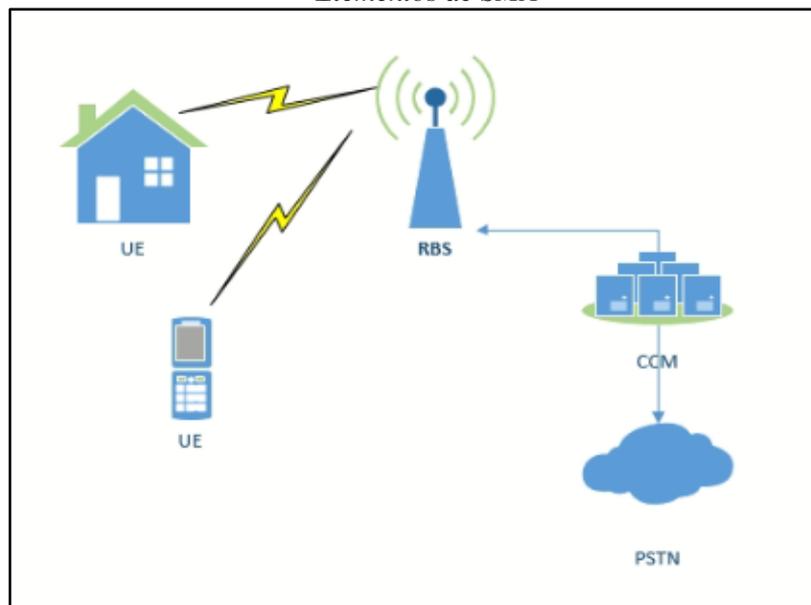
3.1. Servicio Móvil Avanzado

El SMA se conoce de forma abreviada como telefonía celular, consiste en un sistema de comunicación inalámbrico móvil, en el cual la zona de cobertura es dividida en celdas y cada celda es servida por una estación de radiocomunicaciones. Su principal característica es la movilidad la cual permite que cuando un abonado se mueve es atendido por la estación correspondiente a la celda en que se encuentra y al transitar a una celda vecina se produce proceso de handover mediante el cual pasa a ser atendido por la estación vecina sin que se pierda la comunicación.

El SMA en general se compone principalmente de tres elementos referenciales que se muestran en la figura 1:

- **UE** (user equipment): la unidad de abonado o conocido como teléfono celular, este elemento puede ser estático o estar en movimiento.
- **RBS** (radio base station): las estaciones de radio base, que dan servicio a cada celda.
- **CCM**: centros de conmutación los cuales permiten establecer las conexiones entre diferentes RBS y la red telefónica convencional.

Figura 1
Elementos de SMA



Fuente:(editada de 3GGP¹, reléase 2012)

¹ Organización formada por asociaciones de telecomunicaciones.

En el Ecuador el SMA actualmente se encuentra implementado con tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), este equipamiento de cuarta generación permite ofrecer a través de las redes celulares los siguientes servicios:

Servicio Principal

Transmisión de voz y datos

Servicios Especiales

- Servicio de mensajes cortos SMS
- Transferencia de llamada.
- Llamada en espera.
- Conferencia.
- Video Conferencia
- Navegación en Internet.
- Roaming, entre otros.

3.2. Servicio Móvil Avanzado en el Ecuador.

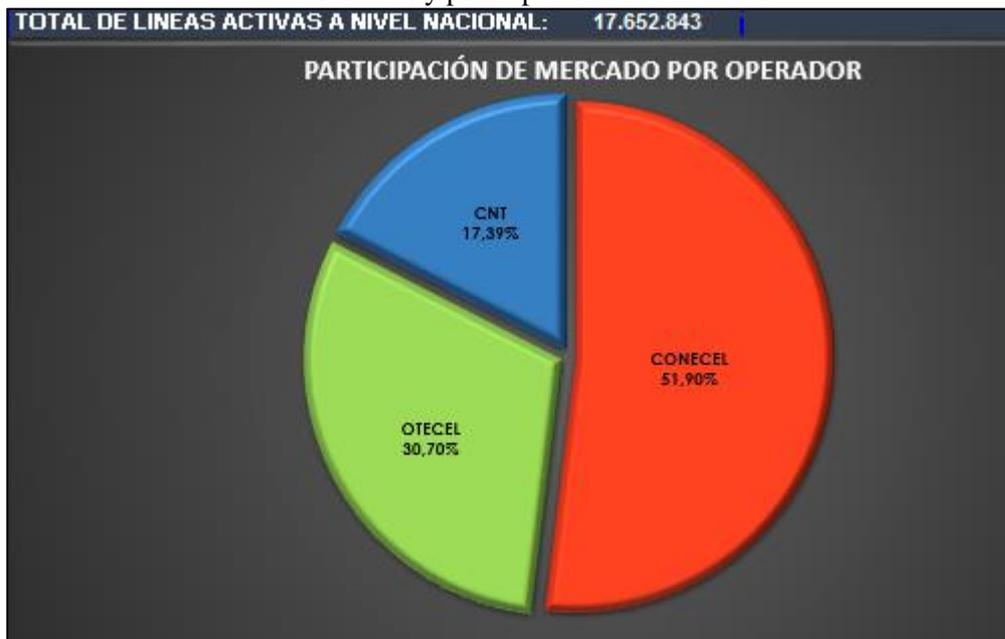
El Servicio Móvil Avanzado - SMA - en nuestro país tiene sus inicios en 1990 cuando el IETEL contrata a la consultora estadounidense Teleconsult para realizar estudios de la Telefonía Celular, seguidamente en 1992 se aprueba la Ley Especial de Telecomunicaciones; este hecho viabiliza la concesión de servicios de telecomunicaciones al sector privado, con lo cual se concesiona en 1993 las dos primeras operadoras celulares Conecel S.A., y Otecel S.A., (Aguilar Aguilar, 2021) posteriormente se suma la estatal CNT E.P.

- Conecel S.A. nombre comercial Claro, se encuentra operando desde 1993 en las bandas de 800 MHz y 1900 MHz.
- Otecel S.A. nombre comercial Movistar, opera en el Ecuador desde 1933, con concesiones en las bandas de frecuencias de 800 MHz y 1900 MHz.
- CNT E.P, corresponde a la estatal Corporación Nacional de Telecomunicaciones, inició operaciones en 2003 con el nombre de Alegro PCS, tiene concesiones en la banda de 1900 MHz.

A marzo de 2023, la participación en el mercado ecuatoriano sigue dominado por el operador Conecel con el 51.9%, como se aprecia en la figura 2.

Figura 2

Líneas activas y participación en el mercado



Fuente: (Arcotel, marzo 2023)

3.3. Servicio Móvil Avanzado en sectores rurales del Ecuador.

“La telefonía celular es ampliamente utilizada en Ecuador, tanto en zonas urbanas como en rurales, lo cual facilita, dinamiza e impulsa la interacción de las relaciones sociales y económicas de la población sin distinción de género, etnia o edad” (Flores, 2010, p. 6).

Las características geográficas de las zonas rurales, la dispersión demográfica y concentración de la pobreza tradicionalmente ha incrementado el grado de vulnerabilidad y marginación en relación con el resto de la población; dificultando la provisión de servicios básicos, educación, salud y actualmente privándoles de un servicio de cobertura celular eficiente.

En los planes de negocio de las operadoras no figuran las áreas rurales ya que no son económicamente rentables dada la reducida demanda y difícil acceso para las conexiones troncales.

Ante esta problemática se plantea la instalación en zonas rurales de una radiobase, con el equipamiento necesario para dar cobertura a las 3 operadoras que funcionan actualmente en el País.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una radiobase multi operadora para dar cobertura al centro urbano de la parroquia Nambacola y barrios aledaños.

Objetivos específicos

Diseñar la ubicación de radiobase para dar cobertura celular 4G en el centro urbano de la parroquia y sus alrededores.

Diseñar las conexiones de backbone para llevar las conexiones de las 3 operadoras Otecel S.A., Conecel S.A., y CNT E.P.

Establecer las normas de operación y mantenimiento de la radiobase que permita la sustentabilidad del proyecto.

4. Marco Teórico

4.1. Contexto regulatorio de Telecomunicaciones en zonas rurales

En la cumbre de Lisboa en marzo de 2000, los jefes de estado de la comunidad europea, determinaron la máxima que: “Las empresas y los ciudadanos deben tener acceso a una infraestructura de Telecomunicaciones barata y de calidad, a una amplia gama de servicios”, sin embargo, el acceso universal descrito no se da debido sobre todo a factores económicos.

La constitución política del Ecuador en vigencia desde 20 de octubre de 2008, en el artículo 314 establece como servicio público a los servicios de telecomunicaciones, siendo el Estado responsable de su provisión, garantizando los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad velando porque los precios y tarifas sean equitativos (Calero Terán, 2009). Pero en la práctica esto es únicamente un enunciado ya que las operadoras no lo cumplen, incumpliendo sobre todo el carácter de universalidad del servicio.

Tradicionalmente en el Ecuador a pesar de ser considerado el sector rural el motor agropecuario del país, no se le presta las facilidades necesarias para su desarrollo en distintos ámbitos, principalmente en cuanto a conectividad y cobertura celular se refiere.

En la era post pandemia las comunicaciones celulares se constituyen en un factor indispensable para el desarrollo del pueblo ecuatoriano, debido a que los negocios, educación, entre otros servicios se colocaron en línea. Convirtiendo al celular en una herramienta de trabajo a más de ser un instrumento de comunicación, de tal forma que el que cuenta con acceso a internet desde el celular puede agilizar estudios, transacciones, etc. y a su vez se convierte en una limitante para el que no tiene acceso.

4.2. Realidad de las Telecomunicaciones en zonas rurales del Ecuador

Las poblaciones rurales pequeñas y medianas no son atractivas económicamente para las operadoras celulares, por lo que no se cuenta con cobertura eficiente en estas comunidades convirtiéndose en un factor negativo que agrava las condiciones de subdesarrollo. La telefonía fija no es una opción dada la dispersión poblacional que complica el despliegue de redes de este tipo inclusive para la estatal CNT.

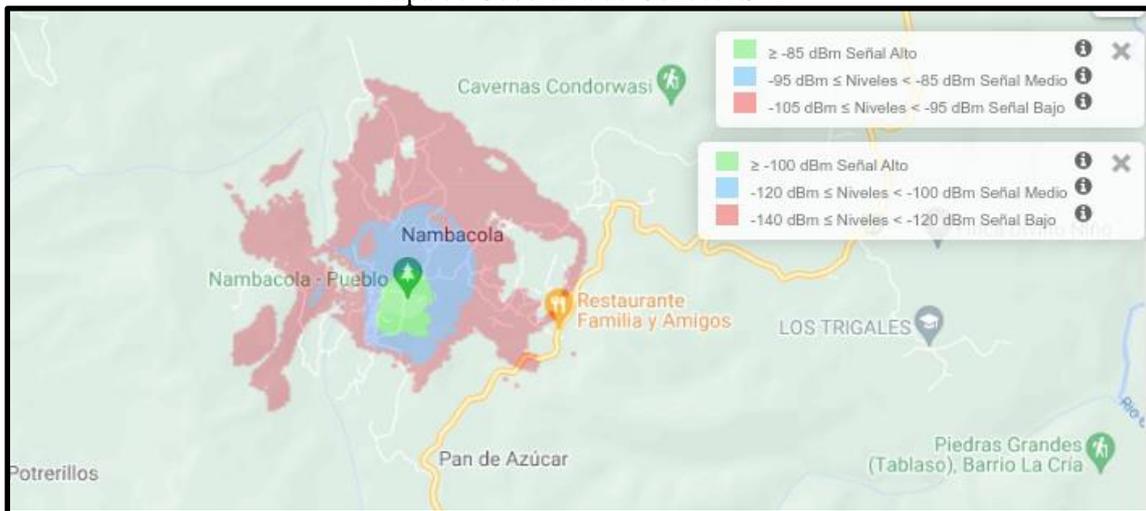
La parroquia rural Nambacola, situada al noreste del cantón Gonzanamá, limita con los cantones de Catamayo y Paltas con su límite natural el río Catamayo, es eminentemente agrícola y ganadera, comprende una extensión de 310 Km², con una población de 4520 habitantes.

4.3. Cobertura de operadoras en parroquia Nambacola

La cobertura celular es escasa en la parroquia dificultando la comunicación a sus habitantes, únicamente cuenta con cobertura celular del operador CONECEL S.A., en el centro parroquial y en determinados sectores de la vía Panamericana en su eje suroccidental denominado E69 en su tránsito Loja - Cariamanga. Respecto a la cobertura de operadora CNT E.P y OTECEL S.A es nula en la parroquia.

Como se muestra en la Figura 3 la señal de cobertura del único operador Conecel S.A. sólo cuenta con niveles altos ≥ -85 dBm en el sector urbano de la parroquia, los barrios cercanos cuentan con niveles medios de señal con niveles comprendidos entre -95 dBm y -85 dBm; y la mayor parte de la parroquia cuenta con niveles bajos de señal con valores comprendidos entre -105 dBm y -95 dBm.

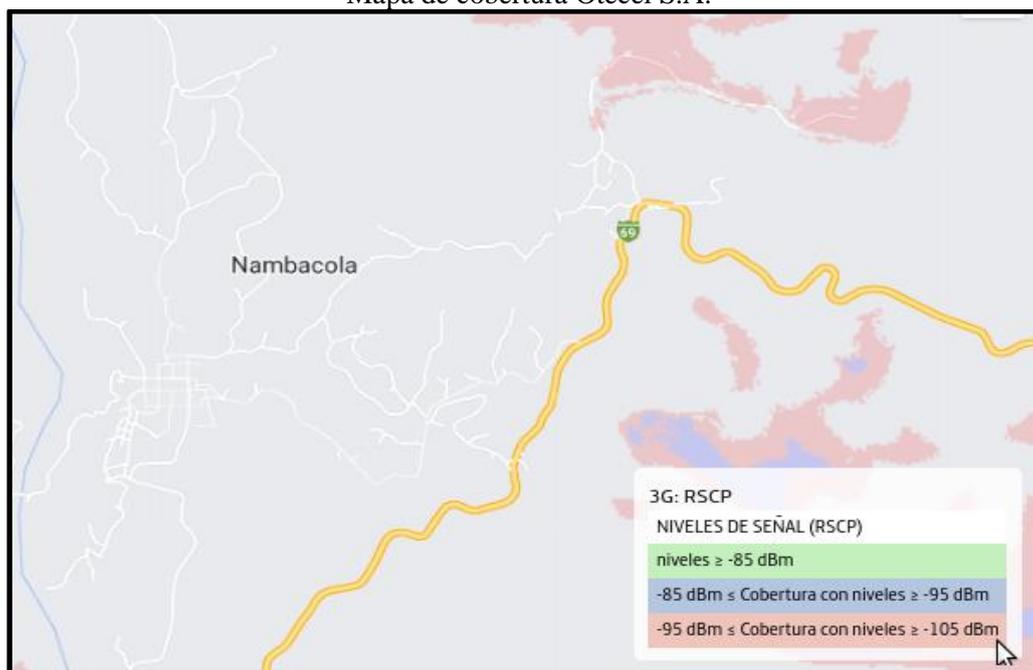
Figura 3
Mapa de Cobertura de Conecel S.A.



Fuente: (Cobertura claro, marzo 2023)

En la Figura 4, podemos evidenciar la cobertura de operadora Otecel S.A. es nula en la parroquia.

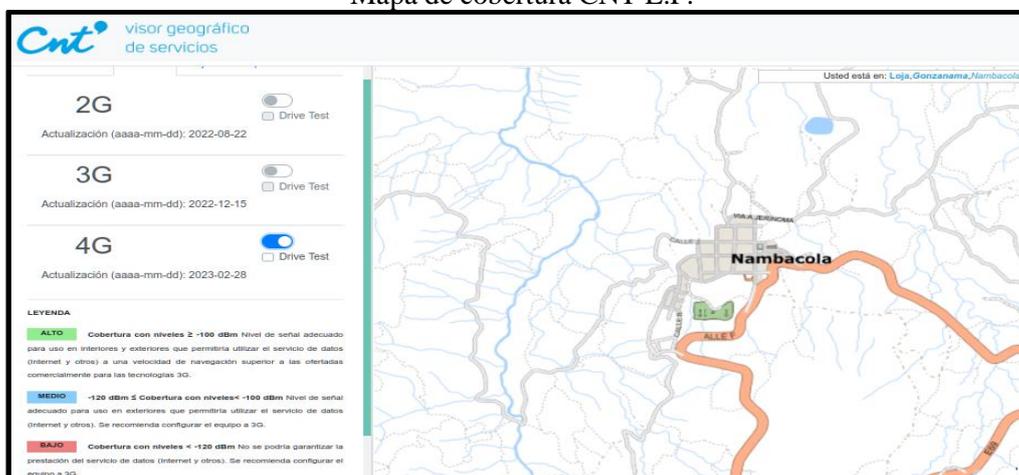
Figura 4
Mapa de cobertura Otecel S.A.



Fuente: (Cobertura claro, marzo 2023)

De igual forma en la Figura 5 se puede apreciar que no existe cobertura celular del operador CNT E.P.

Figura 5
Mapa de cobertura CNT E.P.



Fuente: (Cobertura CNT, marzo 2023)

Tal como se describe en las gráficas anteriores, existe un problema grave de cobertura celular en la parroquia, por lo que se hace necesario contar con una solución tecnológica sustentable que permita a los habitantes elegir la operadora de su preferencia.

En el ámbito regulatorio la propuesta se enmarca en lo dispuesto en el artículo 92 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones y el artículo 60 del reglamento a la Ley Orgánica de

Telecomunicaciones, según el cual los prestadores de servicios de telecomunicaciones pagarán en dinerario² la contribución al 1% de los ingresos facturados y percibidos de cada uno de los servicios, o también lo podrán realizar a través de la ejecución de proyectos de prioridad nacional, preferentemente destinados a mejorar la conectividad en áreas rurales o urbano-marginales, para reducir la brecha digital, garantizar el servicio universal y la modernización del Estado, a través de crecimiento tecnológico; y mediante la ejecución de obligaciones de hacer o la ejecución de planes o programas relacionadas con la prestación de servicios y ampliaciones de cobertura en zonas rurales, urbano marginales, zonas priorizadas, así como en áreas de especial interés para el Estado ecuatoriano que atiendan segmentos vulnerables de la población que consten en el Plan de Servicio Universal.

Con la llegada de 5G³, se espera que el equipamiento de 4G sea desmontado de las ciudades principales del país, este equipamiento se puede reutilizar para dar la cobertura propuesta en las zonas rurales generando alianzas entre las operadoras evitando de esta forma la chatarrización de equipamiento utilizable.

4.4. Tecnología UMTS

Universal Mobile Telecommunications System, es un estándar de tercera generación desarrollado por el 3GPP cuya base es el estándar GSM. Diseñado para comunicaciones multimedia al combinar la red conmutada por circuitos con la red conmutada por paquetes, permitiendo incrementar la cantidad de usuarios conectados y a diferencia de su predecesora es una red con mejores tasas de transferencia de datos móviles (Vaca Rogel, 2021).

4.5. Arquitectura de red

Se basa en tecnología WCDMA usando la mayoría de elementos del subsistema NSS de la red GSM para brindar servicios de tercera generación. La diferencia entre GSM y UMTS es el reemplazo de BSC y BTS por la Radio Network Controller (RNC) y el Nodo B respectivamente.

² En dinero

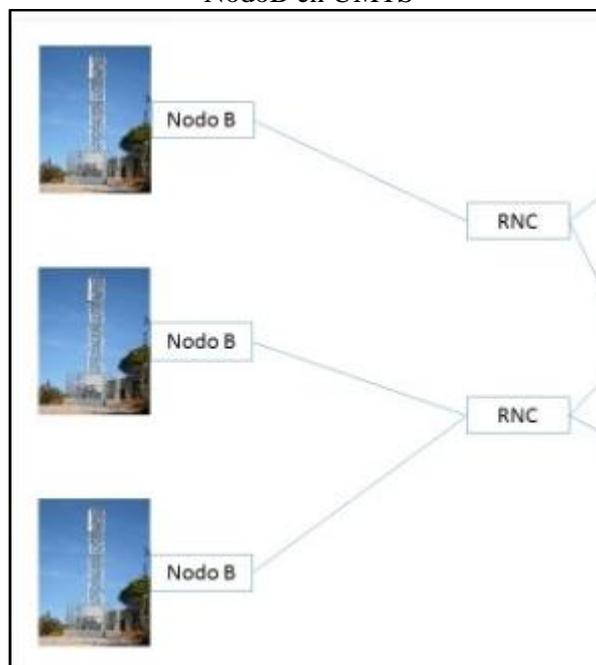
³ También conocida como New Radio, está diseñada para aumentar velocidad, reducir latencia y mejorar flexibilidad en los servicios inalámbricos

4.5.3. *NodoB*

Es la radio base en UMTS, es responsable del envío y recepción de datos hacia el usuario a través de la interface aire y su posterior transmisión hacia la RNC. Se encuentran sectorizados en celdas para incrementar la capacidad de un área de cobertura. Entre sus principales características se puede listar.

- Establece el enlace con el UE
- Envío de reportes hacia la RNC
- Codificación de canal
- Control de potencia hacia la UE

Figura 7
NodoB en UMTS



Fuente: Estándar 3GPP, editado por autor

4.5.4. *Radio base*

Es el elemento visible para el usuario de las redes en el SMA, es el lugar donde se realiza la interconexión física entre los elementos del core de la red con el UE para acceder al servicio celular, determina la cobertura la cual dependerá de la cantidad de estos elementos desplegados y la tecnología utilizada. Están compuestas por módulos de banda base, módulos de radiofrecuencia y antenas.

4.5.5. *UE (User Equipment)*

Es el equipo de usuario comúnmente conocido como “celular”, pero al cual se le agregó capacidad de procesamiento que le permite ser usado ya no solo como un teléfono sino también como computador, está formado esencialmente por: circuitos de radiofrecuencia,

procesamiento, antena, batería y módulo de USIM. Este dispositivo se encuentra ubicado fuera de la red UMTS y permite generar comunicación entre el usuario y la red donde exista cobertura (Chimbo Rodriguez, 2012).

Este dispositivo se clasifica en 8 categorías, dependiendo de las prestaciones y esquemas de modulación.

Tabla 1

Tecnologías 3gpp release 12

	UE Category	Data Rate DL/UL (Mbps)	Downlink	Uplink	
			Max number of layers	Max number of layers	Support for 64QAM
LTE	1	10 / 5	1	1	No
	2	50 / 25	2	1	No
	3	100 / 50	2	1	No
	4	150 / 50	2	1	No
	5	300 / 75	4	1	Yes
LTE-A	6	300 / 50	2 or 4	1 or 2	No
	7	300 / 100	2 or 4	1 or 2	No
	8	3000 / 1500	8	4	Yes

Fuente: (LTE-Advanced CA UE Categories, 2020)

5. Metodología

La metodología utilizada es del tipo aplicada con un enfoque cuantitativo que nos permite conocer el estado actual de la cobertura celular en zonas rurales, y plantear el diseño de una radiobase como alternativa para dar cobertura con las 3 operadoras en la parroquia Nambacola.

La zona de estudio es la cabecera parroquial de Nambacola y sus barrios aledaños, se analizará ubicación de radiobase para dar la mayor cobertura posible.

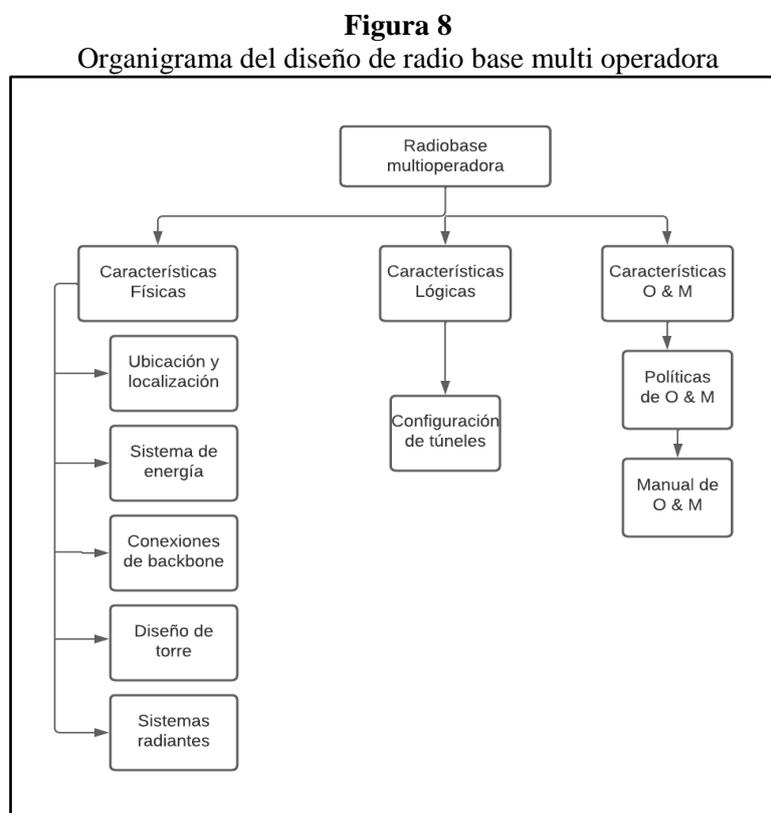
El diseño incluirá ubicación de sistemas radiantes en la torre para evitar problemas en la instalación de los equipos de las distintas operadoras, interferencias.

Adicionalmente, se incluye diseño de conexión backbone que nos permitirá la interconexión hacia las redes de cada operadora a través de una sola conexión con capacidad gigabit sobre la cual se levantará conexiones lógicas.

5.1. Metodología de la investigación

La radiobase se diseñará con características físicas, lógicas, operación y mantenimiento que nos permitan el funcionamiento eficiente.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, se describe el esquema a seguir para obtener el diseño de la radiobase.



6. Resultados

6.1. Radio base

Con el objetivo de dar cobertura al área requerida, se consideran las diferentes condiciones como geografía, cercanía de red eléctrica, vía de acceso, modelo de propagación, altura de la torre, etc.

La ubicación de la radiobase se propone realizar sobre terreno firme ubicado las coordenadas: 4°08 '37.5 " latitud Sur 79°25' 45.2" longitud occidental, a 1878 msnm la misma que ocupará un área 180 metros cuadrados comprendido por 12m de ancho por 15m de largo.

Figura 9
Ubicación geográfica



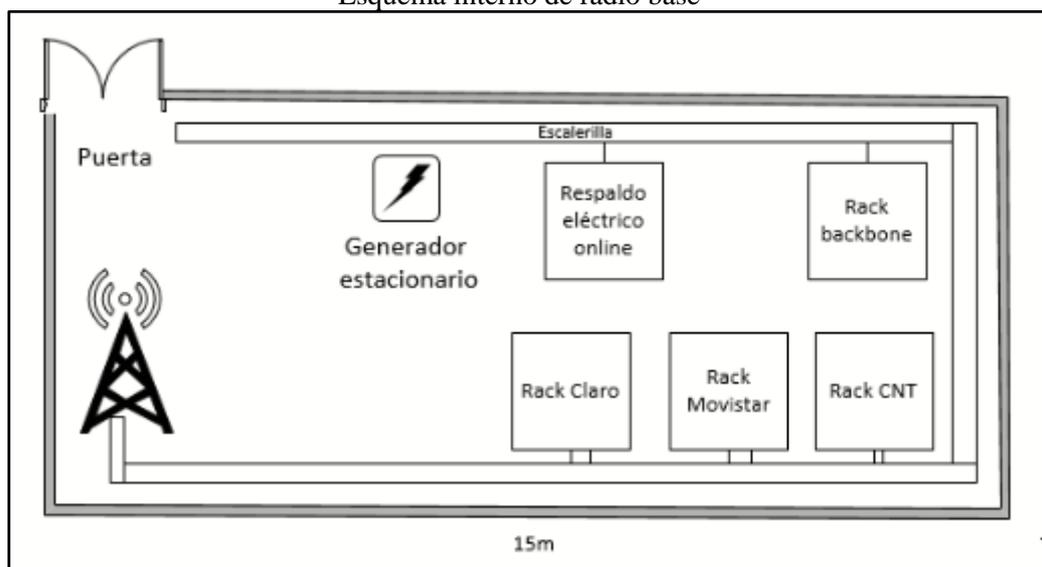
Fuente: tomada de Google Earth, editada por autor

El área destinada para la construcción tendrá las siguientes características:

- Cerramiento con paredes de ladrillo, con altura de 2.5m en la parte superior se instala alambre de púa para evitar los accesos no autorizados.
- Puerta metálica.
- Sistema de alarma.
- Se contará con escalerilla en el contorno interno de toda la RBS, por el cual se guiará el cableado, eléctrico, de radiofrecuencia y comunicaciones.
- El área se asigna para respaldo eléctrico con generador estacionario, seguido de respaldo eléctrico online, los cuales serán de uso común para las 3 operadoras.
- Área para rack de backbone al cual llegará la conexión de fibra óptica mediante la cual se levantará los enlaces lógicos hacia las redes de las 3 operadoras.

- Se tiene 3 áreas para rack de donde se ubicará las BBU⁴ y las RRU⁵ de capa operadora de forma separada.
- Finalmente, frente a la puerta de acceso se destina el área para la torre auto-soportada.
- A excepción de la torre todas las demás áreas serán cubiertas por techo soportado por estructura metálica.

Figura 10
Esquema interno de radio base



6.2. Sistema de energía eléctrica

La radiobase contará con alimentación eléctrica redundante desde la red pública EERSSA con 120V, con las siguientes características:

- Sistema de puesta a tierra, con mallado de varillas de cobre distribuidas internamente en la radiobase, con resistencia de 10 ohmios (Moran Acosta, 2021).
- La acometida desde el último poste hasta el medidor ubicado en la pared de la RBS se realizará por ducto.
- Supresor de transientes⁶.

⁴ Unidad de banda base, procesa señales en banda base de uplink y downlink

⁵ Unidad de radio remota, controla la sección de radiofrecuencia se interconecta con las antenas mediante cable RF.

⁶ Impulsos de energía de muy corta duración, pueden causar daños a los circuitos por la cantidad de energía que conllevan.

- Sistema de pararrayos.

Se contará con generador estacionario a diésel con capacidad superior a 4kVA, para garantizar la operatividad de la estación durante cortes de energía eléctrica de la EERSSA.

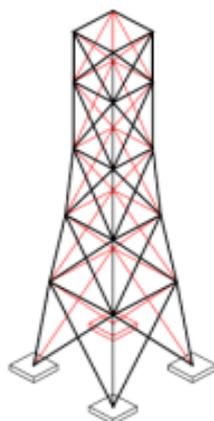
Contará con TTA con tablero de transferencia automática para activar el generador estacionario en caso de falla de la energía pública.

Dada la sensibilidad del equipamiento de radiofrecuencia, el sistema eléctrico contará con sistemas de UPS con capacidad de 3kVA para garantizar la calidad de la energía que se entrega a los equipos de cada operadora.

6.3. Torre auto-soportada

La torre será de tipo estructural auto-soportada con una altura de 40m, con el objetivo de brindar el espacio suficiente para la ubicación de los equipos de las diferentes operadoras distribuido el espacio de la siguiente forma, Cada operadora tendrá un espacio en la torre de 5m, con un espacio de guarda de 1m:

Figura 11
Torre auto soportada de base cuadrada



Fuente: (Rodríguez, 2015)

- de 24 m de altura y hasta 29 m destinado a los equipos del operador CNT.
- de 30 m de altura y hasta 34 m destinado a los equipos del operador Claro.
- de 35 m hasta 40 m destinado a los equipos de Movistar

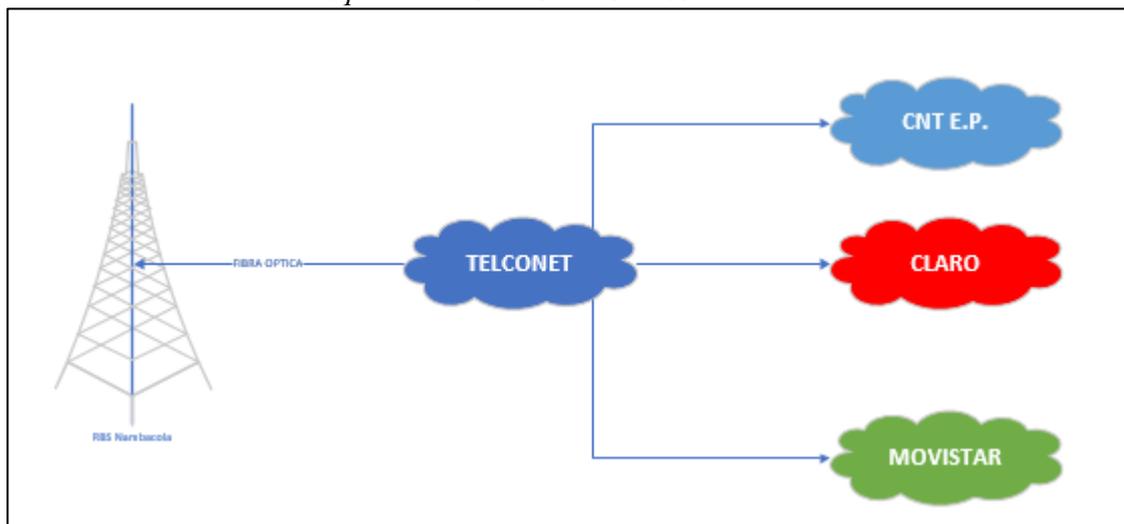
Distribución de cableado de radiofrecuencia en la torre, para evitar daños involuntarios será de la siguiente forma:

- CNT desde la base de la torre llevará guiará su cableado RF por el extremo este de la torre hasta la altura de 23 m, desde allí en adelante se guiarán al extremo norte de la torre.
- Claro llevará su cableado RF desde la base de la torre hasta los 29 m por el extremo oeste de la torre, desde allí en adelante se guiarán al extremo norte de la torre.
- Movistar llevará su cableado RF por el extremo sur de la torre hasta los 34 m, desde allí en adelante se guiarán al extremo norte de la torre.

6.4. Conexiones de backbone.

La conexión de backbone hacia la radio base se realizará mediante fibra óptica contratada a Telconet, mediante un único hilo de fibra óptica con capacidad gigabit la cual permitirá configurar un túnel lógico⁷ para cada operadora sobre la misma conexión física.

Figura 12
Esquema de conexión de backbone



En la ruta propuesta desde el punto de interconexión hacia la red interurbana de fibra óptica de Telconet, se cuenta con postes de la EERSSA, por lo que el tendido se proyecta realizar sin instalar postes nuevos y siguiendo la ruta del cableado eléctrico de baja tensión, con una longitud estimada de 300 m.

⁷ Configuración que permite crear una conexión virtual entre 2 puntos.

Figura 13
Ruta de fibra óptica desde manga Telconet



Fuente: Google Earth, editado por autor

La conexión se realizará hacia el nodo cercano de Telconet ubicado a 15 Km en la ciudad de Gonzanamá, usado los siguientes materiales:

- Fibra óptica monomodo G.652 (Anexo 1) de 6 hilos tendida en una cantidad de 300 desde la manga⁸ más cercana de Telconet ubicada en coordenadas 4° 8'33.38" latitud Sur y 79°25' 46.96" longitud occidental, por postes existentes de EERSSA.
- Interfaces SFP a utilizar es marca cisco modelo 1000BASE-BX en el nodo y en la radiobase, las características se describen en el Anexo 2.
- Equipo CPE (Customer Premises Equipment) será equipo cisco ISR 1111-8p el cual tiene capacidad Gigabit. Anexo 3

Una vez tendida la fibra ADSS se realizará la fusión en la manga direccionando un hilo hacia el nodo Telconet ubicado en Gonzanamá, en este punto la conexión ingresa al backbone de Telconet y desde allí se establecerá la conexión lógica hacia la ciudad que cada operadora escoja como punto de interconexión a sus redes.

El tramo de la fibra que ingrese a la RBS será fusionado mediante ODF⁹ de 06 hilos en el rack de backbone de la RBS.

La conexión en el rack de backbone, entre ODF y la sfp insertada en el CPE debe realizarse mediante patch de fibra LC-SC de 1m de longitud.

⁸ Dispositivo diseñado para proteger las fusiones de empalme entre los hilos de dos bobinas.

⁹ Organizador de fibra óptica.

Figura 14
Esquema de conexión entre ODF y CPE



6.5. Cobertura

La proyección del área de cobertura se realiza usando los parámetros del equipamiento utilizado en tecnología 4G en el Ecuador, y de acuerdo a las frecuencias asignadas por Arcotel, condiciones del terreno, altura de la torre y ubicación en la misma.

Tabla 2
Frecuencias 4G

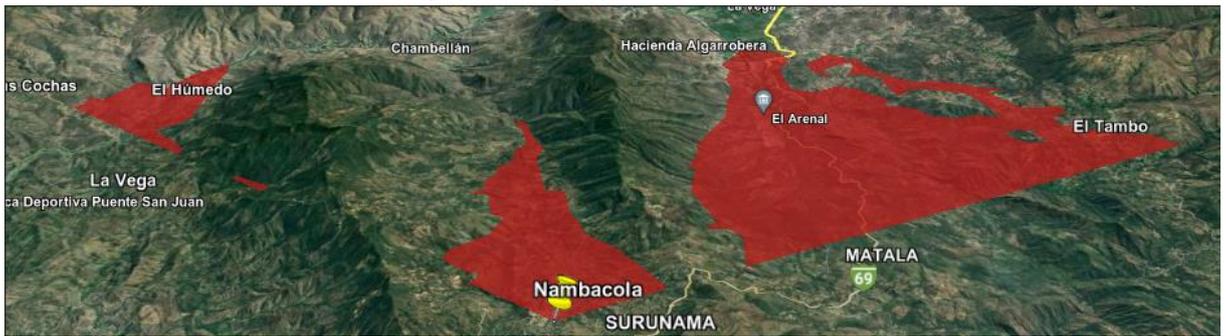
Operadora	Frecuencia 4G	Ubicación en la torre
Claro	1700 MHz 2100 MHz	30m
Movistar	1900 MHz	35m
CNT E.P.	700 MHz 1700 MHz 2100 MHz	25m

Fuente: Arcotel, 2023

Para estimar la cobertura de cada operadora a la altura asignada y en las frecuencias asignadas, se calcula mediante el sitio gykovsolutions.com, obteniendo los siguientes resultados.

- Cobertura de operadora Claro, con frecuencia de 1700 MHz, proyectada con una antena sectorial dipolo de 120°.

Figura 15
Cobertura Claro



- Cobertura esperada de operadora Movistar, con frecuencia 1900 MHz, a una altura de 35m, con antena sectorial de 120° de tipo dipolo.

Figura 16
Cobertura esperada de Movistar



- Cobertura esperada de operadora CNT, a frecuencia de 2100 MHz, altura de 25m, con antena sectorial de 25, y de tipo dipolo.

Figura 17
Cobertura esperada de CNT



6.6. Implementación, Operación y Mantenimiento

Al ser un proyecto piloto con la interacción de las 3 operadoras se requiere establecer las reglas para que el trabajo se realice sin contratiempos, por lo que se definen las normas necesarias.

6.6.1. Implementación

Se debe establecer una alianza entre las 3 operadoras, quienes deben asignar un delegado de cada una para dirigir la implementación e inicio de operaciones del proyecto.

- La aprobación del plano inicial se dará por los 3 delegados.
- Los 3 delegados elegirán proveedor externo para limpieza de maleza, mantenimiento de torre y cerramiento, mantenimiento de generador y baterías de respaldo eléctrico.
- El contrato de mantenimiento para la limpieza debe asignarse a una persona de la localidad con el objetivo de contratar mano de obra local fomentando el compromiso de la comunidad con el desarrollo del proyecto.
- El contrato con el propietario del terreno debe ser mínimo de 10 años.
- El contrato de conectividad con Telconet debe ser mínimo de 2 años, y en caso de requerir cambiar por ningún motivo la conexión será provista por una de las 3 operadoras.
- El replanteo previo a los trabajos será aprobado en sitio por los 3 delegados.
- Durante la ejecución de los trabajos serán ejecutados bajo la supervisión del delegado de CNT.
- Las pruebas de funcionamiento serán realizadas bajo la supervisión del delegado de Movistar.

6.6.2. Operación y mantenimiento

Al ser una radiobase de uso común se requiere cumplir los siguientes lineamientos para su normal funcionamiento:

La administración y control de las actividades se dará de forma rotativa entre las 3 operadoras:

- Luego de las pruebas de funcionamiento, la operadora Claro será encargada del control de acceso durante los siguientes dos años, luego los siguientes dos años movistar y posteriormente CNT.

- El operador de turno controlará la ejecución de limpieza de la radiobase que debe realizarse una vez al mes.
- El operador de turno se encargará de vigilar el mantenimiento eléctrico mensual, y pruebas de contingencia con arranque de generador estacionario cada 3 meses.
- El operador de turno vigilará el cumplimiento del mantenimiento de torre y cerramiento una vez al año.
- El operador de turno, realizará control de bitácora de los accesos a la radiobase de todo el personal y verificará la operatividad de los servicios de las otras dos operadoras mediante correo electrónico con los NOC respectivos.

7. Discusión

La solución planteada, es un proyecto piloto para dar conectividad sustentable a las comunidades rurales del Ecuador, y podrá ser presentado al estado ecuatoriano como una solución integral para solventar el problema de la conectividad deficiente en sectores rurales. La inversión realizada por las operadoras en la ejecución de este proyecto se puede presentar al estado ecuatoriano para acogerse a incentivos tributarios contemplados en la normativa.

7.1. Ventajas

Uso eficiente del espacio físico contratado para instalación de radiobase.

Uso eficiente de la energía eléctrica, ya que el sistema eléctrico será de uso común para todo el equipamiento de las 3 operadoras.

El costo de implementación, operación y mantenimiento será reducido en comparación con una radio base individual ya que debe ser asumido por las 3 operadoras.

7.2. Desventajas

La seguridad física es un riesgo potencial, ya que, en caso de ser violentada, se puede afectar las 3 operadoras.

Posibles dificultades y demoras al momento de permitir el acceso al personal, ya que las validaciones entre los diferentes NOC, tomará mas tiempo en comparación con una RBS individual.

La exposición a caída de servicio por manipulación de conexiones en el rack de backbone o escalerilla donde tienen conexiones comunes las 3 operadoras.

Riesgo de caída de servicio por corte de fibra entre la manga de Telconet y radiobase, ya que toda la conectividad dependerá de este cable de fibra óptica.

8. Conclusiones

Se concluye que el diseño planteado es suficiente para dar cobertura al centro parroquial y barrios aledaños de Nambacola, ya que los lóbulos de radiación principal de las operadoras tienen una cobertura con alcance de 15 km.

La ubicación destinada para la radiobase, nos brinda facilidades de conectividad a la fibra óptica de Telconet por postes existentes de la EERSSA, así como cobertura a la mayor parte del valle de la parroquia Nambacola.

Es factible instalar la ruta mediante fibra óptica desde manga interurbana de Telconet, hasta la radiobase, sobre esta conexión se debe levantar 3 conexiones lógicas una para cada operadora.

Se establece el procedimiento para el trabajo en la radiobase, lo cual se organizará por turnos rotativos de control para evitar daños por manipulación en áreas comunes.

9. Recomendaciones

Utilizar la misma radio base permitirá a las operadoras un ahorro significativo, ya que los costos de instalación, operación y mantenimiento se deben compartir entre las 3 empresas involucradas.

Este proyecto piloto debe ser evaluado y presentado al estado ecuatoriano como una solución para solventar el problema de conectividad eficiente en poblaciones pequeñas y alejadas de las ciudades donde no es atractivo para las operadoras tener infraestructura exclusiva para sus redes.

Se recomienda evaluar los resultados luego de los primeros dos años de funcionamiento, para que las operadoras puedan solicitar al estado ecuatoriano los incentivos tributarios por la inversión realizada.

Se recomienda evaluar luego de los primeros dos años, la posibilidad de contratar con Telconet conexión backup, para prever caídas del servicio por problemas en la ruta de fibra.

10. Referencias bibliográficas

[1] Aguilar B. F, (2021) Análisis costo-beneficio para usuarios de los servicios que prestan las operadoras de Servicio Móvil Avanzado en Ecuador. Obtenido de: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8283/1/T3607-MAE-Aguilar-Analisis.pdf>

[2] Vanegas F. R, (2010) Caracterización del uso y apropiación de la telefonía móvil en zonas rurales pobres del Ecuador por parte de mujeres campesinas, obtenido de: <https://repositorio.iep.org.pe/bitstream/handle/IEP/1268/39CARA~1.PDF?sequence=1&isAllowed=y>

[3] Calero T. Nelson (2009) Análisis Técnico y Jurídico del Servicio Universal en los Servicios Móviles en el Ecuador, obtenido de: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/976/1/T744-MDGT-Calero-An%20t%20t%20c%20a%20n%20l%20i%20s%20i%20c%20o%20y%20j%20u%20r%20i%20c%20o%20d%20e%20l%20s%20e%20r%20v%20i%20c%20i%20o%20u%20n%20i%20v%20e%20r%20s%20a%20l.pdf>

[4] Vaca R. Edwin (2021), Diseño de una radiobase móvil con tecnología LTE ubicado en el barrio Atahualpa de la ciudad de Quito, obtenido de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20582/1/UPS%20-%20TTS397.pdf>

[5] Revista Ciencias Holguín, Telefonía móvil celular: origen, evolución, perspectivas, obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181517913002.pdf>

[6] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, Plan Universal 2022-2025 https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/plan_de_servicio_universal_2022-20250564678001655319190-1.pdf

[7] LTE UE Category & Class Definitions

<https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/lte-ue-category-class-definitions/>

[8] Rodríguez R. Edgar (2015) Análisis y diseño comparativo entre una torre autosoportada triangular de 40m de altura con montajes UV y una con montajes circulares, obtenido de: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21262/1/Monografia.pdf>

[9] Muszynski Peter, Holma Harri (202) Introduction to WCDMA, obtenido de: <https://doi.org/10.1002/0470870982.ch3>

[10] Chimbo R. Maritza (2012) Análisis de la propuesta de evolución de redes 3G y su convergencia a la tecnología 4G para redes de telefonía móvil, obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2072/13/UPS-CT002379.pdf>

[11] Moran A. Carlos (2021) Sistema eléctrico en radiobases celulares con medidas de mimetización en base a norma ISO 14001:2004, obtenido de: <http://201.159.223.180/bitstream/3317/17196/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-281.pdf>

11. Anexos

Anexo 1. Recomendación G.652

CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO (Málaga-Torremolinos, 1984; modificada en Melbourne, 1988) El CCITT, considerando (a) que los cables de fibra óptica monomodo se utilizan ampliamente en las redes de telecomunicación; (b) que las aplicaciones potenciales previstas pueden exigir varios tipos de fibras monomodo que difieran en: – las características geométricas, – la longitud de onda de trabajo, – la dispersión de atenuación, la longitud de onda de corte y otras características ópticas, – los aspectos mecánicos y ambientales; (c) que podrán prepararse Recomendaciones sobre diferentes tipos de fibras monomodo cuando hayan progresado suficientemente los estudios sobre su utilización práctica, recomienda una fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1300 nm, optimizada para uso en la región de longitud de onda de 1300 nm, y que puede utilizarse también a longitudes de onda en la región de 1550 nm (en las que la fibra no está optimizada). Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital. Las características geométricas, ópticas y de transmisión de esta fibra, se describen más adelante, así como los métodos de prueba aplicables. El significado de los términos empleados en esta Recomendación se expone en el anexo A, y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en el anexo B. Los anexos A y B podrían convertirse en Recomendaciones separadas a medida que se adopten otras Recomendaciones sobre fibras monomodo.

Anexo 2. Interfaces 1000BASE-BX

1000BASE-BX SFP Módulo transceptor (SMF, 1490nm-TX/1310nm-RX, 20km, LC/SC)

Especificaciones

Referencia	SFP-GE-BX	Proveedor	FS.COM
Factor de forma	SFP	Velocidad máxima de datos	1000Mbps
Longitud de onda	1490nm-TX/1310nm-RX	Distancia máxima de cable	20km
Interfaz	LC/SC símplex	Componentes ópticos	DFB BIDI
Tipo de cable	SMF*	Función DOM	Sí
Potencia de transmisión (TX)	-8~-3dBm	Sensibilidad de receptor	< -22dBm
Rango de temperatura comercial	0 a 70°C (32 a 158°F)	Rango de temperatura extendido	-5 a 85°C (23 a 185°F)
Rango de temperatura industrial	-40 a 85°C (-40 a 185°F)	Directivas	Fast Ethernet, Gigabit Fibre Channel, MSA Compliant

Nota:* ITU-T G.652 SMF según lo especificado por el estándar IEEE 802.3z.

Anexo 3. Resumen de características Cisco 1111 8p

C1111-8P Specification	
Description	ISR 1100 8 Ports Dual GE WAN Ethernet Router
Physical Properties	
Dimensions (H x W x D)	Non-LTE models: H x W X D = 1.75 x 12.7 x 9.03 in. (42 x 323 x 230mm) (includes rubber feet)
Weight with AC PS (w/o modules)	5.5 Lbs. (2.5 kg) maximum
AC Input Power	
Input voltage	Universal 100 to 240 VAC
Frequency	50-60 Hz
Input current	PoE not enabled: 0.82A maximum PoE enabled: 1.55A Maximum
Surge current	90 A peak and less than 8 Arms per half cycle
Ports	
Micro USB Port	One RJ-45: Separate console port
USB port	USB 3.0 Type A host port USB devices supported: USB flash memory
Console port	One USB 5-pin micro Type B: Console management connectivity
10/100/1000 Gigabit Ethernet	Two GE ports allocated among RJ45 and SFP as: One combo port with 10/100/1000RJ-45 Ethernet port or SFP Ethernet port (labeled GE0/0/0) One dedicated 10/100/1000RJ-45 Ethernet port (labeled GE0/0/1)
Wireless VLANs	32 (encrypted and non-encrypted VLANs)
Wireless specifications	2x2 .11ac Wave 2
Default and maximum DRAM	4GB
Default and maximum flash	4GB
Inline PoE	4 ports for -8P PIDs, 2 ports for -4P PIDs 802.3af-compliant PoE or 802.3at-compliant PoE+
Acoustic for Cisco 1100 Series ISRs	Not Applicable - Fanless design

Anexo 4. Certificado de traducción de resumen

Loja, 15 de abril de 2023

Yo, **Leonela Cumanda Pinta Villacres**, con cédula de identidad **1104105828**, con **NIVEL INTERMEDIO ALTO B2-INGLÉS**, certificado otorgado por ETS TOEFL IBT

certifico:

Que tengo el conocimiento requerido del idioma inglés y que la traducción del resumen de trabajo de titulación denominado: **“Diseño de radio base multi operadora celular para centro parroquial de Nambacola”** de la autoría del estudiante Sergio René Jaramillo Pinta, con cédula de identidad 1104190705, es textual, verdadera y correcta a mi mejor saber y entender.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

Atentamente,



Lic. Leonela Pinta

NIVEL INTERMEDIO ALTO B2-INGLÉS