



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“PROVISIÓN DE SERVICIOS UNIVERSALES CON TELEFONÍA
CELULAR A LA POBLACIÓN DEL RECINTO SAN FRANCISCO
DE SOLEDAD - PARROQUIA LORENZO DE GARAICOA -
CANTÓN SIMÓN BOLÍVAR - PROVINCIA DEL GUAYAS,
USANDO UN SISTEMA GSM/2G/EDGE”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

ALBERTO FRANCISCO SERRANO CARRIÓN

MEDARDO ANTONIO BAZÁN GONZÁLEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

2015

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos primeramente a Dios. A mi familia, de manera especial a mis padres, por su apoyo incondicional. A mi compañero que por nuestro esfuerzo conjunto logramos esta meta.

Alberto Francisco Serrano Carrión.

Mis agradecimientos a Dios. A mis abuelos, mi esposa e hija, especialmente a mis padres por su apoyo incondicional, por su guía y paciencia, ya que gracias a ellos y su ejemplo de lucha he logrado alcanzar esta meta.

Medardo Antonio Bazán González.

DEDICATORIA

A mi padre, hombre de principios, y que su esfuerzo, consejos y apoyo incondicional me dieron la guía necesaria para seguir el camino del bien. A mi madre por su cariño y apoyo incondicional. Son ellos mi mayor fortaleza, para alcanzar mis objetivos.

Alberto Francisco Serrano Carrión.

A mi padre, hombre esforzado y valiente ya que fue su ejemplo de superación, el motivo que guió por el camino del bien. A mi madre por su paciencia, cariño y apoyo incondicional. A mi abuelita, que Dios tenga en su gloria, por haber estado a mi lado y brindándome sus sabios consejos durante mi carrera.

Medardo Antonio Bazán González.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Msc. Washington Medina

PROFESOR EVALUADOR

PhD. Francisco Novillo

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad y la autoría de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover a consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

Alberto Francisco Serrano Carrión.

Medardo Antonio Bazán González.

RESUMEN

Se realizó el estudio para el diseño y simulación de un radio enlace con tecnología Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) y una estación de base transceptora (BTS), para brindar los servicios universales que ofrece la telefonía celular, tales como: envío y recepción de SMS, llamadas de voz y acceso a internet; Luego de realizar las respectivas pruebas y simulaciones se propone la ubicación estratégica de la BTS del recinto San Francisco de Soledad, con la finalidad de abarcar la mayor cobertura posible, considerando que esta se encuentra en una zona rural con escasa cobertura lo que se traduce en un índice de acceso a las TIC considerablemente bajo afectando incluso a la actividad socio-económica del recinto y zonas aledañas como El 26, El Rosario, San Gregorio y Río Chico.

Se menciona el marco legal y técnico al que nos apegamos para la solución propuesta, el estado actual del Recinto parroquial que elegimos para nuestro estudio y realizamos una descripción básica sobre los conceptos relevantes para nuestra propuesta así como la metodología a usar.

Luego se procede a explicar el diseño de la Estación Base Remota, complementando uno a uno los componentes que harán parte de nuestros objetivos. Así como las simulaciones con el software libre con la finalidad de poder tener respaldos gráficos técnicos más próximos a la realidad.

Finalmente, luego de tener claro cuál es la mejor propuesta técnica, realizamos el respectivo análisis económico, demostrando con el indicador de Retorno de Inversión la viabilidad de esta solución. Y terminando con el impacto social que logrará.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
CAPÍTULO 1	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y MARCO TÉCNICO-LEGAL	1
1.1 Descripción del Problema.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivo General.....	5
1.4 Objetivos Específicos.	6
1.5 Metodología.....	6
1.6 Resultados Esperados.....	7
1.7 Marco Técnico-Legal para Redes GSM en el Ecuador.....	7
1.7.1 Servicios Universales	8
1.7.2 Asignación de Frecuencias GSM en Ecuador	9
1.7.3 Principales Parámetros Técnicos de Redes GSM.....	11
1.7.4 Parámetros de Calidad para Servicio Móvil Avanzado.....	11
CAPÍTULO 2.....	15
2. DISEÑO DE LA ESTACION BASE REMOTA (RBS).....	15
2.1 Componentes y Diseño de Estación Base Transceptora (BTS).	16
2.1.1 Base Operation & Interface Unit (BOI)	17
2.1.2 Dual Band Duplex Filter Unit	18

2.1.3 Dual Baseband Unit (BB2x).....	19
2.1.4 Dual Variable Gain Duplex Filter Unit (DVxx)	20
2.1.5 Receiver Coupler Unit (M2xx/M6xx)	21
2.1.6 Power Supply Unit (PWSx).....	22
2.1.7 Remote Tune Combiner Unit (RTC)	23
2.1.8 Transceiver RF unit (TSxx).....	24
2.1.9 WideBand Combiner unit (WCxx).....	25
2.1.7 FXC E1/T1 Transmission Unit	26
2.1.10 Antena Sectorial - Cobertura BTS	27
2.1.11 Diseño de BTS	29
2.2 Componentes y Diseño de Enlace PDH.	30
2.2.1 FIU 19E Indoor Unit.....	31
2.2.2 FXC RRI Transmision Unit.	32
2.2.3 Diseño de Enlace PDH.....	33
2.3 Componentes y Diseño de Power Plant.	41
2.3.1 Unidad de Control y Monitoreo de Power Plant.....	42
2.3.2 Rectificadores de Media Onda	43
2.3.3 Generador Eléctrico.....	44
2.3.4 Diseño y requisitos mínimos de Power Plant.	46
2.4 Consideraciones Estructurales.	49
2.4.1 Ubicación Geográfica y Área necesaria para la RBS.	50
2.4.2 Torre Auto soportada.....	51
2.4.3 Distribución de Equipo Activo.....	52
2.5 Simulación y Estudio de Cobertura.....	53

2.5.1 Simulación de enlace PDH RBS SOLEDAD – MATADECACAO..	54
2.5.2 Simulación de cobertura BTS.....	55
CAPÍTULO 3.....	59
3. ESTUDIO ECONOMICO E IMPACTO SOCIAL.....	59
3.1 Análisis Económico.....	59
2.2 Análisis de Retorno de Inversión.	63
2.2.1 Situación Actual de Recinto San Francisco de Soledad.....	63
3.2.2 Promedio de Ingresos	63
2.2.3 Calculo del ROI	64
3.3 Impacto Social.	66
CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES	68
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS.....	72

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y MARCO TÉCNICO-LEGAL

1.1 Descripción del Problema.

En el Ecuador la cobertura del Servicio Móvil Avanzado, a nivel Parroquial, alcanza un 72,62%, haciendo uso de Tecnología 2G en su mayoría y de tecnologías conjuntas 2G y 3G en una proporción del 40,39%, esto debido principalmente a las características tecnológicas e históricas de nuestro país, denotando de esta manera que la penetración de tecnologías 2G es la dominante en Ecuador con un 85,55% a nivel nacional, como se aprecia en la Figura 1.1 [1].

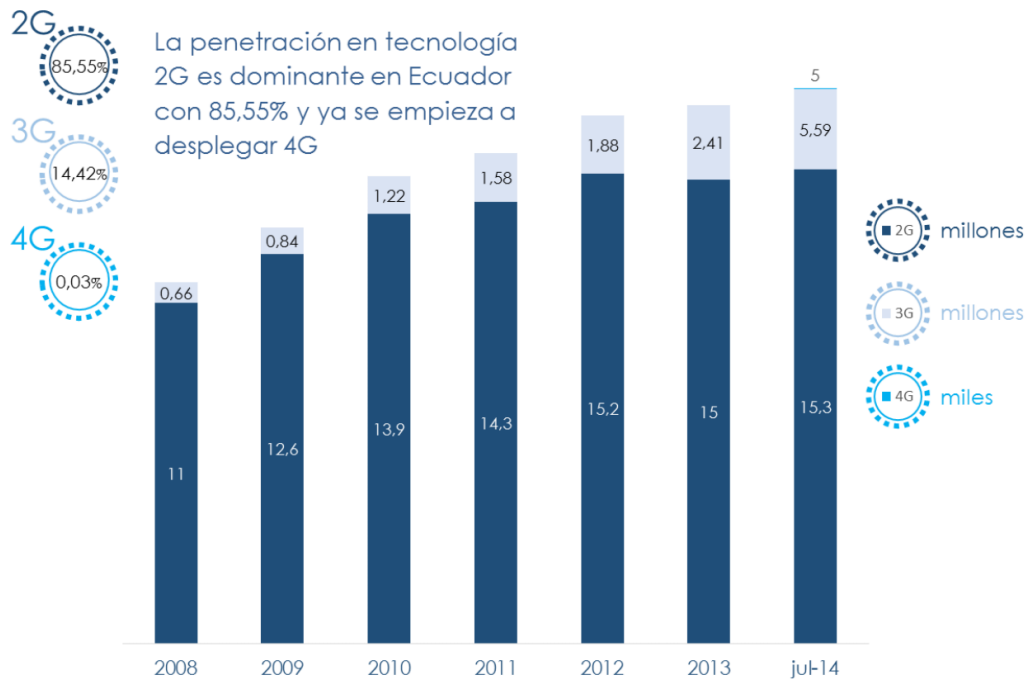


Figura 1.1: Líneas Activas por Tipo de Tecnología[1].

A pesar de que Ecuador registra una penetración del 113% en el Servicio Móvil Avanzado, no se puede concluir que esto sea sinónimo de que todos los ecuatorianos cuentan con Servicios de Telefonía Móvil ya que hasta Julio del

2014 un aproximado de 228 parroquias no contaban con cobertura de este servicio, lo que se traduce en que un 27,38% del territorio ecuatoriano y el 3,42% de la población no tiene acceso a estos servicios [1].

Estas cifras pueden apreciarse de manera mucho más realista en los recintos San Gregorio, Rio Chico, San Francisco de Soledad, El 26 y El Rosario pertenecientes a la Parroquia Lorenzo De Garaicoa, sectores que actualmente no cuentan con cobertura de Servicio de Telefonía Móvil y que presentan serios problemas de acceso a las tecnologías de la Información, TICs [1].

1.2 Justificación.

El Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, MINTEL, al ser el órgano rector del desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación en el Ecuador, es el encargado de garantizar el acceso igualitario a los servicios de telecomunicaciones que asegure el avance hacia la sociedad de la información para el buen vivir de la población ecuatoriana, para lo cual ha implementado desde el año 2009 La Estrategia Ecuador Digital 2.0, la misma que cuenta con tres pilares:

- **Plan Nacional de Acceso Universal y Alistamiento Digital.-** El cual busca transportar tecnología y conocimiento por todo el Ecuador, promoviendo el uso de herramientas tecnológicas y ofreciendo capacitaciones sobre el buen uso de las TIC.
- **Plan Nacional de Banda Ancha.-** Este Plan busca implementar políticas que impulsen el despliegue de internet de Banda Ancha, generando un decremento en los precios del acceso al servicio de internet para que todos los ecuatorianos, sin importar su condición social o localización geográfica, puedan acceder a internet con facilidad.
- **Plan de Gobierno Digital.-** Este plan se enfoca en el acceso a aplicaciones e información, comercio electrónico, economía digital y al mejoramiento de la infraestructura necesaria para facilitar la transaccionalidad electrónica.

De esta manera se puede observar el especial énfasis que en los últimos años se le ha proporcionado al derecho constitucional que tienen todos los ecuatorianos de acceder a las Tecnologías de Información y Comunicación, TIC, tal como se puede apreciar en el Art. 16, numeral 2 de la Constitución del Ecuador [2].

Basado en este marco legal resulta de gran interés el lograr proporcionar servicios de calidad tanto en servicio Móvil Avanzado, SMA, como el Servicio de Valor agregado de Acceso a Internet para los sectores rurales y urbano marginales del Ecuador, sectores que actualmente tienen graves problemas de cobertura que no han sido atendidos a pesar de que en los últimos años se ha registrado un crecimiento exponencial en el número de usuarios en el Servicio de Telefonía Móvil por parte de empresas como OTECEL Y CONECEL, alcanzando hasta Julio del 2014 un índice penetración del 113,3% en el Servicio Móvil Avanzado, tal como se puede ver en la Figura 1.2 [2].

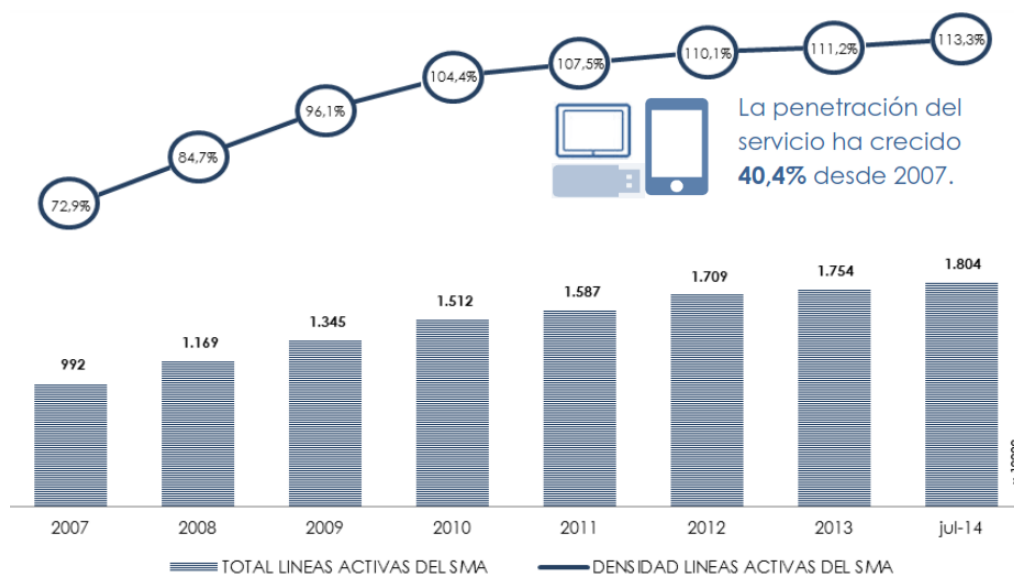


Figura 1.2: Penetración del Servicio Móvil Avanzado 2007-2014[1].

Es importante resaltar que a pesar de registrar hasta el 2014, un índice de penetración de aproximadamente 113,3% en el Servicio de Telefonía Móvil, en Ecuador esta cifra no refleja la realidad de las aproximadamente 282 parroquias

que hasta Julio del 2014 no contaban con cobertura de servicios basados en tecnología 2G y 3G, tal como se puede apreciar en la Figura 1.3[2].

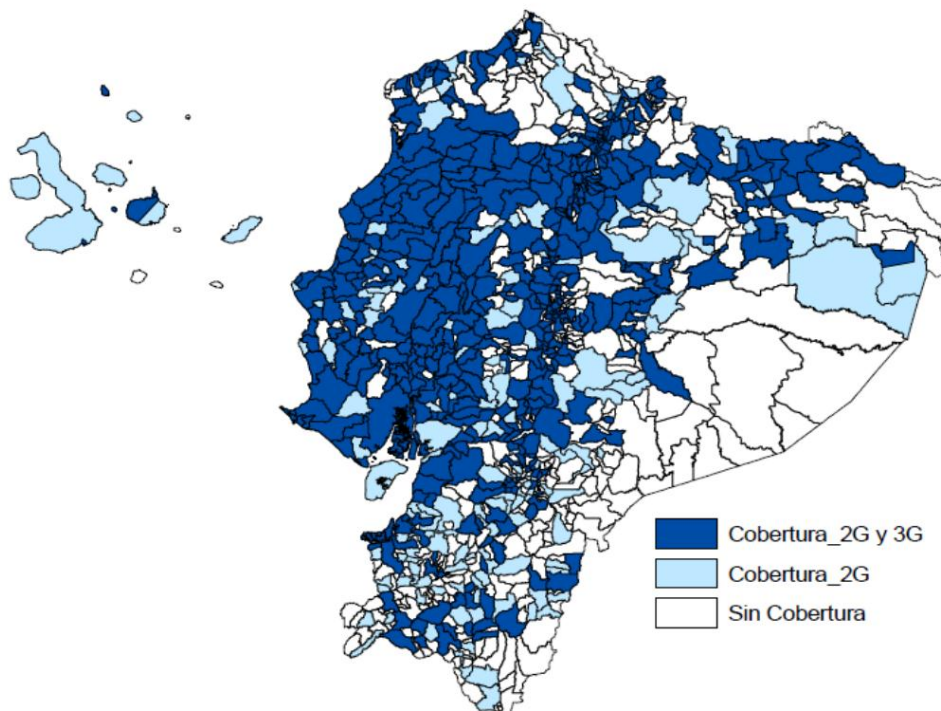


Figura 1.3: Parroquias sin Cobertura 2G y 3G[1].

Es debido a esta situación que los progresos referentes a la reducción de la “brecha digital” en algunos sectores rurales, son mínimos dando como resultado que el analfabetismo digital se profundice en estos sectores en concordancia con el creciente deterioro de las condiciones de vida, todo esto a pesar de los esfuerzos realizados por el MINTEL, mediante la implementación de políticas que buscan mejorar las condiciones de vida a través del impacto de áreas básicas de desarrollo comunitario como lo son la educación, salud y crecimiento económico.

En el caso particular de la Parroquia Simón Bolívar, la cual será objeto del presente estudio y que se encuentra ubicada al Centro-Este de la provincia de Guayas, Se puede apreciar en la Figura 1.4 que la misma actualmente no cuenta con una adecuada cobertura del Servicio de Telefonía Móvil 2G y 3G.

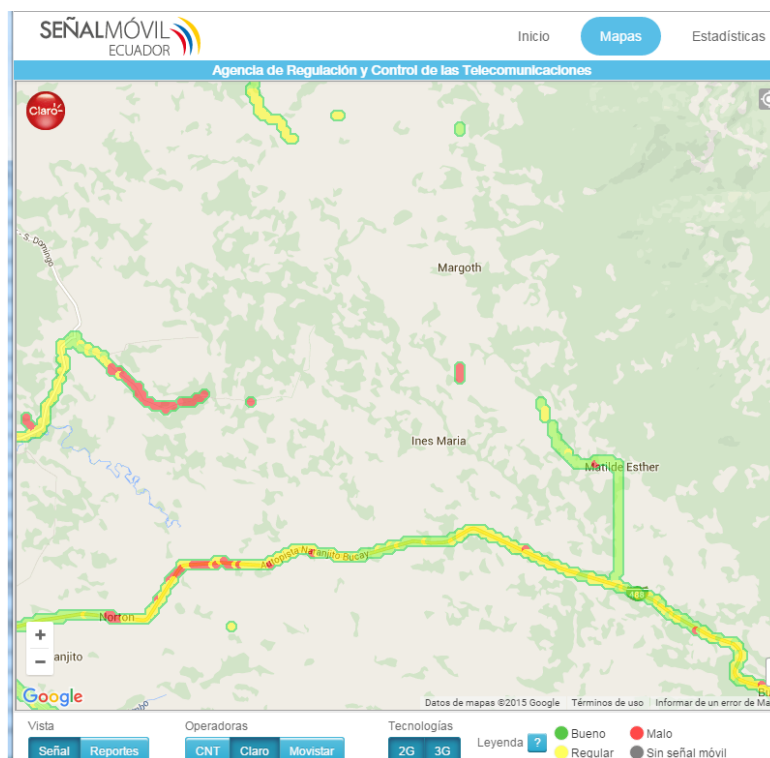


Figura 1.4: Cobertura 2G y 3G CONECEL - Parroquia Lorenzo de Garaicoa.

Fuente: Web Señal Movil Ecuador.

Con la finalidad de brindar servicios de calidad y facilitar el acceso a las TIC para las poblaciones del Recinto San Francisco de Soledad, en concordancia con la Estrategia Ecuador Digital 2.0 se propone el trabajo “PROVISION DE SERVICIOS UNIVERSALES CON TELEFONIA CELULAR A LA POBLACION DEL RECINTO SAN FRANCISCO DE SOLEDAD - PARROQUIA LORENZO DE GARAICOA – CANTON SIMON BOLIVAR - PROVINCIA DEL GUAYAS, USANDO UN SISTEMA GSM/2G/EDGE”.

1.3 Objetivo General.

Proveer servicios de telefonía celular al Recinto San Francisco de Soledad – Parroquia Lorenzo de Garaicoa – Cantón Simón Bolívar - Provincia del Guayas; utilizando Tecnología GSM/EDGE.

1.4 Objetivos Específicos.

- Describir el Marco Legal que ampara a los ciudadanos de tener libre acceso a los servicios universales.
- Analizar las especificaciones de los equipos, Hardware y Software, que se empleará, sus ventajas y limitaciones.
- Diseñar el enlace PDH y una estación de base transceptora (BTS), optimizando el área de cobertura en el Recinto Soledad y sus zonas aledañas.
- Analizar la funcionalidad del diseño bajo simulación, para ello se utilizarán Softwares Libres.
- Realizar un estudio económico sobre la implementación del sistema propuesto y analizar los efectos que tendría aplicar esta tecnología en la sociedad descrita anteriormente.

1.5 Metodología.

Se realizará una investigación en el sitio, con la finalidad de hacer el respectivo levantamiento de información. Luego se citará el Marco Legal en el que se sustentara las leyes, artículos y sus derivados que correspondan al libre acceso a todas las personas sin discriminar su ubicación.

Se especificara el sistema a implementar, razones por las cuales se escoge la tecnología, sus beneficios, sus limitaciones, y un detallado de sus características técnicas, resaltando la importancia de su uso en el sitio.

Posteriormente se desarrollará el diseño de la estación base, la cual comprende un enlace de microondas PDH donde se analiza con que RBS existente tendrá transmisión el nuevo sitio; y una BTS para dar cobertura a las poblaciones en mención.

Después se hará uso de simuladores libres para obtener una predicción del enlace con la respectiva topografía del terreno y las posibles áreas que cubriría la nueva estación.

Luego se efectuará un estudio económico, sustentando aquello con proformas de los equipos y detallando sus características con sus respectivos DATASHEET, o manual de usuarios.

Por último se analizarán los efectos que tendría, el brindar los servicios que ofrece la telefonía celular en la sociedad descrita anteriormente.

1.6 Resultados Esperados.

El presente trabajo tiene como finalidad elaborar el diseño y simulación de una red 2G/GSM/EDGE basado en los parámetros técnicos necesarios para lograr proveer del Servicio de Telefonía Móvil al recinto San Francisco de Soledad de la Parroquia Lorenzo de Garaicoa, logrando de esta manera una mayor integración tecnológica y facilitando el acceso a las TICs de la población del recinto antes mencionado.

Se determinará la mejor ubicación viable de la Radio Base con la finalidad de proporcionar la mayor cobertura posible llegando incluso a cubrir sectores adyacentes como los recintos El Rosario, Rio Chico, San Gregorio y El 26.

Se buscará que el diseño considere la reutilización de equipo activo y antenas de tecnología 2G/GSM/EDGE que actualmente se encuentran fuera de servicio debido a la continua migración hacia tecnologías superiores como la 3G y LTE por parte de las operadoras, logrando de esta manera elaborar una propuesta basada en ingeniería verde y económicamente atractiva ya que se buscará reducir al mínimo el incremento del Costo Total de Propiedad (TCO) evitando la adquisición de nuevas Radio Bases.

Se realizará el respectivo análisis económico, el cual permitirá determinar la factibilidad del proyecto desde el punto de vista económico, logrando determinar factores determinantes como el Tiempo de Retorno de Inversión (ROI).

1.7 Marco Técnico-Legal para Redes GSM en el Ecuador.

Con la finalidad de estructurar los requisitos mínimos a cumplirse en la prestación de servicios de telefonía móvil GSM en Ecuador, fue necesario en

años anteriores definir algunos parámetros técnicos y legales como la asignación del espectro disponible y parámetros de calidad de Redes GSM.

En cuanto a los lineamientos de carácter legal para la prestación de Servicio Móvil de Telefonía Celular (SMTC) en Ecuador, cabe recalcar que según la Resolución 498-25-CONATEL-2002, se estableció en su Art. 4, que el Servicio Móvil Avanzado dentro del cual se considera el Servicio Móvil de Telefonía Celular, se prestara en régimen de libre competencia y con cobertura nacional, teniendo en cuenta que para las áreas rurales y urbano marginales se efectuara atendiendo al régimen de servicio universal [3].

1.7.1 Servicios Universales

Un Servicio de Acceso Universal es aquel que pretende proporcionar acceso generalizado a los servicios básicos de telecomunicaciones, independientemente de su ubicación geográfica, a todos los hogares, empezando con el servicio básico de telefonía para posteriormente lograr integrar otros servicios como acceso a internet y telefonía móvil [4].

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, ITU, estableció en el año 2006 que el Servicio Universal se basa en los siguientes tres principios fundamentales:

- Universalidad: Todo usuario debe tener acceso al Servicio Telefónico a un precio asequible [5].
- Igualdad: Toda persona, independientemente de su ubicación geográfica, debe tener la posibilidad de exigir acceso al Servicio Telefónico [5].
- Continuidad: En base a parámetros de calidad de servicio, el acceso a la red debe considerarse como ininterrumpido y este servicio no puede ser suprimido a menos que se pueda utilizar un sustituto [5].

1.7.2 Asignación de Frecuencias GSM en Ecuador

Debido a los acelerados cambios tecnológicos en el mundo de las telecomunicaciones, es necesario que en el Ecuador se modernicen y organicen reglamentos técnicos en beneficio de la sociedad, para esto se ha establecido el Plan Nacional de Frecuencias basado en los requerimientos de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), buscando con esto facilitar el acceso de las mismas a los pueblos, posibilitando el progreso no solo en el campo tecnológico sino también ayudando a mejorar la calidad de vida de todos los ecuatorianos.

De manera general la tecnología GSM ha sido implementada siguiendo los lineamientos recomendados por organismos internacionales como la UIT, Federal Communications Commission (FCC) de Estados Unidos y la European Telecommunications Standards Institute (ETSI) de los países Europeos en diferentes bandas de frecuencia tal como se puede ver en la Tabla 1

Tabla 1: Bandas de Frecuencia GSM

Sistema	Banda	Frecuencia		Asignación de canal
		Subida (MHz)	Bajada (MHz)	
T-GSM-380 ^{Nota 1}	380	380.2–389.8	390.2–399.8	dinámica
T-GSM-410	410	410.2–419.8	420.2–429.8	dinámica
GSM-450	450	450.4–457.6	460.4–467.6	259–293
GSM-480	480	478.8–486.0	488.8–496.0	306–340
GSM-710	710	698.0–716.0	728.0–746.0	dinámica
GSM-750	750	747.0–762.0	777.0–792.0	438–511
T-GSM-810	810	806.0–821.0	851.0–866.0	dinámica
GSM-850 ^{Nota 2}	850	824.0–849.0	869.0–894.0	128–251
P-GSM-900 ^{Nota 3}	900	890.2–914.8	935.2–959.8	1–124
E-GSM-900 ^{Nota 4}	900	880.0–914.8	925.0–959.8	975–1023, 0-124
R-GSM-900 ^{Nota 5}	900	876.0–914.8	921.0–959.8	955–1023, 0-124
T-GSM-900 ^{Nota 6}	900	870.4–876.0	915.4–921.0	dinámica
DCS-1800	1800	1710.2–1784.8	1805.2–1879.8	512–885
PCS-1900 ^{Nota 7}	1900	1850.0–1910.0	1930.0–1990.0	512–810

Fuente: Mobile Broadband Standard [6].

De manera particular en Ecuador se ha elaborado un Plan Nacional de Frecuencias que busca expresar la soberanía del estado ecuatoriano en lo que respecta a la administración de su espectro radioeléctrico y la misma se ha basado, para los Servicios Móvil de Telefonía Celular, en las notas EQA.140 y EQA.145 usados para los servicios fijo y móvil troncalizados tal como se puede apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2: Bandas Asignadas por Operadora.

CONECEL S.A.			OTECCEL S.A.			CNT E.P.	
BANDAS	800 MHz	1900MHz	BANDAS	800 MHz	1900MHz	BANDAS	1900MHz
A	824-835 845-846,5		B	835-845 846,5-849		F	1890-1895
A'	869-880 890-891,5		B'	880-890 891,5-894		F'	1970-1975
E		1885-1890	D		1865-1870	C	1895-1910
E'		1965-1970	D'		1945-1950	C'	1975-1990

Fuente: CONATEL.

1.7.3 Principales Parámetros Técnicos de Redes GSM

Existen diversos parámetros técnicos en las redes GSM estipulados con la finalidad de realizar un continuo monitoreo de funcionamiento y calidad de servicio, sin embargo entre estos sobresalen 3 parámetros que son aplicables a todos los dispositivos finales con capacidad GSM, estos son:

Frame Erasure Rate (FER).- que se define como la razón entre tramas no recibidas o perdidas y las tramas totales enviadas, cabe indicar que una trama se considera no recibida o perdida basado en 2 parámetros, ya sea por exceder un límite de tiempo predefinido y debido a una cantidad excesiva de errores dentro de la trama, para considerarse un enlace GSM válido, las tramas no deben tener retardos mayores a 250ms y registrar un FER menor al 2%.

RxLev.- Corresponde al nivel de potencia de recepción del dispositivo final, este nivel por lo general se encuentra entre -55 y 90 dBm, el RxLev se considera también como un criterio importante en las mediciones de control de potencia de transmisión.

RxQual.- Este parámetro indica la calidad de la señal recibida y es considerado como un valor importante en la evaluación de la calidad del servicio prestado por la operadora.

1.7.4 Parámetros de Calidad para Servicio Móvil Avanzado

Basado en el Art. 314 de la Constitución del Ecuador que estipula que:

“El Estado garantizara que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad....regularidad, continuidad y calidad” [2].

Declaró que a partir del 1 de julio del 2014, entraría en vigencia la Resolución 042-TEL-01-CONATEL-2014, que define los parámetros de calidad para la telefonía y Servicio Móvil Avanzado en general, los mismos que deberán ser cumplidos con carácter de obligatorio por las empresas prestadoras de SMA y que actualmente son controlados por la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL) basado en la escala indicada en la Tabla 3.

Tabla 3: Escala de medición de Calidad de SMA

GRADO	CALIFICACION
Excelente	5
Muy Bueno	4
Bueno	3
Regular	2
Malo	1

Fuente: Parametros de Calidad redes GSM [7].

Los parámetros de calidad incluyen métodos de medición, especificaciones y modificaciones a los valores que deben cumplirse respecto a la legislación anterior, entre estos tenemos los siguientes:

Relación con el cliente.- Mide el grado de satisfacción que experimenta el abonado respecto a la cobertura de señal móvil, disponibilidad y accesibilidad, trato interpersonal y claridad en la facturación efectuada por la operadora. **Valor Objetivo:** $GSe \geq 3,5$ [7].

Porcentaje de reclamos generales.- Corresponde al porcentaje de reclamos realizado por clientes con respecto al total de líneas activas en servicio al final del mes. **Valor Objetivo:** $\%Rg \leq 1\%$ [7].

Tiempo promedio de resolución de reclamos.- Es el tiempo promedio en horas que debe esperar un abonado entre el momento que reporta un reclamo y que el mismo es resuelto. **Valor Objetivo:** $Tr \leq 120$ Horas [7].

Tiempo promedio de espera por respuesta de operador humano.- Se refiere al tiempo transcurrido desde el envío de los dígitos marcados hasta que la voz de un operador humano contesta la llamada. **Valor Objetivo:** $Ta \leq 20$ segundos [7].

Porcentaje de reclamos de facturación.- Porcentaje de reclamos, referentes a procesos de facturación, realizados por usuarios respecto al total de líneas activas del operador durante un mes. **Valor Objetivo:** $\%Rf \leq 0,5\%$ [7].

Porcentaje de llamadas establecidas.- Corresponde al porcentaje de llamadas establecidas de manera exitosa respecto al número total de intentos de llamadas realizado durante la cuarta hora más cargada del mes para este servicio. **Valor Objetivo:** $\%Icom \geq 96\%$ [7].

Tiempo de establecimiento de llamada.- Es el intervalo de tiempo, en segundos, que transcurre desde el momento que se presiona la tecla llamar y la recepción del tono de control de llamada. **Valor Objetivo:** $tell < 12$ seg (sin enlace satelital) y $tell < 14$ seg (con enlace satelital) [7].

Porcentaje de llamadas caídas.- Se refiere al porcentaje de llamadas caídas respecto al número total de llamadas establecidas medido por zona de medición, durante la cuarta hora más cargada del mes. **Valor Objetivo:** $\%Ic \leq 2\%$ (para 2G y 3G) [7].

Nivel mínimo de señal en cobertura (Zona de cobertura).- Es el nivel mínimo de señal que permite la prestación del servicio dentro de la zona de medición. **Valor Objetivo:** $\%C \geq 95\%$ [7].

Calidad de conversación.- Mide la calidad de una conversación extremo a extremo, esta evaluación se realiza por zona de medición y tecnología utilizada. **Valor Objetivo:** $MOS \geq 3,3$ (2G y 3G) [7].

Porcentaje de mensajes cortos con éxito.- Se refiere al porcentaje de mensajes cortos recibidos exitosamente por el destinatario en comparación con los mensajes enviados por el remitente dentro de la misma red del operador, durante la cuarta hora más cargada del mes para este servicio. **Valor Objetivo:** $\%Mr \geq 98\%$ [7].

Tiempo promedio de entrega de mensajes cortos.- Mide el tiempo promedio en segundos entre el envío de un mensaje corto y la recepción del mismo, dentro de la misma red del operador y en la cuarta mayor hora cargada del mes para este servicio. **Valor Objetivo:** $Tm \leq 20$ segundos [7].

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DE LA ESTACION BASE REMOTA (RBS).

Antes de efectuar el diseño de una Estación Base Remota o RBS por sus siglas en inglés, es necesario identificar cuáles son los componentes principales necesarios para el correcto funcionamiento de la misma.

Una RBS se puede dividir en 2 subsistemas principales entre los que tenemos el Sistema de Energía, que comprende todos los componentes necesarios para proveer de alimentación, respaldo y protección eléctrica a la RBS, y el Sistema de Radiación, encargado de la adquisición, procesamiento y envío de información necesario para el establecimiento de llamadas de voz, mensajes de texto y demás servicios que se puedan proveer en una red 2G.

En la figura 2.1 se puede apreciar el diagrama de bloques general de una Estación Base Remota.

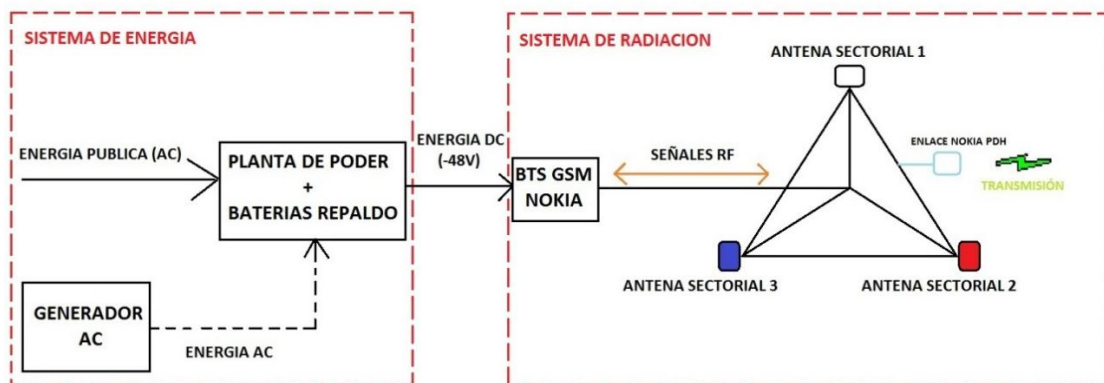


Figura 2.1: Esquema General de una RBS.

Fuente: Los Autores.

El proyecto a desarrollar se basa en el diseño de un enlace de Micro Ondas basado en Jerarquía Digital Plesiócrona o PDH por sus siglas en inglés, para la conexión de la RBS con la red principal de la operadora de telefonía y de una Estación Base Transceptora o BTS, para brindar cobertura a los sitios que no gozan de los servicios que ofrece la telefonía celular, es decir se enfocará en el sistema de

Radiación; mas sin embargo es necesario hablar brevemente de las partes del sistema de Energía.

2.1 Componentes y Diseño de Estación Base Transceptora (BTS).

La Estación Base Transceptora en la que se basa este trabajo es la Nokia Ultrasite EDGE BTS, la misma que es el Core de las soluciones de Nokia para implementaciones del tipo EDGE o WCDMA.

La Nokia Ultrasite EDGE BTS tiene presentaciones dependiendo del tipo de proyecto y condiciones ambientales a los que se encontrara sometida, entre estas tenemos presentaciones diseñadas para Outdoor, Indoor y Midi Indoor.

La Nokia Ultrasite EDGE BTS tiene la capacidad de contener hasta 12 TRXs o hasta 6 GSM/EDGE TRXs y 3 portadoras de WCDMA o puede también configurarse para almacenar hasta 6 TRXs y un sistema integrado de respaldo de baterías el mismo que puede respaldar hasta 18 GSM/EDGE TRXs mediante el uso de un gabinete adicional.



Figura 2.2: Nokia Ultrasite EDGE BTS Outdoor, Indoor y Midi Indoor.
Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

2.1.1 Base Operation & Interface Unit (BOI)

La unidad de operaciones de base e interfaz o BOI por sus siglas en inglés, es la encargada de manejar las funciones de control comunes a todas las demás unidades contenidas en la BTS, entre estas funciones tenemos las siguientes:

- Inicialización de la BTS
- Configuración
- Funciones O&M
- Funciones de Reloj principal
- Recolección de alarmas internas y externas

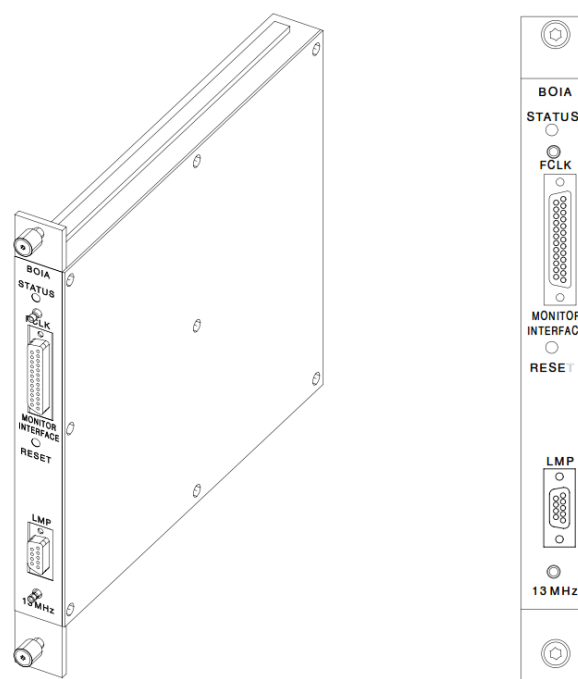


Figura 2.3: Base Operation & Interface Unit
Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

La BOI dispone de las siguientes características:

- **Self Test.**- La BOI tiene la capacidad de realizarse un self test con la finalidad de detectar posibles defectos en el funcionamiento de la unidad.

- **BTS Manager.-** La unidad cuenta con una interface de usuario para comunicarse con el procesador principal y así controlar toda la BTS.
- **Software Descargable.-** Todo el software necesario para el monitoreo y configuración de la BTS puede ser descargado directamente desde la BOI.
- **Status.-** Mediante un LED que es controlado directamente por el procesador principal se puede ver el estado actual de la BOI.
- **Reloj de alta precisión.-** Este reloj puede ser configurado para proveer una referencia de temporización de acuerdo a los requerimientos.

2.1.2 Dual Band Duplex Filter Unit

La función principal de esta unidad es la de combinar las señales TX de 900 y 1800 MHz para GSM en una sola antena y al mismo tiempo permitir la recepción de señales RX en 900 y 1800 MHz a través de la misma antena.

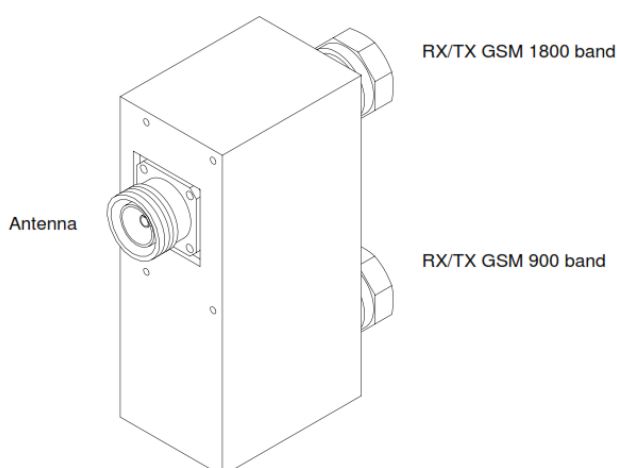


Figura 2.4: Dual Band Duplex Filter
Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

2.1.3 Dual Baseband Unit (BB2x)

Su función principal es la de llevar a cabo todos los procesamientos de señales digitales para los canales de voz y datos, así como gestionar la señalización para las funciones de habla, de manera adicional la BB2x usa el software descargado desde la BOI, configura su temporización acorde a la referencia recibida desde la BOI y soporta saltos de frecuencia sintetizados (RF) y Baseband (BB).

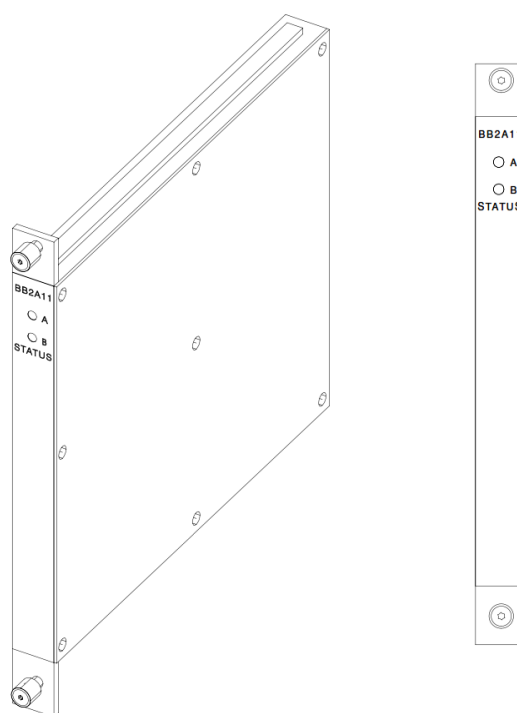


Figura 2.5: Dual Baseband Unit.

Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

La BB2x se comunica con el Transceiver, la BOI y las unidades de transmisión a través del D-bus y del F-bus del Backplane general, la BB2x recibe su energía desde las Power Supply units.

Esta unidad se compone de dos secciones Basebanda independientes y cada una controla un TRX lo cual le permite a cada sección procesar ocho canales lógicos de Transmisión/Recepción.

La BB2x trabaja dentro de dos posibles escenarios los cuales son:

- **Downlink Direction.-** En este escenario la BB2x lee la información proveniente de la Estación controladora Base (BSC), a través de la unidad de transmisión, luego la información es procesada a formato de ráfaga GSM TDMA la misma que es enviada vía downlink mediante el bus de datos serial hacia el transmisor de Radio Frecuencia en la unidad del Transceiver para que finalmente pase por la Dual Band dúplex Filter Unit y sea enviada al aire.
- **Uplink Direction.-** En esta situación la BB2x adquiere desde el receptor de la unidad de Transceiver una señal en formato HDLC digital, la misma que es procesada para extraer la información en bits, esta información es decodificada y enviada a la BSC.

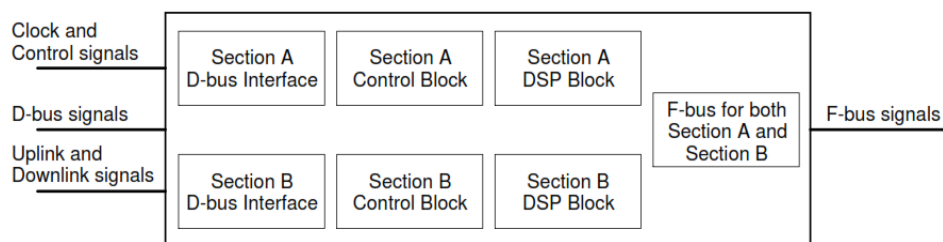


Figura 2.6: Diagrama de Bloque de Dual Baseband Unit (BB2x)

Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

2.1.4 Dual Variable Gain Duplex Filter Unit (DVxx)

Esta unidad es básicamente un controlador de ganancia dual y se encarga de combinar en una misma antena las señales de recepción y transmisión mientras que provee una amplificación con ganancia variable LNA.

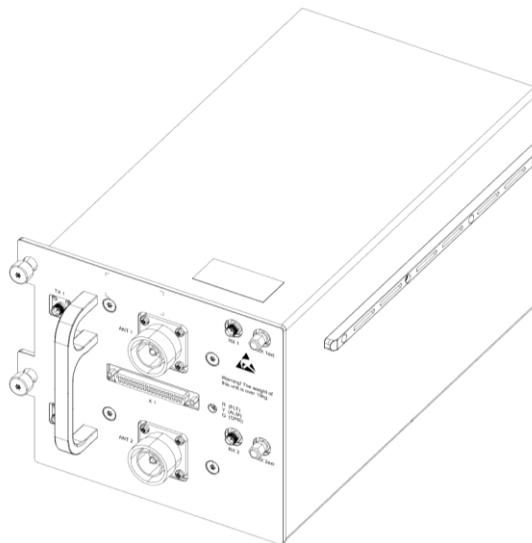


Figura 2.7: Dual Variable Gain Duplex filter Unit.

Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

2.1.5 Receiver Coupler Unit (M2xx/M6xx)

La unidad multiacopladora es un componente pasivo de la BTS y se encarga de dividir en 2 o 6, dependiendo del modelo, las señales del RX y del diversity RX o también llamado DRX.

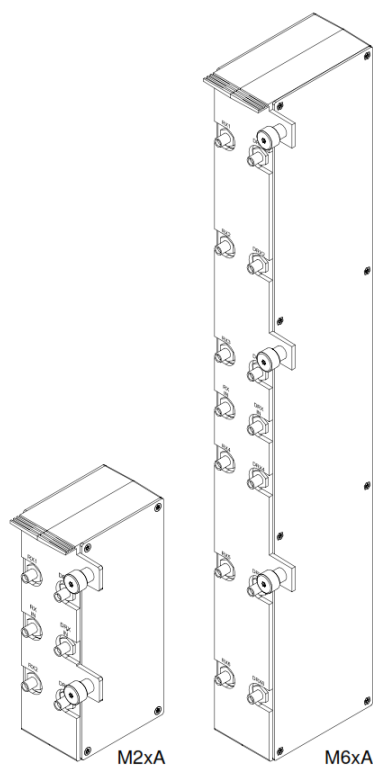


Figura 2.8: RMC Unit.

Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

2.1.6 Power Supply Unit (PWSx)

La PWSx se encuentra disponible en 2 presentaciones con características que las diferencian notablemente dependiendo del tipo de aplicación como se puede ver a continuación:

PWSA (AC Power Supply).- con un voltaje de entrada de 230V AC, tiene la capacidad de proveer hasta 2250W de energía y debido a su factor de forma se pueden instalar un máximo de 2 unidades por cada gabinete de la BTS.

PWSB (DC Power Supply).- Este modelo requiere un voltaje de entrada de 48V DC con una capacidad de hasta 600W lo cual es significativamente menor que su contraparte, pero gracias a su factor de forma permite instalar hasta 3 unidades en cada gabinete de la BTS.

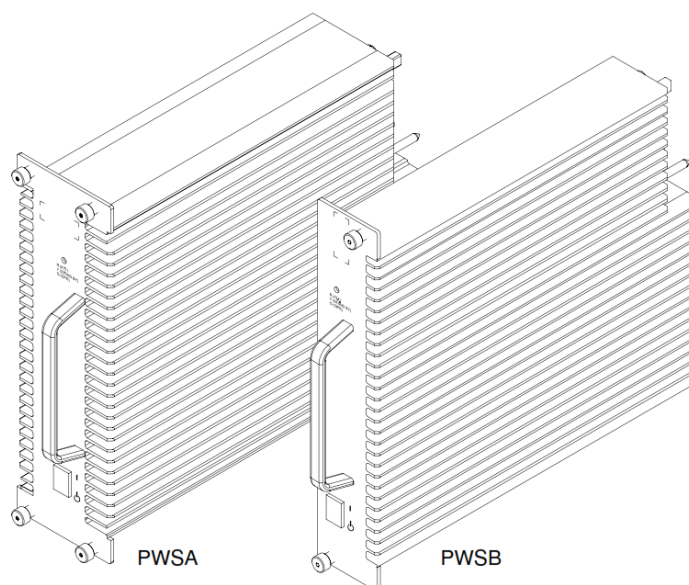


Figura 2.9: Power Supply Unit PWSA y PWSB
Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

2.1.7 Remote Tune Combiner Unit (RTC)

Su función principal es la de interconectar hasta 6 Transceivers (TRXs) en una sola antena para la BTS y proveer la amplificación principal de la señal receptada (RX), cabe indicar que existen diversas presentaciones de esta unidad dependiendo del rango de frecuencias en el que trabajara, entre estas tenemos los modelos RTGA, RTHA y RTJA para GSM a 900 MHz y las RTDA, RTDB y RTDC para GSM a 1900 MHz, su factor de forma permite instalar hasta 2 unidades por gabinete de la BTS.

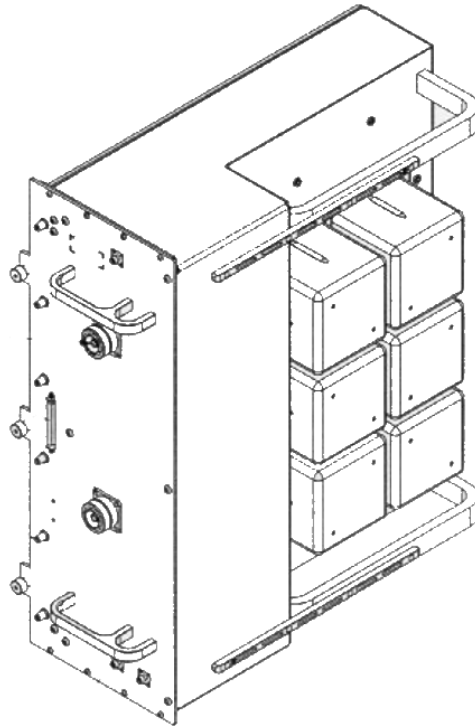


Figura 2.10: Remote tune Combiner Unit.
Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

2.1.8 Transceiver RF unit (TSxx)

La unidad de Transceiver RF tiene como función principal la de proveer el procesamiento de señales análogas y digitales que se requiere para manejar una sola portadora tanto en el Uplink, desde la Estación Móvil (MS) hacia la red de la operadora, y para el Downlink que va desde la red de la operadora hacia los dispositivos móviles, esta unidad tiene 3 presentaciones dependiendo del tipo de implementación entre las que tenemos:

- TSGA para GSM 900
- TSDA para GSM 1800
- TSPA para GSM 1900

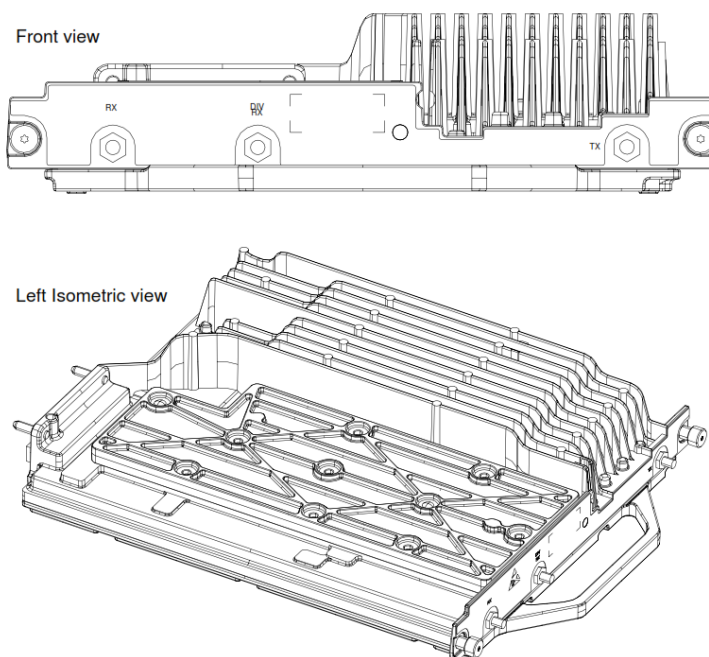


Figura 2.11: Transceiver Unit RF
Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

2.1.9 WideBand Combiner unit (WCxx)

Se encarga de combinar dos señales de transmisión (TX) desde las unidades de Transceiver (TRX) y alimentar los puertos TX de la DVxx, la WCxx puede ser usada con unidades Dual dúplex GSM de 900, 1800 y 1900 MHz en una configuración de banda de frecuencia simple o con dos TRX por sector, a esta configuración se la conoce como 4-Way Wideband Combining.

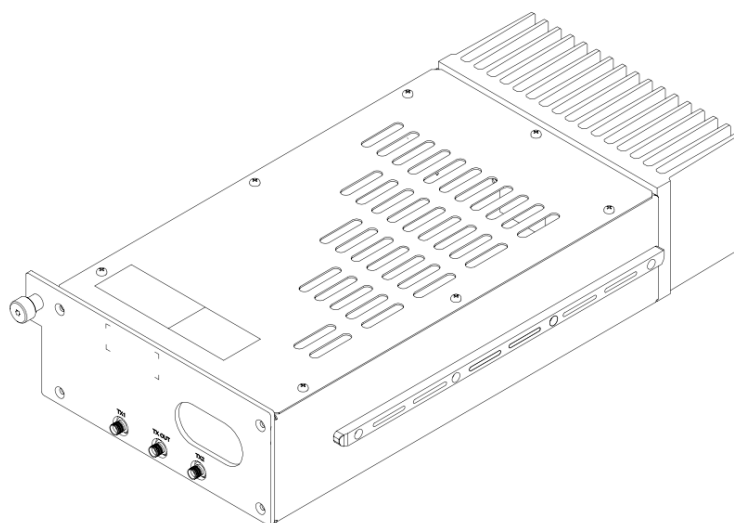


Figura 2.12: Wideband Combiner Unit
Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

2.1.7 FXC E1/T1 Transmission Unit

En las redes móviles, se necesita de diferentes vías para encaminar el tráfico de información. Las rutas de tráfico a través de los elementos de red se definen mediante el uso de las funciones de conexión cruzada o cross-connection disponible en los elementos de la red, debido a esto se puede decir que el enrutamiento de tráfico es básicamente la gestión de las conexiones cruzadas en estos elementos de red.

Las unidades de Transmisión FXC E1/T1 proporcionan las funcionalidades de transmisión necesarias para una variada gama de soluciones Nokia.

Entre las principales características de la WCxx tenemos que cuenta con:

- Cuatro interfaces A-bis de 2Mbit/s (E1) a la línea de transmisión multipunto de 2Mbit/s.
- Cuatro interfaces A-bis de 1.5Mbit/s (T1) a la línea de transmisión multipunto de 2Mbit/s.
- Cada interface puede ser configurada de manera independiente a los modos E1 o T1.

- Cross-connections con las siguientes granularidades: 8k, 16k, 32k, 64k, nx64k y 2M.
- Soporte para una gran variedad de tipos de Cross-connections.
- Capacidad para operar como maestro de lazo de red o como un esclavo.

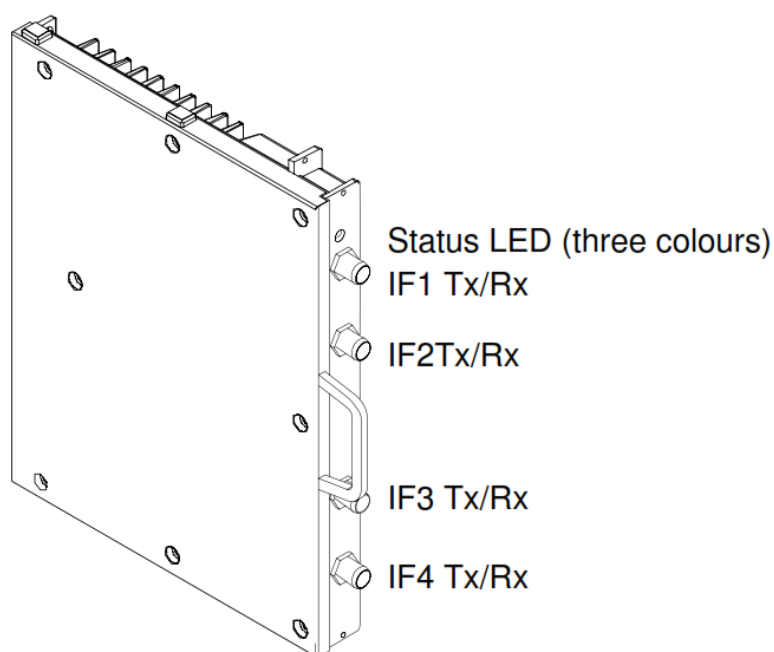


Figura 2.13: FXC E1/T1 Transmision Unit.
Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

2.1.10 Antena Sectorial - Cobertura BTS

Para sistemas de telefonía a nivel de la BTS la solución por excelencia son las antenas sectoriales que gracias a que están basadas en tecnología planar ofrecen menor resistencia al viento, ocupan menos espacio y son más livianas.

Para el diseño propuesto el cual se basa en la Ultrasite Nokia BTS que trabaja a frecuencias de 800/900 MHz y 1800/1900 MHz se propone de

manera inicial el trabajar en la banda de los 850MHz debido a que mientras menor sea la frecuencia de trabajo, mejor será la cobertura.

Debido a que la implementación es de tipo rural, se requerirá aprovechar al máximo la capacidad de cobertura de las antenas en la BTS por lo que se trabajara con antenas que cumplan con las características indicadas en la Figura 2.14.

Frequency range	806–960 MHz
Gain	2 x 16.5 dBd (806–880 MHz) 2 x 16.7 dBd (880–960 MHz)
Impedance	50 ohms
VSWR	< 1.5:1
Intermodulation (2x20w)	IM3: -150dBc
Front-to-back ratio	>25 dB (co-polar)
Maximum input power	2 x 600 watts (at 50°C)
Polarization	+45° and -45°
±45° polarization horizontal beamwidth	85 degrees (half-power) (806–960 MHz) 88 degrees (half-power) (806–960 MHz)
±45° polarization vertical beamwidth	8.5 degrees (half-power) (806–880 MHz) 8 degrees (half-power) (880–960 MHz)
Sidelobe suppression for first sidelobe above horizon	≥ 18 dB
Electrical downtilt	0 degrees
Connector	2 x 7/16 DIN female
Isolation	>32 dB
Weight	49.8 lb (22.6 kg)
Dimensions	101.6 x 10.3 x 4.6 inches (2580 x 262 x 116 mm)
Equivalent flat plate area	9.61 ft ² (0.893 m ²)
Wind survival rating	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	106 x 11.3 x 6.5 inches (2692 x 287 x 165 mm)
Shipping weight	57.3 lb (26 kg)
Mounting	Fixed mount options are available for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD masts.

Figura 2.14: Especificaciones Técnicas de Antena Sectorial.

Fuente: Datasheet Nokia FlexiHopper [9].

2.1.11 Diseño de BTS

Para el diseño de la Estación Base Transmisora se considera el uso de una macrocelda de tipo rural, y para la conversión de tráfico a erlang se utilizara un factor de 0,00013 mili erlang, el mismo que es empleado de manera habitual en la industria, para el dimensionamiento de redes de telefonía móvil.

El dimensionamiento de una BTS se encuentra estrechamente ligado a la cantidad de radios TRX's que se emplean por sector y a su frecuencia de trabajo, estos definen la capacidad y cobertura de la que dispondrán los usuarios, de manera particular la Ultrasite Nokia BTS puede trabajar en las bandas de frecuencia de 800/900 MHz o en 1800/1900 MHz.

Para el presente trabajo se propone el uso de TRX's que funcionen en la banda de 850MHz ya que las frecuencias mientras más bajas son, éstas tienen mayor área de cobertura debido al efecto de "rodear" objetos, que pueda obstaculizar la señal hasta llegar a los dispositivos móviles de los usuarios (celulares).

Para el diseño de la BTS se ha considerado la sectorización con la finalidad de cubrir el poblado de San Francisco de Soledad y sus cercanías, los sectores de cobertura de la estación estarán distribuidos de la siguiente manera:

- **Sector 1:** San Francisco de Soledad.
- **Sector 2:** Rio Chico N°1, Rio Chico N°2 y N°3
- **Sector 3:** El 26 y El Rosario.

En este proyecto se utilizara la configuración estándar de una Ultrasite Nokia BTS, la cual emplea 4 radios transceiver por sector lo cual da como resultado un arreglo 4+4+4; en la práctica esta configuración permite brindar una capacidad de tráfico de voz o datos de aproximadamente 20.15 erlangs, esto se consigue gracias a que cada TRX's cuenta con 8 Timeslot para el manejo de trafico simultaneo, sin embargo uno de estos

es usado para señalización, lo que da como resultado un total de 28 Timeslot por cada sector de la BTS.

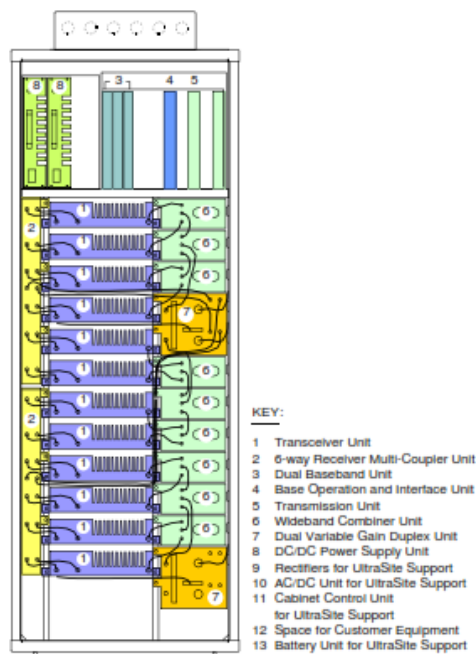


Figura 2.15: Configuración detallada 4+4+4 Nokia Ultrasite BTS

Fuente: Datasheet Nokia Ultrasite EDGE BTS [8].

2.2 Componentes y Diseño de Enlace PDH.

El equipo utilizado para el presente trabajo es el Nokia FlexiHopper, el mismo que es un sistema de Radio microonda confiable y flexible y que puede ser usado en una gran diversidad de redes de transmisión como pueden ser redes móviles, redes fijas o privadas.

Cuenta con capacidades altamente flexibles que permiten seleccionar la capacidad y modulación de trabajo, su capacidad de integración permite manejar una gran cantidad de unidades para interior como una sola entidad y gracias a estas capacidades se reduce significativamente la necesidad de cableado llegando al punto que dentro de una BTS que se encuentre usando una solución basada en Nokia FlexiHopper no es necesario el cableado tipo E1. El Nokia FlexiHopper está compuesto por una unidad Indoor y una unidad Outdoor, las mismas que se encuentran interconectadas con un cable coaxial tipo Flexibus que se encarga de proveer energía y la información digital que será transmitida.

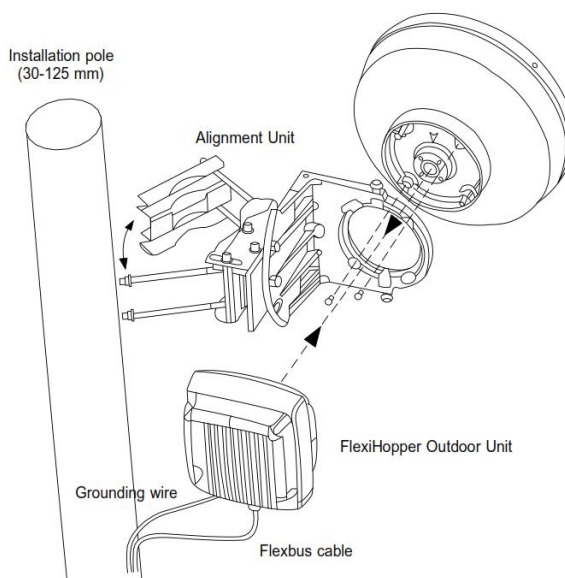


Figura 2.16: Enlace PDH con Nokia FlexiHopper
Fuente: Datasheet Nokia FlexiHopper [9].

2.2.1 FIU 19E Indoor Unit

Con una altura de solo 29mm cuenta con la capacidad de hasta 16x2 Mbit/s mediante la conexión de unidades de 4x2 Mbit/s, permite la conexión de hasta cuatro unidades Outdoor y soporta Standby en caliente y una gran diversidad de protecciones.

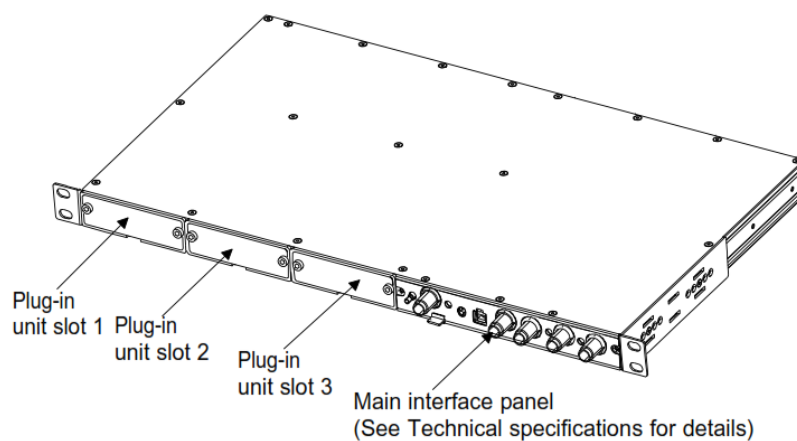


Figura 2.17: FIU 19E Indoor Unit.
Fuente: Datasheet Nokia FlexiHopper [9].

La unidad Indoor soporta también expansión mediante el uso de una Unidad de expansión o EXU, cuando una de estas unidades es conectada se requiere que el primer slot de cada EXU incluya un módulo de control.

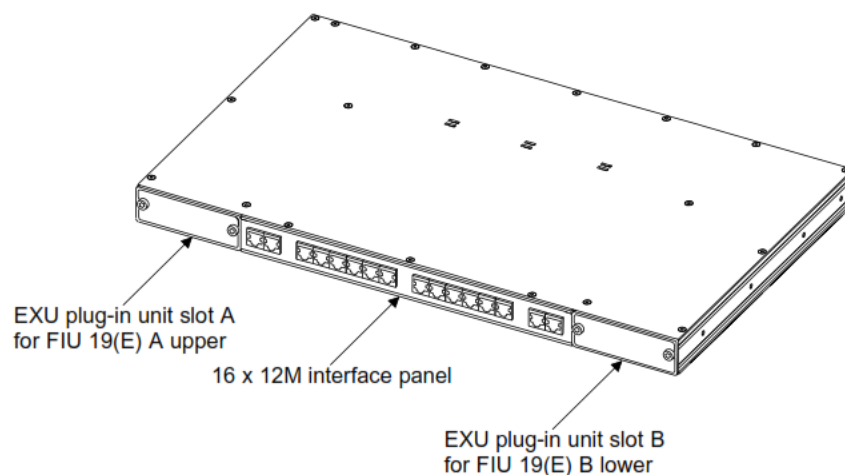


Figura 2.18: FIU 19 EXU con interfaces de balanceo RJ45 a 120 Ohms.

Fuente: Datasheet Nokia FlexiHopper [9].

2.2.2 FXC RRI Transmision Unit.

Esta unidad de transmisión cuenta con dos interfaces Flexbus las cuales permiten conectar la unidad a cualquier radio que tenga una interface Flexbus.

La unidad FXC RRI tiene dos interfaces Flexbus localizadas en la parte frontal y una interface cross-connection en la parte trasera y se encarga de proveer energía de 55Vdc a las unidades Outdoor.

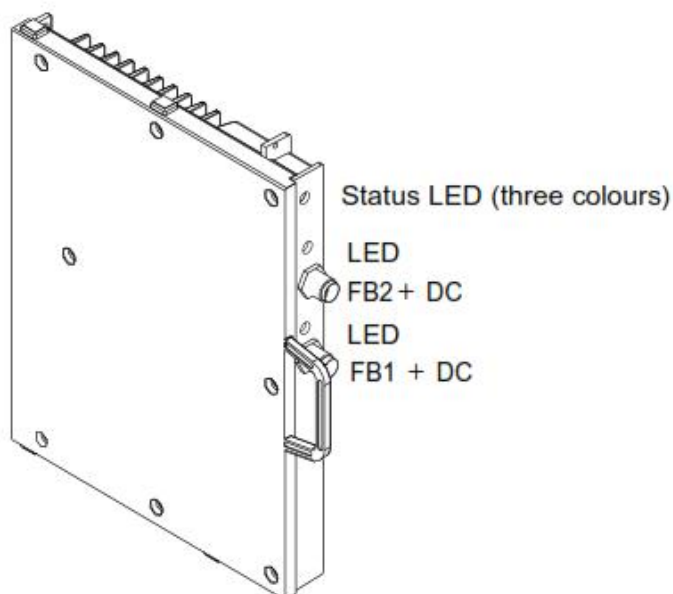


Figura 2.19: FXC RRI Transmission Unit.
Fuente: Datasheet Nokia FlexiHopper [9].

2.2.3 Diseño de Enlace PDH

Para el diseño de un enlace Micro Onda (MW) es necesario establecer mediante cálculos basados en software de simulación una gran cantidad de variables, entre las de mayor importancia tenemos:

- Dirección y Distancia
- Frecuencia de Trabajo
- Presupuesto de Enlace y Potencia de Transmisión
- Diámetro y ganancia de antena parabólica
- Capacidad del enlace
- Polaridad

Dirección y Distancia.- El radioenlace propuesto, para el presente diseño, se lo ubicara entre la estación existente de CONECEL, más cercana, llamada MATADECACAO ubicada en las coordenadas Latitud:

1°59'49.20"S Longitud: 79°20'25.60"O, y la nueva RBS que se propone cuyo nombre, para este diseño, será RBS. SOLEDAD, ubicada en las coordenadas con Latitud: 2°3'16.70"S y Longitud: 79°20'40.59"O. La dirección y distancia del enlace a plantear es de aproximadamente 6.09 Km como se puede observar en la Figura 2.20.

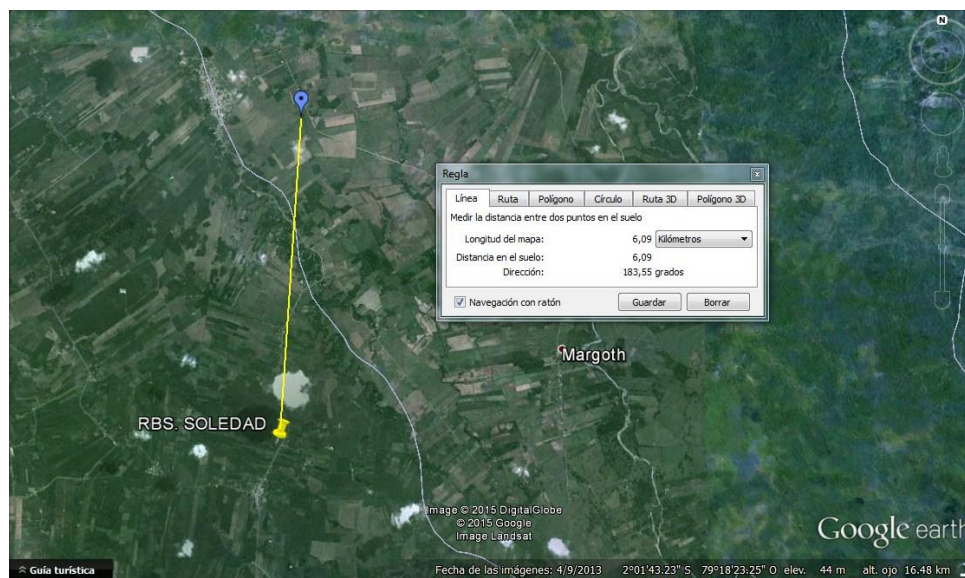


Figura 2.20: Distancia Enlace MATADECACAO – SOLEDAD.

Fuente: Google Earth.

Frecuencia de Trabajo.- De entre todo el espectro radioeléctrico usado para aplicaciones de telecomunicaciones, las bandas de 7 GHz y 15 GHz son las permitidas, por parte del ente regulador en el país, y utilizadas para los enlaces PDH o de última milla de la operadora en mención.

De acuerdo a la fórmula:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

- λ es la longitud de onda
- c es la velocidad de propagación de una onda en el vacío, de valor 3×10^8 m/s.
- f es la frecuencia de trabajo. Reemplazando los valores correspondientes se tiene que:

En la banda de 7 GHz, el valor de longitud de onda es 0.042 m y para el caso en que se trabaje en banda 15 GHz, es 0.02 m.

Por lo tanto mediante ésta fórmula se puede concluir que λ es inversamente proporcional a la frecuencia, es decir que mientras menor sea la frecuencia mayor será la longitud de onda y se tendrá un alcance más largo en cuanto a la distancia de separación entre transmisor y receptor.

Existe una relación, entre la frecuencia de una onda y la energía que necesita la misma, llamada relación de Planck y viene dada por la fórmula:

$$E = h * f$$

Donde:

- E es la energía de la onda electromagnética, f es la frecuencia de la misma y h es una constante de valor 6.63×10^{-34} Js.

Se puede ver que la energía es directamente proporcional a la frecuencia, entonces si se requiere transmitir información haciendo uso de frecuencias más altas, se necesitará mayor energía para llevar a cabo éste objetivo.

También se sabe que las ondas de mayor frecuencia pueden transportar más datos, ya que su ciclo de onda es más rápido y cada oscilación se puede usar para enviar un bit. Por esta razón los enlaces MW en zonas urbanas trabajan en la banda de 15 GHz debido a que existe mayor demanda en el tráfico de voz y datos, además que en estas zonas existen más RBS, las cuales se encuentran cerca unas de otras.

En conclusión podemos indicar que el enlace MATADECACAO – SOLEDAD, que estará situado en una zona rural trabajará en la banda de 7 GHz, debido a que satisface las necesidades de baja demanda de tráfico, la distancia entre las Estaciones Base Remotas, es mayor que las de zona urbana y la energía que se utiliza es más baja que la banda de 15 GHz.

Presupuesto de Enlace y Potencia de Transmisión.- Para realizar el cálculo de presupuesto de enlace es necesario considerar todas las ganancias y pérdidas a lo largo del recorrido, que existen desde el transmisor hasta el receptor, como se puede ver en la Figura 2.21



Figura 2.21: Pérdidas y Ganancias de un Enlace Inalámbrico.

Fuente: Tesis Jaime Jarrin [10].

La ecuación para el cálculo de presupuesto de enlace está dada por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 & R_{x_{dBm}} \\
 &= P_{TX} - L_{c_{TX}} - L_{w_{TX}} + G_{ant_{TX}} - FSL + G_{ant_{RX}} - L_{w_{RX}} \\
 &\quad - L_{c_{RX}}
 \end{aligned}$$

Donde:

- P_{TX} : Potencia del Transmisor [dBm]
- $L_{c_{TX}}$: Pérdida de conectores en la transmisión [dB]
- $L_{w_{TX}}$: Pérdidas en el Cable TX [dB]
- $G_{ant_{TX}}$: Ganancia de Antena TX [dBi]
- FSL : Pérdidas en la trayectoria en el espacio libre [dB]
- $G_{ant_{RX}}$: Ganancia de Antena RX [dBi]
- $L_{w_{RX}}$: Pérdidas en el Cable RX [dB]
- $L_{c_{RX}}$: Pérdida de conectores en la recepción [dB]
- $R_{x_{dBm}}$: Señal recibida, considerando que se requiere que:

$$R_{x_{dBm}} = \text{Margen} - \text{Sensibilidad del receptor}_{dBm}$$

El equipo transceptor conocido como IDU (indoor unit) que se utilizará es de la marca NSN (Nokia Siemens Network) y modelo FIU19e T 55340.01. Con la modulación 4-state de este equipo, según en su hoja de especificaciones, se puede transmitir con una potencia nominal de 23 dBm y una mínima de 20 dBm, con una sensibilidad de recepción de -87 dBm.

El tipo de feeder a usar en el recorrido transmisor-antena y antena-receptor es un LMR400, para el cálculo del presupuesto de enlace se considerarán 60 m ya que aún no se tiene las alturas de las antenas parabólicas en el sitio local y remoto. Según el datasheet este recorrido de cable tiene una pérdida de 23.7 dB.

Los conectores tienen pérdidas de 0.25 dB aproximadamente, son 2 de cada lado Tx y Rx dando un total de 4, que generar una pérdida de 1 dB. Entonces la pérdida total por conectores y feeder en el radioenlace es 24.7dB.

El siguiente cálculo es de la pérdida en el espacio libre, FSL, que es el tramo del enlace donde existe la mayor atenuación. Este valor se calcula con la siguiente fórmula:

$$FSL_{dB} = 32.40 + 20 \log_{10}(D) + 20 \log_{10}(F)$$

Donde:

D: La distancia en Km entre las 2 estaciones

F: La frecuencia de trabajo en MHz.

Reemplazando los datos se tiene:

$$FSL_{dB} = 32.40 + 20 \log_{10}(6.09) + 20 \log_{10}(7000)$$

$$FSL_{dB} = 32.40 + 15.69 + 76.90$$

$$FSL_{dB} = 124.99dB$$

En cuanto a la señal que capta el receptor, lo ideal sería que este valor fuera alto, alrededor de - 20 dBm, pero en la realidad debido a los diferentes factores que atenúan la señal transmitida tales como: presión atmosférica, vegetación, clima, etc. que afecten su línea de vista, el tener una señal recibida de -40 dBm es excelente.

Para este diseño se considerará que se requiere una señal captada por el receptor equivalente aproximadamente al 60% de la sensibilidad del equipo IDU, esto es:

$$Rx = -87 * 0.6 \text{ dBm}$$

$$Rx = -52.2 \text{ dBm}$$

Diámetro y Ganancia de antena parabólica.- Basándonos en la potencia nominal de Tx, se calcula la ganancia que deberá tener la antena parabólica, asumiendo que tanto la antena transmisora, como la receptora son de iguales características:

$$-52.2 \text{ dBm} = 23 \text{ dBm} - 24.7 \text{ dBm} + G_{ant_{TX}} - 124.99 \text{ dBm} + G_{ant_{RX}}$$

$$G_{ant_{RX}} = \frac{-52.2 + 124.99 + 24.7 - 23}{2}$$

$$G_{ant_{RX}} = 37.245 \text{ dBi}$$

Para calcular el diámetro de esta antena direccional se hará uso de la siguiente fórmula considerando una eficiencia del 65%:

$$G_{antena} \text{ [dBi]} = 10 \log \left[\frac{4\pi \cdot A}{\lambda^2} * 0.65 \right]$$

$$G/10 = \log \left[\frac{4\pi \cdot A}{\lambda^2} * 0.65 \right]$$

$$\frac{\lambda^2 \left[10^{G/10} \right]}{4\pi * 0.65} = A$$

$$A = \pi r^2 = \frac{\lambda^2 \left[10^{G/10} \right]}{4\pi * 0.65}$$

$$r^2 = \frac{\lambda^2 \left[10^{G/10} \right]}{4\pi^2 * 0.65}$$

$$r = \sqrt{\frac{(0.042)^2 \left[10^{37.245/10} \right]}{4 * (3.1416)^2 * 0.65}}$$

$$r = 0.602 \text{ m}$$

$$D = 2r = 1.204 \text{ m}$$

Capacidad del Enlace.- La capacidad del enlace dependerá de la topología o arquitectura de la red en la que se encuentren ubicados los enlaces, esta topología tiene una amplia gama de variaciones como se puede ver en la Figura 2.22.

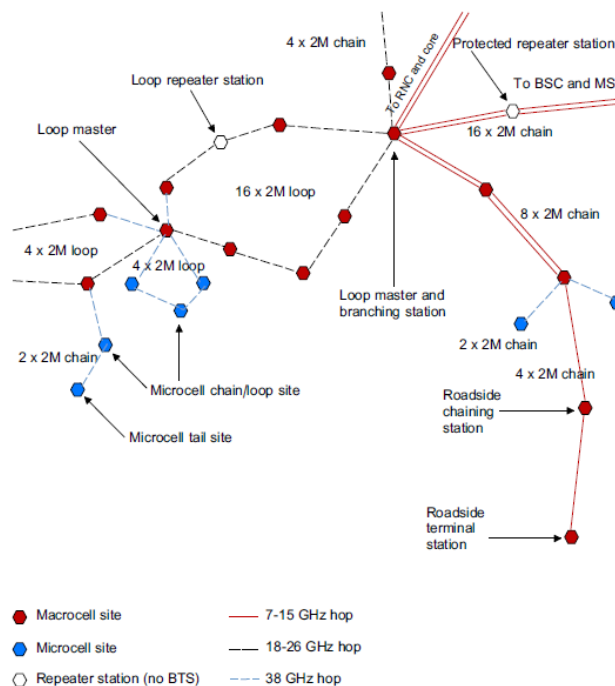


Figura 2.22: Topologías soportadas por Nokia Flexihopper
Fuente: Datasheet Nokia FlexiHopper [9].

Cabe indicar que los enlaces establecidos entre una estación principal y una secundaria pueden alcanzar la máxima capacidad que el equipo IDU puede proveer, que son 16xE1 y a medida que se expande la red de MW's, la capacidad de los IDU disminuyen a 8xE1, en las estaciones de encadenamiento, puesto que cada vez tienen menos tráfico que procesar; hasta llegar a las estaciones terminales cuya capacidad generalmente es de 4xE1, en la red celular con enlaces Nokia FlexiHopper.

La RBS. SOLEDAD, que se propone en este diseño, será una estación terminal, por éste motivo el enlace MATADECACAO-SOLEDAD tendrá una capacidad de 4E1, suficientes para dar cobertura al sitio en mención y las zonas aledañas al mismo.

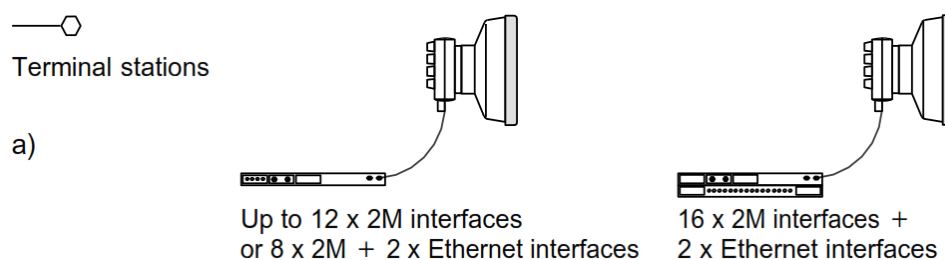


Figura 2.23: Configuraciones tipo terminal para Nokia Flexihopper.
Fuente: Datasheet Nokia FlexiHopper [9].

Polaridad.- Este parámetro será calculado en base a las especificaciones técnicas de la antena parabólica que se usara para el enlace PDH, modelo HPX4-71W-D3A/A que cuenta con polaridad vertical y horizontal. Con ayuda del software Radio Mobile se ha realizado una simulación del enlace a breve rasgo, con el fin de verificar cuál será la polarización más apropiada para el radioenlace.

La Figura 3.24 muestra el enlace simulado con polaridad vertical, teniendo un valor en Rx de -54.8 dBm.

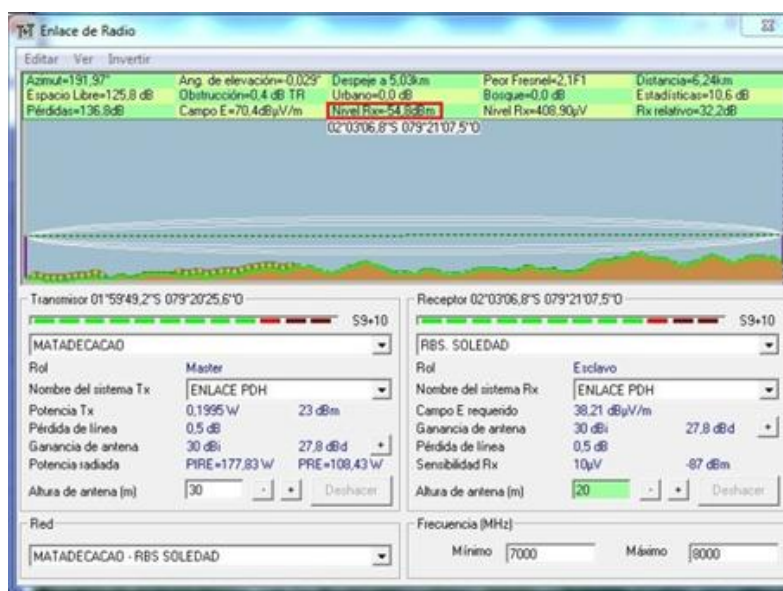


Figura 2.24: Simulación de Enlace MATADECACAO-SOLEDAD, polaridad vertical.
Fuente: Los Autores

Mientras que la Figura 2.25, es la simulación del mismo con polaridad horizontal, en cuyo caso se obtiene un valor de Rx en -50.7 dBm.

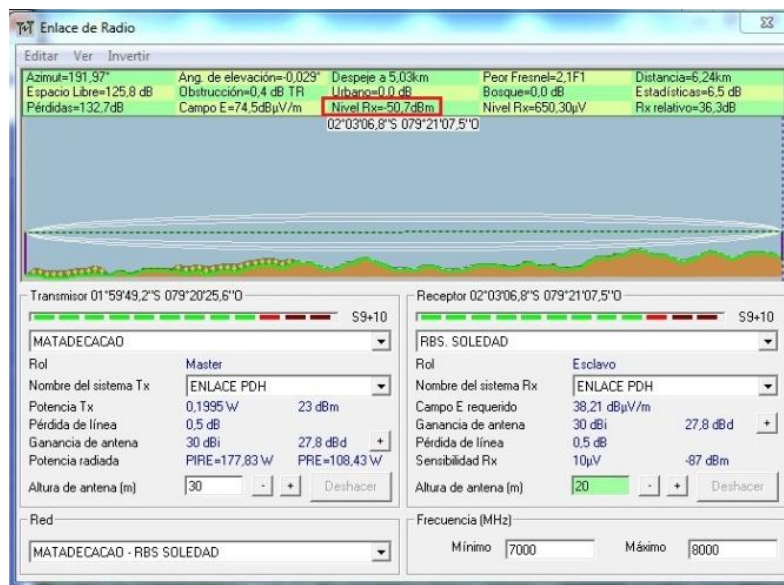


Figura 2.25: Simulación de Enlace MATADECACAO-SOLEDAD, polaridad horizontal.
Fuente: Los Autores

Entonces se puede concluir que la polarización más adecuada para el enlace es la horizontal, ya que con ésta, se tiene mejores niveles de recepción o campo.

2.3 Componentes y Diseño de Power Plant.

Este sistema también llamado Planta de Poder (PP), está compuesta por:

- Generador Eléctrico
- Tablero de Transferencia
- Rectificadores de media onda
- Banco de Baterías

La Planta de Poder es la encargada de proveer energía DC a los equipos del sistema de Radiación, compuestos por la BTS y el enlace MW. La Planta de Poder recibe su suministro de energía desde la red pública AC, la misma que, a

través de rectificadores de media onda, es convertida en energía DC para que puedan funcionar los equipos activos, contenidos en la RBS.

La Planta de Poder se encarga de controlar la activación del generador en caso de que se pierda el suministro desde la red de energía pública, activando inmediatamente el Generador, el mismo que consta de un motor a Diesel y que realizara el papel de fuente AC para que la RBS continúe operativa.

De presentarse un caso extremo, en el que se acabe el combustible del generador y aún no haya sido restaurado el suministro desde la red de energía pública, el sistema cuenta con bancos de baterías que tienen la capacidad de entregar energía DC directamente a los equipos por un periodo de aproximadamente 6 horas continuas.

2.3.1 Unidad de Control y Monitoreo de Power Plant

Esta unidad es usada como el centro vital de la Planta de poder, permite una alta escalabilidad y flexibilidad de expansión, permite controlar y comunicarse directamente con cada uno de los rectificadores mediante un bus de comunicación CAN al mismo tiempo que provee de una interfaz digital para el operador, la misma que permite:

- Monitoreo y pruebas de baterías sin necesidad de intervención física
- Carga compensada de temperatura para mejorar el tiempo de vida de las baterías
- Indicador de tiempo de vida de baterías



Figura 2.26: Unidad de Control Eltek Smart Pack
Fuente: Datasheet Eltek Smart Pack Controller [11].

2.3.2 Rectificadores de Media Onda

Los módulos rectificadores de media onda se encargan de facilitar la conversión de la corriente alterna AC en corriente directa DC para alimentar a los diferentes equipos contenidos en la RBS, estos rectificadores permiten manejar una alta densidad de energía sin disminuir la confiabilidad del sistema con una alta flexibilidad permitiendo cubrir aplicaciones desde 2KW hasta 2MW.



Figura 2.27: Rectificador de media onda Flatpack 110-125V

Fuente: Datasheet Eltek Smart Pack Controller [12].

Cabe indicar que dependiendo de la aplicación se requerirá un mayor o menor número de rectificadores que a su vez necesitarán breakers de protección para sobre voltajes y sobre corrientes, en la Figura 3.28 se puede apreciar un dimensionamiento de rectificadores similar al propuesto en este trabajo.



Figura 2.28: Instalación real de Rectificadores basado en Eltek
Fuente: Los Autores.

2.3.3 Generador Eléctrico

El generador eléctrico se encargará del suministro de energía AC de la RBS en caso de que la red eléctrica pública falle, deberá estar dimensionado de acuerdo a las necesidades energéticas de la RBS, considerando los requerimientos de la BTS y del Enlace de Microondas que componen el sistema de radiación.

Es de importante consideración que el generador tenga un factor de forma reducido como el mostrado en la Figura 2.29.



Figura 2.29: Instalación real de Generador Eléctrico 25KVA en RBS
Fuente: Los Autores

Esto debido a las limitantes de espacio disponible dentro de la RBS, adicionalmente se requiere contar con un tablero de transferencia que se encargue de realizar el intercambio entre el suministro de energía desde la red eléctrica pública y el generador, así como el encendido del mismo.



Figura 2.30: Instalación real de Tablero de transferencia en RBS
Fuente: Los Autores.

2.3.4 Diseño y requisitos mínimos de Power Plant.

El suministro de energía necesario para la RBS dependerá directamente de los requisitos de los equipos que serán alimentados en el sitio, para este diseño se ha considerado la instalación de una NOKIA ULTRASITE BTS la misma que según sus especificaciones técnicas requiere aproximadamente 21A [8] y un enlace de Microonda basado en NOKIA FLEXIHOPPER en modo terminal que demanda aproximadamente 6A según su datasheet [8]. Entonces para este caso en particular se tiene que:

$$P = V * I$$

Donde:

- P : Potencia entregada por el generador
- V : Voltaje AC cuyo valor es de 230 Vac

- *I*: Carga en Amperios del sistema de telecomunicaciones (MW y BTS).

$$P = (230Vac * 27A)$$

$$P = 6210VA = 6.21KVA$$

Si en un futuro se llegara a instalar una BTS adicional, lo cual es altamente probable, entonces se tiene que:

$$P = (230Vac * 48A)$$

$$P = 11040VA = 11.04KVA$$

Los Generadores para las RBS que existen en el mercado son de 5, 10, 15 y 20 KVA, para el sistema de energía en la RBS. SOLEDAD se debe considerar:

- Un generador de 15 KVA, para el caso en que se necesite hacer una futura optimización de la estación.
- Una Power Eltek con 4 flatpack`s, rectificadores de media onda.
- Tres bancos de cuatro baterías, de 12 V, cada uno.
- Un Breaker de 63 A para la alimentación de la BTS.
- Dos Breakers de 6 A para la alimentación del enlace MW.

En la Figura 3.31 se puede apreciar el software de monitoreo de una planta de poder Power Eltek, que satisface las especiaciones anteriormente solicitadas.

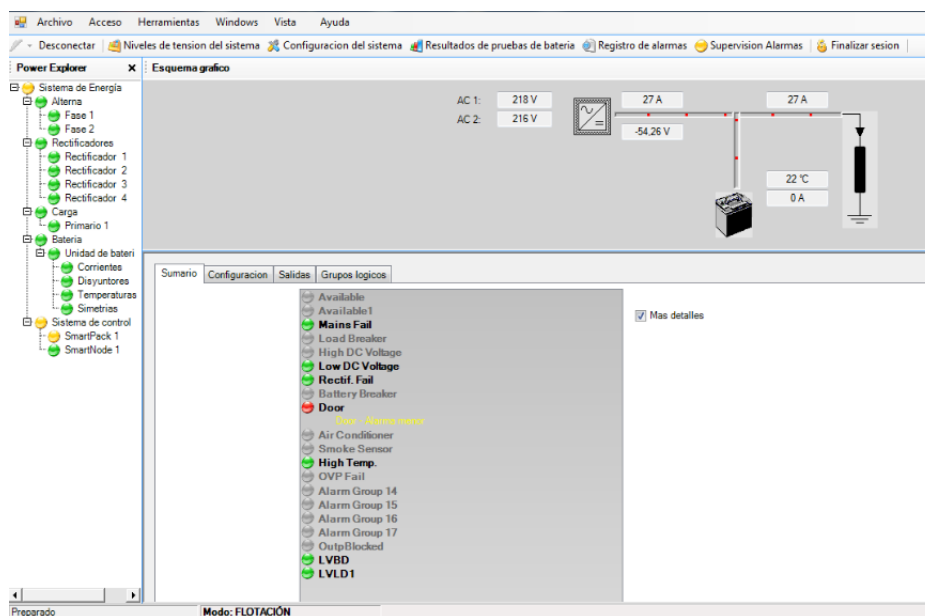


Figura 2.31: Software de monitoreo de planta de poder Power Eltek
Fuente: Los autores.

Debido a que los equipos de la planta de poder son de tipo Indoor será necesario el uso de un gabinete adicional al que contendrá los equipos propios de la BTS, este espacio adicional puede ser también aprovechado para los equipos Indoor del enlace Microonda y los bancos de baterías como se puede ver en la Figura 3.32.



Figura 2.32: Gabinete Power Eltek, Planta de Poder y Equipos Indoor de MW.

Fuente: Los Autores.

2.4 Consideraciones Estructurales.

Uno de los puntos de importancia que deben ser considerados al momento de diseñar una RBS es la ubicación óptima de la torre auto soportada, esto determinara en gran parte las áreas que podrán ser provistas de los servicios de telefonía móvil.

Con esto en mente es necesario realizar un estudio que permita definir la ubicación geográfica óptima así como el área y distribución física necesaria para el correcto funcionamiento de la RBS que deberá estar sujeto a las recomendaciones de buenas prácticas de instalación, para esto se procederá, en las siguientes secciones, a realizar un estudio que busque especificar el área necesaria, ubicación, altura, distribución física, entre otros factores necesarios previos a la implementación de la RBS propuesta en el presente trabajo.

Cabe recalcar que el dimensionamiento considerado en la siguiente sección corresponde a componentes y equipos usados comúnmente en

implementaciones de Radio Bases GSM dentro del territorio ecuatoriano y de manera particular se referencia a la Nokia Ultrasite BTS.

2.4.1 Ubicación Geográfica y Área necesaria para la RBS.

Previo a la implementación de una RBS es necesario identificar la ubicación geográfica óptima de la misma, para esto se ha procedido a realizar una visita técnica con lo cual se ha logrado determinar los siguientes parámetros:

- Altura del terreno.
- Latitud y Longitud de la ubicación.
- La existencia y disponibilidad del espacio físico necesario.
- Identificación de Sectores de cobertura X,Y y Z.

Estos parámetros fueron obtenidos durante el levantamiento de información en sitio con la ayuda del programa Radio Móvil, luego de lo cual se procedió a documentar el proyecto de manera organizada como se presenta en la Figura 2.33.

FIEC - AREA DE PROYECTOS TELECOMUNICACIONES			
Proyecto:		RBS SOLEDAD 850 MHZ GSM	
Contenido:		DISTRIBUCION DE EQUIPOS - RBS SOLEDAD	
CELDA:	RBS SOLEDAD		
PROVINCIA:	GUAYAS	CIUDAD:	SAN FRANCISCO DE SOLEDAD
DIRECCION:	VIA SIMON BOLIVAR - RIO CHICO		
UBICACION GEOGRAFICA	Latitud: 2°3'16.7"	Longitud: 79°20'40.59"	Altura: 47 m.
Sistema:	GSM/EDGE		
TIPO DE TORRE:	AUTOSOPORTADA TRIANGULAR		
ALTURA DE LA TORRE:	60.00 m	ALTURA DEL EDIFICIO:	0.00 m. ALTURA TOTAL: 60.00 m
TIPO DE ANTENA: 739650	SECTOR X: 171°	SECTOR Y: 275°	SECTOR Z: 14°

Figura 2.33: Información obtenida Proyecto RBS Soledad 850 MHZ GSM.
Fuente: Los Autores.

Se considera que el área necesaria para el montaje de la RBS es de 225 m², con 15m en su frente y 15m en su fondo, área que ha sido dimensionada en base al tamaño real de los equipos y antena, los cuales

han sido distribuidos de tal forma que no afecten a su buen funcionamiento, ventilación y faciliten el mantenimiento periódico que demandara la RBS tal como se puede ver en la Figura 2.34.

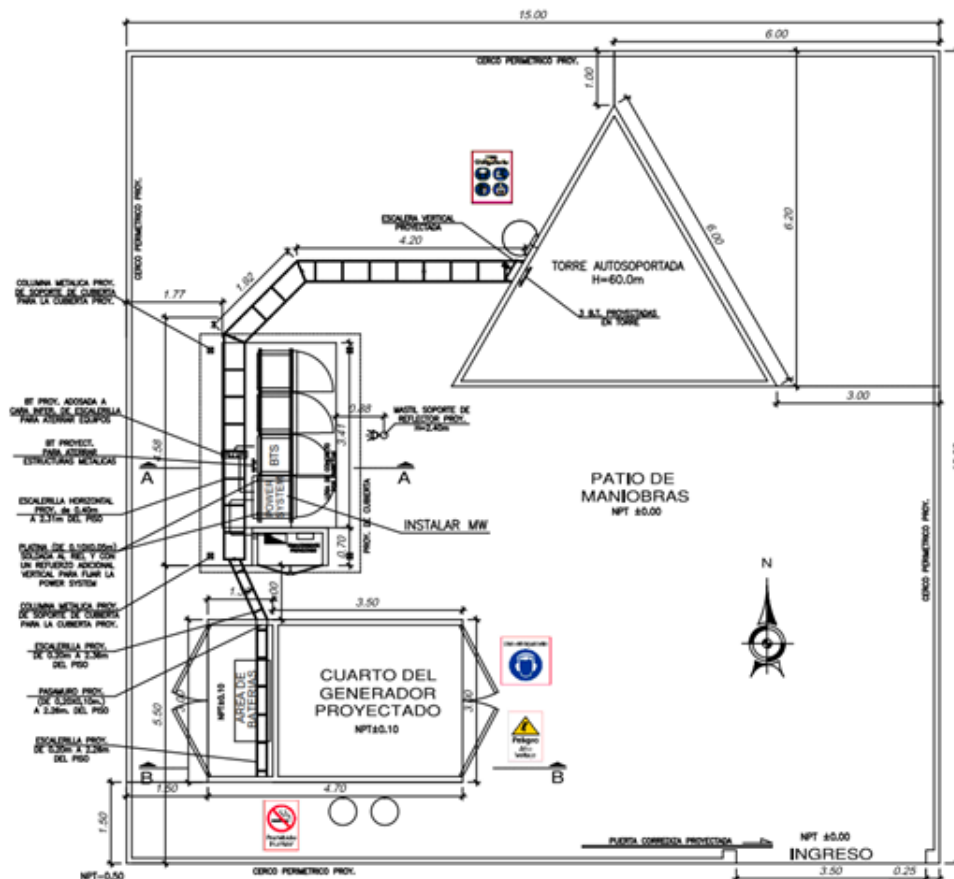


Figura 2.34: Vista de Planta – RBS Soledad 850 MHz GSM.
Fuente: Los Autores.

2.4.2 Torre Auto soportada.

La estructura física principal de la RBS es la antena auto soportada que para el proyecto propuesto tendrá una altura de 60 metros, esta estructura será la encargada de albergar tanto sectoriales de la BTS como la antena necesaria para el enlace inalámbrico con el punto más cercano llamado MATADACAO, las orientaciones o azimut de cada antena sectorial así como la antena del enlace PDH se describen en la Figura 2.35.

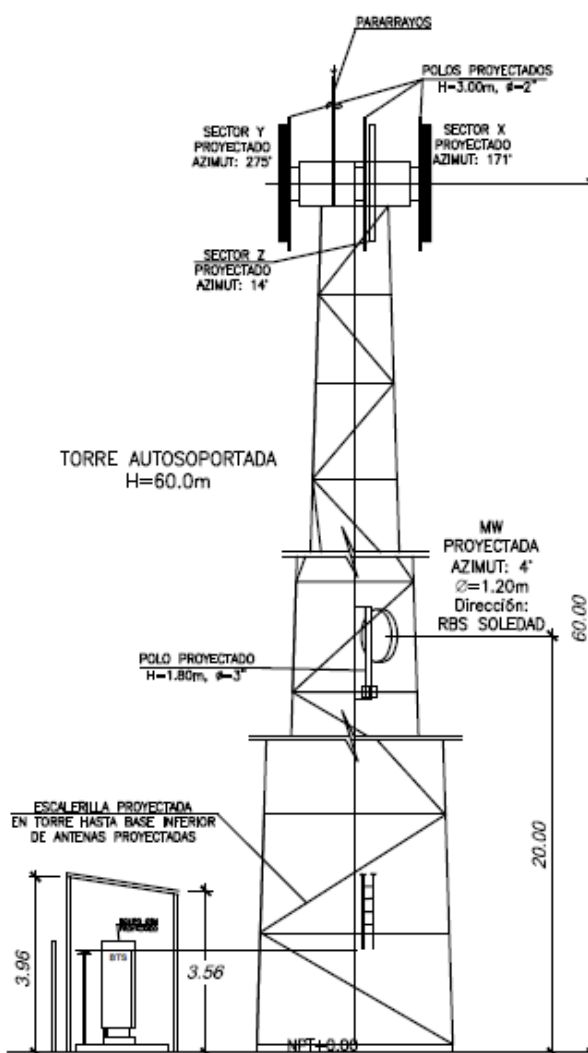


Figura 2.35: Vista lateral – Antena Auto soportada.
Fuente: Los autores.

2.4.3 Distribución de Equipo Activo

El equipo activo necesario para la RBS, planta de poder y generador ha sido distribuidos de tal manera que permitan el fácil acceso para los trabajos de mantenimiento y están definidos en su mayoría por los Racks que se incluyen en la Nokia Ultrasite BTS, los equipos se encontraran distribuidos como se indica en la Figura

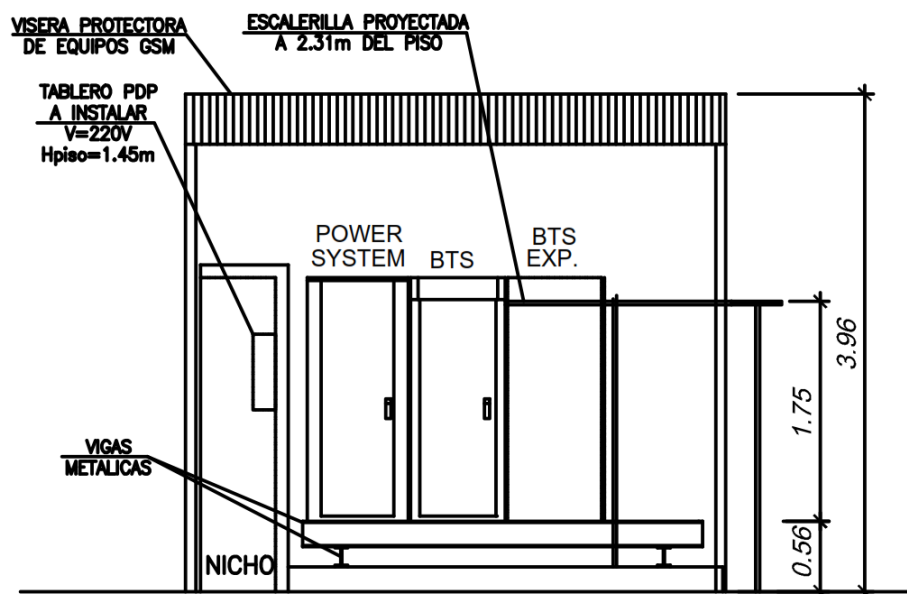


Figura 2.36: Vista Lateral de Alzado de Equipos RBS.
Fuente: Los Autores

2.5 Simulación y Estudio de Cobertura.

Como parte final del proceso de diseño de la RBS que será ubicada en San Francisco de Soledad, será necesario realizar un estudio de cobertura del sector con lo cual se podrá determinar cuáles serán los sectores que contarán con cobertura, información que se considera de vital importancia para definir la factibilidad técnica del presente proyecto, este proceso de simulación de cobertura se ha dividido en dos secciones que comprenden el enlace PDH La Soledad – Mata de Cacao y el área de cobertura de la BTS que estará definida por varias antenas sectoriales, para el desarrollo de esta sección se hace uso del programa de simulación de enlaces de radiofrecuencia llamado Radio Mobile y del software Google Earth para poder comprobar las características geográficas que podrían influir en el resultado final de las simulaciones realizadas.

2.5.1 Simulación de enlace PDH RBS SOLEDAD – MATADECACAO

Para el desarrollo de esta sección se ha considerado que la RBS que se ubicara en el recinto San Francisco de Soledad deberá trabajar en modo esclavo, el mismo que se conectara a la red principal de la operadora más cercana la cual cuenta con una torre ubicada en el punto identificado como Mata de Cacao, a continuación se procede a realizar el ingreso de las características de potencia de transmisión y respectivas ganancias de antenas, cabe indicar que esta información se basa de manera estricta en las características técnicas indicadas en los Datasheets de los equipos que se proponen en el presente trabajo.

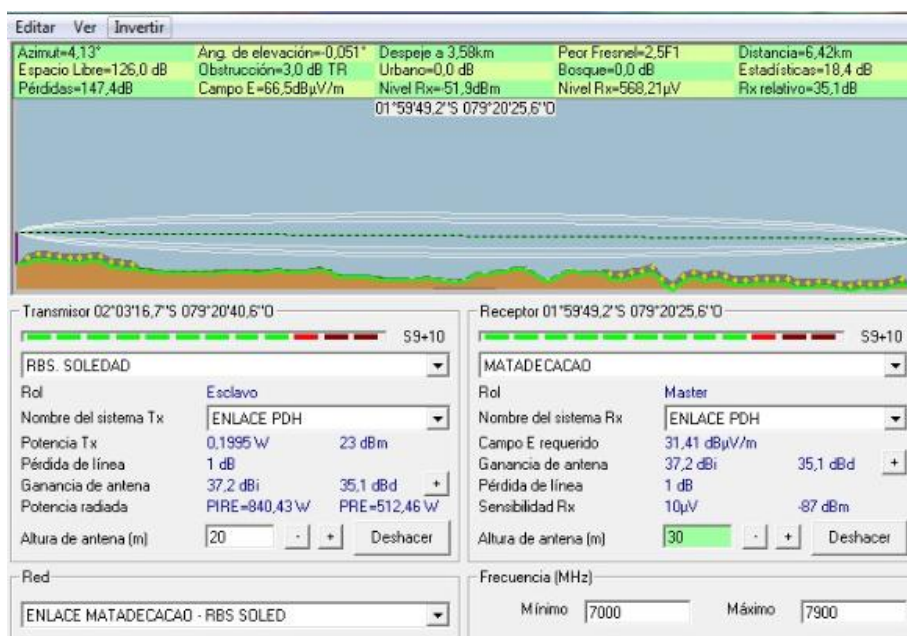


Figura 2.37: Parámetros de Simulación Enlace PDH.

Fuente: Los Autores.

En base a la información ingresada en el software de simulación se puede apreciar un enlace exitoso con buenos niveles recepción, gracias a la información obtenida de la simulación realizada se pudo también identificar información de interés como el Azimut, altura requerida de la antena en la ubicación de La Soledad y el ángulo de elevación, información de gran importancia al momento del realizar el montaje de las antenas.

Como se puede apreciar en la Figura 3.38 el enlace PDH tiene línea de vista y su zona de fresnel no se ve afectada por obstáculos en el recorrido, con esto también se ha podido identificar la altura recomendada de montaje para la antena ubicada en Soledad.



Figura 2.38: Vista de Google Earth – Enlace PDH.
Fuente: Los Autores.

2.5.2 Simulación de cobertura BTS

Debido a que la cobertura de la BTS está determinada por antenas sectoriales, se ha considerado necesario identificar cuáles serán los sectores de interés que requieren contar con cobertura del servicio de telefonía móvil, para esto hacemos uso del software Google Earth e identificamos de manera visual y luego con coordenadas geográficas los sectores de cobertura que son usualmente llamados X, Y y Z, tal como se puede apreciar en la Figura 2.39.



Figura 2.39: Sectores X, Y y Z de BTS – San Francisco de Soledad.
Fuente: Los Autores.

Luego de identificar cada uno de los sectores se procede a ingresar los parámetros de simulación en el software Radio Móvil como se puede apreciar en las Figuras 2.40 y 2.41.

Figura 2.40: Parámetros de Configuración para sectores X, Y y Z.
Fuente: Los Autores.

Lista de todos los sistemas

COBERTURA RBS SOLEDAD

Sistema 2
Sistema 3
Sistema 4
Sistema 5
Sistema 6
Sistema 7
Sistema 8
Sistema 9
Sistema 10
Sistema 11
Sistema 12
Sistema 13
Sistema 14
Sistema 15
Sistema 16
Sistema 17
Sistema 18
Sistema 19
Sistema 20
Sistema 21
Sistema 22
Sistema 23
Sistema 24
Sistema 25

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología Miembros **Sistemas** Estilo

00 Selecionar desde VHF... UHF...

Nombre del sistema COBERTURA RBS SOLEDAD

Potencia del Transmisor (Watt) 6,309574 (dBm) 38

Umbral del receptor (μ V) 1 (dBm) -1,07

Pérdida de la línea (dB) 1 (Cable+cavidades+conectores)

Tipo de antena yagi.ant Ver

Ganancia de antena (dBi) 16,7 (dBd) 14,55

Altura de antena (m) 60 (Sobre el suelo)

Pérdida adicional cable (dB/m) 0 (Si la altura de la antena difiere)

Agregar a Radiosys.dat Remover del Radiosys.dat

Figura 2.41: Parámetros de funcionamiento de antenas sectoriales.
Fuente: Los Autores.

A pesar de que las características de funcionamiento de las antenas destinadas a cada uno de los sectores, son idénticas es necesario que las simulaciones sean realizadas de manera personalizada, para esto es necesario considerar los azimut de cada una de las mismas tal como se puede apreciar en Figura 2.42.

Dirección del antena

SECTOR X

Azimet (°) Ang. de elevación (°)

171,4 -1,733181

Ver patrón

Dirección del antena

SECTOR Y

Azimet (°) Ang. de elevación (°)

274,9 -1,775419

Ver patrón

Dirección del antena

SECTOR Z

Azimet (°) Ang. de elevación (°)

14,4 -1,878775

Ver patrón

Figura 2.42: Azimut de antenas sectoriales.
Fuente: Los Autores.

Luego de haber realizado las simulaciones individuales correspondientes a cada sector y superponer las mismas en una sola imagen podemos

observar que los sectores X, Y y Z cuentan con optima cobertura como se puede observar en la Figura

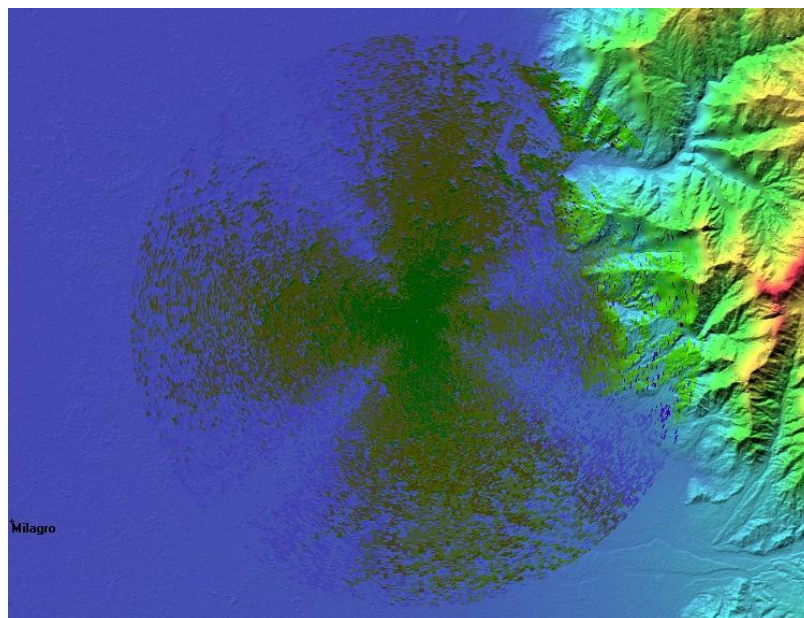


Figura 2.43: Cobertura de BTS La Soledad.
Fuente: Los Autores.

Con el estudio y simulaciones realizadas en esta sección se ha podido comprobar a nivel técnico que la implementación de una RBS ubicada en La Soledad es viable, por lo cual se procederá en capítulos posteriores a realizar un análisis económico y determinar de esta manera la factibilidad del proyecto en general.

CAPÍTULO 3

3. ESTUDIO ECONOMICO E IMPACTO SOCIAL.

En el presente capítulo se procederá a realizar un análisis económico que determinara el nivel de factibilidad así como la rentabilidad que podría incentivar en la ejecución del proyecto “PROVISION DE SERVICIOS UNIVERSALES CON TELEFONIA CELULAR A LA POBLACION DEL RECINTO SAN FRANCISCO DE SOLEDAD - PARROQUIA LORENZO DE GARAICOA – CANTON SIMON BOLIVAR - PROVINCIA DEL GUAYAS, USANDO UN SISTEMA GSM/2G/EDGE”.

Para esto se considerara los costos necesarios para el montaje y puesta en funcionamiento de una Estación Base de Transmisión, basada en el sistema Nokia Ultrasite EDGE BTS y en su contraparte se asumirán los ingresos generados a partir del consumo diario de los servicios de Telefonía Móvil y demás prestaciones que se podrán ofrecer a los habitantes del recinto San Francisco de Soledad con el objetivo de determinar indicadores económicos de interés como el tiempo de retorno de inversión y la factibilidad económica del proyecto.

De manera paralela se buscará cuantificar el impacto social que la provisión del servicio de Telefonía Móvil podría generar en las poblaciones beneficiadas por el proyecto anteriormente mencionado, con el cual no solo se espera generar beneficios económicos para las operadoras sino que también se pretende acercar a más ecuatorianos y proporcionarles herramientas actualmente consideradas como básicas al momento de ejercer cualquier tipo de actividad socio-económica al mismo tiempo que se les permite un mejor acceso a las tecnologías de la información como se contempla en la Estrategia Ecuador Digital 2.0 y en el Plan Nacional del Buen Vivir.

3.1 Análisis Económico.

El análisis económico mostrado en esta sección busca establecer el nivel de rentabilidad esperada de la implementación del presente proyecto, se mostrarán los costos necesarios que se deberán considerar para la implementación de una

BTS Nokia Ultrasite, así como los ingresos generados por la provisión de servicios en la zona.

La implementación de la BTS comprende varios subsistemas de vital importancia para el correcto funcionamiento de los servicios prestados en cumplimiento con los lineamientos de calidad de servicio establecidos en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones a los que deberá regirse, entre estos subsistemas tenemos:

- BTS GSM
- Enlace PDH
- Planta de Poder
- Generador AC
- Obra Civil y Torre
- Accesorios y Cables

Cabe indicar que los listados de precios a continuación presentados, son referenciales y estos considera tanto la adquisición como importación de equipos nuevos no remanufacturados, Considerando que los costes utilizados en nuestro análisis son valores estándares que usan comúnmente las operadoras celulares en el Ecuador. Por lo tanto los costos pueden ser significativamente menores ya que la orientación del presente trabajo es la de lograr reutilizar los equipos de RBS de medio uso y que se encuentren disponibles debido a los actuales procesos de migración a 3G y LTE en las diferentes zonas urbanas del Ecuador.

Tabla 4: Lista de Precios referenciales - BTS GSM

BTS GSM - ULTRASITE BTS 850 MHz			
CANTIDAD	DESCRIPCION	P. UNITARIO	P. TOTAL
6	BB2F TRX BASEBAND UNIT,EDGE	\$ 366,26	\$ 2.197,55
6	BiasT GSM/EDGE 800/900, VSWR,inc.cables	\$ 401,55	\$ 2.409,30
1	BOIA BASE OPERATIONS AND INTERFACES UNIT	\$ 353,02	\$ 353,02
3	Dual MHA 850, Rx:824-849MHz	\$ 657,49	\$ 1.972,48
3	DVTD DUAL VARIABLE GAIN DUPLEX FILTER FU	\$ 814,14	\$ 2.442,43
6	M2LA MULTICOUPLER UNIT,2WAY,800/900	\$ 81,47	\$ 488,80
3	PWSB POWER SUPPLY UNIT,DC	\$ 498,63	\$ 1.495,90
1	SP Cabinet control unit	\$ 1.348,09	\$ 1.348,09
12	TSTB TRX RF UNIT,EDGE 800	\$ 401,55	\$ 4.818,60
1	VXTB TRS UNIT FXC E1/T1 120/100 OHM	\$ 456,71	\$ 456,71
3	WCGT Triple Wideband Combiner GSM800/900	\$ 483,19	\$ 1.449,58
TOTAL			\$ 19.432,46

Fuente: Los Autores.

Tabla 5: Lista de Precios referenciales – ENLACE PDH

ENLACE PDH - NOKIA FLEXIHOPPER FIU19E			
CANTIDAD	DESCRIPCION	P. UNITARIO	P. TOTAL
4	FIU 19E 0x2M 1+0 with SNMP and 2nd FB	\$ 527,32	\$ 2.109,29
2	FIU 19E UPG EXU to 16X2M 1+1 120 RJ-45	\$ 527,32	\$ 1.054,65
4	FlexiHopper XC 7 D Hi 161MHz	\$ 1.138,48	\$ 4.553,92
TOTAL			\$ 7.717,86

Fuente: Los Autores.

Tabla 6: Lista de Precios referenciales – PLANTA DE PODER

PLANTA DE PODER - POWER PLANT ELTEK			
CANTIDAD	DESCRIPCION	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	GABINETE OUTDOOR CON INTERCAMBIADOR DE CALOR	\$ 12.832,85	\$ 12.832,85
1	Unidad de supervisión Smartpack nueva version, con aplicacion	\$ 485,30	\$ 485,30
4	Rectificador Flatpack 2 -48V/3000W	\$ 487,60	\$ 1.950,40
TOTAL			\$ 15.268,55

Fuente: Los Autores.

Tabla 7: Lista de Precios referenciales – GENERADOR AC

GENERADOR AC			
CANTIDAD	DESCRIPCION	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	GENERADORES 20KW CON CASETA	\$ 16.496,75	\$ 16.496,75
TOTAL			\$ 16.496,75

Fuente: Los Autores.

Tabla 8: Lista de Precios referenciales – OBRA CIVIL Y TORRE

OBRA CIVIL - CONSTRUCCION DE RBS ULTRASITE RURAL (60mt2)			
CANTIDAD	DESCRIPCION	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	OBRA CIVIL (TERRENO)	\$ 57.500,00	\$ 57.500,00
1	TORRE 60 MTS	\$ 51.750,00	\$ 51.750,00
1	CIMENTACION	\$ 17.250,00	\$ 17.250,00
1	ADECUACIONES GSM	\$ 5.750,00	\$ 5.750,00
1	CUARTO DE GENERADOR	\$ 3.450,00	\$ 3.450,00
1	CUARTO DE BATERIAS	\$ 2.875,00	\$ 2.875,00
1	ALARMAS	\$ 1.265,00	\$ 1.265,00
1	STP INSTALACION	\$ 6.900,00	\$ 6.900,00
1	ACOMETIDA DE ALTA (1KM)	\$ 46.000,00	\$ 46.000,00
1	VXTB TRS UNIT FXC E1/T1 120/100 OHM	\$ 456,71	\$ 456,71
TOTAL			\$ 193.196,71

Fuente: Los Autores.

Tabla 9: Lista de Precios referenciales – ACCESORIOS Y CABLES

ACCESORIOS Y CABLES			
CANTIDAD	DESCRIPCION	P. UNITARIO	P. TOTAL
3	ANTENA SECTORIAL 806-960 MHz 90 DEG, 17DBi	\$ 402,50	\$ 1.207,50
1000	CABLE FEEDER RF 1 5/8IN.-50	\$ 6,90	\$ 6.900,00
100	CABLE IF LMR400	\$ 3,45	\$ 345,00
2	ANTENA PARABOLICA 7GHz, 1.2M, DUAL-POLARIZED	\$ 690,00	\$ 1.380,00
TOTAL			\$ 9.832,50

Fuente: Los Autores.

Tabla 10: Resumen de Costos – Implementación de RBS La Soledad

RESUMEN - RBS LA SOLEDAD	
BTS GSM - ULTRASITE BTS 850 MHz	\$ 19.432,46
ENLACE PDH - NOKIA FLEXIHOPPER FIU19E	\$ 7.717,86
PLANTA DE PODER - POWER PLANT ELTEK	\$ 15.268,55
GENERADOR AC	\$ 16.496,75
OBRA CIVIL - CONSTRUCCION DE RBS ULTRASITE RURAL (60mt2)	\$ 193.196,71
ACCESORIOS Y CABLES	\$ 9.832,50
TOTAL	\$ 261.944,82

Fuente: Los Autores.

Las cantidades han sido determinadas en función del diseño dimensionado en capítulos anteriores, el mismo que propone diseños estándar y habitualmente usadas en zonas rurales de Ecuador y en la industria en general.

Como se puede ver en las Tablas: 4,5,6,7,9,10, los mayores costos se deben a la Obra Civil necesaria para el montaje de la Torre auto soportada de 60 metros descrita en la Tabla 8, esto se debe principalmente al ambiente controlado y características civiles necesarias para el montaje de una RBS de estas características.

2.2 Análisis de Retorno de Inversión.

El ROI o RSI Retorno Sobre la Inversión, es la relación de las ganancias netas y los costos. Este indicador será un factor relevante para la o las compañías de telefonía celular, Teniendo en cuenta factores como desarrollo de habitantes, consumo mínimo por persona, y tasa promedio de llamadas por usuario, entre otros.

2.2.1 Situación Actual de Recinto San Francisco de Soledad

Basándonos en el “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Simón Bolívar”, tenemos los datos del Recinto San Francisco de Soledad y sus aledaños; El 26, El Rosario y Río Chico: 1, 2, 3, 4. Que se muestran a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11: Número de Habitantes

RECINTO	# HABITANTES
EL 26	123
EL ROSARIO	84
SAN FRANCISCO DE SOLEDAD	333
RIO CHICO 1, 2, 3, 4	507
TOTAL:	1047

Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Simón Bolívar.

3.2.2 Promedio de Ingresos

Si partimos del hecho de tener un aproximado de 1047 Habitantes, partimos del hecho de que de manera inicial tendríamos aproximadamente un 40% de abonados que representan 418 usuarios fijos; en la tabla 12 apreciamos los ingresos netos promedio de los

Recintos en cuestión. De acuerdo a los informes de la ARCOTEL, en el Ecuador el promedio de minutos por usuario MOU es de 152 minutos por mes.

Tabla 12: Ingreso Mensual Por Telefonía Móvil

# USUARIOS	PROMEDIO(MIN/SMS)	TARIFA/MIN	TOTAL
418	152	\$ 0,16	\$ 10.165,76
418	95	\$ 0,06	\$ 2.382,60
TOTAL			\$ 12.548,36

Fuente: Los Autores

2.2.3 Calculo del ROI

En la tabla 12 se muestra los ingresos promedios por mes, lo que nos lleva a que en dos años tendríamos ingresos de \$301.160,64. En la Tabla 13 se muestra el escenario de los primeros años de funcionamiento.


Tabla 13: Calculo del ROI

DESCRIPCION	INGRESO	EGRESO
IMPLEMENTACION DE RBS		\$ 261.944,82
GANANCIA NETA (X24)	\$ 301.160,64	
MANTENIMIENTO (X24)		\$ 12.000,00
COSTOS INDIRECTOS		\$ 5.000,00
TOTAL:	\$ 301.160,64	\$ 278.944,82
ROI:	8%	

Fuente: Los Autores.

Un ROI del 8% en un dos años representa que la inversión es viable, considerando que no se ha tomado en cuenta el crecimiento de usuarios, lo que nos lleva a pensar que el retorno de la inversión es de mucho menos tiempo. Considerando que tenemos un aumento del 3% de abonados con respecto al mes anterior obtendríamos la siguiente tabla 14.

Tabla 14: Ingresos con aumento porcentual

MES	USUARIOS	INGRESOS	HISTORIAL
1	418	\$ 12.548,36	\$ 12.548,36
2	431	\$ 12.924,81	\$ 25.473,17
3	443	\$ 13.312,56	\$ 38.785,73
4	457	\$ 13.711,93	\$ 52.497,66
5	470	\$ 14.123,29	\$ 66.620,95
6	485	\$ 14.546,99	\$ 81.167,94
7	499	\$ 14.983,40	\$ 96.151,33
8	514	\$ 15.432,90	\$ 111.584,23
9	530	\$ 15.895,89	\$ 127.480,12
10	545	\$ 16.372,76	\$ 143.852,88
11	562	\$ 16.863,95	\$ 160.716,83
12	579	\$ 17.369,86	\$ 178.086,70
13	596	\$ 17.890,96	\$ 195.977,66
14	614	\$ 18.427,69	\$ 214.405,35
15	632	\$ 18.980,52	\$ 233.385,87
16	651	\$ 19.549,94	\$ 252.935,80
17	671	\$ 20.136,43	\$ 273.072,24
18	691	\$ 20.740,53	\$ 293.812,76
19	712	\$ 21.362,74	\$ 315.175,51
20	733	\$ 22.003,63	\$ 337.179,13
21	755	\$ 22.663,73	\$ 359.842,87
22	778	\$ 23.343,65	\$ 383.186,51
23	801	\$ 24.043,96	\$ 407.230,47
24	825	\$ 24.765,27	\$ 431.995,74
TOTAL:		\$ 431.995,74	

Fuente: Los Autores.

Con estas consideraciones obtendríamos el siguiente ROI, mostrado en la tabla 15.

Tabla 15: ROI con aumento porcentual

DESCRIPCION	INGRESO	EGRESO
IMPLEMENTACION DE RBS		\$ 261.944,82
GANANCIA NETA (X12)	\$ 431.995,74	
MANTENIMIENTO (X12)		\$ 12.000,00
COSTOS INDIRECTOS		\$ 5.000,00
TOTAL:	\$ 431.995,74	\$ 278.944,82
ROI:	55%	

Fuente: Los Autores

Un ROI del 55% en dos años, para un proyecto de tales magnitudes, se puede adelantar a concluir que es viable, para las necesidades que hemos planteado, sin considerar que en soluciones de iguales requerimiento se han reusado equipos de la misma compañía.

3.3 Impacto Social.

El impacto que se lograría con esta solución sería múltiple, recordando que estos recintos son áreas geográficamente agrícolas, lo cual facilitara el comercio actual y atraerá mayor influencia del comercio en general. Los principales efectos sociales, para esta innovadora idea son:

- Mejorar la calidad de vida de las personas que habitan estos recintos, que al poder contar con estos servicios no se verán en la necesidad de migrar a otros lugares, lo cual además de ahorrar tiempo, se abrirán brechas de índole turística.
- Al ser el comercio agrícola su principal fuente de ingresos en la comunidad, se podrá agilizar el proceso de negociación de sus productos, tales como; banano, cacao, café, entre otros. En más de una ocasión se han perdido ventas de vital importancia para la sociedad, comentan los residentes.

- Contar con tecnología 2G, aproxima al vecindario a tener pronto acceso a redes de internet. Que son de vital importancia para el desarrollo cultural y educativo.
- Liberar tiempo, para realizar pedido, hacer envíos, o simplemente realizar notificaciones se podrían llegar a tardar hasta 2 horas en el mejor de los casos nos comenta un Dirigente agrícola, preocupado por la falta de acceso telefónico.
- La comunidad escolar también se beneficiara de este recurso, ampliando los recursos investigativos. Debemos reconocer que la mayoría de indagaciones hoy en día se dan mediante la web.
- La fluidez en la comunicación, aportara a que la comunidad sea más unida, integrando la vecindad y los buenos valores en estos recintos marginados de los avances tecnológicos.
- Ampliar nuevas oportunidades de negocios, y afiliar nuevos contacto con los recintos aledaños, es algo que entusiasma a los dirigentes agrícolas.

En síntesis, podemos recalcar que los beneficios sociales, enriquecerán en el aspecto social a estos Recintos marginales de la tecnología, llevando a un nuevo nivel de vida socio – económica a sus pobladores. Quien ven con buen ojo, el proyecto planteado. Que por varios años atrás ya ha sido gestionado con las autoridades de turno sin respuesta positiva a la fecha.

Por ello el compromiso social de llegar a aportar con este estudio y una solución viable económicamente para la empresa privada; como ya lo hemos demostrado en los subcapítulos anteriores. Queda de más decir que esta investigación será plasmada en resumen, y enviada a las autoridades pertinentes, así como a la empresa privada.

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

CONCLUSIONES

1. En base al trabajo realizado se ha podido identificar que tanto la Constitución del Ecuador así como la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, incentivan cada vez más el acceso a las TIC para la población ecuatoriana en general, lo cual ha generado en los últimos años un notable incremento en los índices de penetración y de erradicación del analfabetismo tecnológico en comparación con otros países de Latinoamérica.
2. Podemos concluir que los equipos Nokia Ultrasite y Nokia FlexiHopper, propuestos para la implementación de la BTS y Enlace PDH, son técnicamente viables y permitirán la conectividad con la red principal de la operadora desde la RBS ubicada en San Francisco de Soledad, con lo cual no sólo se podrá proveer de servicios de telefonía móvil al recinto antes mencionado, sino también a las zonas aledañas.
3. La simulación realizada nos permite verificar la viabilidad técnica en cuanto a cobertura, ya que como se pudo ver en capítulos anteriores, a pesar de haberse realizado con software libre, la misma se ha basado en las especificaciones y prestaciones reales de los equipos que se usaran

en la implementación, de manera que se obtuvo resultados excelentes, debido a las características del terreno que en su mayoría era geográficamente plano.

4. Gracias al análisis financiero realizado hemos podido comprobar la viabilidad económica del proyecto, ya que parte de la propuesta ha sido el reutilizar equipos que a pesar de estar en buenas condiciones están siendo dados de baja en algunos sectores del país donde se realizan migraciones a soluciones de nueva tecnología como 4G/LTE, el uso de estos equipos se presenta como una alternativa para reducir los costos de implementación y el costo total de propietario con lo cual se busca incentivar soluciones de este tipo.
5. Al realizar una evaluación del impacto social que la implementación de este proyecto podría crear, hemos podido concluir que la actividad económica y el nivel socio cultural del recinto San Francisco de Soledad y sus vecindades, se podrían ver impactados de manera positiva generando todos los beneficios y la inclusión tecnológica que sectores como el recinto analizado necesitan.

RECOMENDACIONES

1. Proseguir con el proceso legal pertinentes con las autoridades de turno, y que este estudio no quede en el papel.
2. Al empezar la implementación de este proyecto, se debería hacer uso de equipos e infraestructura que se encuentra en estado reciclable, siendo amables con el medio ambiente.
3. El lugar escogido, para la mejor ubicación, conlleva también un área no desalojada, con la finalidad que no sea necesario despejar una vivienda, por ello sugerimos se respeten la ubicación

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Secretaria Nacional de Telecomunicaciones SENATEL, “Boletín Estadístico del Sector de Telecomunicaciones,” 2014.
- [2] Asamblea Constituyente, *Constitución del Ecuador*, no. 20 de Octubre. 2009, pp. 25, 149.
- [3] CONATEL, *Reglamento para la prestación del Servicio Móvil Avanzado*, no. 498. Ecuador, 2002, p. 2.
- [4] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia, “MinTIC Colombia.” [Online]. Available: <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-channel.html>. [Accessed: 02-Jun-2015].
- [5] J. M. Varela, “El Servicio Universal de Telecomunicaciones de Servicio Público a Derecho Humano.” UGT Comunicaciones, p. 16, 2012.
- [6] 3GPP, “3GPP specification: 45.005.” [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/DynaReport/45005.htm>. [Accessed: 20-Jun-2015].
- [7] CONATEL, *Resolucion 042-TEL-01-CONATEL-2014.pdf*. 2014, pp. 9–35.
- [8] Nokia Networks Oy, “Nokia Ultrasite EDGE Base Station Product Description.” pp. 6, 35, 39, 41, 45, 49, 54, 61, 69, 73, 80, 2008.
- [9] Nokia Corporation, “Nokia FlexiHopper C2.5,” vol. 1, no. 10. pp. 13, 15, 44, 46, 67, 73, 2008.
- [10] J. L. Jarrin Valencia, “Desarrollo del Simulador para un modelo de propagación del análisis de cobertura en conformidad con el estándar IEEE 802.16-2009 (Fixed Wireless MAN OFDM),” Universidad Tecnica del Norte, 2012.
- [11] ELTEK, “Smart Pack Controller monitoring and control unit.” p. 1, 2012.
- [12] ELTEK, “FLATPACK2 110-125V RECTIFIERS.” p. 1, 2013.

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Líneas Activas por Tipo de Tecnología[1].	1
Figura 1.2: Penetración del Servicio Móvil Avanzado 2007-2014[1].	3
Figura 1.3: Parroquias sin Cobertura 2G y 3G[1].	4
Figura 1.4: Cobertura 2G y 3G CONECEL - Parroquia Lorenzo de Garaicoa.	5
Figura 2.1: Esquema General de una RBS.	15
Figura 2.2: Nokia Ultrasite EDGE BTS Outdoor, Indoor y Midi Indoor.	16
Figura 2.3: Base Operation & Interface Unit	17
Figura 2.4: Dual Band Duplex Filter	18
Figura 2.5: Dual Baseband Unit.	19
Figura 2.6: Diagrama de Bloque de Dual Baseband Unit (BB2x).	20
Figura 2.7: Dual Variable Gain Duplex filter Unit.	21
Figura 2.8: RMC Unit.	22
Figura 2.9: Power Supply Unit PWSA y PWSB.	23
Figura 2.10: Remote tune Combiner Unit.	24
Figura 2.11: Transceiver Unit RF	25
Figura 2.12: Wideband Combiner Unit.	26
Figura 2.13: FXC E1/T1 Transmision Unit.	27
Figura 2.14: Especificaciones Técnicas de Antena Sectorial.	28
Figura 2.15: Configuración detallada 4+4+4 Nokia Ultrasite BTS	30
Figura 2.16: Enlace PDH con Nokia FlexiHopper	31
Figura 2.17: FIU 19E Indoor Unit.	31
Figura 2.18: FIU 19 EXU con interfaces de balanceo RJ45 a 120 Ohms. ...	32
Figura 2.19: FXC RRI Transmission Unit.	33
Figura 2.20: Distancia Enlace MATADECACAO – SOLEDAD.	34
Figura 2.21: Pérdidas y Ganancias de un Enlace Inalámbrico.	36
Figura 2.22: Topologías soportadas por Nokia Flexihopper.	39
Figura 2.23: Configuraciones tipo terminal para Nokia Flexihopper.	40

Figura 2.24: Simulación de Enlace MATADECACAO-SOLEDAD, polaridad vertical.	40
Figura 2.25: Simulación de Enlace MATADECACAO-SOLEDAD, polaridad horizontal.	41
Figura 2.26: Unidad de Control Eltek Smart Pack.....	43
Figura 2.27: Rectificador de media onda Flatpack 110-125V	43
Figura 2.28: Instalación real de Rectificadores basado en Eltek	44
Figura 2.29: Instalación real de Generador Eléctrico 25KVA en RBS.....	45
Figura 2.30: Instalación real de Tablero de transferencia en RBS.....	46
Figura 2.31: Software de monitoreo de planta de poder Power Eltek.....	48
Figura 2.32: Gabinete Power Eltek, Planta de Poder y Equipos Indoor de MW.	49
Figura 2.33: Información obtenida Proyecto RBS Soledad 850 MHZ GSM.	50
Figura 2.34: Vista de Planta – RBS Soledad 850 MHZ GSM.	51
Figura 2.35: Vista lateral – Antena Auto soportada.....	52
Figura 2.36: Vista Lateral de Alzado de Equipos RBS.....	53
Figura 2.37: Parámetros de Simulación Enlace PDH.	54
Figura 2.38: Vista de Google Earth – Enlace PDH.	55
Figura 2.39: Sectores X, Y y Z de BTS – San Francisco de Soledad.	56
Figura 2.40: Parámetros de Configuración para sectores X, Y y Z.	56
Figura 2.41: Parámetros de funcionamiento de antenas sectoriales.	57
Figura 2.42: Azimut de antenas sectoriales.	57
Figura 2.43: Cobertura de BTS La Soledad.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Bandas de Frecuencia GSM	10
Tabla 2: Bandas Asignadas por Operadora.	10
Tabla 3: Escala de medición de Calidad de SMA.....	12
Tabla 4: Lista de Precios referenciales - BTS GSM	61
Tabla 5: Lista de Precios referenciales – ENLACE PDH.....	61
Tabla 6: Lista de Precios referenciales – PLANTA DE PODER.....	61
Tabla 7: Lista de Precios referenciales – GENERADOR AC	61
Tabla 8: Lista de Precios referenciales – OBRA CIVIL Y TORRE.....	62
Tabla 9: Lista de Precios referenciales – ACCESORIOS Y CABLES	62
Tabla 10: Resumen de Costos – Implementación de RBS La Soledad	62
Tabla 11: Número de Habitantes.....	63
Tabla 12: Ingreso Mensual Por Telefonía Móvil	64
Tabla 13: Calculo del ROI	64
Tabla 14: Ingresos con aumento porcentual	65
Tabla 15: ROI con aumento porcentual.....	66