

**Universidad Nacional de San Martín
Escuela de Ciencia y Tecnología
Ingeniería en Telecomunicaciones.**



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

PROYECTO FINAL INTEGRADOR.

Actualización de la red de telecomunicaciones de voz y datos
para la ciudad de El Bolsón.

**Carmona, Leandro A.
Hernandorena, Ignacio P.**

**TUTOR:
ING. CANAL, CARLOS.**

-2019-

Contenido

Anteproyecto.....	4
Acta constitutiva.....	4
WBS.....	5
Gantt.....	8
Riesgos.....	9
Costos.....	11
Abstract.....	13
Introducción.....	15
1. Teoría y Tecnología.....	22
1.1. WiMax.....	22
1.2. LTE.....	23
1.2.1. Evolved Packet System (EPS).....	24
1.2.1.1. Red de Acceso (E-UTRAN).....	24
1.2.1.1.1. Evolved Node B (eNB).....	25
1.2.1.1.2. Red Troncal (EPC).....	31
1.2.1.1.2.1. Entidades de red.....	32
1.2.1.1.2.2. Interfaces EPC.....	33
1.2.2. Duplexado.....	33
1.2.3. Canales físicos.....	35
1.2.4. Codificación, Modulación y Multiplexación.....	37
1.2.5. Reúso de frecuencias.....	41
1.2.6. Antenas.....	42
1.2.6.1. Tilt.....	44
1.2.6.2. Azimut.....	45
1.2.6.3. Conexión entre antena y RRU.....	45
1.2.6.4. MIMO.....	47
1.3. Backhaul.....	50
1.4. HUB nodo.....	51
1.5. Backbone.....	52
1.6. CPE.....	56

1.7.	Telefonía.	56
1.8.	Calidad de servicio.	59
1.9.	Instalación en cliente.	60
1.10.	Dimensionado y planificación de la red.	61
1.10.1.	Estimación de la demanda y factor de reventa (overbooking).	63
2.	Proyecto.	65
2.1.	Parque de abonados.	65
2.2.	Banda de operación.	65
2.3.	Modelo de propagación.	66
2.4.	Ancho de banda del canal.	66
2.5.	Ancho de banda TOIP.	66
2.6.	Conexión a PSTN.	67
2.7.	Perfiles de Usuarios.	68
2.8.	eNode B.	69
2.9.	Evaluación de la cobertura de los sitios y la capacidad de la red.	70
2.10.	Diseño de la red.	90
3.	Selección de equipos y evaluación económica.	95
3.1.	Evaluación del equipamiento.	95
3.2.	Economía del proyecto.	101
4.	Lineamientos sobre instalación, operación y mantenimiento.	109
4.1.	Instalación.	109
4.2.	Operación.	111
4.3.	Mantenimiento.	111
5.	Conclusiones.	115
	Anexo I: Glosario.	120
	Anexo II: Bibliografía.	124

Anteproyecto.

Previo al informe describimos los lineamientos que realizamos para el presente proyecto como parte de la asignatura Proyecto Final Integrador donde identificamos y describimos partes esenciales del análisis anterior a la realización proyecto. Entre ellas encontraran el acta constitutiva, el desglose de las tareas a realizar en lo que se conoce como work breakdown structure (WBS), el diagrama de Gantt con el detalle de las tareas a realizar y los tiempos que estas conllevan, luego un análisis de los riesgos principales a considerar e intentar mitigar en nuestro trabajo y por ultimo un detalle de los costos de implementar la red sugerida.

Acta constitutiva.

El acta constitutiva del proyecto forma parte del anteproyecto y es un documento en el que se define el alcance, los objetivos y los participantes del mismo. Da una visión preliminar de los roles y responsabilidades, de los objetivos, de los principales interesados.

1.- Fecha:	2.- Nombre de Proyecto:
28/06/2017	Actualización de la red de telecomunicaciones de voz y datos para la ciudad de El Bolsón.
3.- Área de aplicación	4.- Interesados del proyecto:
Telecomunicaciones. Tecnologías de la información y la comunicación.	Coopetel.
5.- Fecha de inicio del proyecto:	6.- Fecha tentativa finalización
05/03/2018	11/09/2018
7.- Objetivos del proyecto:	
7.1- Objetivo General:	
El proyecto consistirá en el estudio y diseño de una nueva red de telecomunicaciones de voz y datos para la ciudad de El Bolsón, provincia de Rio Negro. En esta ciudad los servicios de telecomunicaciones son brindados por una cooperativa de servicios públicos llamada COOPETEL, la cual no dispone de un área de proyectos de ingeniería propio. Nuestro objetivo es desarrollar este proyecto para lograr que sea técnicamente factible y económicamente viable para que pueda ser implementado si así se desee.	
7.2.- Etapas:	

7.2.1 Estudio de la ciudad y la cooperativa	
7.2.2 Estudio y elección de la tecnología	
7.2.3 Estudio de la tecnología seleccionada y los componentes de la red	
7.2.4 Diseño de la red	
7.2.5 Selección de equipos y evaluación económica	
7.2.6 Lineamientos sobre instalación, operación y mantenimiento	
7.2.7 Conclusiones	
7.2.8 Armado y entrega de documentación	
8.-Descripción:	
Este proyecto consiste en la actualización de la red de telecomunicaciones de voz y datos para la ciudad de El Bolsón, el alcance de este es el diseño de la solución para su posterior implementación por parte de la cooperativa de servicios públicos local, llamada COOPETEL. Como primer paso realizaremos un relevamiento de las características de la zona y de la cooperativa, luego analizaremos las tecnologías de acceso a internet que se ofrecen en el mercado y seleccionaremos la adecuada. Posteriormente realizaremos el estudio de la tecnología seleccionada y de los componentes que forman la red. Luego configuraremos los parámetros, realizaremos cálculos y simulaciones para llegar al diseño final de la red. Una vez definida la red procederemos a elegir los equipos y realizar la economía del proyecto. Finalmente contemplaremos lineamientos sobre la instalación, operación y mantenimiento de la red que será realizado por el personal de la cooperativa.	
9.-Necesidad del proyecto:	
Brindar internet de banda ancha de calidad para las ciudades como la antes mencionada a fin de achicar la brecha digital y aumentar la penetración de internet en estas áreas donde el despliegue de este tipo de tecnologías es escasa o nula.	
10.- Identificación de grupos de interés (stakeholders):	
Cliente directo:	Coopetel
Clientes indirectos:	Clientes de la cooperativa
Team Members:	Carmona, Leandro A. Hernandorena, Ignacio P.
Tutor:	Ing. Canal, Carlos

WBS.

El WBS (Work Breakdown Structure) es una herramienta fundamental que consiste en la descomposición jerárquica, orientada al entregable, del trabajo a ser ejecutado por el equipo de proyecto, para cumplir con los objetivos de éste y crear los entregables requeridos, donde cada nivel descendente del WBS representa una definición con un

detalle incrementado del trabajo del proyecto.

1. Estudio de la ciudad y cooperativa
1.1 Demografía y topografía
1.2 Actividades económicas
1.3 Análisis de las actividades de la cooperativa
1.4 Situación actual de su red
1.5 Relevamiento de los clientes
1.6 Reunión de feedback
1.7 Correcciones y mejoras
1.8 Aceptación de etapa
2. Elección de la tecnología
2.1 Investigación de las tecnologías de acceso a internet
2.2 Elección
2.3 Reunión de feedback
2.4 Correcciones y mejoras
2.5 Aceptación de etapa
3. Estudio de la tecnología seleccionada y de los componentes de la red
3.1 Red de acceso
3.2 Red de Core
3.3 Componentes de red
3.4 Reunión de feedback
3.5 Correcciones y mejoras
3.6 Aceptación de etapa
4. Diseño de red
4.1 Selección de parámetros
4.2 Cálculos
4.3 Simulación
4.4 Diseño final
4.5 Reunión de feedback
4.6 Correcciones y mejoras
4.7 Aceptación de etapa
5. Selección de equipos y evaluación económica
5.1 Recopilación de información de vendors
5.2 Elección de equipamiento
5.3 Economía del proyecto
5.4 Reunión de feedback
5.5 Correcciones y mejoras
5.6 Aceptación de etapa
6. Lineamientos sobre instalación, operación y mantenimiento

7.1 Procedimientos para la instalación, operación y mantenimiento.
7.2 Reunión de feedback
7.3 Correcciones y mejoras
7.4 Aceptación de etapa
7. Armado y entrega de documentación
8.1 Armado de documentación
8.2 Reunión de feedback
8.3 Correcciones y mejoras
8.4 Aceptación de etapa

Gantt.

Valiéndonos del WBS anteriormente expuesto desarrollamos el diagrama de Gantt que es una herramienta gráfica cuyo objetivo es exponer el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades de nuestro proyecto a lo largo de un tiempo total determinado.

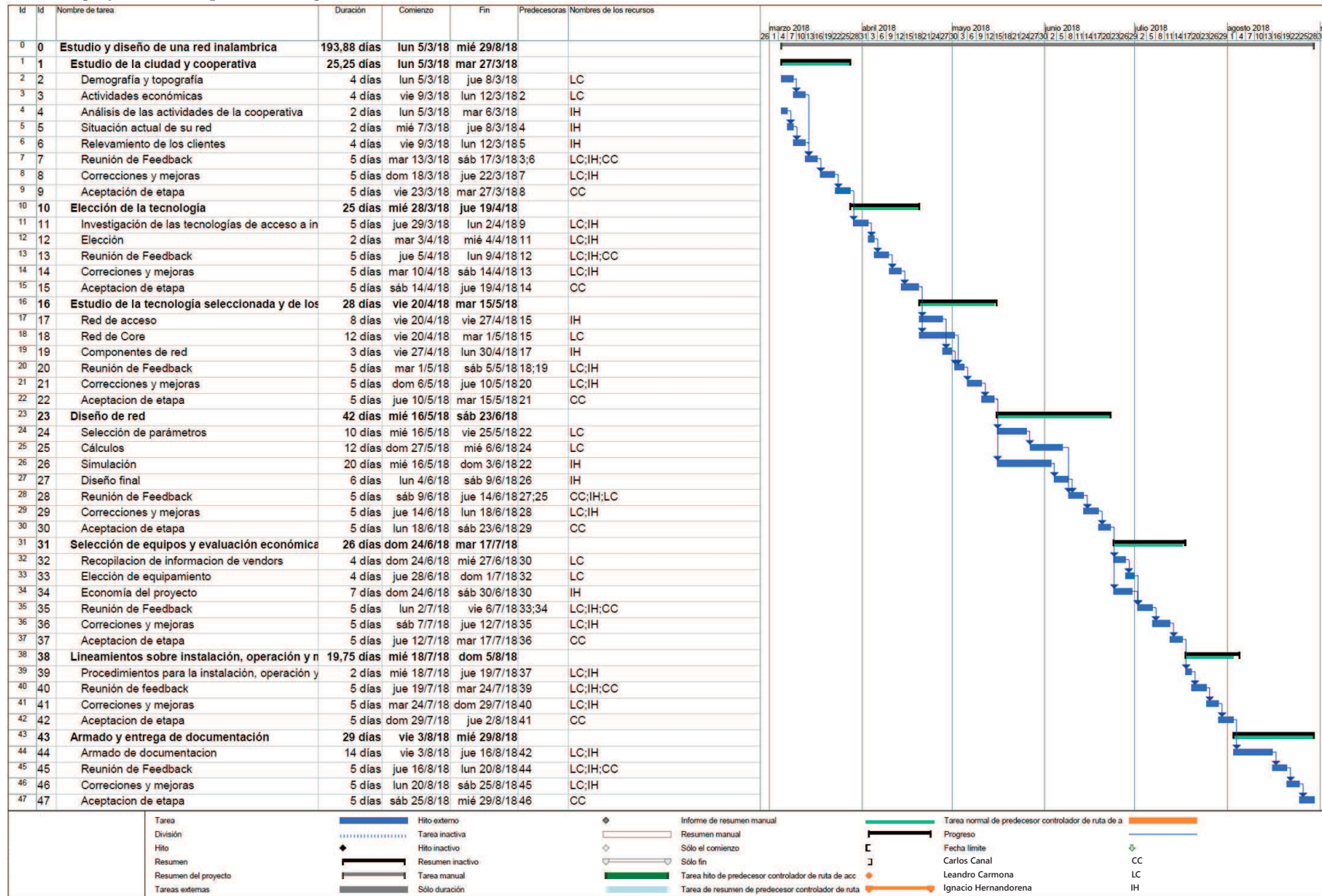


Figura A.

Riesgos.

Comprende la identificación de los riesgos del proyecto tanto en la parte de planeación como en la parte de implementación, si esta se llevara cabo.

Se analizan dos factores: probabilidad e impacto.

Probabilidad: valoramos la probabilidad de ocurrencia del riesgo como se muestra en la tabla A, donde se asigna un valor de 1 a 5, donde utilizamos 1 cuando la probabilidad del riesgo es altamente baja, es decir que raramente suceda y con 5 se indica que dicha probabilidad es alta.

Valor	Grado
1	Raro
2	Muy baja
3	Baja
4	Media
5	Alta

Tabla A.

Impacto: Mediante la tabla B ponderamos el impacto que tiene un determinado riesgo sobre el proyecto. Igual al anterior se asigna el 1 en el caso que el impacto sea insignificante y 5 en donde el nivel del riesgo evaluado sea desastroso para nuestro proyecto.

Valor	Nivel	Descripción
1	Insignificante	Impacta levemente en el desarrollo del proyecto
2	Menor	Impacta en el desarrollo del proyecto
3	Moderado	Impacta en la operatividad del macro proyecto
4	Mayor	Impacta en la operatividad de los procesos del proyecto
5	Desastroso	Impacta en fuertemente en la operatividad

Tabla B.

A continuación, analizamos los diferentes factores de riesgo tanto para la etapa de diseño como para la implementación del proyecto. Cabe destacar que existen muchos riesgos a evaluar dependiendo de la fiabilidad que le queramos dar a nuestro sistema, pero es importante analizar los principales y estos son los que se muestran a continuación en la tabla C, donde en la primera columna se muestra los riesgos, luego su probabilidad de ocurrencia, seguido por el impacto y una breve descripción del riesgo. Realizando la evaluación correspondiente se obtuvieron los valores finales de

probabilidad de ocurrencia e impacto.

RIESGOS	PROBABILIDAD	IMPACTO	OBSERVACIONES
Inclemencias climáticas	4	2	Dificulta los trabajos en la intemperie
Demoras en la aprobación de permisos de instalación de antenas	2	3	Se requiere una aprobación municipal para la instalación de las antenas
Demoras del proveedor externo (ARSAT)	3	3	Se refiere al tiempo que puede demorar la provisión del acceso
Retrasos en la aduana	2	3	Son retrasos que puede llevar los tramites de habilitación de los equipos en la aduana
Retrasos en la entrega de los diversos equipos	1	3	Importación del producto, desde el país del proveedor hasta Argentina
Inherentes al diseño del anteproyecto	3	3	Dimensionamiento erróneo, subvaloración
Defecto del equipamiento y dispositivos cliente	1	2	Posible falla de los equipos adquiridos
Errores de configuración de los equipos	2	2	
Fluctuación de los costos	3	2	Desde el anteproyecto hasta la implementación de este
Promedio	2.3	2.5	

Tabla C.

Estos valores promedios se grafican en la figura A, donde en el eje de abscisas se muestra la probabilidad de ocurrencia del riesgo y en el eje de ordenadas el impacto.

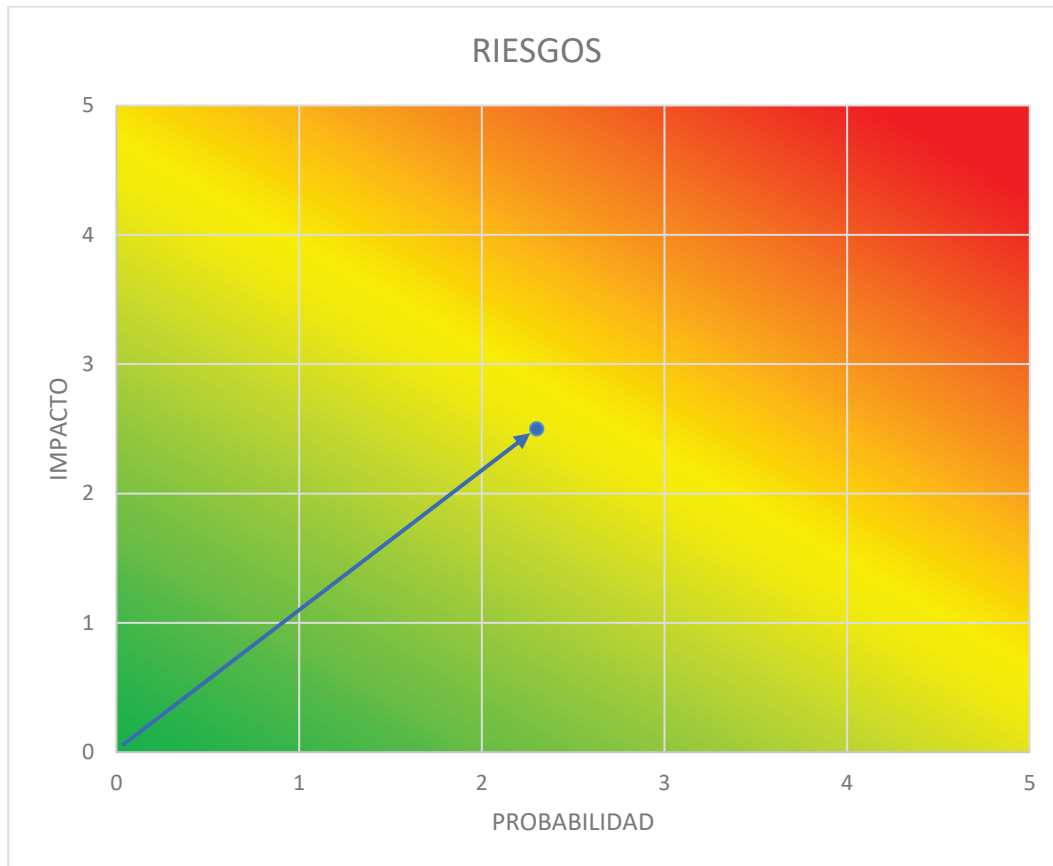


Figura B.

En este análisis se incluyeron los riesgos a tener en cuenta si se desea implementar el proyecto y también los que están implicados durante la realización del anteproyecto (objeto de nuestro proyecto final de carrera). Como se observa en la figura B los riesgos están en una zona aceptable donde se puede llevar a cabo el proyecto teniéndolos en cuenta.

Costos.

En esta sección desarrollamos un resumen de los costos del presente proyecto, esta información es ampliada en la sección 3.2 de este documento.

Para este análisis, como mostramos en la figura C, tenemos tres partes principales:

- Ingresos: donde tuvimos en cuenta los ingresos de los abonos de los suscriptores. Proyectamos la instalación de 6 enlaces por día, 120 enlaces mensuales. Todo esto considerando el precio promedio de acceso a internet que informan distintas consultoras para la zona de estudio y similares.
- Costos: en este apartado consideramos los gastos de impuestos y tasas, pagos a terceros, mantenimientos, entre otros.
- Inversiones: aquí consideramos todas las inversiones que son necesarias para

implementar el proyecto como equipos red, antenas, postes, cables, entre otros.

Luego realizando el flujo de fondos correspondientes obtuvimos un valor actual neto de u\$s 142.018, un plazo de repago de 17 meses, una máxima exposición de u\$s 217.225, y una tasa interna de retorno del 45%, como se puede observar a continuación en la figura C.

EVALUACION ECONOMICA			
COOPETEL			
	Año 1	Año 2	TOTAL
TOTAL INGRESOS	296.400	602.400	898.800
COSTOS VARIABLES	-113.772	-161.556	-275.328
EBITDA	182.628 62%	440.844 73%	623.472 69%
INVERSIONES	216.013	0	216.013
EBIT	182.628 62%	440.844 73%	623.472 69%
IMPUESTO A LAS GANANCIAS	-65.180	-155.555	-220.735
RESULTADO DESPUES DE IIGG	117.448 40%	285.289 47%	402.737 45%
FLUJO DE FONDOS ANUAL	-98.565	285.289	
FF ANUAL DESCONTADO	-103.921	245.940	
FF DESCONTADO ACUMULADO	-103.921	142.018	
VAN	142.018	u\$s	
REPAGO	17	Meses	
MAXIMA EXPOSICION	-217.225	u\$s	
TIR	45	%	

Figura C.

También evaluamos distintos escenarios en donde pudiéramos encontrarnos con competidores, pero como comentábamos al comienzo del apartado esta información la ampliamos en la sección 3.2 del documento.

A continuación, presentamos el informe final de nuestro proyecto.

Abstract.

Este trabajo tiene por fin el estudio y diseño de una nueva red de telecomunicaciones de voz y datos para la ciudad de El Bolsón, provincia de Río Negro. El alcance es el diseño de la solución para su posterior implementación por parte de la cooperativa de servicios públicos local, COOPETEL.

El Bolsón es una ciudad argentina ubicada en la región patagónica, en el extremo suroeste de la provincia de Río Negro, y en medio de un paisaje de montañas, bosques de coníferas, ríos y lagos. Se encuentra emplazada al pie del Cerro Piltriquitrón, en un profundo valle de origen glaciario orientado de norte a sur, cuya base surcada por los ríos Azul y Quemquemtrey está a sólo 337 msnm. Su población actual es de 23.000 habitantes.

La cooperativa de obras y servicios públicos, sociales y vivienda de El Bolsón (COOPETEL), fundada 1970, brinda a las comunidades de la región los servicios de telecomunicaciones. Estos servicios son de telefonía analógica e Internet ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) de baja velocidad. Debido a la distribución geográfica de la ciudad y el deterioro del plantel exterior es necesario una actualización de la red de telecomunicaciones que permita más y mejores servicios para un número creciente de abonados.

Para llevar a cabo esta actualización se optó, luego de un análisis que se verá más adelante, por la tecnología inalámbrica LTE-nómada utilizada para transmisión de datos de alta velocidad. Esto permitirá brindar Internet de banda ancha fija inalámbrica, telefonía sobre IP (VoIP) y además facilitará el acceso de abonados que se encuentren alejados del casco urbano.

El servicio a implementar alcanzará en una primera etapa a 1600 usuarios.

La conectividad a nivel nacional se realizará a través de la Red Federal de Fibra Óptica (REFEFO) esta es una red de datos multipropósito desplegada por la empresa estatal ARSAT SA., que permite la conexión de servicios mayorista de telecomunicaciones.

Para el despliegue de este proyecto será necesario realizar la instalación de torres adicionales a las ya existentes en la sede de la cooperativa, ubicada en el centro de la ciudad. Armado y configuración de dispositivos del hub central, montaje de las antenas y equipamiento para la red LTE y vinculación de los nodos secundarios con

el nodo central. También será necesario equipos que permitan la interconexión entre la nueva red y la red actual.

Este trabajo se organiza primero en una introducción general, un capítulo de teoría y tecnología, otro de diseño y desarrollo del proyecto en sí, uno de selección de equipos y cálculos económicos otro de conceptos para la instalación, operación y mantenimiento y finalmente una conclusión.

Introducción.

A continuación, describiremos los puntos centrales del proyecto tales como la ciudad de El Bolsón haciendo hincapié en su distribución demográfica y geográfica, la cooperativa donde detallaremos su estructura operativa, un análisis de las posibles soluciones para el acceso de los abonados, los servicios a implementar y el tipo de conectividad necesaria para la salida hacia Internet.

La ciudad de El Bolsón se ubica al Sudoeste de la provincia de Río Negro, justo en el límite con la provincia de Chubut, a 130 Km de Bariloche y a solo 10 Km del límite con Chile. Se encuentra emplazada al pie del Cerro Piltriquitrón, en un profundo valle de origen glaciar en medio de un paisaje de montañas, bosques de coníferas, ríos y lagos.

Los resultados definitivos del censo 2010 arrojaron que el municipio posee 19.009 habitantes. Este dato incluye los barrios rurales alejados del centro de la ciudad. La tasa de crecimiento demográfico con respecto al censo 2001 es 2,24%. En este último contaba con 15.537 habitantes. Actualmente se estima la población de El Bolsón en 23.000 habitantes.

Esta magnitud la sitúa como la 9^o unidad más poblada de la provincia, y la más poblada de la llamada Comarca andina del Paralelo 42.

El casco urbano de El Bolsón está situado en el extremo suroeste de la Provincia de Río Negro, lindante por el sur con el Paralelo 42, en el límite interprovincial con Chubut. Está a 7 km del límite internacional con la República de Chile a 130 km al sur de la de Bariloche (Río Negro), y a 170 km al norte de Esquel (Chubut), sobre la Ruta 40.

En el presente, la economía y el desarrollo de localidad de El Bolsón se basa en dos actividades fundamentales: el turismo y la producción rural. En este último aspecto, se destacan las plantaciones de lúpulo, frutas finas y derivados como los dulces y conservas al natural, plantas aromáticas, huertas con verduras y hortalizas de producción orgánica y alta calidad, hongos secos, piscicultura, emprendimientos forestales, aserraderos, y en menor medida productos lácteos artesanales y sus derivados.

Para el desarrollo de las diferentes actividades económicas que se realizan en la ciudad es importante contar con servicios, que propicien el crecimiento de la comunidad, las

telecomunicaciones es uno de ellos. Este servicio es brindado por la cooperativa de obras y servicios públicos, sociales y vivienda El Bolsón Ltda. (COOPETEL), que provee principalmente de gas, telefonía, e Internet a la Comarca Andina.

La telefonía constituye la actividad fundacional de esta cooperativa por lo cual están continuamente abocados a mejorar el servicio que prestan adecuándose a las nuevas condiciones tecnológicas, teniendo como objetivo la satisfacción de sus asociados. Cuentan en la actualidad con más de 4.400 líneas telefónicas distribuidas en toda la localidad, y comunicando a pobladores situados en un radio de 17 km.

Por otra parte, la Cooperativa se ha preocupado por aquellos asociados que viven alejados del radio urbano. Es por ello por lo que presta el servicio denominado Telefonía Rural integrando a ese sector poblacional con la Red Nacional de Telecomunicaciones por medio de enlace radioeléctrico.

Desde el mes de diciembre de 1998 presta el servicio de acceso a Internet, correo electrónico y alojamiento de páginas Web, cubriendo así una necesidad de toda la comunidad.

Actualmente la conexión a Internet se realiza a través de Telefónica Data por medio de fibra óptica, directamente desde la central telefónica de la Cooperativa. El ancho de banda actual es de 25 Mbps.

A partir del mes de noviembre de 2003 ha incorporado a sus servicios de acceso a Internet la tecnología inalámbrica (Wifi), y desde julio de 2005 la tecnología ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line o Bucle de Abonado Digital Asimétrico), brindándoles a sus usuarios la posibilidad de estar conectados las 24 hs. a una velocidad sensiblemente superior a la del acceso telefónico normal, sin consumir pulsos telefónicos.

En el año 2005 han extendido la provisión del servicio de Internet Inalámbrica a la ciudad de Lago Puelo, localidad que se encuentra 13 km. al sur de El Bolsón.

Actualmente la cooperativa se vincula desde su central hasta los abonados a través de par telefónico de cobre (planta externa), instalado en los primeros años de su fundación, el cual estaba diseñado para ofrecer servicios de telefonía básica. Con el correr de los años y el desarrollo de nuevas tecnologías, entre ellos ADSL se hizo posible la transmisión de datos de forma digital a través de este cableado.

El incremento del uso de datos a través de diferentes dispositivos por parte de las aplicaciones, como ser, mobile TV, Web 2.0 y todo consumo de streaming, han

generado la necesidad de una mayor velocidad de transmisión. Ante este escenario el par de cobre limita la posibilidad de brindar el servicio para satisfacer la nueva demanda.

Con el fin de poder hacer frente a este aumento en la demanda, la cooperativa se ve en la necesidad de actualizar su infraestructura, siendo necesario realizar un análisis para determinar que tecnología de acceso es más conveniente.

En el mercado actual de las telecomunicaciones existen diferentes tecnologías de acceso, las cuales se dividen en alámbricas e inalámbricas.

Dentro de las cableadas se destacan: ADSL que es una técnica de transmisión que, aplicada sobre los bucles de abonado de la red telefónica tradicional, permite la transmisión sobre ellos de datos a alta velocidad. ADSL es el nombre más utilizado para designar a varios estándares de la familia xDSL (x Digital Subscriber Line), que engloban también a ADSL2 y ADSL2+, evoluciones de ADSL que ofrecen mayores velocidades o alcance, VDSL (Very High Digital Subscriber Line) y VDSL2, y SDSL (Symetric Digital Subscriber Line), son tecnologías que permite disponer de mayor velocidad en sentido descendente y ascendente. Esta tecnología (utilizada actualmente por la cooperativa) se ve limitada debido a que las exigencias de calidad del par, tanto de ruido como de atenuación, por distancia a la central, son más estrictas que para el servicio telefónico básico. De hecho, el límite teórico para un servicio aceptable equivale a 10 km. Para llevar a cabo el desarrollo de las tecnologías VDSL y VDSL2 es necesario la instalación de armarios donde fibra óptica llega de la central y se conecta al par de cobre, esto implica realizar una inversión mayor en obra civil.

Otra tecnología es el HFC (Híbrido Fibra Coaxial), combina la fibra óptica y el cable coaxial, que es utilizado en el último tramo de conexión con el usuario. Las redes de cable fueron concebidas originalmente para la difusión de servicios de televisión, pero en la actualidad han evolucionado para proporcionar también servicios de acceso a Internet. La implementación de esta tecnología implica realizar un nuevo tendido de cables por toda la ciudad, además son sistemas costosos y se requiere un riguroso mantenimiento de la red.

Por último, tenemos la fibra óptica que es un medio de transmisión con muy buenas características en cuanto a alta capacidad y baja atenuación, lo que lo hace un medio idóneo para ser utilizado en las redes de telecomunicaciones, permitiendo enviar grandes cantidades de datos a largas distancias.

El servicio más común brindado en este tipo de acceso es el que se conoce como redes de fibra hasta el hogar, en inglés, Fiber To The Home (FTTH). Esta tecnología

demanda una alta inversión para la instalación, se dificulta, por la geografía de la ciudad, llegar a zonas alejadas, el despliegue se realiza de manera lenta, requiere una especialización del personal encargado de realizar las instalaciones.

Dentro de las tecnologías inalámbricas está WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) que permite la comunicación entre dispositivos a través de ondas electromagnéticas. WiMax permite una cobertura y calidad de servicio, consiguiendo un alcance teórico de hasta 50 Km para accesos inalámbricos desde una ubicación fija y alrededor de 15 Km para accesos en movilidad.

Como último tenemos LTE (Long Term Evolution) es un estándar para comunicaciones inalámbricas de transmisión de datos de alta velocidad para terminales de datos. Introduce importantes mejoras en cuanto a la gestión de las conexiones de datos y la eficiencia en la transmisión, que redundan en redes con alta capacidad para la descarga de datos y con menores costes de operación y mantenimiento. En este proyecto se menciona la tecnología LTE-nómada que se diferencia de LTE ya que la primera es del tipo fija, esto significa que el servicio de Internet y telefonía se da mediante un terminal (instalado en la casa del abonado) que se conecta a la red de forma inalámbrica. Este equipo puede proporcionar una red Wifi o Ethernet para que los diferentes dispositivos del hogar u oficina accedan a los servicios de la red.

Comparando las diferentes tecnologías llegamos a la conclusión que, por factores como la geografía de la ciudad, el mantenimiento de la red, la obra a realizar para implementar cada tecnología, costos de inversión, porcentaje de clientes remotos (zonas de difícil acceso), es conveniente optar por una tecnología de acceso inalámbrico, esta nos permitirá realizar un despliegue más rápido y tener un radio de cobertura mayor.

Dentro de las tecnologías inalámbricas estudiadas, estimamos que LTE es la opción más adecuada a nuestro caso, ya que (en comparación con Wimax) permite velocidades de hasta 300 Mbps en enlace de bajada y 86 Mbps en enlace de subida, puede operar en diferentes espectros, tiene un gran alcance y baja latencia.

Analizando las diferentes tecnologías y comparándolas hemos definido la utilización de LTE como la tecnología con la que realizaremos la actualización de la red de la cooperativa para poder brindar Internet de banda ancha fija inalámbrica y telefonía IP de calidad. En el siguiente capítulo profundizaremos las ventajas de LTE sobre WiMax.

Para la implementación de la tecnología LTE es necesario considerar que se divide en

cuatro componentes o subsistemas, el primero es la red central (EPC, Evolved Packet Core) conformada por diferentes servidores y Gateway, que dan control de acceso, calidad de servicio, facturación y política de servicios. Esta red provee el acceso a Internet y al servicio de telefonía.

El segundo componente es la red de acceso de radio (E-UTRAN, Evolved – Universal Terrestrial Radio Access Network), maneja las comunicaciones de radio entre el dispositivo de usuario y el EPC, solo tiene un componente, el Evolved Node B (eNB) o también llamado sitio es una estación base que transmite y recibe las señales de radio a través de antenas que permiten una gran cobertura.

El eNB tiene dos funciones principales. En primer lugar, envía transmisiones de radio a todos sus dispositivos en el enlace descendente y recibe transmisiones de ellos en el enlace ascendente, utilizando las funciones de procesamiento de señales analógicas y digitales de la interfaz aérea LTE. En segundo lugar, el eNB controla el funcionamiento de bajo nivel de todos sus dispositivos, enviándoles mensajes de señalización.

Una estación base debe transmitir a muchos usuarios diferentes a la vez. Lo hace compartiendo los recursos de la interfaz aérea, en una técnica conocida como acceso múltiple. Para el enlace de bajada (Downlink) utiliza Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA), donde el canal que utilizan los usuarios es dividido en un conjunto de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios. Como técnica en el enlace de subida (Uplink), LTE utiliza Acceso Múltiple por División de Frecuencias con Portadora Única (SC-FDMA).

Al usar las técnicas de acceso múltiple descritas anteriormente, una estación base puede distinguir las transmisiones hacia y desde los dispositivos de abonados en la celda (conjunto de antenas de un mismo eNB). Sin embargo, todavía necesitamos una forma de distinguir las transmisiones de los móviles desde y hacia las estaciones base mismas.

Para hacer esto, un sistema de comunicación inalámbrica puede operar en dos modos de transmisión y recepción, estos son: Dúplex por División de Frecuencia (FDD) donde la emisión y la recepción de los datos se hacen simultáneamente sobre dos bandas de frecuencia diferente, y Dúplex por división de tiempo (TDD), los datos de cada usuario (emisor y receptor) son separados en ranuras de tiempo y son enviados uno a continuación de la otra.

El tercer componente es la red de Backhaul (Backhaul Network) que mediante fibra óptica o microondas conecta la red central con la de red de acceso, representa el camino donde los datos se transfieren desde el usuario a la red central para que pueda

acceder al teléfono o a Internet y viceversa.

Como último subsistema está el equipo de usuario que se conecta directamente con la red de acceso, en el caso de nuestra implementación este equipo consistirá en un CPE (Customer Premises Equipment) es decir el equipo local del cliente. Este dispositivo es usado tanto en interiores como en exteriores (por medio de una antena) para originar, encaminar o terminar una comunicación. El equipo puede proveer una combinación de servicios incluyendo datos, voz, video y un host de aplicaciones multimedia. En el caso de LTE el CPE es inalámbrico pudiendo acoplar una antena interna o externa para aumentar la intensidad de señal en el caso de los abonados rurales.

Para dar servicio es necesario utilizar una banda de frecuencias donde LTE opera con un ancho de banda dado. Dentro de estas bandas están las licenciadas a diferentes operadores de telefonía celular, las cuales, en nuestro país, son: la banda 4 también llamada AWS dividida en dos segmentos; 1710 a 1755 MHz para el enlace de subida y 2110 a 2155 MHz para el enlace de bajada (FDD), y la 28 o APT también dividida en dos segmentos; 703 a 748 MHz para el enlace de subida y 758 a 803 MHz para el enlace de bajada. Luego existe otro segmento de bandas denominadas “no licenciadas” que son utilizadas para ofrecer el tipo de servicio que nuestro proyecto desea dar.

Para brindar servicios de telefonía en la casa de cliente es necesario contar con un dispositivo que vincule el servicio de telefonía convencional PSTN (Public Switching Telephone Network) con la red de paquetes IP. Este equipo se conoce como gateway y se encarga de realizar el control de llamadas, señalización y de controlar otros dispositivos.

La conectividad a nivel nacional se hace mediante la red central que debe estar conectada a Internet mediante un proveedor mayorista de datos, en nuestro proyecto utilizaremos el servicio que brinda ARSAT a través del tendido de la REFEOF. Esta red de 33.000 Km junto con la instalación de equipamiento tecnológico brinda un servicio de Internet en condiciones de igualdad en tanto calidad y precio en todo el país. Este proyecto es la obra de infraestructura que llevará Internet de banda ancha a 1300 localidades del interior de la Argentina. Actualmente este proyecto ya posee 315 nodos activos, El Bolsón es uno de ellos, la REFEOF nos permitirá acceder al servicio con el precio más bajo del mercado (14 dólares el Megabit), este valor es menor al que ofrece hoy en día la empresa Telefónica.

La etapa de despliegue incluirá, el emplazamiento de torres en punto estratégicos a definir en los capítulos posteriores. Estas torres permitirán el montaje de las antenas para una cobertura óptima. En la cota cero de estas torres se ubicará un gabinete

donde se montarán los equipos de gestión y control de radio, y los equipos conexión con el nodo central. Entre los nodos secundarios y el nodo central se realizará una vinculación a través de fibra óptica. En el nodo central se instalarán los equipos para la gestión y administración de la red LTE, el router para la vinculación con ARSAT, además del gateway para la conexión con la central telefónica preexistente en la cooperativa.

En este apartado se abordaron los puntos principales a ser considerados para la realización del trabajo. Se describió la ciudad en donde se planificará la red, la cooperativa encargada de llevarla a cabo, la tecnología y los servicios a implementar y una breve descripción del acceso mayorista a Internet y los beneficios que este conlleva. A continuación, en el siguiente capítulo nos abocaremos a describir en profundidad la teoría y tecnología necesaria para realizar el proyecto.

1. Teoría y Tecnología.

En este capítulo se analizarán y estudiarán las tecnologías y técnicas para la posterior realización del proyecto. Como primer punto se realizará una comparación entre las tecnologías WiMax y LTE con el fin de exponer porque se optó por esta última, luego se desarrollará de manera más detallada la tecnología LTE, posteriormente se expondrán distintos elementos necesarios para el funcionamiento de la red, tales como el HUB central, el equipo de cliente (CPE) y las antenas. Además, se describirá como se realiza el proceso de dimensionado de la red, que es utilizado para calcular la cantidad de estaciones y equipos que se necesitan para dar servicio en la ciudad. Por último, se presentará el software que se utilizará para realizar los cálculos y simulaciones de la red.

En el capítulo anterior se mencionarán las diferentes tecnologías de acceso dividiéndolas en alámbricas e inalámbricas y optando por estas últimas. Dentro de las cuales están WiMax y LTE.

1.1. WiMax.

WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) nace con la necesidad de extender el rango de alcance de las redes inalámbricas locales a redes metropolitanas o de mayor envergadura, permitiendo desplegar diferentes servicios (voz, datos) a distintas poblaciones.

Como tecnología de acceso de radio WiMax utiliza OFDMA (Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales) tanto para el enlace descendente como el ascendente.

WiMaX utiliza una red troncal totalmente IP con velocidad máxima de datos de enlace ascendente de hasta 25 Mbps y descendente de hasta 75 Mbps, dependiendo de la configuración y modulación, de la antena y la distancia. Para la comunicación entre un terminal de usuario y una estación base puede utilizar TDD (Duplexado por división de tiempo) o FDD (Duplexado por división de frecuencia). Utiliza para su operación dos rangos de frecuencia uno de 10 a 66 GHz en línea de vista y otro de 2 a 11 GHz fuera de línea de vista. Posee anchos de banda de canal variable que van desde 1.25 MHz a 20 Mhz, distribuidos en 1.25 MHz, 2.5 MHz, 5 MHz, 10 MHz y 20 MHz.

La arquitectura de red de WiMax está conformada por diferentes entidades: Network Access Provider (NAP) se encarga del intercambio de tráfico con diferentes

operadores, Network Service Provider (NSP) provee conexión IP y servicios WiMAX a los diferentes clientes de acuerdo con los servicios contratados. MSs (Mobile Stations) /SS (Subscriber Stations) se refieren genéricamente a terminales de dispositivos fijos y móviles que proporcionan conectividad inalámbrica entre hosts únicos o múltiples y una red WiMAX. ASN (Access Service Network) realiza varias funciones de red requeridas para proporcionar acceso de radio a la MS. CSN (Connectivity Service Network) El CSN proporciona servicios de conectividad IP a los suscriptores de WiMAX y puede incluir elementos de red.

WiMax soporta esquemas de múltiples antenas, MIMO (Multiple Inputs multiple Outputs) lazo abierto y MIMO lazo cerrado.

Los datos pueden ser modulados en uno de tres esquemas disponibles: QPSK, 16QAM, 64QAM. Este último no es utilizado el enlace ascendente.

La tecnología WiMax encuentra desventajas frente a LTE, estas se observan en los siguientes puntos:

La tecnología de acceso en el enlace ascendente utilizada en LTE (SC-FDMA) permite una mayor eficiencia energética frente a OFDMA utilizada por WiMax. Esto lleva a que los terminales de usuario tengan un menor consumo de energía.

LTE tiene una velocidad máxima de enlace descendente de 100 a 324.4 Mbps ante los 75 Mbps que ofrece WiMax. Para el enlace ascendente LTE ofrece una velocidad de entre 50 a 86 Mbps ante los 25 Mbps de WiMax. (Estas velocidades dependen del ancho de banda del canal).

Por último, la capacidad de la celda LTE es mayor a 200 usuarios (para un ancho de banda de 5 MHz) y a 400 usuarios para ancho de banda mayores, en WiMax la capacidad se ve reducida hasta un máximo de 200 usuarios.

LTE se impone sobre WiMax al tener mejores prestaciones en peores condiciones. Además, es el mismo estándar que el de comunicaciones celulares móviles, por ende, la estandarización baja los costos.

Por estos factores es que optamos por la tecnología LTE sobre WiMax.

1.2. LTE.

El proyecto se llevará a cabo con la tecnología LTE, esta tecnología nos permite un

rápido despliegue e implementación. En el capítulo anterior se hizo una breve descripción de la tecnología LTE, en este apartado se ampliarán algunos aspectos.

LTE es uno de los últimos estándares de comunicaciones enfocado en velocidades de datos pico más altas, mayor eficiencia espectral, menor latencia, ancho de banda de canal flexible. Se basa en el protocolo de Internet (IP), proporcionando un mayor rendimiento, un ancho de banda más amplio y una mejor transferencia, a la vez que garantiza la continuidad de los servicios en todas las áreas cubiertas con soporte multimedia. A continuación, se detalla la arquitectura de la red denominada Evolved Packet System (EPS).

1.2.1. Evolved Packet System (EPS).

La arquitectura de alto nivel del EPS está formada por tres componentes principales, estos son el equipo: User Equipment (UE), la red de acceso conocida como Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), la red troncal, llamada Evolved Packet Core (EPC) que comunica al sistema con otras redes externas como Internet y por último el Backhaul (Backhaul Network) que interconecta los diferentes componentes de la red.

1.2.1.1. Red de Acceso (E-UTRAN).

La red de acceso de LTE (E-UTRAN) consiste en una red de nodos eNode-B (eNB) como se muestra en la figura N°1. La estación base, eNB, integra toda la funcionalidad de la red de acceso, proporciona conectividad entre los equipos de usuario y la EPC, mediante interfaces: E-UTRAN Uu, S1, X2.

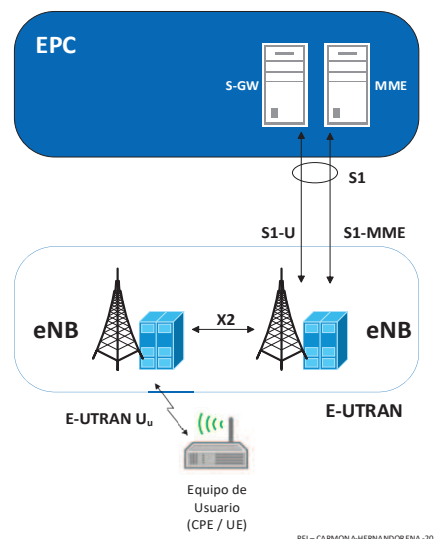


Figura N°1: E-UTRAN y EPC.

La interfaz E-UTRAN Uu es la que realiza la transferencia de datos por el canal de radio entre el eNB y el equipo de usuario.

El eNB se conecta a la red troncal a través de la interface S1, esta se divide a su vez en dos sub-interfaces, la S1-MME y la S1-U. La primera se utiliza para la comunicación con una entidad de la red EPC denominada Mobility Management Entity (MME) que es la encargada de sustentar las funciones relacionadas con el plano de control. La segunda interfaz S1-U se comunica con otra entidad denominada Serving Gateway (S-GW) utilizada para procesar el plano de usuario.

La interface X2 permite la interconexión entre nodos eNB para el intercambio de mensaje de señalización. La interface S1 provee el acceso a los recursos de radio de la E-UTRAN para el transporte del tráfico del plano de usuario y del plano de control.

1.2.1.1.1. Evolved Node B (eNB).

En el eNB terminan todos los protocolos específicos de la interfaz de radio. A través de estos el eNB realiza el intercambio de paquetes IP hacia y desde los equipos de usuario, también los mensajes de señalización para controlar la interfaz de radio.

El servicio de transferencia de paquetes IP entre un eNB y el equipo de usuario se denomina formalmente Radio Bearer (RB).

El eNB conserva la información necesaria para mantener los servicios de E-UTRAN activos (Información de seguridad, servicios portadores activos, información sobre el estado del terminal del usuario, capacidades del terminal, etc.).

Otras funcionalidades claves que maneja el eNB son la asignación dinámica de los recursos de radio tanto en los enlaces de upstream y como en los de downstream (denominadas funciones de scheduling) y control de interferencias entre estaciones base.

El eNB selecciona dinámicamente la entidad MME de la red troncal EPC cuando un terminal se registra en la red LTE. Mediante esta selección es posible balancear la carga de señalización entre diferentes MME, así como también aumentar la robustez del sistema ante fallas. Un eNB puede estar conectado a varios MME.

Este equipo puede enviar y recibir paquetes IP de los usuarios a los que sirve a través de diferentes S-GW de la red troncal EPC. Esto conlleva a que el eNB albergue funciones de enrutamiento del tráfico de los usuarios hacia el S-GW correspondiente. La selección del S-GW es competencia de la entidad MME y no del eNB.

El eNB está compuesto por una unidad de banda base “Base Band Unit (BBU)” y como mínimo tres sistemas de radiofrecuencias “Remote Radio Units (RRU)”. Para conectar el BBU a cada RRU se utiliza una interfaz óptica.

1.2.1.1.1.1. Unidad de Banda Base (BBU).

Una Unidad de Banda Base (BBU) es un equipo que procesa la señal en banda de base, es decir, antes de la modulación en la banda original (voz, datos, video). En los sistemas de telecomunicaciones, una radio base de telecomunicaciones típica, esencialmente consiste en la unidad de procesamiento de banda base (BBU) y la unidad de procesamiento de RF (Unidad de Radio Remota - RRU). La BBU se coloca en la sala o gabinete donde se ubican los equipos y se conecta la RRU a través de un cable de fibra óptica.

La BBU es la responsable del envío y/o recepción de la información en la radio base, se podría interpretar como el cerebro de esta. Una BBU tiene las siguientes características: diseño modular, pequeño tamaño, bajo consumo de energía y se puede implementar fácilmente.

En la BBU, se realiza todo el procesado en banda base (asignación, codificación y decodificación).

En la recepción, la señal de radio proveniente de los dispositivos de los usuarios es recibida por la antena pasiva en la frecuencia de la red, se transmite a la RRU donde es acondicionada, tanto en amplitud como en frecuencia y convertida a dominio digital. La señal digital en banda base es transmitida a la BBU donde es gestionada para ser transmitida hacia la red. En el proceso inverso, el RRU recibe la información de la BBU entramada mediante protocolos como pueden ser el CPRI (Common Public Radio Interface), este se encarga de demultiplexarla, realizar el procesado digital y convertirla a señal analógica. Una vez en dominio analógico, se le aplica un procesado de adaptación en una etapa RF, donde la señal se verá amplificada en potencia y desplazada a la frecuencia que opera la red. De este modo, la señal estará lista para ser transmitida por la antena pasiva.

La unidad BBU ejecuta las siguientes funciones:

- Provee puertos de comunicación entre la BBU y la MME (Mobility Management Entity) o la OSS (Operation & Support System) para la transmisión de datos.
- Provee canales de mantenimiento entre la BBU y la Terminal de

Mantenimiento Local (Local Maintenance Terminal - LMT) o M2000 para manejar y monitorear la radio base.

- Proporciona puertos E1s, que apoyan protocolos IP y ATM.
- Provee la interfaz para la comunicación entre la BBU y la RRU.
- Provee puertos de conexión local para configuración vía software.
- Procesa señales de banda base de uplink y downlink.
- Maneja el sistema entero de la radio base en términos de Operación y Mantenimiento (O&M).
- Provee sistema de clock.

La BBU gestiona todos los recursos de la radio base, traficando las llamadas entrantes y salientes, así como la descarga de datos de los equipos que operan en el área que controla.

La operación de la BBU esta subdividida en 4 sistemas de acuerdo con la función a realizar:

- El Subsistema de Transporte proporciona los puertos físicos de comunicación para datos entre el nodo y la OSS. Proporciona los canales para operación y mantenimiento (O&M) entre el BBU y el canal de Operación y Mantenimiento (OMC), que es un agente para el mantenimiento del equipo de la compañía proveedora del servicio. Proporciona el canal entre la BBU y la Terminal de Mantenimiento Local (Local Maintenance Terminal) o M2000 que es el gestor de operación y mantenimiento remoto.
- El Subsistema de Banda Base procesa la información en banda base del enlace de subida y del enlace de bajada. Los siguientes módulos integran las funciones de este subsistema:

Módulo de procesamiento de datos en banda base del enlace de subida: consiste en la unidad de demodulación y decodificación.

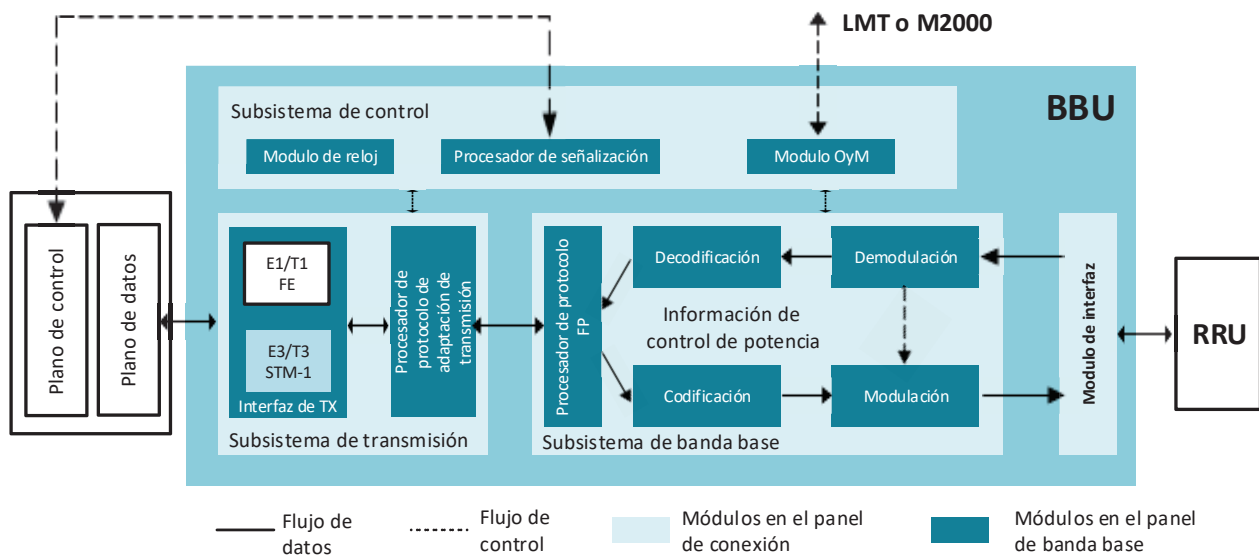
Módulo de procesamiento de datos en banda base del enlace de bajada: consiste en la unidad de modulación y codificación.

- El Subsistema de Control administra el nodo. Este subsistema realiza las funciones de operación y mantenimiento, los procesos de señalización y provee la señal de reloj de referencia al sistema. El módulo O&M administra los equipos y módulos conectados, el manejo de las actualizaciones, configuraciones, alarmas, manejo de software y acondicionamiento del nodo. Las funciones O&M incluyen la gestión de configuración, gestión de fallos,

gestión del rendimiento, gestión de seguridad y la implementación.

- El módulo de energía convierte una señal de entrada de -48V al voltaje requerido por las tarjetas auxiliares y provee un puerto para un dispositivo de monitoreo externo.

En la figura N°2 se puede observar los módulos que conforman la BBU.



PFI-CARMONA-HERNANDORENA - 2019

Figura N°2: Arquitectura del BBU.

1.2.1.1.1.2. Unidad de Radio Remota (RRU).

El RRU es un módulo que acondiciona las señales que recibe y/o emite la radio base, de modo que estas estén preparadas en los formatos con los que trabajan cada etapa interna de la radio base. El RRU realiza principalmente los siguientes procedimientos:

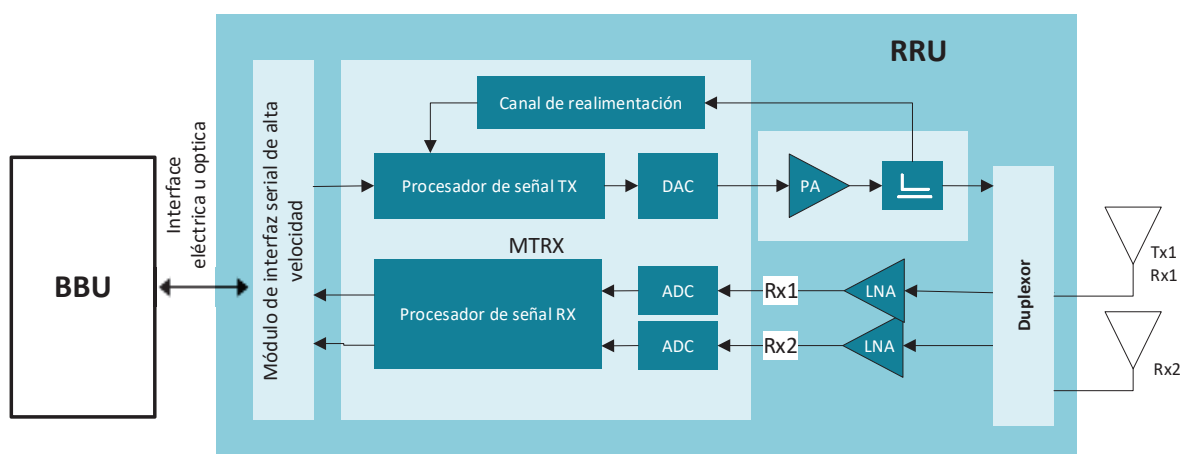
- Conversión de proceso de Uplink/Downlink.
 - Amplificación de la señal de RF entre la radio base y una terminal celular o equipo de cliente en nuestro caso.
 - Control de potencia de la señal radiada, para modificar el área de cobertura de una antena.
- 1 Control de la inclinación del patrón de radiación de la señal de radio emitida por la antena

La RRU principalmente se encarga de acondicionar la señal para que la antena pasiva pueda realizar su función. Durante la fase de Downlink, se realizan las funciones de procesamiento de la señal digital recibida de la BBU, para conseguir la conversión de la señal digital al dominio analógico, para después montar estas señales de RF en la banda de frecuencia de transmisión que opera la red.

Por el otro lado, en la fase de Uplink, la RRU recibe las señales de RF de la antena, para después mediante una etapa conversión de señal llamado down-converting, estas señales que están montadas a la frecuencia que opera la red, se transformen a señales de Frecuencia Intermedia (Intermediate Frequency - IF) con las que puede trabajar internamente el hardware de la radio base. Después vienen etapas de procesamiento de esta señal, empezando con una etapa de conversión del dominio analógico al digital, para posteriormente realizar un filtrado adaptado y un control automático de ganancia digital (Digital Automatic Gain Control - DAGC). Ocurrido esto y ya en el dominio digital, los transmite a la BBU.

Otra de las funciones que realiza el RRU, es multiplexar las señales del receptor (Receiver - RX) y del transmisor (Transmitter - TX). Esto permite que las señales RX y TX compartan el mismo camino a la antena pasiva.

También en el RRU se encuentra una etapa de amplificación de salida, debido a que la señal de radio debe tener la suficiente potencia para que la antena alcance sus rangos de radiación. En la figura N°3 se ilustra un diagrama de bloques de los elementos internos que constituyen un RRU.



PFI- CARMONA-HERNANDORENA - 2019

Figura N°3: Arquitectura del RRU.

Como se observa en la figura N°4, revisando más a detalle los elementos que conforman el RRU, al inicio de la recepción de la señal proveniente de los equipos de los usuarios, se comienza con una etapa analógica en RF que esta compuesta por un LNA (Low Noise Amplifier) o Amplificador de Bajo Ruido, etapa necesaria puesto que la señal de radio que proviene de los equipos es de baja potencia. Por ello, los LNA amplifican esta señal a los niveles necesarios para su procesamiento por la etapa digital, introduciendo el menor ruido posible.

En el proceso inverso, cuando los datos salen de la radiobase hacia los equipos de cliente, internamente en el RRU después de la conversión del dominio digital al analógico de la información, se utiliza una etapa RF con amplificadores PA (Amplificador de Potencia), puesto que el objetivo es amplificar la potencia de la señal de salida lo máximo posible. La potencia del PA puede ser de 20W o 40W, dependiendo el modelo de la RRU.

Otra parte importante en la etapa previa a la antena lo constituye un duplexor encargado de separar las señales de transmisión y recepción. Este filtro en la interfaz de RF está entre la RRU y la antena. Esto filtra las señales RX y TX para evitar la interferencia.

Los datos se transmiten desde la BBU hasta la RRU que se ubica cerca de las antenas. Las características específicas de una RRU pueden diferir en base al número de portadoras y bandas de frecuencia que soporta.

1.2.1.1.1.3. Conexión entre RRU y BBU.

La conexión entre el RRU y el BBU se realiza a través de fibra óptica, esta es un sistema de transmisión opto-eléctrico, es decir que involucra manipulación tanto de energía eléctrica como lumínica en el proceso de transmisión.

La señal producida por los distintos equipos de transmisión de datos (routers, switches, etc.) es de tipo eléctrico. Esta señal debe ser convertida en una señal lumínica para poder ser transmitida a través de una fibra óptica, para luego ser reconvertida a pulsos eléctricos y así poder ser comprendida por el dispositivo destino.

Este medio de transmisión permite conexiones de alto ancho de banda a mayores distancias debido a que la señal portadora (el haz de luz) sufre menos atenuación y es inmune al ruido electromagnético.

En los eNB se usan fibras ópticas ya prefabricadas con una longitud adecuada a la distancia que existe desde la BBU hasta las RRU y acorde a las medidas comerciales,

siendo las de 50, 100 y 150 metros las mayormente usadas. Estas fibras ópticas son del tipo monomodo donde se transmite un solo haz de luz por el interior de la fibra. La fibra monomodo utiliza un sistema muy simple, debido a que solo permite un modo de propagación; un único haz de luz directa y más intensa, esto mediante el uso de un laser de alta intensidad. Con ello se logran alcanzar grandes distancias (hasta 300km) y transmitir a elevadas tasas de información (decenas de Gb/s).

Una fibra óptica consta de un cilindro de vidrio extremadamente delgado, denominado núcleo, recubierto por una capa de vidrio concéntrica, conocida como revestimiento. Debido a que los hilos de vidrio pasan las señales en una sola dirección, un cable consta de dos hilos en envolturas separadas. Un hilo transmite y el otro recibe. El extremo de una fibra óptica se termina con un conector de fibra óptica. En estas terminales de la fibra óptica se utilizan conectores tipo LC (Lucent Connector) que son muy ocupados en transmisiones de alta densidad de datos.

Cada enlace de fibra consta de un transmisor en un extremo de la fibra y de un receptor en el otro. La mayoría de los sistemas operan transmitiendo en una dirección a través de una fibra y en la dirección opuesta a través de otra fibra para así tener una transmisión bidireccional.

Ante ello, la mayoría de los sistemas utilizan un transceiver (transceptor) que incluye tanto un transmisor como un receptor en un sólo módulo. El transmisor toma un impulso eléctrico y lo convierte en una salida óptica a partir de un diodo láser.

1.2.1.2. Red Troncal (EPC).

La red troncal conocida como Evolved Packet Core (EPC) fue constituida para brindar un servicio de conectividad IP mediante una arquitectura de red optimizada que permite total funcionalidad con las nuevas capacidades de la red de acceso E-UTRAN.

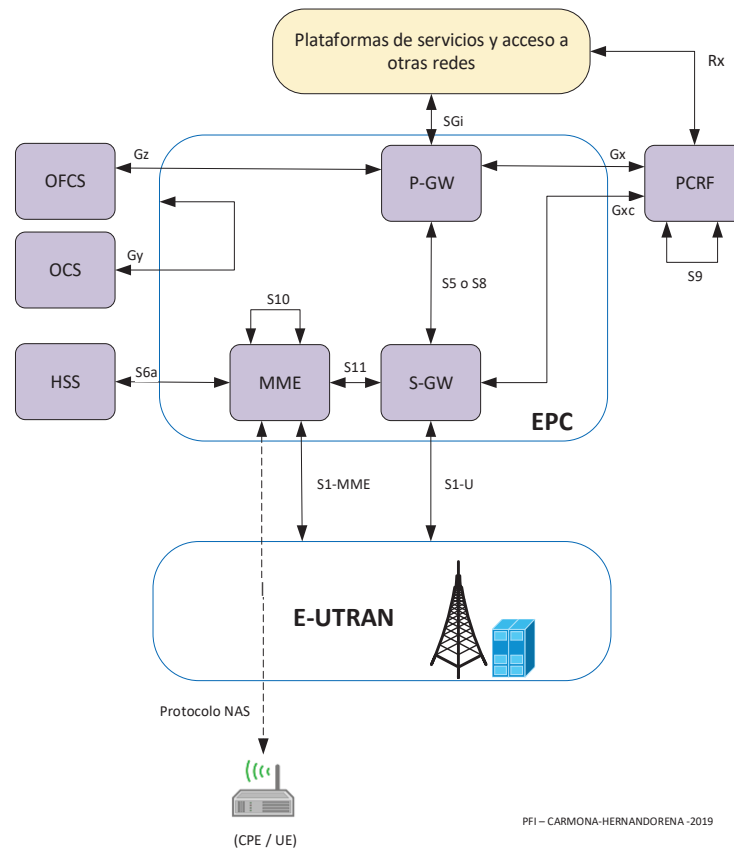


Figura N°4: Evolved Packet Core.

En la figura N°4, se puede observar las entidades que conforman la red troncal, estos son: MME (Mobility Management Entity), S-GW (Serving Gateway) y P-GW (Packet Network Gateway). Junto con la base de datos de usuarios llamada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos necesarios para ofrecer por medio de la red E-UTRAN conectividad IP a los equipos de usuario.

Las funciones del plano de usuarios son manejadas por la S-GW y la P-GW, y las funciones de control y señalización son llevadas a cabo por la entidad MME.

1.2.1.2.1. Entidades de red.

- MME (Mobility Management Entity)

Es el nodo de control clave para el acceso a la red LTE. Es responsable del seguimiento del UE (User Equipment) cuando se encuentra en el modo idle. También forma parte de la activación y desactivación de los bearers para asociar el UE a una red en particular seleccionando un SGW para la asociación inicial y la re-localización de nodos cuando se produce un handover intra-LTE. Además, autentica al usuario interactuando con el HSS.

- HSS (Home Subscriber Server)

Es la unión del HLR y el AuC (Authentication Centre). La parte que corresponde a lo que sería el HLR es la del almacenamiento y actualización de la base de datos, que contiene la información de suscripción del usuario. Por otra parte, la función anteriormente realizada por el AuC es la de la generación de la información de seguridad del suscriptor a partir de sus claves de identificación.

- SGW (Serving Gateway)

El Serving Gateway es el punto de terminación de la interfaz de los paquetes de datos que se dirigen hacia la E-UTRAN. Cuando el UE se mueve a través de los diferentes eNodeB el SGW sirve como un anclaje de movilidad, de modo tal que los paquetes ruteados atraviesan este nodo para el cambio de un equipo a otro, tanto dentro de LTE como con otras tecnologías 3GPP, para el caso de movilidad.

- PDN GW (Packet Data Network Gateway)

De modo similar al SGW, el PDN GW es el punto de terminación para la interfaz de los paquetes de datos que se dirigen hacia el PDN (Packet Data Network). Funciona como el punto de anclaje para la salida a PDN externos y provee características de Policy Enforcement y filtrado de paquetes. Asimismo, es el punto de cambio entre LTE y tecnologías no 3GPP como WiMAX y 3GPP2.

- PCRF (Policy and Charging Rules Function) Server

El PCRF gestiona las políticas de servicio y las QoS (calidad de servicio) de las sesiones de cada usuario del sistema.

1.2.1.2.2. Interfaces EPC.

S5: proporciona el soporte para la transferencia de paquetes de usuario entre el S-GW y el P-GW.

S6a: permite la transferencia de información entre la base de datos HSS y la entidad de control MME.

S11: Interfaz de unión entre el Serving Gateway y la MME, permite controlar la operativa del plano de usuario en la red troncal desde la identidad de red MME.

S-GI: Es el punto de referencia entre el elemento de salida a Internet de nuestra red y la red de paquetes de datos.

1.2.2. Duplexado.

Para que un UE (Equipo de Usuario) pueda comunicarse con un eNB, LTE utiliza un método para separar la transmisión de la recepción llamado duplexado, existen dos

tipos: Time Division Duplexing (TDD) y Frequency Division Duplexing (FDD). Si el sistema está usando dos frecuencias de portadoras diferentes tanto para el UL como el DL, esta técnica se conoce como FDD. En este caso el UE y el eNB transmiten al mismo tiempo. En este tipo de duplexado es necesario una separación entre los canales para reducir la interferencia entre UL y DL.

En TDD, la comunicación entre el UE y el eNB es más simple, cuando un terminal está enviando datos, el otro está recibiendo. Con un delay lo suficientemente corto este proceso puede parecer realizado en simultáneo. La cantidad de espectro requerida para ambas técnicas es la misma. Aunque FDD usa dos bandas de frecuencias separadas por una banda de guarda, TDD usa una sola banda de frecuencia, pero necesita el doble de ancho de banda. Debido a que TDD envía y recibe datos en diferentes intervalos de tiempo, la antena se conectará al transmisor en un intervalo de tiempo y a la cadena del receptor en otro. La presencia de un interruptor de RF de alta calidad y operación rápida es, por lo tanto, esencial.

El espaciado de canal nominal (nominal channel spacing, NCS) entre dos portadoras adyacentes, dependerá del ancho de banda del canal ($BW_{channel}$), el escenario donde se desplegará y del tamaño del bloque de frecuencia disponible. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$NCS = \frac{(BW_{channel-1} + BW_{channel-2})}{2} \quad (\text{ec. N}^\circ 1)$$

donde $BW_{channel-1}$ y $BW_{channel-2}$ son los anchos de banda de las dos portadoras adyacentes. El modo FDD utiliza una estructura de trama tipo 1, la duración de ésta es $T_f = 307200 \times T_s = 10 \text{mseg.}$ para UL y DL. El tiempo de muestreo está dado por $T_s = \frac{1}{15000 \times 2048}$ seg., el denominador proviene del espaciado de subportadoras (15Khz) en OFDMA (Acceso Múltiple Por División de frecuencias Ortogonales) y del número de puntos de la transformada rápida de Fourier (FFT).

Cada trama tipo 1 está dividida en 10 subtramas, cada una de ellas está dividida en 2 slots. Cada slot consiste de 12 subportadoras con 6-7 símbolos OFDMA (llamada bloque de reuso físico). En la figura número 5 podemos observar una estructura tipo 1 para LTE en modo FDD.

Para el modo de operación TDD (figura número 6) se utiliza trama tipo 2, donde cada una tiene 10 mseg. de duración. Esta consiste en dos subtramas, cada una dividida en 8 slots de 1,5 mseg. y tres campos especiales: DL pilot time slot (DwPTS), periodo de guarda (GP), y UL pilot time slot (UpPTS), el tamaño de estos tres campos combinados es de 1 mseg.

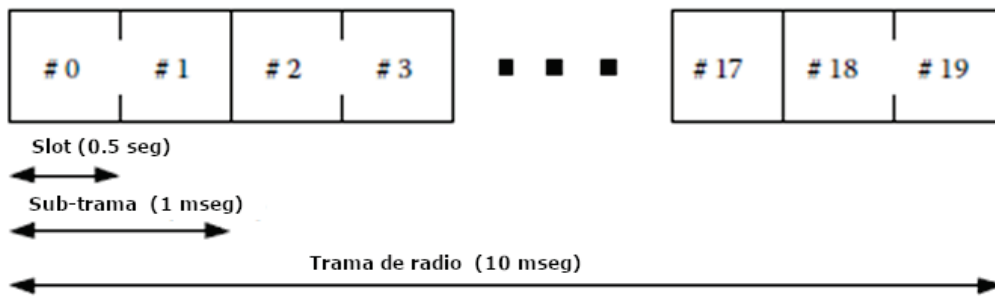


Figura N°5.: Trama FDD.

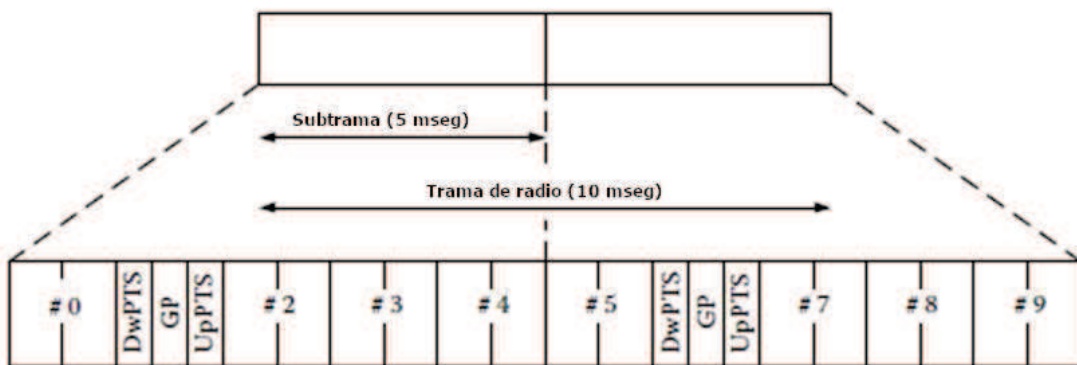


Figura N°6.: Trama TDD.

Dependiendo la banda de frecuencias en las cuales se va a operar, el duplexado puede ser FDD o TDD.

1.2.3. Canales físicos.

Un canal físico es una señal radioeléctrica que permite la transmisión eficiente de datos, a través del interfaz aire. Existen dos tipos de canales, los de control, que son los que transportan señales de control generados en diferentes capas, y canales de tráfico, los cuales transportan datos de usuario.

En LTE los canales de tráfico son compartidos, sólo se establecen cuando un usuario debe recibir datos destinados a él. A continuación, se describen los mismos:

- Physical Broadcast Channel (PBCH): los bloques de transporte se mapean en cuatro subtramas dentro de un intervalo de 40 mseg y luego se decodifican sin señalización especial. Este canal se usa para corregir frecuencias móviles, sincronización de cuadros, y similares.
- Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH): este canal se transmite en cada subtrama e indica el número de símbolos OFDMA utilizados para el PDCCH.
- Physical Downlink Control Channel (PDCCH): Este canal transmite la

información de planificación de enlace ascendente e informa al UE sobre la asignación de recursos y la Solicitud de repetición automática híbrida (HARQ) para el canal de radiomensajería (PCH) y el canal de sincronización del enlace descendente (DL-SCH).

- Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH): Este canal lleva el HARQ de acuse de recibo / no reconocimiento (ACK / NACK) para las transmisiones de enlace ascendente.
- Physical Downlink/Uplink Shared Channel (PDSCH/PUSCH): Este canal lleva el canal de sincronización DL (SCH) y UL-SCH, así como PCH información.
- Physical Multicast Channel (PMCH): este canal transporta la información de multidifusión.
- Physical Uplink Control Channel (PUCCH): Este canal lleva HARQ para las transmisiones de enlace descendente, así como las solicitudes de programación y los informes del Indicador de calidad de canal (CQI).
- Physical Random Access Channel (PRACH): Este canal es utilizado por el equipo de usuario para acceder a la red y transportar pequeños paquetes de datos.

Se dan tres procedimientos principales en la capa física: búsqueda de celda, control de potencia y adaptación de enlace. En la búsqueda de celda, la sincronización DL y las señales de referencia son rastreadas para adquirir sincronización de frecuencia y tiempo, así como la identificación de la celda (cell ID). El control de potencia se usa para controlar la densidad espectral de potencia de salida desde la UE. Finalmente, la adaptación del enlace decidirá qué esquemas de modulación y codificación (portadores) se utilizarán en función de las mediciones del canal realizado y los datos procedentes del eNB.

La capa física mapea los canales para que estos sean transportados hacia la capa 2. Esta se divide en tres subcapas: control de acceso medio (MAC), control de enlace de radio (RLC) y protocolo de convergencia de datos por paquetes (PDCP).

La subcapa MAC es responsable de mapear entre transporte y canales lógicos, informes de scheduling, corrección de errores, manejo de prioridad y relleno. La subcapa RLC realiza la corrección de errores ARQ, el restablecimiento de RLC, el paso de unidades de datos de protocolo (PDU) a capas superiores y la concatenación, segmentación y reensamblaje de unidades de datos de servicio (SDU). El PDCP es responsable de la compresión del encabezado, cifrado y descifrado, transferencia de datos y entrega de PDU/SDU.

1.2.4. Codificación, Modulación y Multiplexación.

En LTE existen dos niveles de codificación: de fuente y de canal. El primero se utiliza para la compresión de datos y el segundo para minimizar los efectos del canal sobre los símbolos transmitidos. En los equipos LTE se utiliza el Convolutional Turbo Coding (CTC) como codificación de canal, este ha demostrado mejorar la transmisión de datos en canales de desvanecimiento complejos. Los bloques se codifican luego usando una secuencia de 31 códigos de oro (GC) de longitud. Un generador de secuencia GC puede implementarse usando un Linear Feedback Shift Register (LFSR). Un bloque de bits para ser transmitido en el PBCH consta de 1920 bits con el prefijo cíclico normal (CP) se denota con “b”, este bloque debe codificarse con una secuencia específica de celda antes de la modulación. La secuencia de GC para esta celda se denota con “C”. El proceso de scrambling (aleatorización) se realiza según la siguiente ecuación:

$$b(i) = b(i) \oplus C(i) \quad (\text{ec. N}^\circ 2)$$

donde \oplus es el operador adición módulo-2.

Para combatir los errores en ráfagas del canal en un entorno multitrayecto, los datos codificados se entrelazan (interleaving) de tal manera que el canal con ráfagas de errores se transforma en un canal con errores independientes. El intercalado distribuirá los errores en ráfaga a tiempo para que aparezcan independientes entre sí y luego los mecanismos convencionales de corrección de errores pueden usarse para corregir tales errores.

Los esquemas de modulación lineal son utilizados en LTE. La modulación digital M-aria se implementa debido a que la tasa de bits utilizada es mayor que el ancho de banda del canal asignado (velocidad de datos de 300 Mbps en un ancho de banda de 20 MHz). El esquema de modulación se determina según las características del canal. En malas condiciones de canal, se utiliza un esquema de modulación con una constelación baja, que es QPSK, aquí dos bits están codificados en una sola palabra (fase) para la transmisión.

Los esquemas de modulación 16-QAM y 64-QAM se utilizan en mejores condiciones de canal, y los datos se mapean en los cambios de fase y amplitud de la frecuencia portadora. El diagrama de constelaciones de una modulación QAM consiste en una grilla cuadrada, donde las señales moduladas contienen un nivel basado en la cantidad de bits utilizados, para 16-QAM, cada 4 bits reciben un valor de señal de la constelación de 16 niveles. Un esquema de modulación de 64 QAM codifica 6 bits en un nivel / fase de señal en comparación con 4 bits en 16-QAM.

La figura número 7 muestra la diferencia entre las constelaciones de señales QPSK y 16-QAM. En LTE, la modulación y codificación adaptativa (AMC) se implementa en las transmisiones UL / DL de acuerdo con las condiciones del canal. Por lo tanto, el esquema de modulación como el esquema de codificación cambian automáticamente para obtener el mejor rendimiento de transmisión para las condiciones de canal dadas.

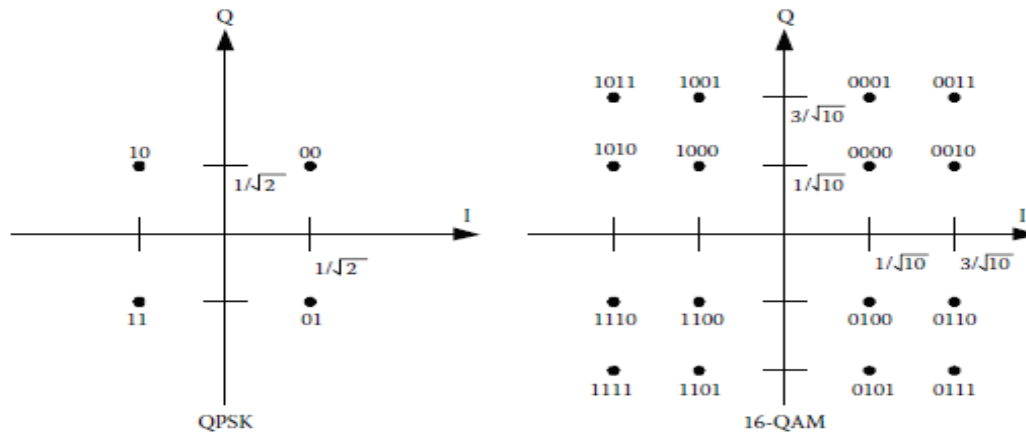


Figura N°7.: Diagrama de constelaciones QPSK y 16-QAM.

La multiplexación que es un método para ubicar varios canales en transmisión y recepción es utilizada porque un canal selectivo en frecuencia aparecería como un desvanecimiento plano para portadores ortogonales individuales (subportadoras), por lo tanto, la compensación de las deficiencias del canal es más fácil de realizar en el hardware. Se usan dos esquemas de multiplexación en la arquitectura por medio de los cuales los diferentes terminales se comunican con un eNB, OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales) se utiliza para el enlace descendente y SC-FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias-Portadora Única) se utiliza para el enlace ascendente.

OFDMA es una técnica de acceso basado en OFDM (Modulación por División de Frecuencias Ortogonales), este método de modulación donde el espectro asociado a cada dato es una pequeña porción del ancho de banda total, el cual se divide en N subcanales. Cada subcanal se modula con un símbolo y se multiplexa en frecuencia, cada una de las frecuencias asociadas a los subcanales son ortogonales entre sí. OFDMA es una versión multiusuario del esquema OFDM. Esto permite la transmisión simultánea de varios flujos de datos individuales. OFDMA mejora aún más la robustez de OFDM para el desvanecimiento y la interferencia, pero lo más importante es que los flujos de datos individuales se pueden utilizar para comunicarse con múltiples nodos simultáneamente o para redundancia, mejorando así la fiabilidad del sistema.

Similar a OFDMA, SC-FDMA divide el ancho de banda de transmisión en múltiples

subportadoras paralelas manteniendo la ortogonalidad de las subportadoras mediante la adición del prefijo cíclico (PC) como un intervalo de guarda. Sin embargo, en SC-FDMA, los símbolos de datos no se asignan directamente a cada subportadora de forma independiente, como en OFDMA. En cambio, la señal que se asigna a cada subportadora es una combinación lineal de todos los símbolos de datos modulados transmitidos en el mismo instante de tiempo. En la figura N°8 se observa el espectro de ambas técnicas para una modulación QPSK.

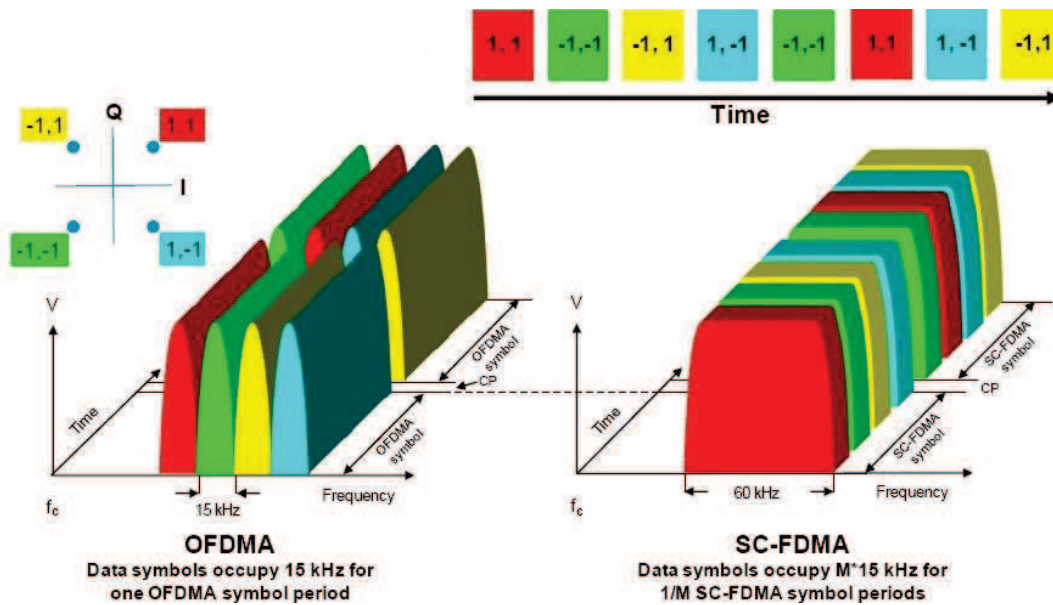


Figura N°8.: Comparación entre OFDMA y SC-FDMA

La figura N°9 muestra un diagrama de bloques para un transceiver SC-OFDMA y la modificación requerida para obtener el de un OFDMA.

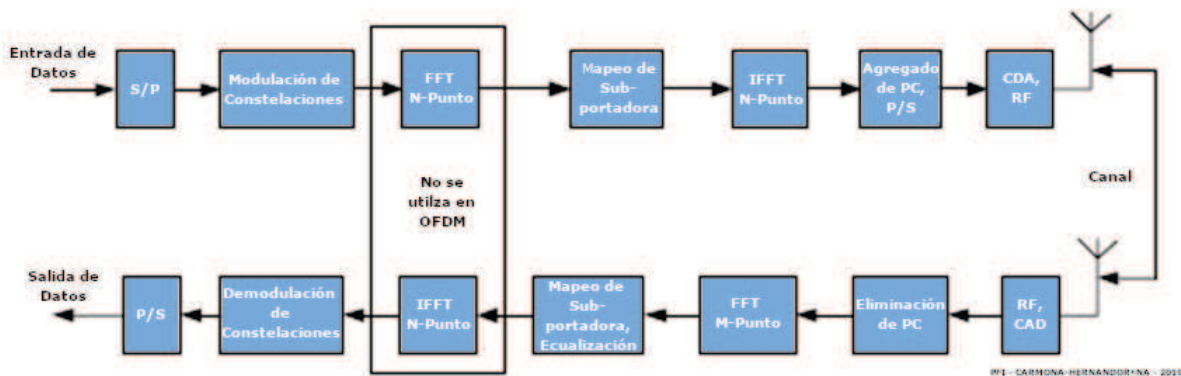


Figura N°9: Transmisor y Receptor en LTE.

El prefijo cíclico (PC) es utilizado para disminuir la interferencia intersimbólica (ISI) que se introduce en los datos a través del canal inalámbrico. Este prefijo se crea (luego de la FFT) agregando una copia de la última porción de datos del símbolo OFDMA al comienzo de esta en lugar de una banda de guarda, de esta forma se resguardan los

datos a transmitir.

En un diagrama en bloques OFDMA típico, los datos que entran en serie al sistema se convierten a un flujo paralelo (S/P), luego son mapeados a una constelación compleja (modulados y codificados) antes de ser formateados para mapeo de subportadora a través de una operación IFFT. A este proceso le sigue la adición de un PC antes de pasarlo a un convertidor digital a analógico (DAC). Los datos pasan luego a la parte de RF y a los elementos de antena (en caso de que se use más de 1, es decir, MIMO).

En el receptor, se establece la secuencia opuesta a la transmisión con el uso de un procesador FFT. La principal ventaja de usar SC-FDMA sobre OFDMA es la menor relación de potencia pico / promedio (PAPR) que minimiza los problemas de los amplificadores de potencia dentro de los terminales. Por lo tanto, aunque el SC-FDMA conlleva una mayor complejidad de procesamiento de la señal, permitirá la creación de un UE más barato (la porción de RF es aun relativamente cara) y un mejor presupuesto de enlace.

En la tabla N°1 se puede observar la cantidad de subportadoras en relación con el ancho de banda.

Canalización (MHz)	1.4	3	2	10	15	20
Subportadoras	73	181	301	601	901	1201

Tabla N°1: Relación entre subportadoras y canalización.

En LTE se denomina bloque de recurso físico (Physical Resource Block, PRB), al mínimo elemento de información que es asignado por el eNB a un terminal de usuario. Un PRB ocupa 180KHz, de banda equivalente a 12 subportadoras distanciadas 15KHz entre ellas y en el PRB se transmiten 6 o 7 símbolos, dependiendo de la longitud del prefijo cíclico. La duración de un PRB es de 0.5 ms, es decir la duración de un slot o ranura del tiempo. El número de PRBs depende de la canalización, como se muestra en la tabla N°2.

Canalización (MHz)	1.4	3	2	10	15	20
Número PRB	6	15	25	50	75	100

Tabla N°2: Relación entre subportadoras y canalización.

El número de portadoras disponibles están relacionadas con el número de PRBs de cada canal. Por lo tanto, el número de subportadoras es de 12 veces el número de PRBs más una, ya que se considera la subportadora central que no se utiliza para transmitir información.

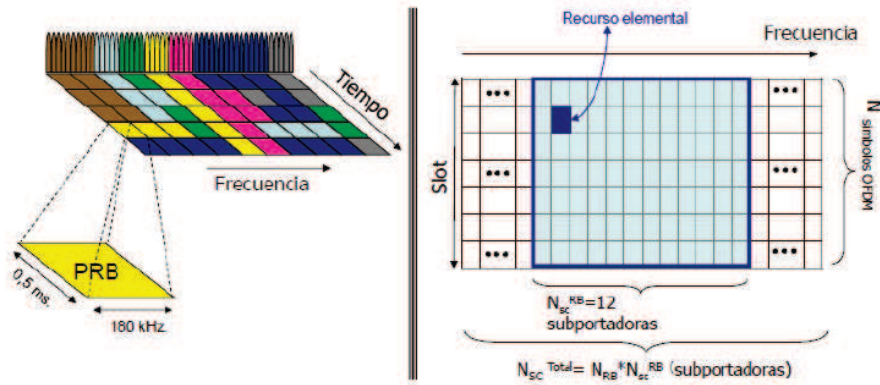


Figura N°10: PRB.

Las diferentes bandas de frecuencias de operación en LTE además de poder trabajar en TDD o FDD permite la utilización de diferentes anchos de banda o canalizaciones de 5, 10, 15 y 20 Mhz. dependiendo de estos BW obtenemos diferentes velocidades de transmisión. En la tabla N°3 se muestran las diferentes velocidades de datos para cada BW.

Canalización (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Velocidad pico (Mbps)	6	15	25	50	75	100
Velocidad pico bruta (15 % de los recursos destinados a control y señalización)	5,1	12,8	21	42,5	63,7	85

Tabla N°3: Velocidades en función de la canalización.

1.2.5. Reúso de frecuencias.

El esquema de acceso de radio proporciona ortogonalidad entre los usuarios de una misma celda, para ambos enlaces.

En general las prestaciones de LTE en términos de eficiencia espectral y tasa de transmisión pico están más limitadas por las interferencias provenientes de celdas vecinas.

Por lo tanto, cualquier técnica que permita reducir las interferencias entre celdas se traducirá en una mejora de las prestaciones del sistema en términos de calidad de servicio que se puede ofrecer a usuarios en los límites de las celdas.

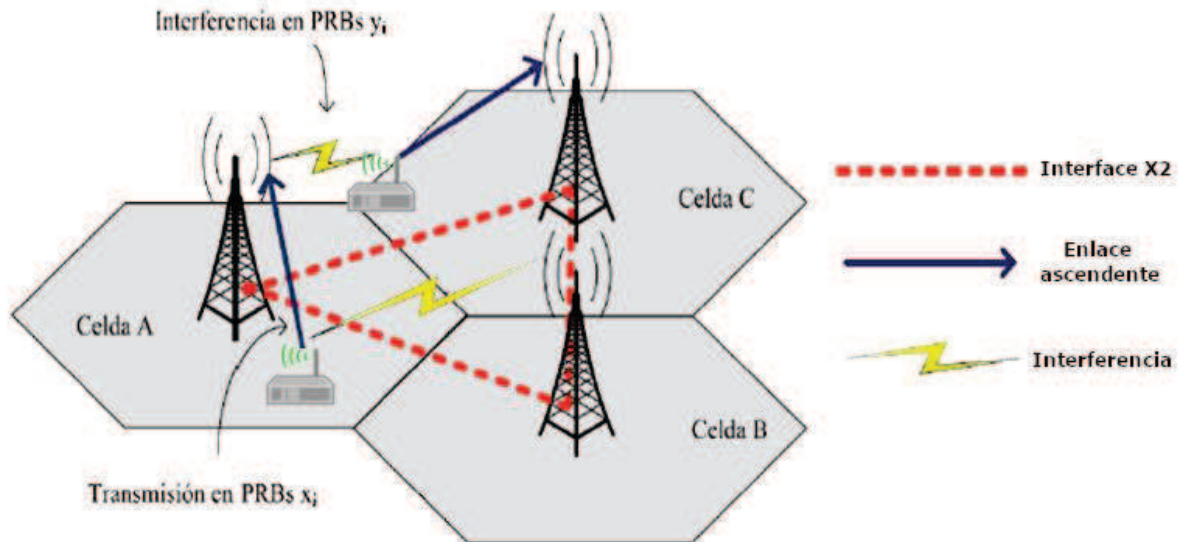


Figura N°11: Reúso de frecuencias.

La coordinación de interferencias entre celdas (ICIC) es una técnica integrada en el grupo de funciones scheduler, mediante la cual se controla el nivel de interferencia que reciben los usuarios en los bordes de las celdas para mejorar parámetros de calidad de servicio, en particular su tasa de transmisión. Esta técnica implica aplicar restricciones en las funciones de scheduling en el dominio de la frecuencia, para ambos enlaces, configurando el equivalente a esquemas de reuso en frecuencias distintos para el interior y exterior de las celdas.

1.2.6. Antenas.

La antena pasiva se compone de un radomo que actúa como protector de la antena, fabricado en materiales que alteran lo menos posible la señal radiada. Actualmente, acostumbra a usarse radomos de resina con fibras de vidrio que proporcionan altos valores de rigidez con espesores muy pequeños. Internamente, un bastidor metálico de aluminio hace las funciones de plano de masa, aislando los elementos radiantes de los cables. En la parte trasera de la antena se disponen los cables de alimentación que distribuyen la señal a los elementos radiantes y el desfasador. Este último, se compone de estructuras que distribuyen la señal por medio de líneas de transmisión y crean desfases progresivos en las señales aplicadas a los elementos radiantes para conformar un haz de radiación con diferentes ángulos de inclinación. El mecanismo para realizar

el desfase suele estar patentado y difiere en función del fabricante.

En la parte frontal se disponen los elementos radiantes. Estos acostumbran a ser dipolos o parches fabricados en materiales conductores como el aluminio. En la figura N°12, podemos observar una antena por dentro.



Figura N°12: Antena por dentro.

Las antenas usadas para los eNB son la mezcla de las antenas direccionales y las omnidireccionales. Las antenas sectoriales emiten un haz más amplio que una direccional pero no tan amplio como una omnidireccional. De igual modo, su alcance es mayor que una omnidireccional y menor que una direccional. En la figura N°13 se observa el patrón de radiación de una antena.

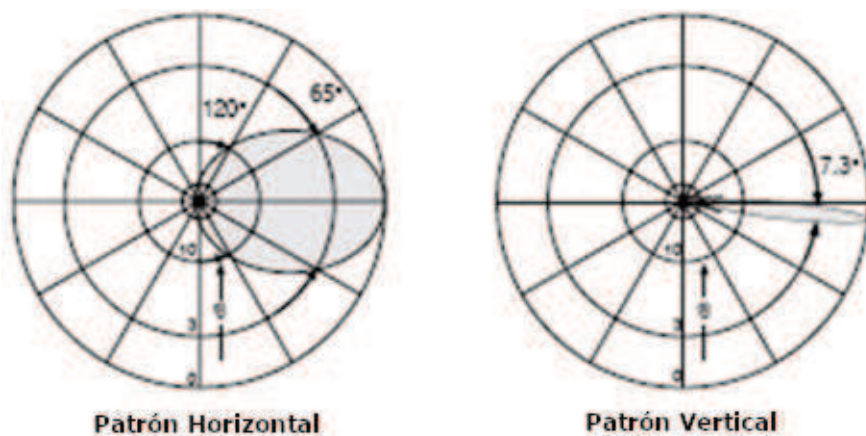


Figura N°13: Patrones de antena LTE.

Por lo general en un sitio se instalan varias antenas de transmisión y recepción. Para obtener la mejor relación ganancia de señal y cobertura se divide el área de acción en sectores que son atendidos por antenas separadas.

Para tener una cobertura de 360° (como una antena omnidireccional) y un largo

alcance (como una antena direccional) se deben instalar, tres antenas sectoriales de 120° . Esto es la técnica de trisectorización, que consiste en dividir el sitio en tres zonas (como muestra la figura N°14), denominadas sectores, que a efectos prácticos funcionan como células independientes. Por regla, el sector con dirección más cercana al norte magnético será el sector 1 y de este como referencia los otros dos sectores irán sucesivamente conforme a las direcciones de las agujas del reloj.

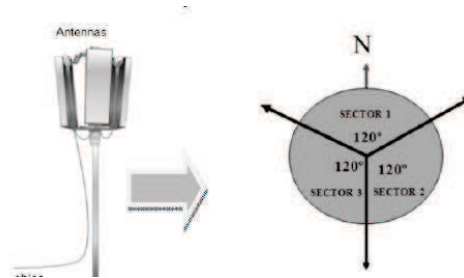


Figura N°14: Sectorización antena LTE.

La eficacia de una red LTE depende directamente de una correcta configuración y adaptación de sistemas radiantes: sus antenas de transmisión y recepción.

El Azimut y Tilt de las antenas son parámetros muy importantes en los sistemas de transmisión inalámbricos. Su correcta instalación e implementación ayuda a un óptimo desempeño y disminuye la necesidad de realizar una extensa optimización en la red.

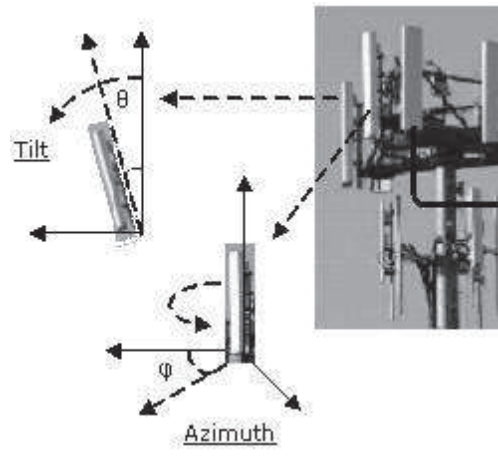


Figura N°15: Tilt y Azimut de antena.

1.2.6.1. Tilt.

Una de las principales optimizaciones del sistema se basa en el ajuste correcto de la pendiente de la antena con relación a un eje. Con el tilt, se dirige la radiación más

abajo (o más arriba), concentrando la energía en la nueva dirección que se desee. Por lo tanto, el foco del patrón de radiación en las antenas que conforman los sitios se le da una inclinación descendente a modo de que toda la potencia de radiación en la antena se utilice en espacios físicos útiles para los usuarios, es decir dirigir la señal hacia los demandantes del servicio. Cuando la antena está inclinada hacia abajo se llama downtilt, que es el uso más común. Si la inclinación es hacia arriba (casos muy raros y extremos), se le llama uptilt. Con el downtilt se consigue:

- Reducir interferencia, puesto que reduce la radiación hacia una radio base cercana.
- Concentrar la radiación dentro del área de servicio de la radio base.

Hay dos formas de darle a la antena el downtilt:

- Tilt Mecánico: este se logra efectuando una inclinación física de toda la antena a través de accesorios específicos en la misma, sin cambiar la fase de la señal de entrada. Por ello, la dispersión frontal de la señal radiada en la antena sectorial se va hacia abajo y la que se presenta en la parte trasera de la misma va hacia arriba.
- Tilt Eléctrico: se obtiene de la modificación de las características de la fase de señal modificando internamente lo posición de cada elemento radiante de la antena, pero sin mover la posición física de la antena. Esto ocasiona que el foco del patrón de radiación se modifique internamente en la antena.

1.2.6.2. Azimut.

El azimut es el ángulo formado entre una referencia (norte) y la dirección hacia donde apunta una antena en un plano horizontal.

Muchas técnicas son utilizadas para medir el azimut de una antena durante la instalación. La exactitud para configurar el azimut depende de los procesos de instalación y de los errores humanos e instrumentales. Existe una tolerancia de ± 10 grados, utilizando los métodos más tradicionales

1.2.6.3. Conexión entre antena y RRU.

La antena se conecta al RRU mediante dos puentes o Jumper. Estos cables tienen la función de transmitir señal de RF entre el RRU y la antena.

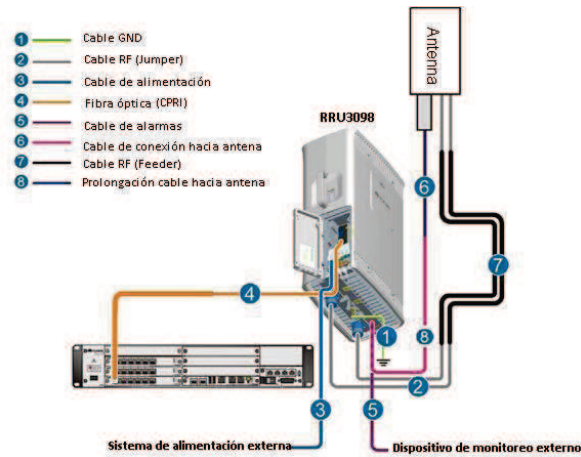


Figura N°16: Conexión entre antena y RRU.

Los jumpers constan de un cable coaxial y es la forma de cableado preferida entre la antena y el RRU por el simple hecho de que es barato y fácil de manejar (debido a su peso, flexibilidad, etc.).

Las características principales de estos cables en cuanto a lo que para diseño se refiere es la impedancia, las pérdidas y el radio de curvatura. La impedancia será de 50Ω . Los jumpers ya vienen pre-fabricados para la conexión entre la Antena y RRU. Estos están hechos con conectores de $\frac{1}{2}$ tipo DIN 7/16 y vienen en longitudes de 3, 6 y 9 metros principalmente.

Las pérdidas del jumper son dependientes de la frecuencia y aumentan a medida que sube la misma. Ante ello, se recurre a la alternativa de que entre más se aumenta la sección del feeder, se disminuirá las pérdidas, pero se complicará la instalación de este, debido a que cuanto más sección tengan los feeders menor es la flexibilidad de estos y por lo tanto aumentará el radio de curvatura. El radio de curvatura es el radio mínimo al que se puede doblar el cable cuando se enrolla el sobrante de un jumper o se hacen curvas durante su trayectoria hacia la antena, sin dañarlo ni acortar su vida útil. También si se excede, aunque sea por muy poco ese radio mínimo de curvatura ocasiona un defecto. Las medidas usuales de los feeder son de $1\frac{1}{2}$ ", $7\frac{7}{8}$ " y $1\text{-}5\frac{5}{8}$ " (pulgadas).

Un cable coaxial consta de un núcleo de hilo de cobre rodeado por un aislante, una capa de metal trenzado y una cubierta externa. Esta capa protege los datos transmitidos absorbiendo las señales de ruido, de forma que no pasan por el cable y no distorsionan los datos. El núcleo de un cable coaxial transporta señales electromagnéticas que forman los datos. El núcleo de conducción y la malla de hilos deben estar separados.

1.2.6.4. MIMO.

LTE emplea técnicas MIMO (Multiple Inputs Multiple Outputs) relacionadas con el uso de múltiples antenas en transmisión y/o recepción. Esto supone añadir una dimensión espacial adicional que puede aprovechar la formación de canales estadísticamente independientes originados por el multiproyecto y mitigar el efecto de este, consiguiendo una mejora de las prestaciones del sistema y multiplicar la tasa del usuario final.

En función de la configuración utilizada se pueden tener distintas alternativas de técnicas multiantena:

- Aprovechamiento del multitrayecto para multiplexación espacial. Esta técnica aprovecha que se pueden establecer varios ‘canales’ paralelos entre la estación base y el terminal, obteniéndose un aumento en la tasa de datos sin tener que emplear un mayor ancho de banda. Para poder obtener beneficio de esta técnica es necesario que el canal radio sea rico en multitrayecto, y que los distintos trayectos lleguen al receptor con una relación señal a ruido alta.

Esta técnica permite crear L trayectos paralelos desacoplados de manera que se obtiene una ganancia en eficiencia espectral igual al número de caminos independientes L . El máximo número de caminos independientes será el mínimo entre antenas en transmisión y en la recepción.

- Proveer a la transmisión de diversidad espacial mediante el procesado de señal para contrarrestar los desvanecimientos del canal radio. Esta diversidad proporciona una "ganancia de array" que se traduce en una mejora de la relación señal/ruido igual al número de ramas disponibles N . Es decir, la ganancia de array coincide con el orden de diversidad N .

Otro efecto de las técnicas multiantena es que permiten dar forma al haz de radiación global (beam-forming) para maximizar la ganancia en la dirección en la que se encuentra el objetivo y favorecer el rechazo de interferencias.

En el caso de entorno suburbano o rural donde la multiplexación espacial no es posible debido a la alta correlación entre señales, los beneficios que se pueden obtener por técnicas multiantena serán debidos a los esquemas de diversidad de transmisión. En éstos últimos, la ganancia por disponer de un array de N antenas implica una ganancia de $10 \cdot \log(N)$ (dB) en relación señal a ruido en transmisión o recepción. Por ejemplo, se obtienen 3dB de ganancia con un esquema 2x2 y 6dB en el caso de un esquema 4x4.

Los sistemas MIMO para ser utilizados en LTE requieren cumplir con la relación $N_R \geq M_T$ donde llamamos M_T al número de antenas transmisoras y N_R al número de antenas receptoras.

En un sistema de entrada única y salida única (SISO), utilizado por ejemplo en los sistemas inalámbricos, 3G, 3.5G y 4G, la capacidad máxima del canal viene dada por la relación Shannon-Hartley:

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR) \quad (\text{ec. N}^\circ 3)$$

donde C es la capacidad del canal en bits por segundo (bps), B es el ancho de banda del canal en Hz y SNR es la relación señal / ruido en el receptor. En el caso SISO, $M_T = N_R = 1$. En un caso MIMO, la capacidad del canal nos queda:

$$C = B \cdot \log_2(1 + M_T N_R SNR) \quad (\text{ec. N}^\circ 4)$$

obteniendo así un aumento de $M_T N_T$ veces en la SNR promedio, aumentando la capacidad del canal. Si $N_R \geq M_T$, podemos enviar diferentes señales dentro del mismo ancho de banda y aún decodificarlas correctamente en sus receptores correspondientes. Para cada canal (transmisor-receptor), su capacidad se dará como:

$$C_{single-CH} = B \cdot \log_2\left(1 + \frac{N_R}{M_T} SNR\right) \quad (\text{ec. N}^\circ 5)$$

Por lo tanto, con respecto a las antenas transmisoras obtenemos un aumento lineal en la capacidad del sistema. Es muy importante en un sistema MIMO identificar las matrices de correlación entre las antenas transmisoras / receptoras, así como las condiciones de propagación del canal. Con base en el número de antenas de transmisión (M_T) y recepción (N_R), se obtendrá una matriz de correlación de $M_T \times N_R$. Como ejemplo, la matriz de correlación espacial $R_{spatial}$ para una antena MIMO 2×2 está dada por:

$$R_{spatial} = R_{eNB} \otimes R_{UE} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha \\ \alpha^* & 1 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1 & \beta \\ \beta^* & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \beta & \alpha & \alpha\beta \\ \beta^* & 1 & \alpha\beta^* & \alpha \\ \alpha^* & \alpha^*\beta & 1 & \beta \\ \alpha^*\beta^* & \alpha^* & \beta^* & 1 \end{bmatrix}$$

donde \otimes es el operador del producto Kronecker, y R_{eNB} y R_{UE} son las matrices de correlación eNB y UE, respectivamente. Los valores para α y β dependen del ambiente considerado como se define en la norma. El valor α puede tomar uno de los valores en $(0, 0.3, 0.9)$, mientras que β puede ser uno de los valores $(0, 0.9, 0.9)$ para los entornos

de propagación de retardo lento, medio y alto, respectivamente. La figura 17 muestra un diagrama de bloques del sistema MIMO simplificado.

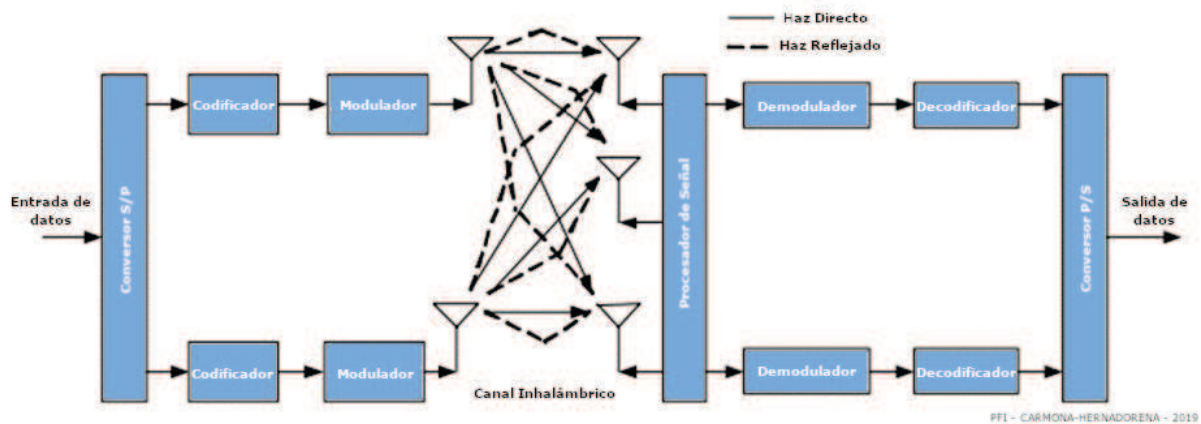


Figura N°17: Diagrama de bloques del sistema MIMO simplificado.

Para los sistemas basados en MIMO, se usan diferentes clases de técnicas de diversidad, se pueden caracterizar de la siguiente manera:

- **Diversidad de transmisión:** la señal a transmitir se envía por todas las antenas para que luego llegue al receptor produciendo que el nivel de señal sea mayor que si solo se usa una antena de transmisión, lo que lo hace más resistente a interferencias. La diversidad de transmisión aumentará el nivel de portadora a interferencia más relación de ruido (CINR).
- **Multiplexación espacial:** en esta técnica de diversidad las diferentes señales se pasan a diferentes antenas de transmisión. Si el terminal de transmisión tiene M antenas y el terminal de recepción tiene N antenas. Esta técnica de diversidad aumentará el rendimiento del canal siempre que existan buenos niveles de CINR.
- **Conmutación adaptable de MIMO:** esta técnica permite alternar entre la diversidad de transmisión y la multiplexación espacial en función de las condiciones del entorno. Si el CINR excede un cierto umbral, se elige la multiplexación espacial para proporcionar al usuario un mayor rendimiento. Por otro lado, si CINR está por debajo del umbral definido, se selecciona la diversidad de transmisión para mejorar la recepción del usuario al elegir operar a un rendimiento más bajo.

Para proporcionar características de radiación direccional y mayor ganancia a la señal transmitida / recibida se usan los arreglos de antenas. Las salidas de los elementos de antena individuales dentro del conjunto se combinan para proporcionar un cierto patrón de radiación y ganancia deseados. Cuanto más direccional sea el conjunto de

antena, más estrecho será el ancho del medio haz de potencia. Otro parámetro importante para las antenas es su polaridad. Por ejemplo, la polarización vertical se usa en sistemas LTE. La ganancia de la antena eNB dentro de una macrocelda en áreas urbanas y rurales debe estar entre 12 y 15 dBi, incluidas las pérdidas del feeder dentro de las bandas de operación. Estos valores de ganancia son importantes para formular el presupuesto del enlace de RF del sistema y para determinar los niveles de potencia de cobertura. El diagrama de radiación de antena que se utilizará para cada sector dentro del sitio de celda de tres sectores está dado por

$$A(\theta) = -\min\left[12\left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right)^2, A_m\right] \quad (\text{ec. N}^\circ 6)$$

dónde θ_{3dB} es el ancho del haz de 3 dB (media potencia); en este caso, es 65° , $-180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$, y A_m es la atenuación máxima de 20 dB entre el lóbulo principal y el lóbulo lateral más alto en el patrón de ganancia de la antena. El UE no tiene dicho patrón direccional y usará una antena omnidireccional para UL, mientras que se tendrá la opción de usar una, dos o cuatro antenas para el enlace DL. Las antenas poseen patrones de radiación omnidireccionales para recibir la mayor potencia de señal posible. Se supone que su ganancia es 0 dBi.

Con el uso adecuado de técnicas de adaptación, la ponderación de los niveles de señal que salen de cada elemento de la antena con coeficientes optimizados proporciona una mejor relación señal / ruido (SNR), reducción de interferencia y seguimiento de la señal fuente. Esto se llama formación de haz de antena (BF, Beam Forming). Si se utiliza BF, el conjunto de antenas del eNB puede mantener el lóbulo principal en la dirección del UE, proporcionando así una ganancia de antena máxima. Esto significa niveles más altos de SNR (CINR), y por lo tanto un mejor rendimiento y tasas de transmisión de datos más altas. Se han sugerido cinco ángulos predefinidos para BF [0° , 30° , 45° , 60° , 70°] junto con sus ángulos de imagen (negativos).

En el capítulo de proyecto se presentará el modelo a utilizar basado en la frecuencia de operación y en las características técnicas más convenientes para la configuración de la red.

1.3. Backhaul.

Luego de realizar los cálculos de enlace y las simulaciones correspondientes, el resultado de este análisis nos podrá arrojar la necesidad de instalar diferentes sitios (eNB's) distribuidos por la ciudad a fin de mantener la capacidad y cobertura de la red. Estos sitios deben conectarse al HUB central (emplazado en el edificio de

COOPETEL), por medio de una red de backhaul.

El backhaul está conformado por la suma del tráfico de cada eNB (voz y datos, que se transmiten y se reciben) condensada en una sola secuencia de datos que lo conecta con el HUB central.

En LTE se opta generalmente entre dos tipos de backhaul: de microondas o de fibra. El backhaul de microondas transporta el tráfico de voz y de datos desde un punto de conexión local, es decir, una antena y radio, dentro y fuera de la red principal a través de transmisiones de microondas punto a punto, que «saltan» de una antena a la siguiente hasta llegar al nodo central.

Este tipo de redes dependen de conexiones precisas en línea de vista entre antenas parabólicas distantes. Estas antenas han mejorado significativamente el envolvente de los patrones de radiación (RPE) con lóbulos laterales menores, lo que permite que estas admiten esquemas de modulación superiores y, por lo tanto, aumenten la capacidad de datos. Los envolventes de los patrones de radiación (RPE) mejorados también ofrecen mejor inmunidad ante la interferencia, mejoran la reutilización del espectro y, por lo tanto, la capacidad de implementar muchos más enlaces en un área determinada, lo que es fundamental para la alta densidad de celdas de una red de LTE.

El backhaul de fibra realiza esta misma tarea a través de una red de fibra óptica de baja latencia y alta velocidad. La infraestructura de backhaul de fibra dedicada ofrece alta capacidad sin las limitaciones de distancia del backhaul de microondas, que pueden ocurrir cuando la señal es compartida entre los enlaces. La capacidad de una fibra se puede incrementar aún más mediante la multiplexación, una técnica sencilla que reúne varios canales (longitudes de onda) por una sola fibra.

En los capítulos siguientes se analizarán diferentes factores para elegir qué tipo de backhaul se utilizará en este proyecto.

1.4. HUB nodo.

El nodo central se emplazará en la oficina principal de COOPETEL, estará compuesto por un eNodeB primario, el cual a su vez estará conectado con los eNodeB secundarios por medio de la red de backhaul. Dentro del nodo central se ubicará también el conjunto de equipos que conforman la EPC, y que servirán para gestionar los servicios y darán el acceso a Internet.

Estos equipos son el S-GW, PGW, MME, HSS y el PCRF, cada uno interconectado como se detalla en la figura N°18.

En el nodo central actualmente se cuenta con una torre, que porta las antenas de telefonía celular, se puede utilizar para instalar las antenas del servicio de Internet LTE.

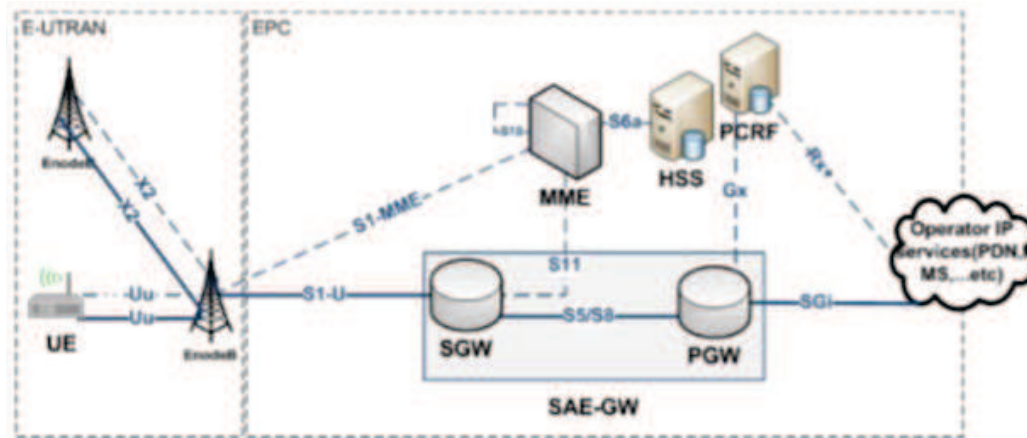


Figura N°18: Nodo central.

Estos equipos se conectarán con la red de backbone para la salida a Internet de los clientes.

1.5. Backbone.

Para que los clientes de la cooperativa se conecten a Internet a través de la red LTE es necesario contar con una red de backbone.

La conexión de la red de COOPETEL a Internet se realiza a través de uno o más enlaces WAN a ISPs (Internet Service Provider) de niveles superiores o proveedores de Internet mayoristas (wholesale). En el caso de ISPs más grandes, éstos pueden estar directamente conectados al backbone de Internet mediante enlaces dedicados.

Un enlace WAN es una conexión permanente, generalmente se puede usar diferentes tipos de tecnologías como: enlaces de fibra óptica, T1/E1 con servicios PPP (Point to Point Protocol), enlaces satelitales, entre los más comunes.

Por lo general un ISP pequeño inicia con un único proveedor de backbone y un solo enlace WAN, y dependiendo del incremento de la demanda de sus clientes, éste se ve en la necesidad de aumentar su capacidad de entrada/salida a Internet y de adquirir enlaces y proveedores de respaldo.

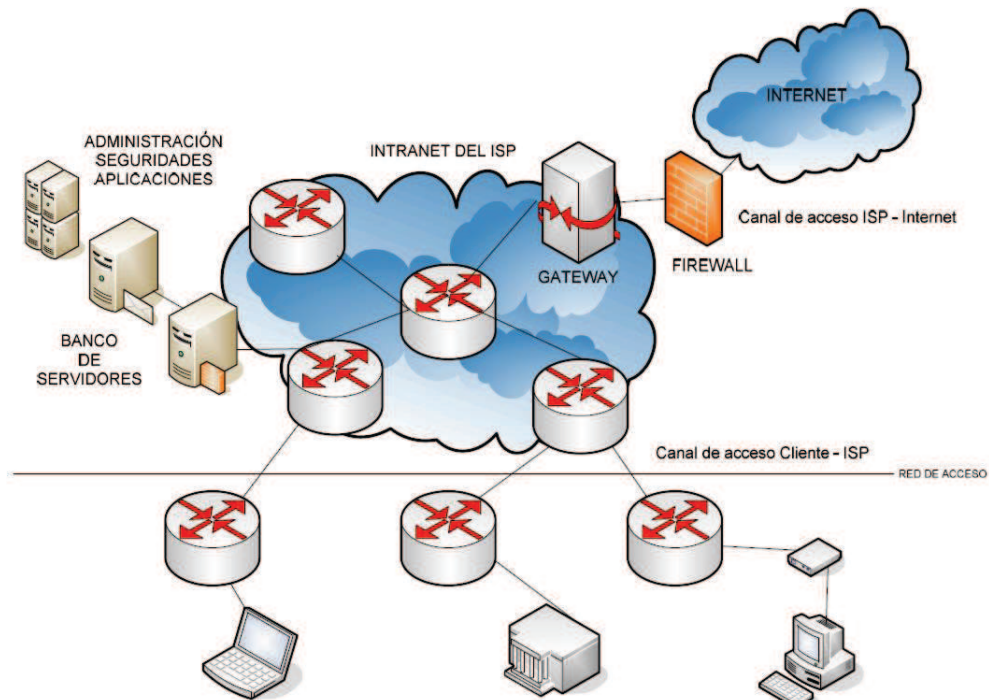


Figura N°19: Arquitectura de un ISP

La red del nodo central se puede separar en tres redes locales que dividen las funciones de servicio y las funciones administrativas.

La red de servidores de aplicación por lo general está conformada por:

- Servidor RADIUS
- Servidor DNS
- Servidor Web
- Servidor de Correo
- Servidor Proxy-Caché

La red de servidores de administración puede estar conformada por:

- Servidor de Contabilidad
- Servidor de Administración

En los dispositivos de acceso se pueden encontrar:

- Router Principal
- Routers de Acceso
- Servidor de Acceso de Red (NAS, Network Access Server)
- Firewall

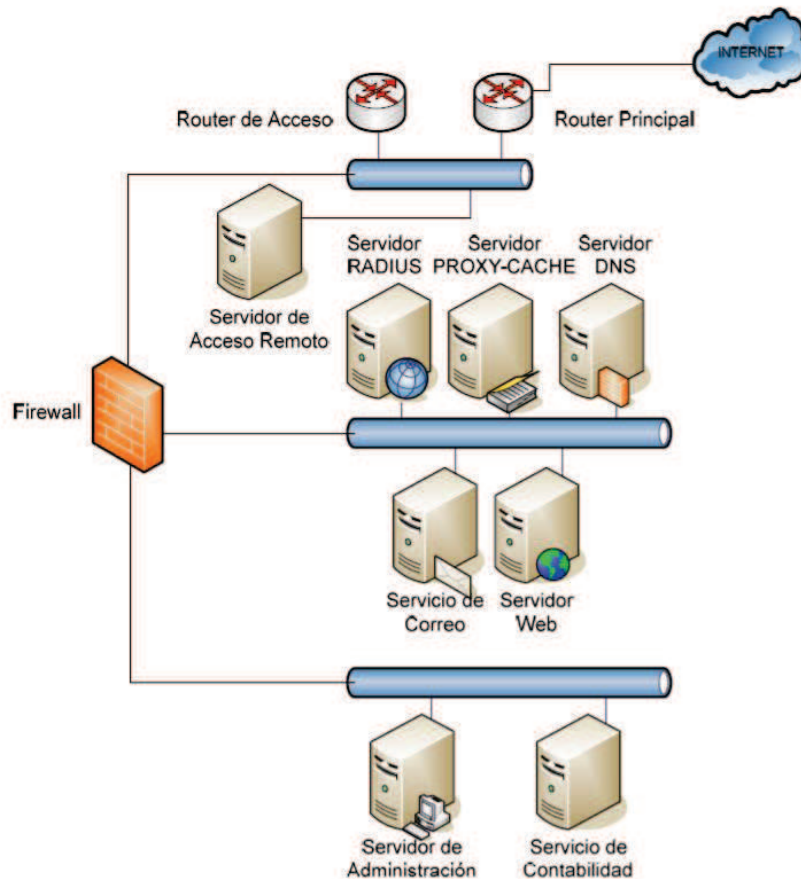


Figura N°20: Arquitectura de un ISP

La función que desempeñan algunos de estos elementos en la red del ISP, se describe brevemente a continuación.

- Servidor Radius

El servidor RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service) es un servidor que proporciona los servicios de autenticación y de contabilidad del tiempo de conexión a la red para facturación. Cuando un usuario trata de conectarse al ISP el Servidor RADIUS revisa que la información sea correcta y autoriza ó deniega el acceso a los servicios contratados al ISP.

- Servidor DNS

El servidor DNS se encarga de convertir los nombres de dominio como por ejemplo <http://www.unsam.edu.ar>, más fáciles de recordar, a direcciones IP como 200.45.170.21.

- Servidor WEB

El servidor Web almacena sitios web que poseen una infinidad de información en forma de texto, imágenes, sonido, video y bases de datos, para ofrecer los diferentes servicios característicos de Internet.

- Servidor de Correo

El servidor de correo es el encargado de almacenar las casillas de correo de los usuarios, además de realizar las funciones de envío de correo. Utiliza los protocolos estándares de Internet como SMTP, POP3 e IMAP4.

- Servidor Web-Caché

El servidor Web-caché acepta las peticiones realizadas por un cliente y las dirige al servidor que contiene la información solicitada, espera el resultado del servidor y lo envía al cliente. A la vez este Servidor Caché almacena los objetos solicitados en su memoria local (caché) economizando así el ancho de banda de la red y mejorando el tiempo de respuesta cuando el mismo usuario u otros accedan al mismo objeto.

- Servidor de Contabilidad

Este servidor se encarga de almacenar las actividades que un usuario realiza mientras está accediendo a los recursos de la red, incluso mantiene el tiempo de uso en la red, los servicios accedidos y la cantidad de datos transferidos durante la sesión. Este tipo de servidores son utilizados para análisis de tendencia, planificación de la capacidad, facturación, análisis y asignación de costos.

- Servidor de Administración

El servidor de administración de la red ayuda a los administradores a monitorear y administrar la red en áreas como:

1. Seguridad: impidiendo la entrada de usuarios no autorizados y alertando de posibles ataques.
2. Desempeño: Ayuda a controlar los “cuellos de botella” que pueden presentarse en la red.
3. Confiabilidad: Ayuda a asegurar la disponibilidad de la red a los usuarios y a responder ante cualquier mal funcionamiento de hardware y software.

- Router Principal

Es uno de los elementos principales de un ISP ya que permite la conexión hacia un ISP de mayor jerarquía o a un NAP (Network Access Point; Punto de Acceso a la Red). Este elemento es uno de los que mejores características tanto en software como hardware debe presentar, además de que sus interfaces deben soportar medios de transmisión de alta velocidad para tener una adecuada capacidad de entrada/salida a Internet.

- Routers de Acceso

Son los routers ubicados en el nodo central del ISP destinados a servir como puntos de entrada a las diferentes formas de acceso que puedan disponer los clientes como:

ADSL, Wireless, entre otras.

El proveedor de Internet mayorista que dará servicio a la red LTE de COOPETEL será la empresa Arsat S.A., por medio de la su red de fibra óptica (REFEFO).

1.6. CPE.

El término CPE refiere al Customer Premises Equipment es decir el equipo local del cliente que será utilizado por los abonados de la red. Este dispositivo es usado tanto en interiores como en exteriores para originar, encaminar o terminar una comunicación. El equipo puede proveer una combinación de servicios incluyendo datos, voz, video y un host de aplicaciones multimedia. En el caso de LTE el CPE es inalámbrico pudiendo acoplar una antena interna o externa para aumentar la intensidad de señal en el caso de los abonados que estén alejados de las estaciones base.

Una especificación del 3GPP define para LTE un conjunto de categorías de terminal. Cada categoría se corresponde con un conjunto de funcionalidades soportadas para la comunicación entre el CPE y el eNodeB. El CPE informa a la red de su categoría, para que ésta sepa cómo puede comunicarse con él. Las diferencias entre categorías de terminal vienen dadas por el número de bloques de transporte que pueden recibir en un determinado intervalo de tiempo en el enlace ascendente y descendente, el número de flujos de transporte simultáneo (orden de MIMO), y el máximo tipo de modulación que soportan (16QAM, 64QAM).

El CPE de LTE contiene dos elementos: un módulo de suscripción del usuario y el equipo propiamente dicho.

El módulo de suscripción de usuario consiste en el uso de una tarjeta inteligente UICC (Universal Integrated Circuit Card) que contiene la aplicación que gestiona los datos de suscripción de los usuarios. Esta aplicación se denomina USIM (Universal Subscriber Identity Module) y está asociada a un usuario.

1.7. Telefonía.

El servicio de telefonía que actualmente ofrece COOPETEL es del tipo analógico en la última milla donde las llamadas son cursadas por una central TDM (Multiplexación por división de tiempo). Con el cambio de tecnología que se realizará, vemos conveniente migrar los clientes a telefonía IP con el fin de maximizar los nuevos recursos disponibles.

La telefonía sobre IP (ToIP) se refiere al transporte de voz, video, texto y otros medios en tiempo real a través de redes IP. La telefonía IP se considera la tecnología clave que proporcionará avances en la comunicación para los usuarios finales.

Siendo que este servicio no se comercializa como tal, sino que representa una alternativa al Servicio de Telefonía Básica (SBT), ToIP debe soportar las características del SBT.

Se contempla la implementación de ToIP para los clientes que se conecten por LTE, es decir el CPE deberá disponer de un puerto FXS (Foreign Exchange Station) que permita conectar un teléfono analógico convencional. Además, el servicio deberá soportar la migración conservando la numeración telefónica. En otras palabras, ToIP y la telefonía (PSTN, Public Switched Telephone Network) que posee la cooperativa deberán coexistir.

La red deberá ser capaz de proveer conectividad asegurando QoS (Calidad de Servicio) para el servicio de Internet (Best Effort) y el servicio de TOIP (Realtime).

Para la interconexión de la red IP con la red PSTN es necesario un gateway, emplazado en la central, que permita la traducción entre ambos mundos.

Normalmente pueden convertir y retransmitir flujos de medios para su uso en redes móviles POTS, SS7, ISDN y 2G / 3G basadas en infraestructura TDM, y redes Next Generation Networks (NGN) y subsistema multimedia IP (IMS) basadas en infraestructura IP.

Las llamadas ToIP consisten en 2 partes principales. La parte de la señalización de la llamada es la que hace que la llamada pueda realizarse. Señaliza el establecimiento, el timbrado en el extremo de destino, la desconexión y otras comunicaciones realizadas entre los dos extremos para mantener la llamada. La segunda parte es el audio, que es transmitido a través de RTP (Real Time Protocol). El ancho de banda consumido por la señalización SIP es menor, para propósitos de cálculo es despreciable el valor.

Dado que el audio en bruto tiene que ser codificado antes de ser enviado por la red. Esto se hace usando un codec. Diferentes codecs producen una calidad de audio diferente, consumen un ancho de banda diferente. Por ello, es importante que se seleccione el códec adecuado para su aplicación.

Antes de profundizar en las diferencias de los codecs más comunes, se introducirá otro principio que nos permitirá calcular con precisión el ancho de banda utilizado. Al enviar datos a través de la red, éstos deben estar empaquetados. El “paquete” contiene información que permite que los datos sean enviados al destino y que puedan ser

reconstruidos correctamente. Este paquete consume ancho de banda.

El audio codificado necesita ser encapsulado dentro de paquetes RTP. A su vez, los paquetes RTP necesitan ser encapsulados dentro de paquetes UDP, que luego necesitan ser empaquetados dentro de paquetes IP. Ethernet es el tipo de red más común, y requiere otro empaquetamiento. Todos estos paquetes mencionados anteriormente se pueden denominar como overhead.

Independientemente del codec utilizado, el overhead introducido en el paquete es fijo. En la tabla N°4 se encuentra el overhead introducido por cada ítem:

RTP	4.8 kbps
UDP	3.2 kbps
IP	8 kbps
Ethernet (sin QoS)	15.2 kbps
Overhead Total	31.2 kbps

Tabla N°4: Tamaño overhead ToIP.

Un códec es un estándar de conversión del sonido a la señal digital y viceversa. Hay ocho diferentes códecs más utilizados, algunos de los cuales pueden tener más de una tasa de bits. La tasa de bits de códec se deriva del tamaño de muestreo de códec / intervalo muestreo de códec y de su algoritmo de compresión. El tamaño de muestreo de códec es el número de bytes capturados por el Procesador de Señal Digital (DSP) en cada intervalo de muestreo de códec. Dependiendo de la calidad de servicio que se requiera en la llamada se utilizan diferentes codecs. En la tabla N°5 se muestran los codecs utilizados frecuentemente en ToIP. En esta tabla observamos la tasa de compresión de cada, el retardo de empaquetado y el tamaño de la carga útil.

Codec	Tasa de bits (Kbps)	Retardo de empaquetado (ms)	Tamaño carga útil (bytes)
G. 711	64	5/10/20	40/80/160
G. 729	8	10/20/40	10/20/40

Tabla N°5: Codecs ToIP.

La Voz sobre IP requiere una cierta cantidad de ancho de banda para funcionar correctamente. Esta es la tasa de transferencia de datos y se mide en bits por segundo (bps). La fórmula utilizada para calcular el ancho de banda requerido por llamada es:

$$\text{Ancho de Banda} = \text{Tamaño total de paquetes} \times \text{PPS} \quad (\text{ec. N}^\circ 7)$$

Donde PPS son los “paquetes por segundo” y se calculan de la siguiente manera:

$$\text{PPS} = \frac{\text{Tasa de bits de códec}}{\text{Tamaño de la carga util de voz.}} \quad (\text{ec. N}^\circ 8)$$

El otro elemento del cálculo del ancho de banda, el tamaño total del paquete se calcula:

$$\text{Tamaño total del paquete} = \text{Cabecera Ethernet} + \text{Cabecera (IP, UDP, RTP)} + \text{Tamaño de la carga util de voz} \quad (\text{ec. N}^\circ 9)$$

Para conectar la nueva red que utiliza telefonía IP a la red PSTN es necesario hacerlo por medio de un gateway. Este procesa las llamadas IP y las traduce al mundo PSTN por medio de tramas E1 el cual es un formato de transmisión digital. El formato de la señal E1 lleva datos en una tasa de 2,048 millones de bits por segundo y puede llevar 32 canales de 64 Kbps cada uno, de los cuales treinta y uno son canales activos simultáneos para voz o datos.

En base a la cantidad de canales de voz, se calculan la cantidad de tramas E1. Para determinar la cantidad de canales, es necesario realizar una medida estadística del volumen de tráfico telefónico, que es representado por la unidad Erlang.

El tráfico de un Erlang corresponde a un recurso (circuito, canal, etc.) utilizado de forma continua, o dos recursos utilizados al 50%, y así sucesivamente. Por ejemplo, si una oficina tiene dos operadores de teléfonos y ambos están ocupados durante todo el tiempo, esto representa 2 Erlang de tráfico, o si un canal de radio está ocupado durante treinta minutos en una hora se dice que soporta un tráfico de 0.5 Erlang.

Otra de las variables para tener en cuenta es el tráfico de hora ocupada (BHT) que es el número de horas de tráfico de llamadas que hay durante la hora de mayor actividad de un sistema telefónico.

Como ultima variable se tiene la probabilidad de bloqueo que es la falla de las llamadas debido a una cantidad insuficiente de líneas disponibles. Por ejemplo: 0.03 significa 3 llamadas bloqueadas por cada 100 llamadas intentadas.

1.8. Calidad de servicio.

Para asegurar que los clientes tengan la mejor experiencia de usuario, nuestra red

debe aplicar mecanismos de calidad de servicio (QoS).

El servicio de Internet utilizará el mecanismo de mejor esfuerzo (Best-effort), este no garantiza que los datos lleguen a su destino, ni ofrece a los usuarios una determinada calidad de servicio. En la red todos los clientes reciben el mejor servicio posible en el momento, lo que significa que obtendrán distintos anchos de banda y tiempos de respuesta en función del volumen de tráfico. Este tipo de servicio es tolerante a retardos, pero no a pérdidas de paquetes. En contraparte el servicio ToIP necesita de garantías de QoS ya que no se deben producir retardos pudiendo existir pérdida de paquetes. Para que nuestra red cumpla con estos requisitos es necesario controlar la forma de compartir recursos. Una forma de lograr este objetivo es que las entidades de la red se comporten de forma distinta en función de los tipos de servicio ofrecidos (Internet y ToIP) mientras que el tráfico circula a través de la red. Esta técnica se denomina Servicios Diferenciados (Diff Serv) y permite que los servicios puedan coexistir en la misma red sin consumir el ancho de banda del otro.

1.9. Instalación en cliente.

En la casa de cliente se instalará un CPE que dispondrá de una interfaz inalámbrica para la conexión WAN (wide area network) y así vincularse con la central. Por otro lado, para la conexión LAN (local area network), hacia el cliente, deberá poseer interfaz alámbrica (ethernet) e interfaz inalámbrica (WiFi), además del ya mencionado puerto FXS para la telefonía.

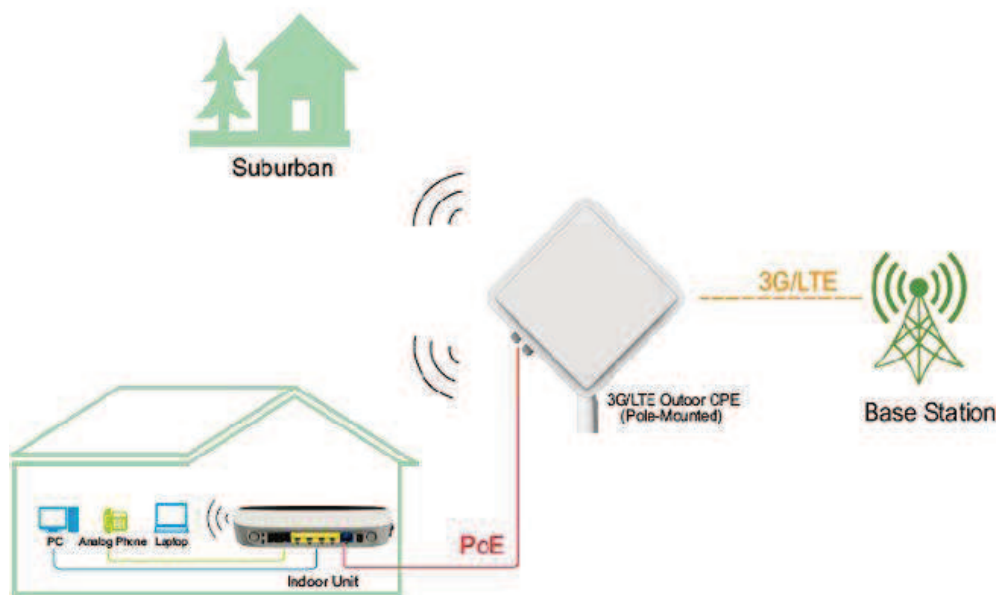


Figura N°21: Esquema de conexionado de CPE

En algunos casos donde la señal es más débil, como en zonas rurales, se puede utilizar equipos en el exterior (outdoor) preparados para este fin o bien conectar una antena externa al modem de interior (indoor).

Será necesario que el cliente posea una computadora con placa de red Ethernet o WiFi, o un dispositivo móvil con WiFi, para probar el servicio al momento de la instalación y asegurar el correcto funcionamiento.

1.10. Dimensionado y planificación de la red.

Para poder realizar el despliegue de la red sobre la ciudad es necesario como primer paso llevar a cabo cálculos y simulaciones a fin de encontrar la cantidad de sitios a instalar para poder soportar una carga de usuarios y servicios determinada, este proceso se lo conoce como dimensionado y planificación.

El objetivo de este ejercicio es proporcionar un método para diseñar la red de tal manera que cumpla con las especificaciones del servicio.

Para llevar a cabo este análisis debemos conocer diferentes datos, tales como: la cantidad de abonados a los que se le va a ofrecer el servicio y su perfil (que tipo de demanda harán de la red), el área geográfica a ser cubierta, la banda de operación, el ancho de banda del canal. A partir de estos tres últimos datos, escogeremos un modelo de propagación (conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características de radio de un ambiente dado) adecuado.

También seleccionaremos los parámetros específicos del sistema como la potencia de transmisión de las antenas y de los CPE, sus ganancias, estimación de perdidas, etc.

Una vez definidos estos parámetros, el análisis de la cobertura y capacidad de la red y su simulación la realizaremos mediante el software Atoll, una plataforma de diseño y optimización de redes inalámbricas de tecnología múltiple que admite operadores inalámbricos durante todo el ciclo de vida de la red, desde el diseño inicial hasta la densificación y la optimización. Incluye capacidades de diseño de red RAT múltiples RAN individuales integradas para tecnologías de acceso de radio 3GPP y 3GPP2, incluidas 5G NR, LTE, NB-IoT, UMTS, GSM y CDMA. Proporciona a los operadores y proveedores un marco potente para diseñar y optimizar redes multitecnológicas integradas actuales y futuras.

Este software utiliza el modelo del terreno teniendo en cuenta los niveles de este, la

altura de edificios para realizar las predicciones. También tiene en cuenta los perfiles de usuarios para evaluar la red.

Atoll realiza dos tipos de predicciones: unas que permiten analizar los niveles de la señal y otras que analizan la calidad de la señal, estas últimas dependen de la carga de la red y de las interferencias. En las predicciones, cada píxel del mapa es considerado como un usuario no interferente con un servicio y terminal específico que se definen al momento de realizar la predicción.

Los diferentes tipos de predicciones que no dependen del tráfico y que serán de utilidad para nuestro análisis son:

- *Coverage by transmitter (cobertura por transmisor)*: predice el área de cobertura de un transmisor (antena) analizando el mejor transmisor en cada píxel del mapa.
- *Coverage by signal level (cobertura por nivel de señal)*: permite predecir las zonas de cobertura por la intensidad de la señal del transmisor en cada píxel del mapa.
- *Overlapping zones (zonas de solapamiento)*: calcula las zonas donde existe cobertura de dos o más transmisores.
- *Effective Signal Analysis (DL y UL) (análisis de señal efectiva)*: permite analizar el nivel de señal de distintos tipos de señales LTE tanto en DL como en UL.

Las predicciones que dependen del tráfico son las siguientes:

- *Coverage by $C/(I+N)$ Level (DL y UL) (cobertura por $C/(I+N)$)*: permite analizar los niveles de portadora sobre interferencia más ruido para ambos enlaces.
- *Service Area Analysis (DL y UL) (análisis del área de servicio)*: permite calcular y mostrar los mejores servicios portadores radio disponibles basándose en la $C/(I+N)$ en cada píxel.
- *Effective Service Area Analysis (DL+UL) (análisis del área efectiva de servicio)*: indica donde un servicio está disponible tanto en enlace descendente y ascendente. La disponibilidad del servicio depende de los umbrales de selección de los portadores y de los valores definidos en las propiedades del servicio seleccionado para la predicción.
- *Coverage by Throughput (DL y UL) (Cobertura por rendimiento)*: calcula y muestra el throughput y la capacidad de celda basándose en la $C/(I+N)$ en cada píxel.

Atoll también posee una herramienta para planificar automáticamente la distribución de antenas, su potencia, elevación, etc., siguiendo requisitos de diseño con el fin de

optimizar la red. Esta herramienta es conocida con el nombre de *Automatic Cell Planning (ACP) (Planeamiento automático de la celda)*.

Todos estos análisis nos permitirán encontrar la cantidad de sitios necesarios, la mejor disposición geográfica de los mismos a fin de obtener una cobertura en toda el área de servicio cumpliendo con los requisitos de calidad.

1.10.1. Estimación de la demanda y factor de reventa (overbooking).

Como se comentó en el apartado “Backbone” es necesario contratar un servicio mayorista de Internet que será brindado por la empresa Arsat. Para ello es necesario calcular cuánto ancho de banda se debe adquirir, por ese motivo se necesita hacer una estimación de este.

Debido que el ancho de banda tiene una determinada capacidad es necesario analizar la demanda de tráfico. La parte compleja es el análisis de las horas pico de diferentes tipos de abonados y perfiles de tráfico, el resultado de este estudio es el factor de sobreventa que describe el nivel de multiplexación o el número de usuarios que comparten un canal o capacidad determinados.

El overbooking se puede definir como la reventa (o cuanto se asegura, visto desde otro punto de vista) a nuestro enlace dedicado y que valor de multiplexación tomaremos, y se entiende como en cuantos clientes dividiremos el ancho de banda dedicado/efectivo.

Al overbooking lo podemos utilizar gracias a que cuando un usuario “navega” no está constantemente utilizando el canal, ya que una vez cargado el sitio el enlace queda sin uso, este tiempo sin uso puede ser utilizado por otro usuario para poder racionalizar el ancho de banda, que por lo general es limitado.

Se le puede dar una escala del 1 al 15 con estos rangos:

- 1 – Excelente: Acceso dedicado
- 5 – Muy bueno: Semi Dedicado
- 8 – Aceptable
- 10 – Normal: Estándar
- 15 – Sobre saturado

El throughput, que es la capacidad de transferencia real que fluye por un sistema, lo podemos tomar un 10% como aceptable (estándar) y un 15% para usuarios premium.

Para poder hacer el cálculo de ancho de banda utilizaremos métodos heurísticos que

dan como teoría lo siguiente:

El cálculo de USUARIOS vs ANCHO DE BANDA es una relación de 3 factores:

- Overbooking
- Throughput
- Velocidad de conexión.

Para calcular el ancho de banda requerido para satisfacer la demanda se utiliza la ecuación N°10.

$$Capacidad = \frac{Throughput}{Overbooking} \times Usuarios \text{ (ec. N°10)}$$

En este capítulo se abordaron los diferentes puntos a tener en cuenta para la posterior realización del proyecto, se describió la tecnología a utilizar y los componentes principales de la red LTE. También se detallaron las diferentes entidades para dar servicio tanto de datos como telefonía. Se expuso el proceso de dimensionado el cual nos permite calcular la cobertura y la capacidad de la red. Por último, se presentó el software que se utilizará para realizar la simulación de la red.

En el siguiente capítulo se llevará a cabo el proyecto mediante el análisis de diferentes puntos para el diseño de la red.

2. Proyecto.

En este capítulo se llevará a cabo el proyecto, partiendo de la elección y configuración de los parámetros de la red, luego mediante simulación se pondrá a prueba el rendimiento de esta. Una vez realizados los ensayos y las correcciones necesarias se expondrá un diseño final.

2.1. Parque de abonados.

Coopetel cuenta en la actualidad con 4400 abonados de los cuales 1200 corresponden a clientes con Internet ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). En la figura N°21, se observa la distribución de los abonados dentro de la ciudad de El Bolsón, donde en color azul se detallan los usuarios de telefonía básica y en color rojo los usuarios que poseen ADSL.

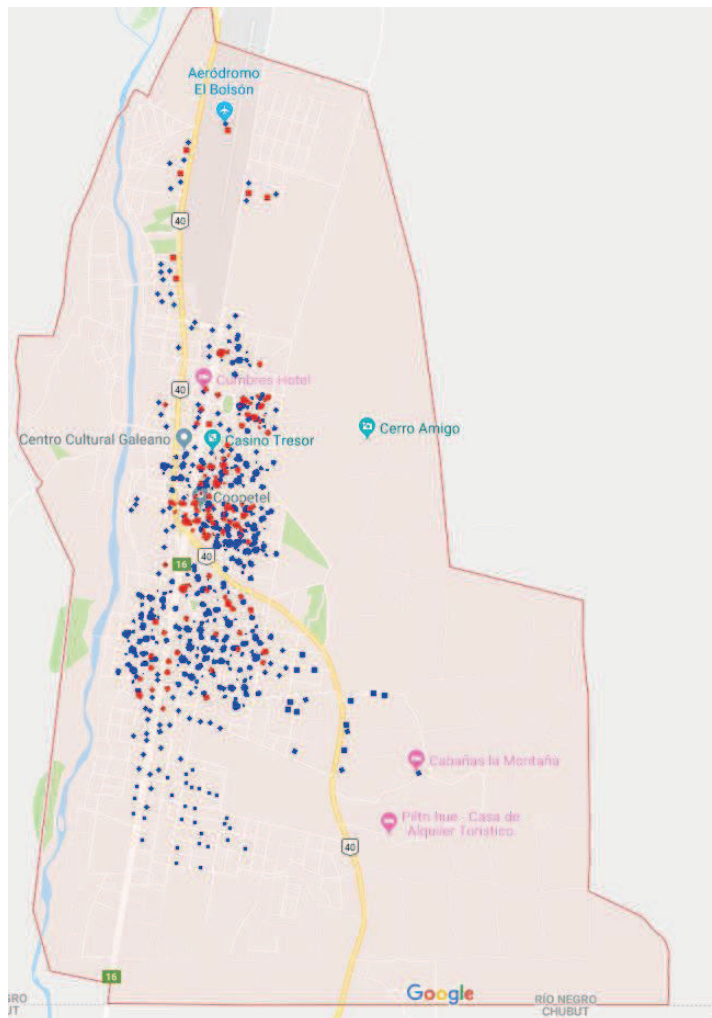


Figura N°21: Parque abonados Coopetel.

2.2. Banda de operación.

La banda de operación que seleccionamos para la implementación del servicio será la

banda 42, cuya frecuencia central es 3500 Mhz, comienza en los 3400 Mhz y finaliza en 3600 Mhz.

Como método de duplexado utilizaremos Time Division Duplexing (TDD). Optamos por esta banda ya que no interfiere con las bandas de las operadoras de telefonía celular, es libre (no se necesita licencia) y además es utilizada frecuentemente para este tipo de despliegue. De todos modos, la cooperativa podría solicitar una frecuencia ante el ENACOM para prestar servicio.

2.3. Modelo de propagación.

Como se resaltó en el capítulo anterior un modelo de propagación es el conjunto de operaciones matemáticas y algoritmos utilizados para estudiar las características de propagación de radiofrecuencias en un determinado ambiente.

Entre los modelos de propagación que proporciona el software Atoll optaremos por el Standard Propagation Model (SPM).

El SPM es un modelo está indicado para las predicciones en el rango de frecuencias entre 150MHz y 3500MHz y para distancias de hasta 20Km. Es un modelo muy utilizado en GSM900/1800, UMTS, CDMA2000, WiMAX y LTE. Este modelo utiliza la topografía del terreno, las alturas efectivas de las antenas para calcular la pérdida de trayectoria (path loss), los mecanismos de difracción, y las clases de ocupación del suelo.

2.4. Ancho de banda del canal.

Como se estudió el ancho de banda del canal en LTE puede comprender (dependiendo de la frecuencia de trabajo) 5, 10, 15 o 20 Mhz. La elección del ancho de banda depende también del espectro disponible y va a influir en las velocidades de downlink y uplink. Para este proyecto vamos a utilizar un ancho de banda de 20MHz, más sectorización.

2.5. Ancho de banda TOIP.

En el apartado “1.7 Telefonía”, se mostraron la teoría y las ecuaciones necesarias para calcular el ancho de banda que ocupa la telefonía IP, a continuación, procederemos a realizar el cálculo.

Para la elección del codec tomamos en cuenta que en las redes inalámbricas el ancho de banda es escaso por ello seleccionamos el codec G.729, basándonos en la tabla N°5 este ofrece una tasa nominal de 8 Kbps. Si bien el codec G.711 ofrece una tasa de 64 Kbps y menores tiempos de empaquetado, preferimos tener un retardo mayor para poder tener un ancho de banda reducido.

El cálculo del ancho de banda de una llamada con codec G.729 (8 Kbps) y 40 bytes de carga útil de voz es el siguiente:

$$\text{Tamaño total del paquete} = \text{Cabecera Ethernet} + \text{Cabecera (IP, UDP, RTP)} + \text{Tamaño de la carga util de voz} \quad (\text{ec. N}^\circ 9)$$

$$\text{Tamaño total del paquete} = 20 \text{ bytes} + 40 \text{ bytes} + 40 \text{ bytes} = 100 \text{ bytes} = 800 \text{ bits}$$

$$PPS = \frac{\text{Tasa de bits de códec}}{\text{Tamaño de la carga util de voz.}} \quad (\text{ec. N}^\circ 8)$$

$$PPS = \frac{8 \text{ Kbps}}{320 \text{ bits}} = 25 \text{ pps}$$

$$\text{Ancho de Banda} = \text{Tamaño total de paquetes} \times PPS \quad (\text{ec. N}^\circ 7)$$

$$\text{Ancho de Banda} = 800 \text{ bits} \times 25 \text{ pps} = 20 \text{ Kbps}$$

El ancho de banda por llamada para telefonía IP con codec G.729 será de 20 Kbps

2.6. Conexión a PSTN.

Como explicamos en el apartado de telefonía, es necesario la instalación de un gateway telefónico para vincular las llamadas de la nueva red que son IP a la red pública conmutada (PSTN). Para ello debemos calcular la cantidad de tramas E1 que se deben utilizar, por medio de la cantidad de abonados de telefonía.

El cálculo lo haremos para 1600 usuario de telefonía de la cooperativa, con un tráfico promedio tipo de 0.1 Erlang (E). La probabilidad de bloqueo que utilizamos es de 3 %. La ecuación N°11, nos muestra el tráfico total.

$$BHT = \text{Cant. usuarios} \times \text{Trafico promedio} \quad (\text{ec. N}^\circ 11)$$

$$BHT = 1600 \times 0.1E = 160 E$$

El resultado que nos muestra la ecuación N°11, junto con la probabilidad de bloqueo lo utilizamos en la herramienta de cálculo llamada “Erlang B Calculator”.

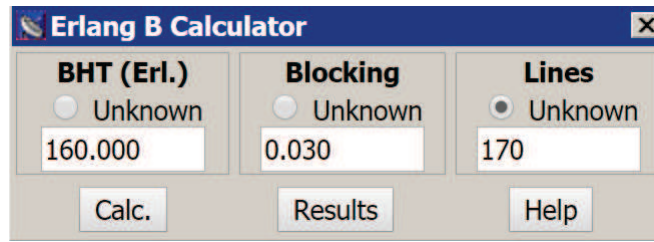


Figura N°22: Erlang B Calculator.

Se puede ver en la figura N°22 el resultado que nos muestra la herramienta de cálculo, el cual nos dice que se necesitan 170 líneas para afrontar la demanda de los 1600 usuarios. Dado que las tramas E1 son de 31 canales de voz, es necesario utilizar un gateway que permita la conexión de 6 tramas E1 hacia la central de conmutación de la cooperativa.

2.7. Perfiles de Usuarios.

Para llevar a cabo la simulación en Atoll creamos perfiles de usuarios y entornos, para este estudio se creamos dos tipos de perfiles de usuarios basados en los datos actuales de la cooperativa, también estos perfiles van a estar asignados con los planes de abonado que se van a ofrecer para LTE. El primer perfil lo denominamos usuario “15M”, el cual va a contar con una velocidad de Internet de 15 Mbps y servicio de telefonía IP. El segundo perfil se denominó usuario “25M”, este abonado contará con una velocidad de 25 Mbps para Internet y servicio de telefonía IP.

Perfil	Servicio	Call/Hours	Duración (Seg.)	Bloqueo	BW (Kbps)	UL (KBytes)	DL (KBytes)	Q Usuarios			Densidad (Usuarios / Km ²)	
15 M	INTERNET	0,2	300	0.3	15000	220	1831	1120	%Urban	0,5	560	518,52
									% Suburban	0,3	336	140,59
	TOIP	0,1			20	2,4	2,4		% Rural	0,2	224	186,67
25 M	INTERNET	0,2			25000	366	3052	480	% Suburban	0,3	144	60,25
	TOIP	0,1	300	0.3	20	2,4	2,4		% Urban	0,7	336	311,11

Tabla N°6: Perfiles de usuarios.

Distribuidos en tres entornos; uno urbano en la zona céntrica de la ciudad, otro suburbano y un rural. Esta distribución sigue la disposición de abonados que observamos en la figura N°21.

En la tabla N°6, se muestran los diferentes perfiles de usuario. La columna SERVICIO se puede observar el servicio que se ofrece INTERNET y TOIP, en la columna Calls/Hours se muestran los llamados por hora para cada servicio, las columnas

duración y bloqueo son utilizadas para el servicio ToIP y expresan la duración de cada llamada realizada y la probabilidad de que una llamada sea rechazada, la columna BW muestra la velocidad que se ofrece para Internet y TOIP de cada plan. Las columnas DL, UL hacen referencia a las velocidades de los enlaces. Para el caso del servicio de ToIP este valor es el mismo para cada perfil. Por último, la columna Q USUARIOS nos muestra la distribución de estos en cada entorno y la última columna la densidad de usuarios.

Como se puede apreciar en la tabla N°6, tomamos 1600 usuarios para realizar las pruebas, que es el número de clientes a los cuales se pretende dar servicio en esta primera etapa.

2.8. eNode B.

El eNB o Sitio, está compuesto por la torre que soporta las antenas y los RRU's (Radio Remote Unit). El primer sitio será instalado en la torre que existe en la sede de COOPETEL y de ser necesario se instalarán más sitios en diferentes locaciones de la ciudad. En la figura N°23 nos muestra la estructura de un sitio similar al que se instalarán en la ciudad.

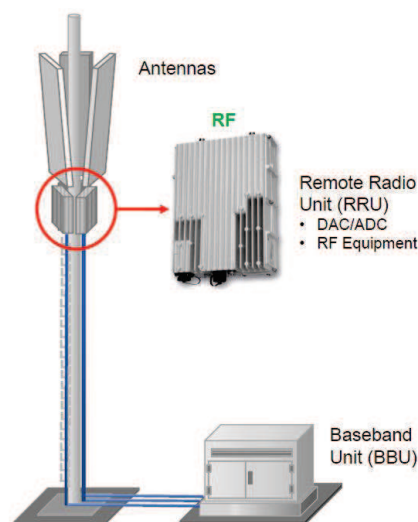


Figura N°23: Estructura de un Sitio LTE

El modelo de antena que elegimos tiene un rango de frecuencia de trabajo que comprende los 3300 a 3800 MHz, una ganancia de 15 dBi y un patrón de radiación de 120 grados de apertura, estas características nos permiten obtener una alta ganancia y simultáneamente maximiza la cobertura y minimiza la interferencia. La figura N°24 muestra la pisada de la antena seleccionada.

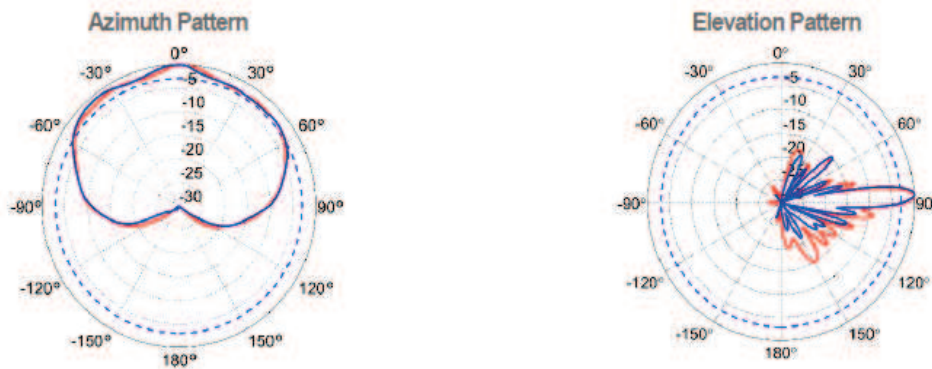


Figura N°24: Patrones de radiación de la antena.

Con estos datos se creamos un modelo de sitio en el software Atoll y simulamos con el fin de analizar su cobertura.

2.9. Evaluación de la cobertura de los sitios y la capacidad de la red.

Como se mencionó anteriormente el primer sitio se instalará en la sede de COOPETEL, donde también se colocará el hub central. A continuación, se analiza mediante el software la cobertura de dicho punto, donde evaluamos el nivel de señal que llega a cada lugar del

mapa. Cada nivel de color que se observa en el mapa representa un rango de potencia de señal. El color rojo, primero en la escala, representa niveles de potencia superiores a -70 dBm mientras que el último de la escala, el color azul, representa niveles de potencia del orden de los -105 dBm.

Podemos observar en la figura N°25, que la cobertura del sitio no llega a abarcar toda la zona de interés, ya que en las zonas más alejadas del eNB directamente no hay presencia de señal.

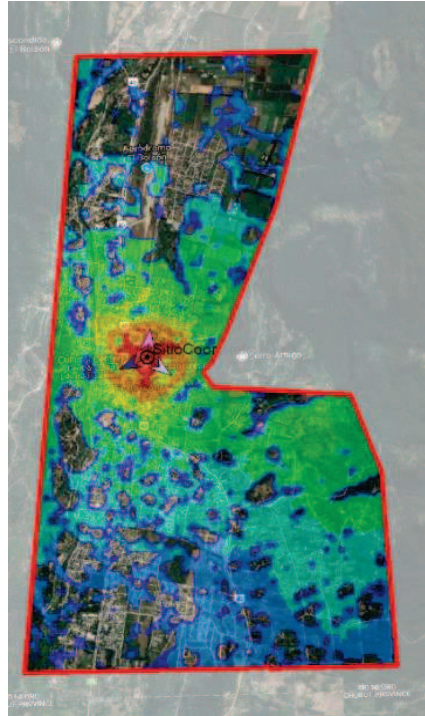


Figura N°25: Predicción de cobertura por nivel de señal.

En el siguiente histograma (figura N°26) que muestra el porcentaje de cada nivel de potencia de señal que cubre el área de despliegue, observamos que los niveles de potencia aceptables para LTE que deben ser superiores a -90 dBm representan un porcentaje bajo.

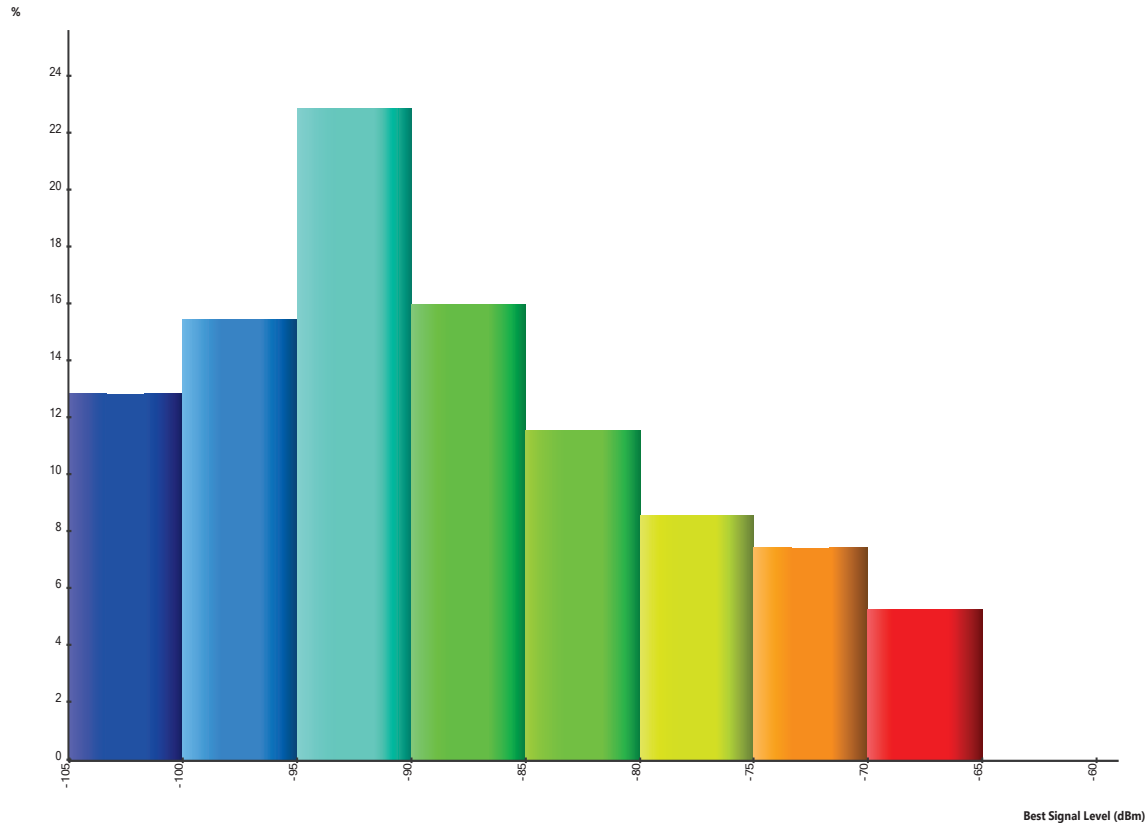


Figura N°26: Histograma cobertura por nivel de señal.

Name	Surface (km ²)	% of Covered Area
Coverage by Signal Level (DL) 1	12,3038	100
Best Signal Level (dBm) >=-70	0,1496	1,2159
Best Signal Level (dBm) >=-75	0,498	4,0475
Best Signal Level (dBm) >=-80	0,9294	7,5538
Best Signal Level (dBm) >=-85	2,398	19,4899
Best Signal Level (dBm) >=-90	4,5062	36,6245
Best Signal Level (dBm) >=-95	7,4299	60,387
Best Signal Level (dBm) >=-100	10,5026	85,3606
Best Signal Level (dBm) >=-105	12,3038	100

Figura N°27: Superficie cubierta por nivel de señal.

En la tabla de la figura N°27, se observa que a más del 85% de la superficie llega señal con una potencia de -100 dBm.

Estas simulaciones nos permiten deducir que con un solo sitio no se podrá dar servicio a toda la ciudad ya que en zonas del mapa la señal llega muy debilitada o directamente no llega.

Como consecuencia de esto decidimos aumentar la cantidad de sitios, para ello fuimos agregando sitio a sitio y simulando su cobertura de manera iterativa. A medida que aumentamos el número de emplazamientos observamos que la cobertura también lo hacía como era de esperar.

El resultado final de este ensayo se puede ver en la figura N°28, donde apreciamos que con diez sitios instalados obtenemos una cobertura más que suficiente en la mayoría de los puntos de la ciudad con niveles de potencia superiores a -90 dBm, los cuales son aceptables para el funcionamiento de LTE.

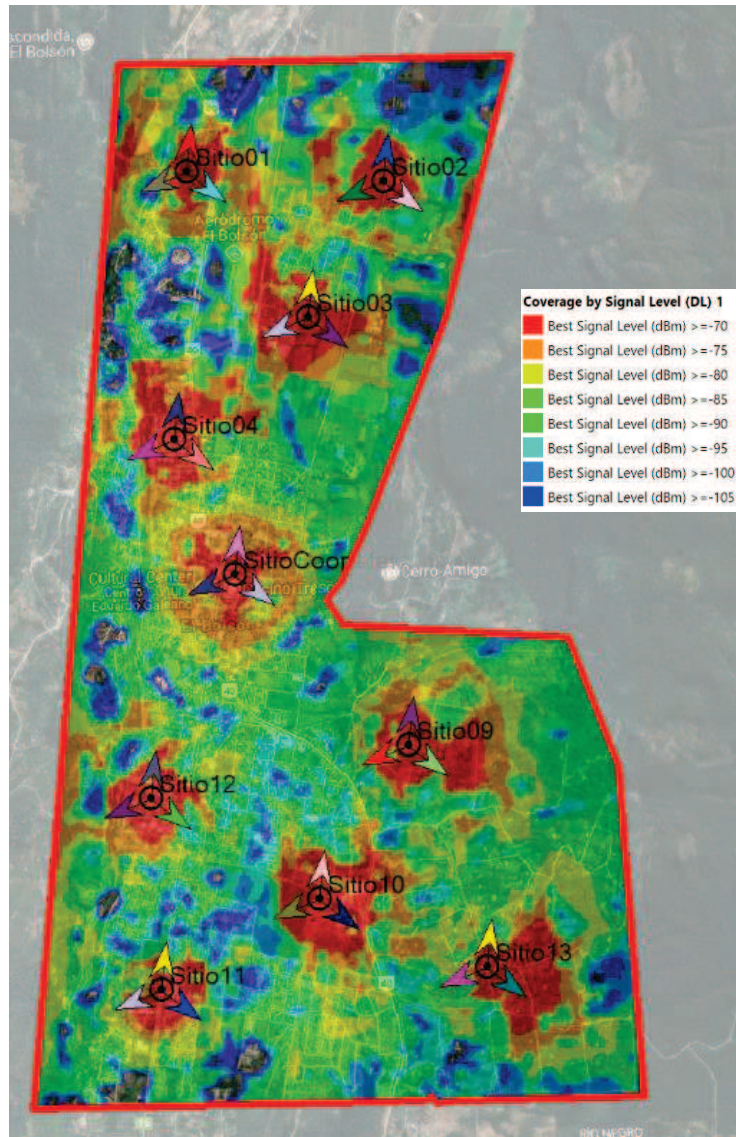


Figura N°28: Predicción de cobertura por nivel de señal.

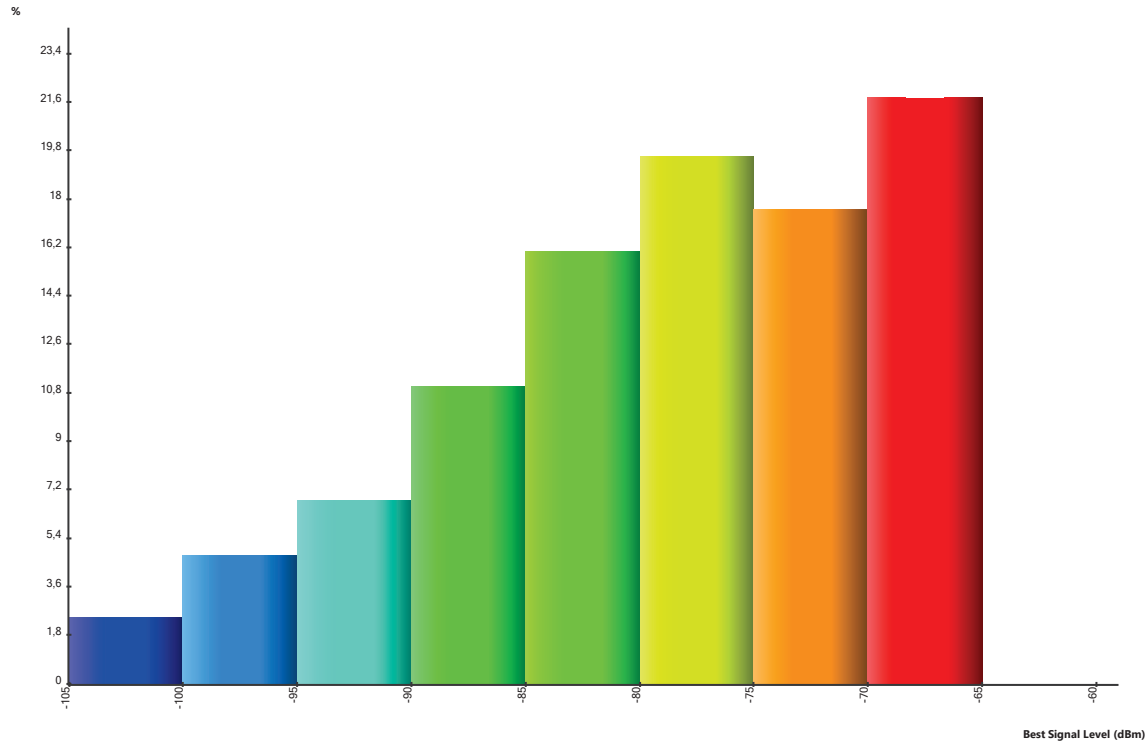


Figura N°29: Histograma cobertura por nivel de señal.

En el histograma de la figura N°29, se muestra que a la mayor parte de la ciudad llega señal con potencia por encima de -85 dBm, esto se logró colocando diez sitios distribuidos por la zona.

Si bien estos diez sitios cumplen el objetivo que nos propusimos el cual era tener cobertura en toda la zona geográfica, no es un objetivo viable ya que como podemos observar en la figura N°21 los clientes actuales no cubren toda el área geográfica evaluada, sino que están agrupados principalmente en el centro de la ciudad.

Por ello realizamos un análisis donde decidimos colocar una menor cantidad de sitios acotando el área de cobertura a la zona donde hay actualmente una mayor cantidad de clientes. Como primer paso, se evaluó la cobertura del sitio en la sede de COOPETEL para observar cómo era en el nuevo escenario que delimitamos.

En la figura N°30, observamos el mapa con los clientes actuales y el mapa de cobertura del sitio COOPETEL, como se puede apreciar la señal no llega con intensidad a los bordes de esta área, la potencia está por debajo de los -120 dBm.

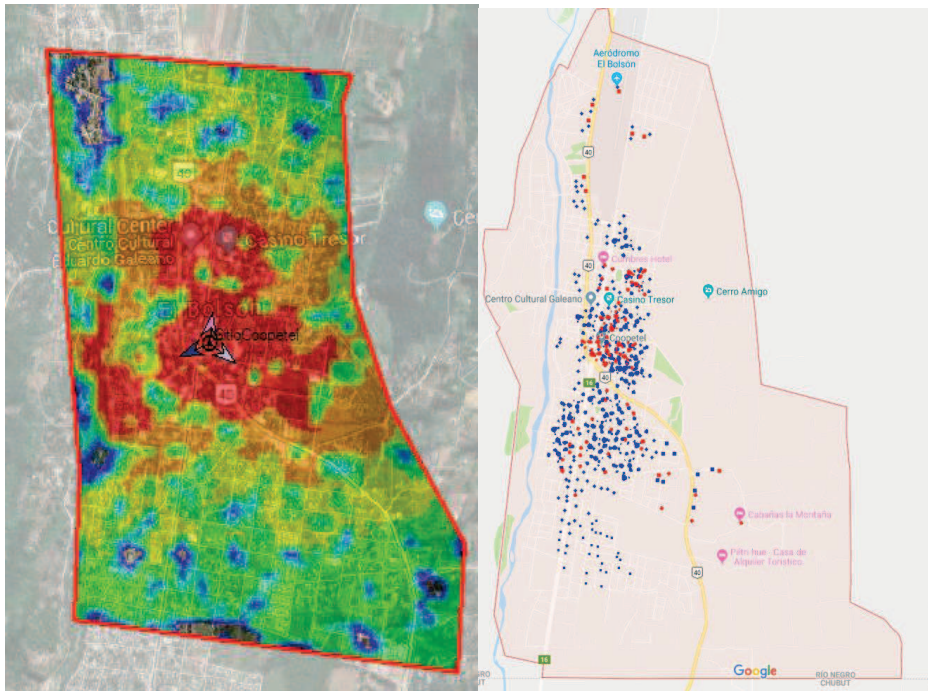


Figura N°30: Cobertura por nivel de señal.

Debido a que la cobertura no cumplió con el objetivo propuesto nos vimos en la necesidad de agregar más sitios. Basándonos en la información que nos da el mapa de los clientes observamos que su distribución dentro de la zona es más vertical en sentido Norte - Sur que horizontal sentido Este - Oeste, por ello decidimos instalar un sitio al norte y otro al sur de la ciudad. Para seleccionar el lugar donde se instalarán estos nuevos sitios tuvimos en cuenta diferentes factores como: que sea un punto predominante sobre el entorno para garantizar la máxima cobertura posible con la mínima potencia emitida requerida, que tuviera acceso a energía eléctrica para alimentar los equipos, se encontrara en una zona donde haya una cantidad importante de usuarios y que la conexión entre el sitio el HUB central no fuera dificultosa.

Tomando en cuenta los factores mencionados proyectamos los sitios “Norte” y “Sur”, y realizamos el estudio de la cobertura del nuevo escenario. En la figura N°31 se observan los sitios y la cobertura que proporcionan, se nota un incremento con respecto al escenario anterior. En el histograma de la figura, podemos observar que aproximadamente al 75% del área, llega señal con niveles de potencia entre -80 dBm a -65 dBm, estos son más que aceptables para LTE.

Luego de este segundo ensayo podemos afirmar que tenemos la cantidad necesaria de sitios para dar servicio a nuestra área de clientes.

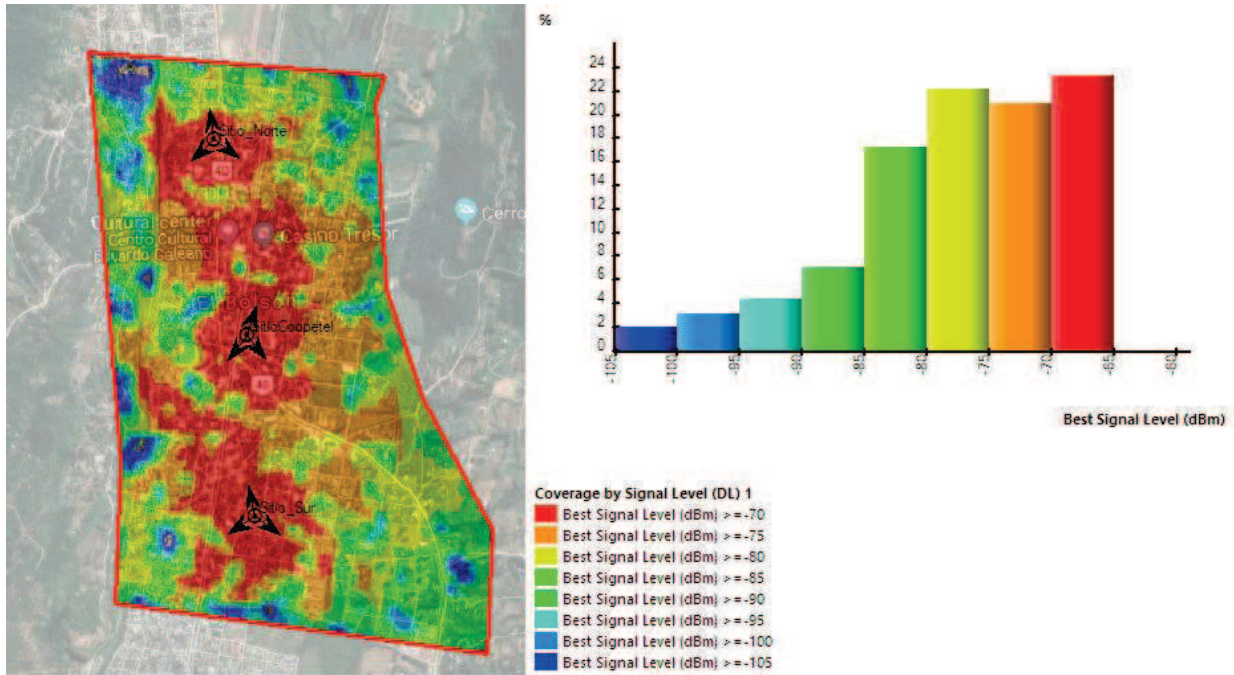


Figura N°31: Cobertura por nivel de señal.

Para realizar un ajuste más preciso de la cobertura de los sitios utilizamos la herramienta de Atoll llamada *Automatic Cell Planning (Planificación automática de celdas) (ACP)*, que mediante la realización de cambios en su configuración permite una optimización de la red.

Cell/Tx Name	Total Power (dBm)			Antenna Pattern			Azimuth (deg)			Mechanical Tilt (deg)			Antenna Height (m)			Repeater Amplifier Gain (dB)			
	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	Use	Initial	Final	
SitioCoopetel_1(O)	<input type="checkbox"/>	43.00	43.00	<input type="checkbox"/>	120deg 16dBi OTilt	120deg 16dBi OTilt	<input checked="" type="checkbox"/>	0	10		<input type="checkbox"/>	5	5	<input type="checkbox"/>	30.00	30.00	<input type="checkbox"/>		
SitioCoopetel_2(O)	<input type="checkbox"/>	43.00	43.00	<input type="checkbox"/>	120deg 16dBi OTilt	120deg 16dBi OTilt	<input checked="" type="checkbox"/>	120	135		<input type="checkbox"/>	5	5	<input type="checkbox"/>	30.00	30.00	<input type="checkbox"/>		
SitioCoopetel_3(O)	<input type="checkbox"/>	43.00	43.00	<input type="checkbox"/>	120deg 16dBi OTilt	120deg 16dBi OTilt	<input checked="" type="checkbox"/>	240	220		<input type="checkbox"/>	5	5	<input type="checkbox"/>	30.00	30.00	<input type="checkbox"/>		
Sitio_Norte_1(O)	<input type="checkbox"/>	43.00	43.00	<input type="checkbox"/>	120deg 16dBi OTilt	120deg 16dBi OTilt	<input checked="" type="checkbox"/>	0	345		<input checked="" type="checkbox"/>	0	2	<input type="checkbox"/>	10.00	10.00	<input type="checkbox"/>		
Sitio_Norte_2(O)	<input type="checkbox"/>	43.00	43.00	<input type="checkbox"/>	120deg 16dBi OTilt	120deg 16dBi OTilt	<input type="checkbox"/>	120	120		<input checked="" type="checkbox"/>	0	3	<input type="checkbox"/>	10.00	10.00	<input type="checkbox"/>		
Sitio_Norte_3(O)	<input type="checkbox"/>	43.00	43.00	<input type="checkbox"/>	120deg 16dBi OTilt	120deg 16dBi OTilt	<input type="checkbox"/>	240	240		<input checked="" type="checkbox"/>	0	-4	<input type="checkbox"/>	10.00	10.00	<input type="checkbox"/>		
Sitio_Sur_1(O)	<input type="checkbox"/>	43.00	43.00	<input type="checkbox"/>	120deg 16dBi OTilt	120deg 16dBi OTilt	<input checked="" type="checkbox"/>	0	340		<input type="checkbox"/>	4	4	<input type="checkbox"/>	10.00	10.00	<input type="checkbox"/>		
Sitio_Sur_2(O)	<input type="checkbox"/>	43.00	43.00	<input type="checkbox"/>	120deg 16dBi OTilt	120deg 16dBi OTilt	<input type="checkbox"/>	120	120		<input type="checkbox"/>	4	4	<input type="checkbox"/>	10.00	10.00	<input type="checkbox"/>		
Sitio_Sur_3(O)	<input type="checkbox"/>	43.00	43.00	<input type="checkbox"/>	120deg 16dBi OTilt	120deg 16dBi OTilt	<input checked="" type="checkbox"/>	240	230		<input type="checkbox"/>	5	5	<input type="checkbox"/>	10.00	10.00	<input type="checkbox"/>		

Tabla N°7: Modificaciones propuestas por ACP.

ACP fue configurado solo para que, en caso de ser necesario, realice modificaciones en la orientación horizontal de la antena (Azimut) y en la inclinación (Mechanical Tilt). En la tabla N°7 se observa (en color verde) los cambios propuestos por ACP para cada una de las antenas de los diferentes sitios.

Change Order	Enable	Change Type	Name (Site/Tx/Cell)	Initial	Final	Quality Improvement Ratio %
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Azimuth	SitioCoopetel_2	120.00	135.00	21.88
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Azimuth	SitioCoopetel_1	0.00	10.00	46.88
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Mechanical Tilt	Sitio_Norte_3	0.00	4.00	65.63
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Azimuth	SitioCoopetel_3	240.00	220.00	75.00
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Azimuth	Sitio_Sur_1	0.00	340.00	84.38
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Mechanical Tilt	Sitio_Norte_2	0.00	3.00	90.63
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Azimuth	Sitio_Norte_1	0.00	345.00	93.75
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Mechanical Tilt	Sitio_Norte_1	0.00	2.00	96.88
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Azimuth	Sitio_Sur_3	240.00	230.00	100.00

Tabla N°8: Cambios realizados luego del ACP.

Una vez realizado los cambios, en la tabla N°8, podemos ver cada uno de ellos y su relación con el aumento en la calidad (Quality Improvement Ratio), estos van desde mejoras del 20% al 100%.

Para seguir con la evaluación de la cobertura, una vez que ajustamos parámetros por medio de ACP, realizamos la simulación de cobertura por nivel de señal. La figura N°32 muestra el cambio en las antenas y observando el histograma podemos apreciar un leve incremento en el porcentaje de cobertura de la señal con potencia superiores a -80 dBm.

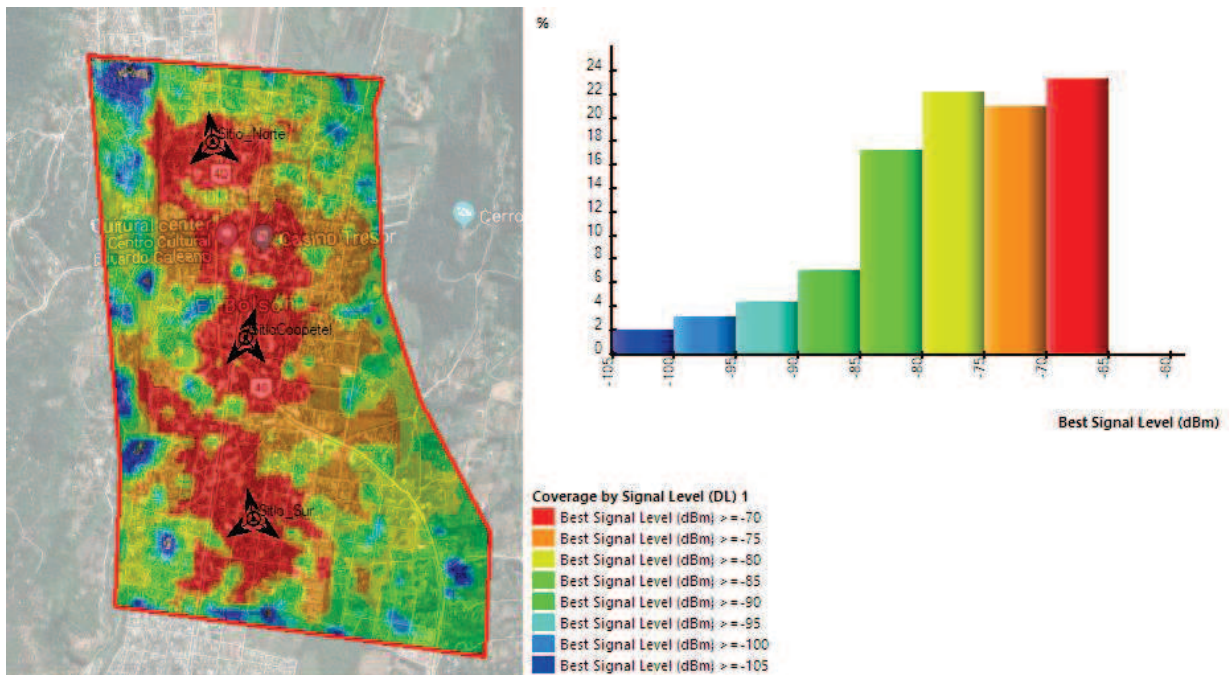


Figura N°32: Cobertura por nivel de señal.

La figura N°33, muestra la predicción de zonas solapadas, esta enumera la cantidad de transmisores que están dando servicio a una misma zona. Si el número para una zona es muy alto puede que haya problemas de interferencia. Como se observa la mayoría del área de cobertura es de color azulada, indicando que no hay más de dos transmisores dando servicio por zona.

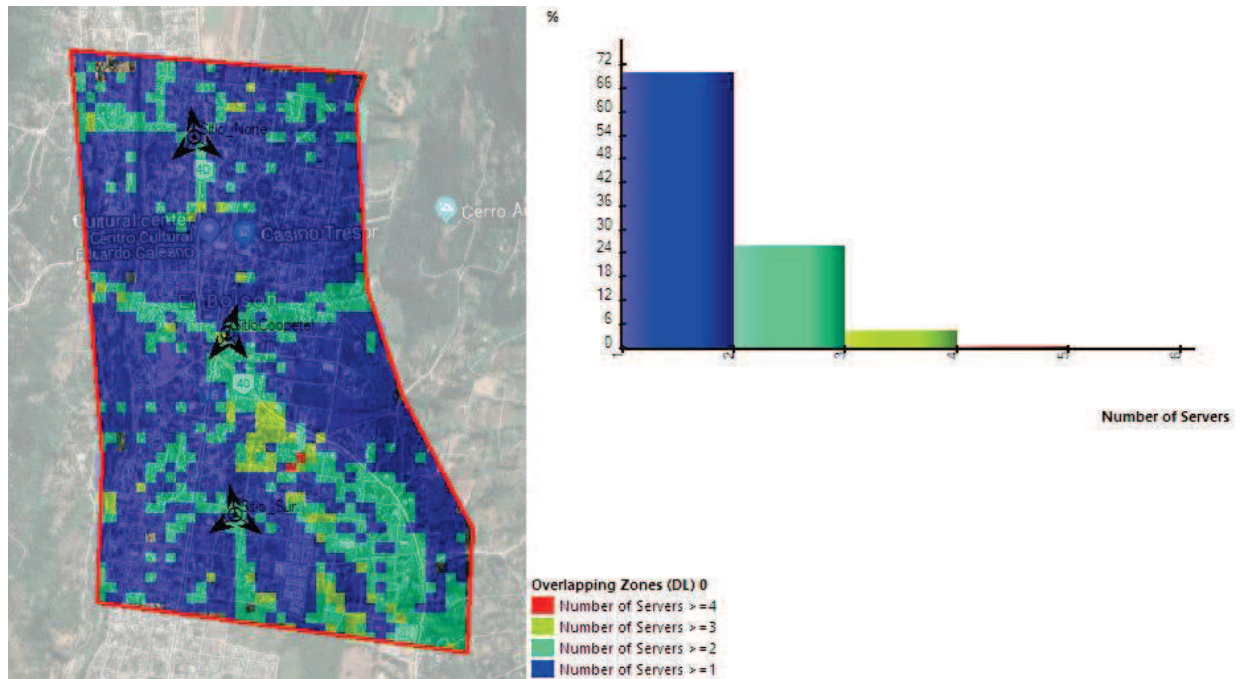


Figura N°33: Predicción zonas solapadas.

Una vez realizado el estudio de cobertura de las zonas y viendo que este era satisfactorio, realizamos un estudio de cobertura por nivel de señal de los canales más relevantes para DL y UL (especialmente PDSCH, canal compartido para el DL, y el PUSCH, canal compartido para el UL, observando el nivel de señal y de C/N).

En la figura N°34, se muestra la predicción del nivel de potencia del PDSCH (Physical Downlink Shared Channel). Esta es una señal transporta datos de usuario y puede transportar información de aviso por parte de la red. De forma análoga, el PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) realiza las mismas funciones para el enlace ascendente. El PUCCH transmite información de control del usuario si este no tiene datos a transmitir.

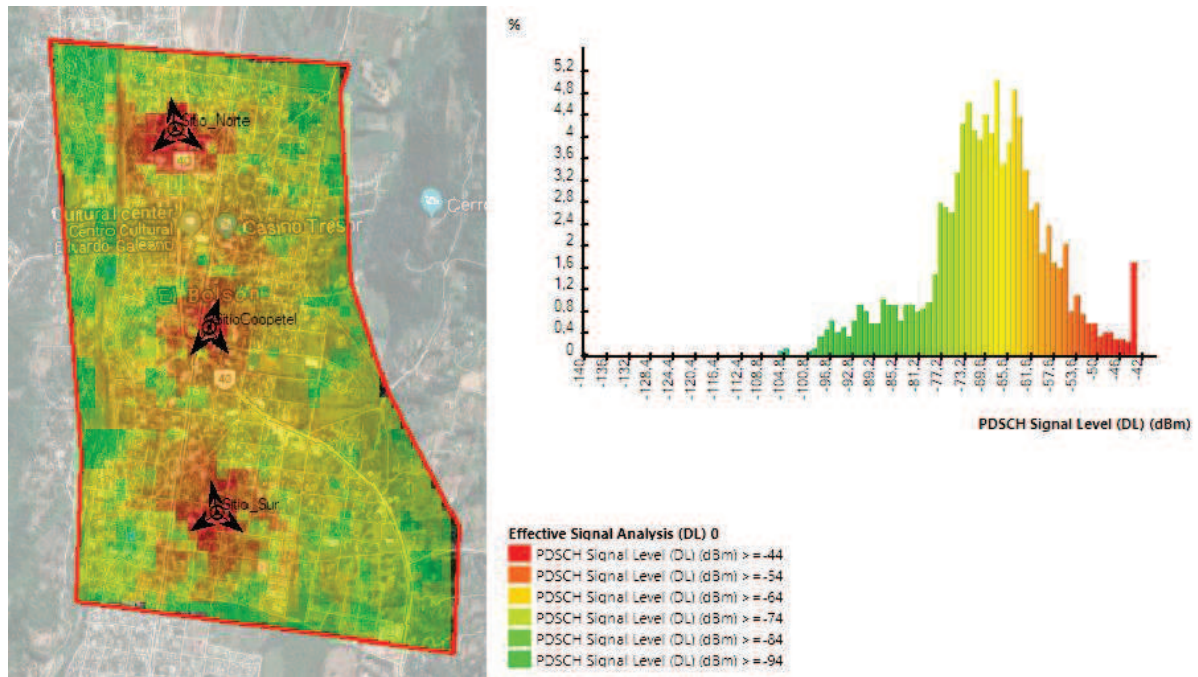


Figura N°34: Predicción nivel de potencia del PDSCH.

Analizando el mapa de la figura N°34 observamos que el área está cubierta en su mayoría por colores verde y amarillo, esto muestra que en la mayoría de la zona de cobertura obtendremos potencias superiores a los -77 dBm. En el histograma de la figura, verificamos que aproximadamente el 90% del territorio tiene niveles de potencia superiores a -92 dBm.

La figura N°35, muestra la predicción de la relación señal a ruido (C/N) para el canal PDSCH. Observamos que en la mayoría del mapa presenta colores amarillos y verdes, mientras que el color rojo aparece cuanto más cerca se está del sitio, esto se debe a que a menor distancia del eNB se tiene una mayor relación C/N. El histograma de la figura N°62 muestra que la mayoría del área de servicio tiene un nivel C/N superiores 20 dB, que está dentro de los requerimientos de LTE.

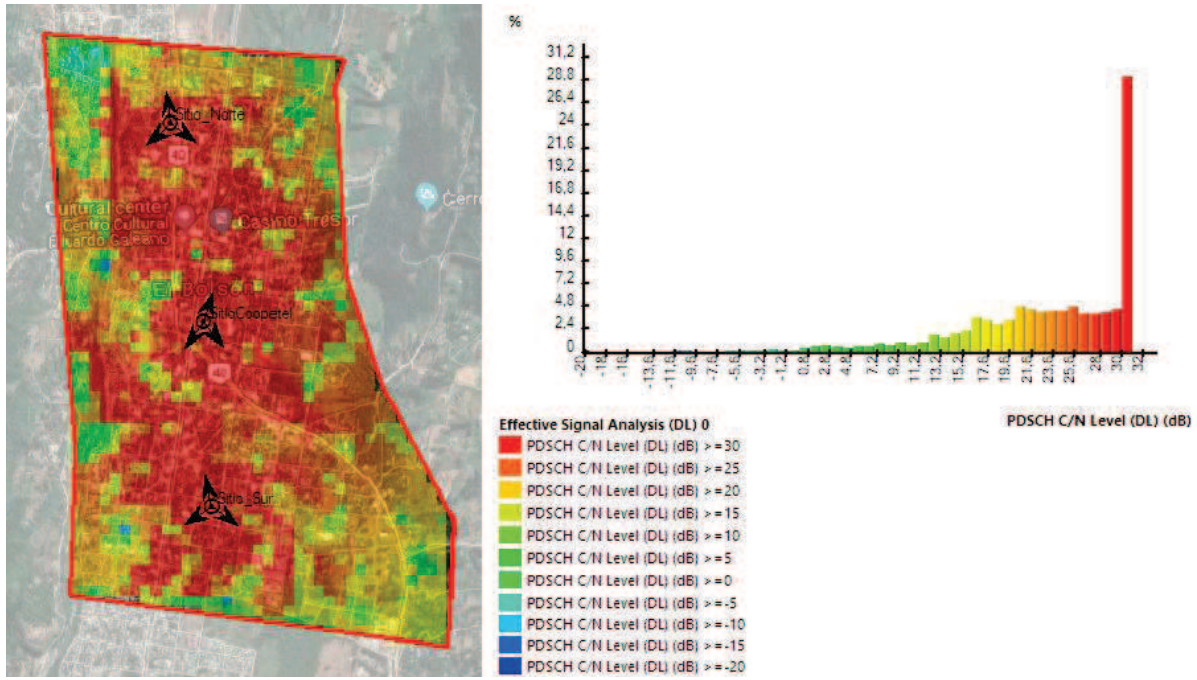


Figura N°35: Predicción C/N del PDSCH.

Con los resultados anteriormente expuestos deducimos que el enlace descendente no tendrá problemas en términos de recepción de potencia ya que suministra niveles adecuados de la misma.

Para el enlace ascendente analizamos los canales PUSCH y PUCCH, tanto su nivel de potencia, como su nivel de C/N.

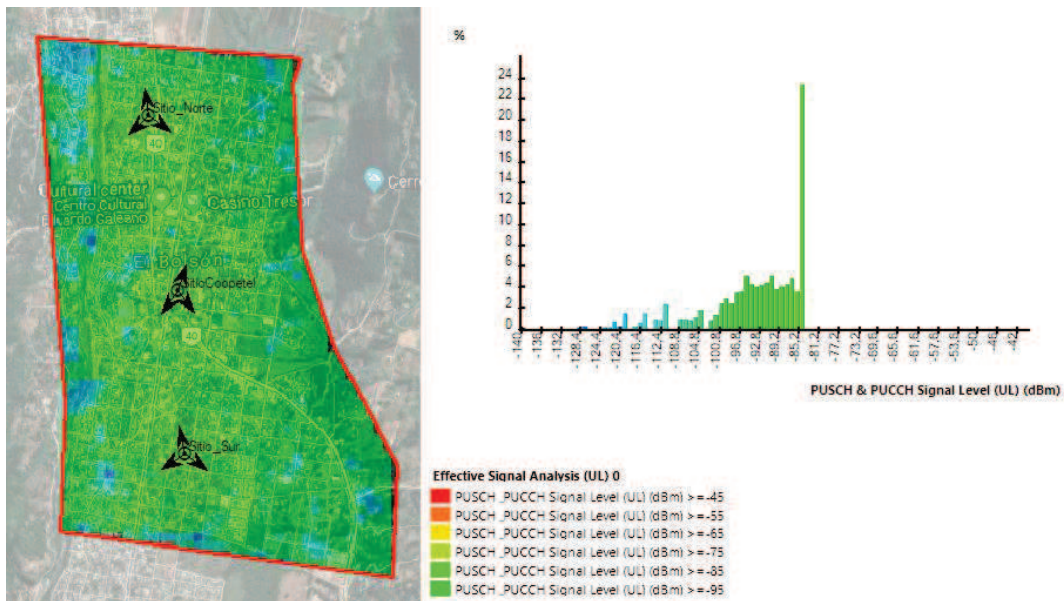


Figura N°36: Predicción nivel de potencia del PUSCH y PUCCH.

En la figura N°36 observamos que predomina un nivel de potencia de señal superior a -90 dBm, estos valores se verifican observando el histograma. De esta forma estamos por encima del umbral aceptable para LTE.

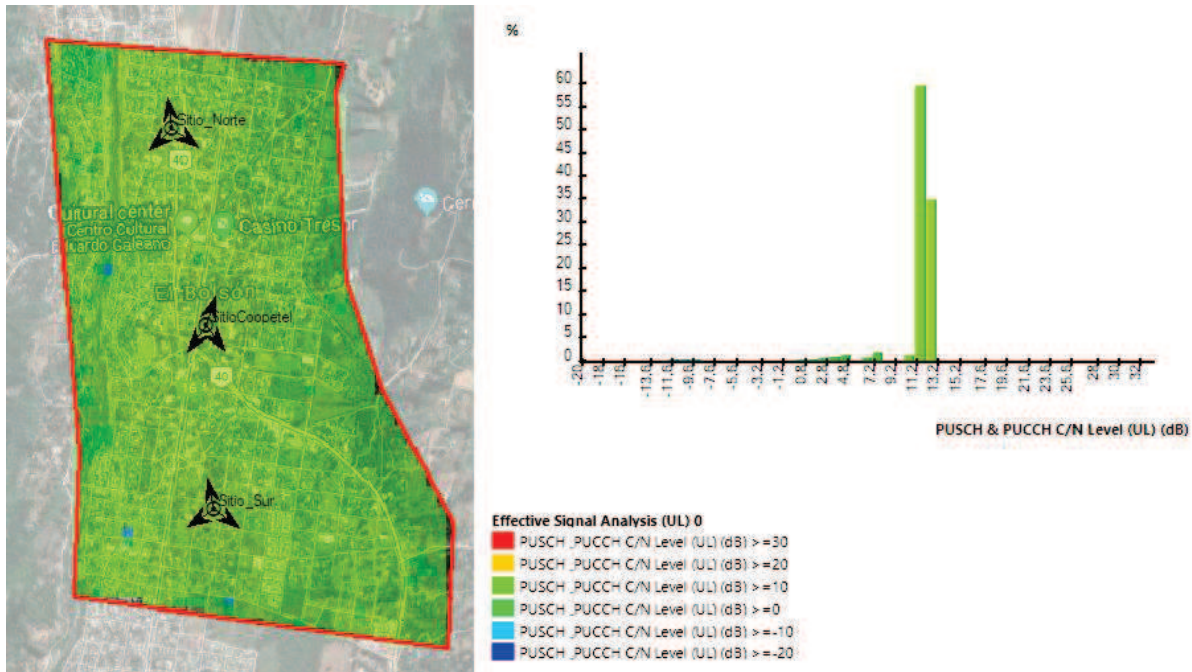


Figura N°37: Predicción relación C/N del PUSCH y PUCCH.

Los gráficos de la figura N°37 nos muestran que la C/N en la mayoría del territorio es de 13 dB.

La figura N°38 muestra la predicción de las $C/(I+N)$ para el canal PDSCH. Esta predicción representa en cada punto del mapa la relación, en decibeles, señal a interferencia y ruido de este canal. Esto es útil para observar si se tiene una cantidad de interferentes nociva para el servicio. Cuanto más azul sea un punto peor $C/(I+N)$ tendrá y cuanto más rojo mejor.

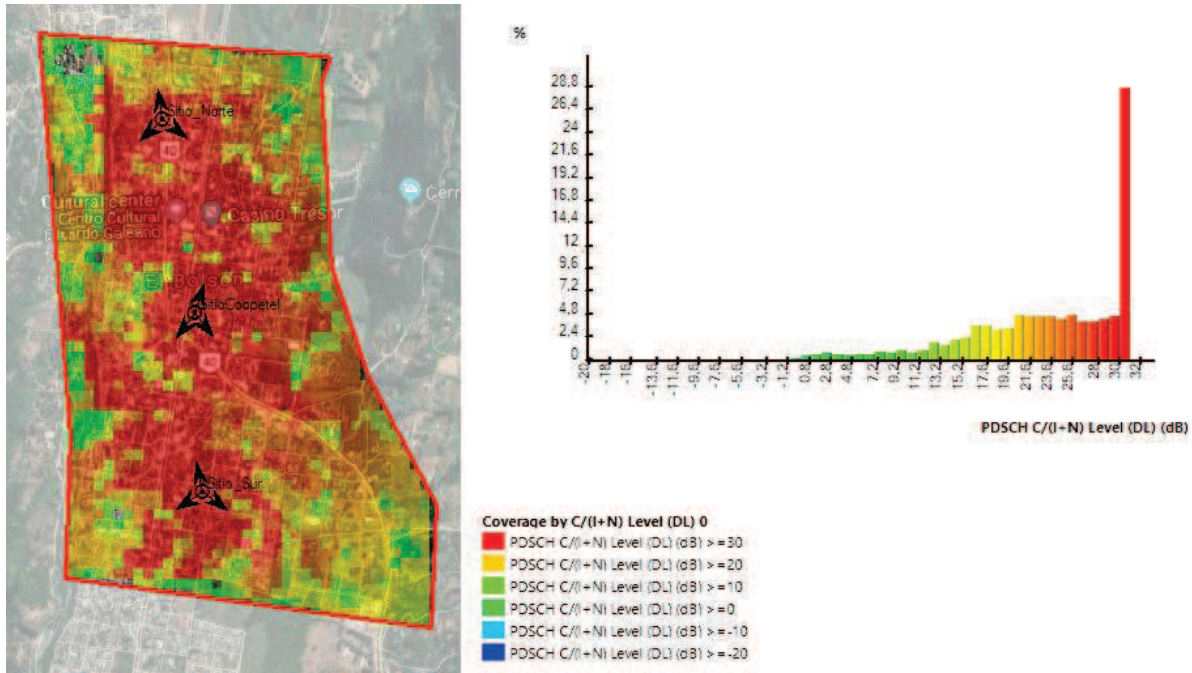


Figura N°38: Predicción C/(I+N) para el PDSCH.

Observamos que cerca de los sitios obtenemos niveles de 30 dB y a medida que nos alejamos estos disminuyen. En el histograma podemos apreciar niveles desde los 17 dB a los 30 dB, estos ocupan la mayoría del área de servicio.

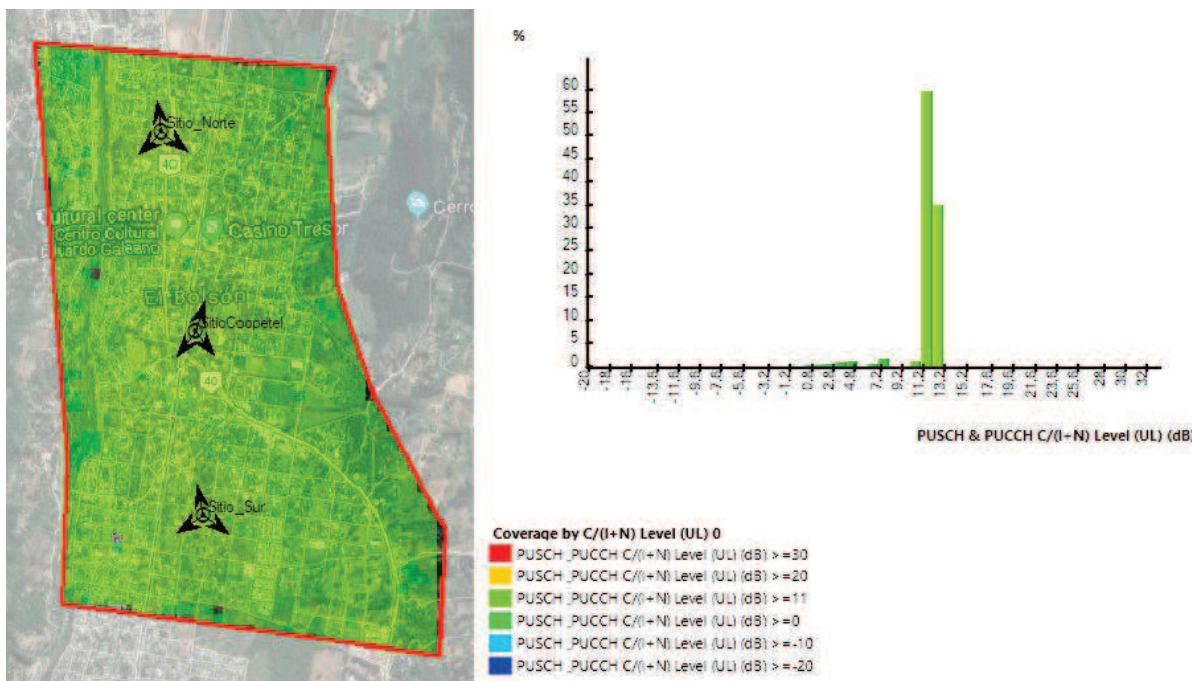


Figura N°39: Predicción C/(I+N) para el PUSCH & PUCCH.

De manera análoga obtuvimos los resultados para el PUSCH y PUCCH, en la figura N°39 observamos niveles aceptables de C/(I+N).

Mediante las predicciones Service Area Analysis para el enlace descendente (DL) y el ascendente (UL), analizamos los mejores Radio Bearers disponibles para ambos enlaces. Un Radio Bearer es un esquema de modulación/codificación (MCS) usado para transmitir los datos a través del canal.

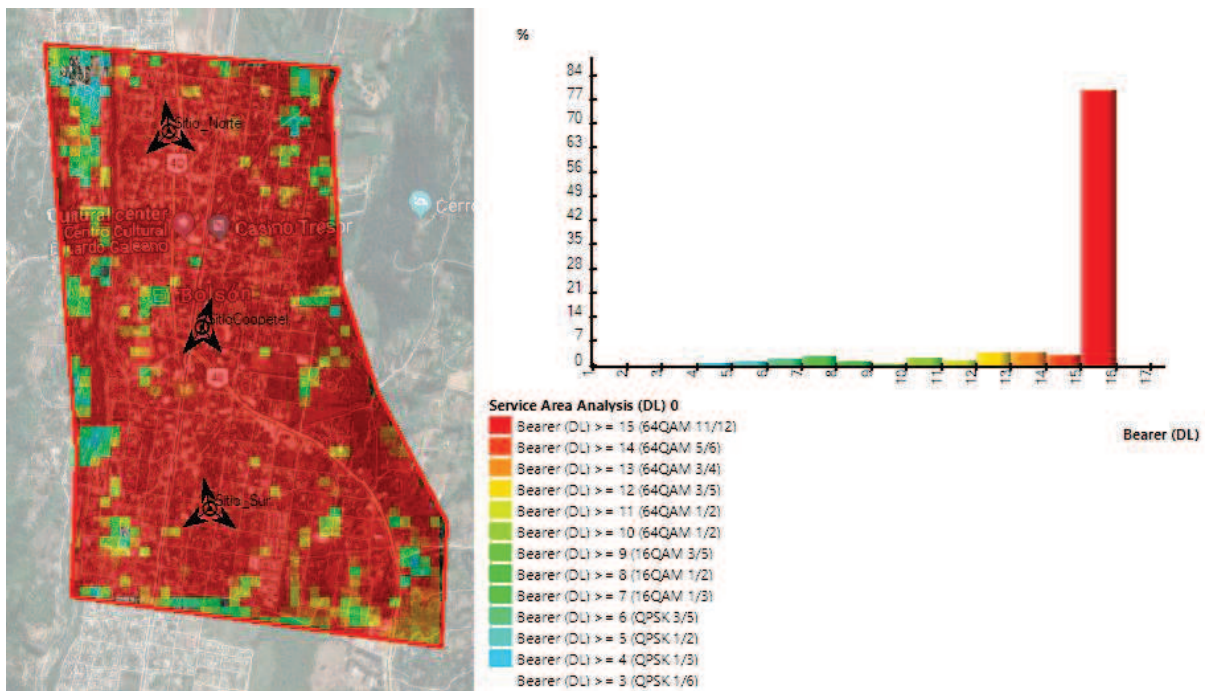


Figura N°40: Predicción servicios portadores disponibles para DL

En el resultado de esta predicción para el enlace descendente, en la figura N°40 observamos que en la mayor parte de área de servicio es posible utilizar modulaciones espectralmente más eficientes (y por ende menos robustas) que permiten alcanzar una mayor velocidad de descarga. Este resultado era esperable ya que se tiene una $C/(I+N)$ elevada en el canal PDSCH.

Para el enlace ascendente, la figura N°41 muestra, al igual que en el enlace descendente, la posibilidad de utilizar modulaciones espectralmente eficientes.

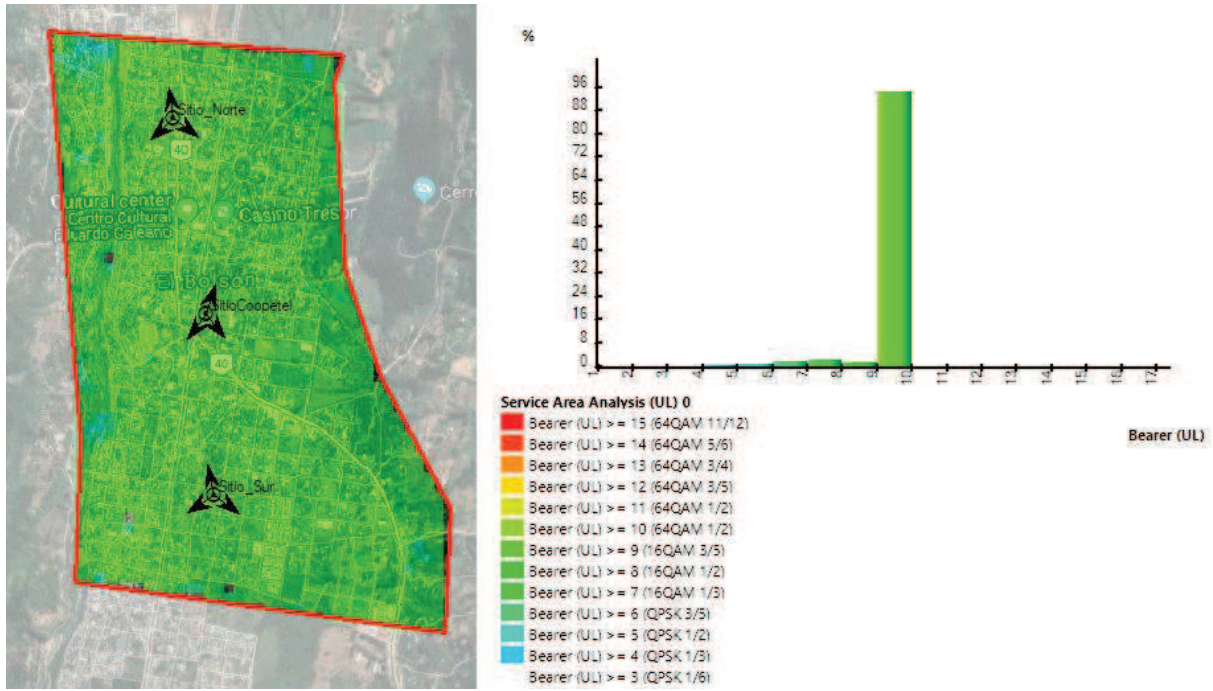


Figura N°41: Predicción servicios portadores disponibles para UL

Como finalización a esta serie de simulaciones, llevamos a cabo los análisis de throughput para ambos enlaces que muestra las velocidades máximas y mínimas que se pueden obtener en el área de servicio.

En la figura N°42 podemos observar que en el área de servicio se obtiene velocidades que van desde los 10Mbps a 50Mbps para el enlace de DL.

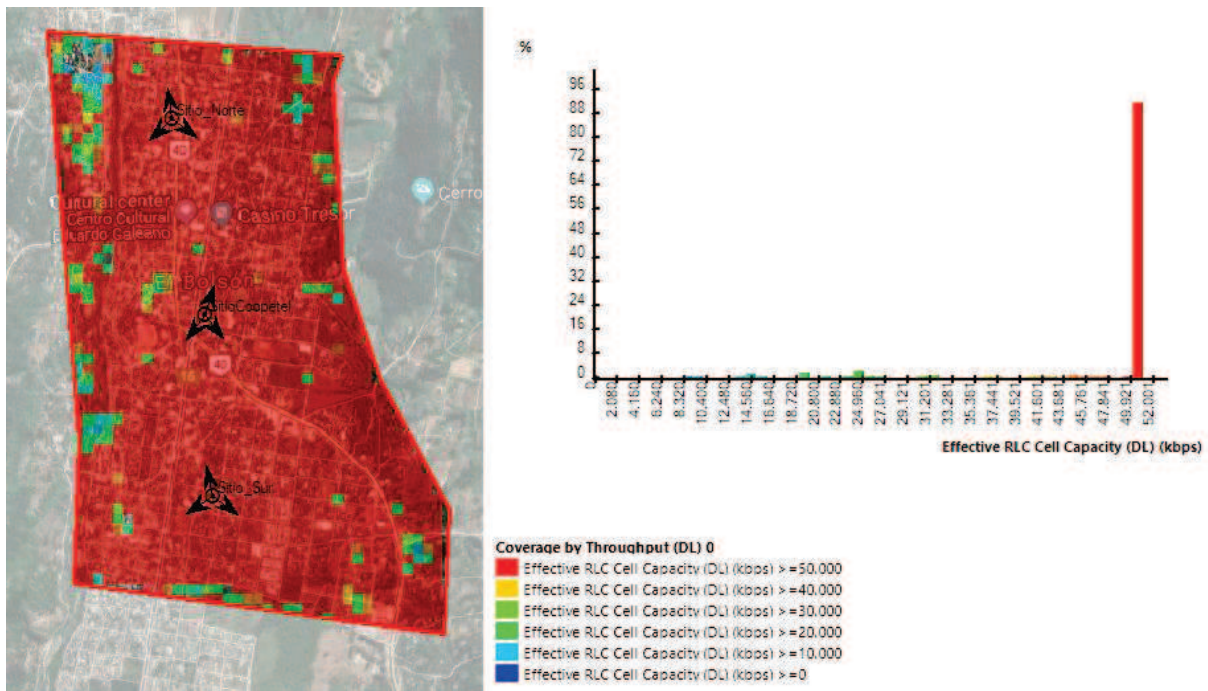


Figura N°42: Throughput DL.

La figura N°43 muestra el análisis del throughput para el enlace ascendente (UL), observamos que hay velocidades menores que en el enlace descendente como es de esperar ya que se trata de un servicio asimétrico. No obstante, cumple con los valores esperados.

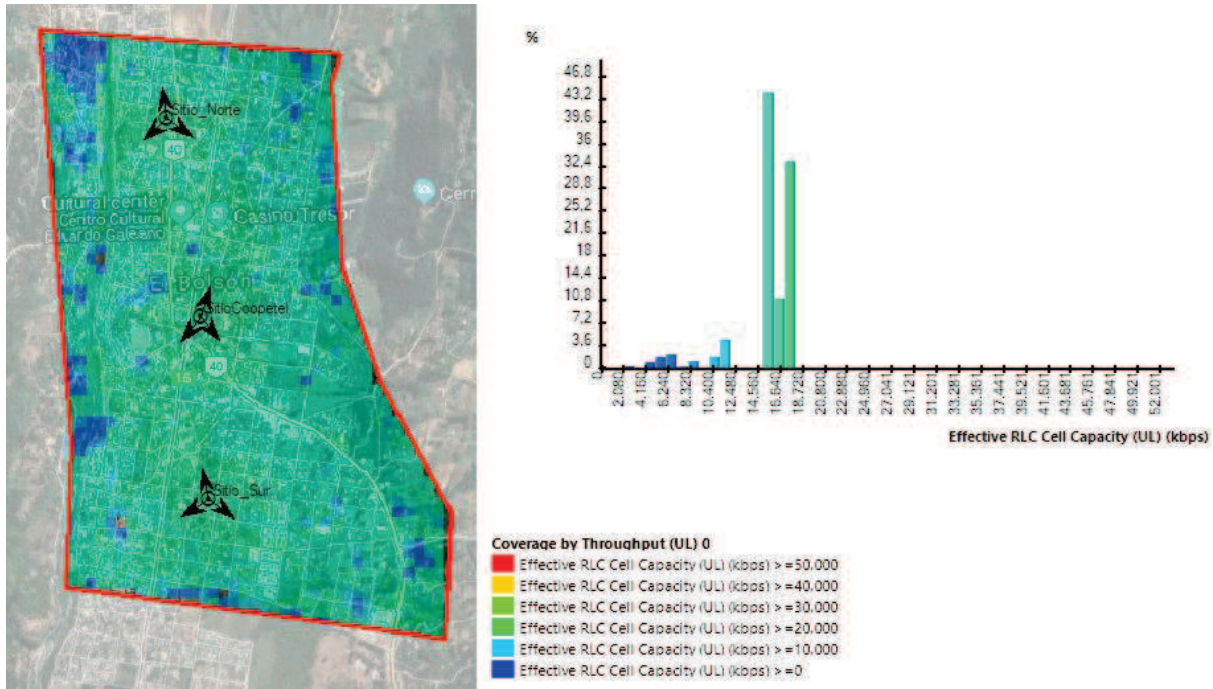


Figura N°43: Throughput UL.

Como corolario de esta serie de simulaciones y análisis concluimos que la red propuesta para realizar la actualización de la infraestructura de COOPETEL, luego de realizar algunos ajustes, cumple con los objetivos de cobertura propuestos.

Una vez realizadas las simulaciones de cobertura y capacidad debemos llevar a cabo el análisis de tráfico de la red.

Para ello primero calculamos la capacidad que necesitamos contratar a ARSAT, para dar servicio a los clientes. Como mostramos en el apartado 1.9.10 “Estimación de la demanda y factor de reventa”, el cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Capacidad = \frac{Throughput}{Overbooking} \times Usuarios \text{ (ec. N°10)}$$

Partimos de los dos planes que vamos a ofrecer, los cuales son de 25 Mbps y 15 Mbps, y escogemos un 10% de velocidad mínima asegurada para cada plan. Esto nos da como resultado que los usuarios de los planes de 25 Mbps y 15 Mbps tendrán una velocidad mínima de 2,5 Mbps y 1,5 Mbps respectivamente. Como factor de reventa seleccionamos el 8 ya que está en un rango aceptable. La ecuación N°10 nos queda de

la siguiente forma:

$$Capacidad = \frac{1,5 \text{ Mbps}}{8} \times 1120 + \frac{2,5 \text{ Mbps}}{8} \times 480 \quad (\text{ec. N}^\circ 10)$$

Como observamos cada término de la ecuación está multiplicado por la cantidad respectiva de usuarios definidos en el apartado 2.7 “Perfiles de Usuario” (1120 usuarios 15 Mbps y 480 usuarios 25 Mbps que nos da un total de 1600). El resultado final y la capacidad mínima que debemos contratar es la siguiente:

$$Capacidad = 360 \text{ Mbps}$$

Este resultado será cotejado con el resultado de las simulaciones de análisis de tráfico.

A continuación, realizamos el análisis de tráfico de la red que diseñamos. Como se mencionó en el apartado “Perfiles de usuarios”, hemos dividido el área de servicio en tres entornos: urbano, suburbano y rural, cada uno de ellos tiene una diferente densidad de usuarios y exigirán de diferente forma a la red.

En la figura N°44, observamos los diferentes entornos, en color azul el urbano, en verde el suburbano y rojo el rural. Los datos sobre la densidad de usuarios y su distribución fueron proporcionados por la cooperativa.

Para realizar las simulaciones de tráfico utilizamos el método de Montecarlo, el cual es un método estadístico numérico que sirve para aproximar expresiones matemáticas complejas. Atoll utiliza este algoritmo para generar la distribución de usuarios para cada simulación.

El primer análisis de tráfico que realizamos nos mostró que el Sitio Coopetel estaba sobrecargado por esto fue necesario reubicar los sitios Norte y Sur, instalándolos en puntos más cercanos al Sitio Coopetel, los nuevos puntos elegidos cumplieron con los requisitos enumerados anteriormente para su ubicación, luego realizamos los análisis nuevamente y comprobamos que la cobertura de los sitios no se vio modificada de manera sustancial.

Simulaciones	Demanda					Resultados				
	Usuarios	Active			Inacti- vos	Usua- rios	Active			Inactivos
		Downlink (DL)	Uplink (UL)	DL+ UL			Downlink (DL)	Uplink (UL)	DL+ UL	
50	688	267	328	92	1	676	260	324	91	12
		DL	UL			DL	UL			
Throughput		361,55 Mbps	52,72 Mbps			325,65 Mbps	22,12 Mbps			
Internet		361,47 Mbps	52,72 Mbps			325,58 Mbps	22,01 Mbps			
VoIP		73,19 kbps	109,8 kbps			73,2 kbps	109,8 kbps			

Tabla N°9: Demanda y Resultados.

Como resultado obtuvimos que se pudo brindar, con este modelo, servicio simultaneo a un total de 676 abonados, 260 en el enlace DL, 324 en el enlace de UL, 91 en ambos. Quedaron sin servicio 12 abonados.

La velocidad obtenida en el DL fue de 325,65 Mbps y en el UL de 22,12 Mbps.

En la tabla N°10 podemos ver un análisis detallado de cada sitio, en la segunda y tercera columna tenemos el throughput para DL y UL respectivamente, como se puede ver el sitio ubicado en COOPETEL es el que más demanda tiene, es de esperar ya que tiene una mayor concentración de abonados. Esto también se puede ver en la tabla.

Site	Throughput (DL) (kbps)	Throughput (UL) (kbps)	Connection Success Rate (%)	Number of connected users (UL)	Number of connected users (DL)	Number of connected users (UL+DL)	No. of Inactive Users	Total number of con- nected users	Peak RLC Cumulated Throughput High Speed Internet (DL) (kbps)	Peak RLC Cumulated Throughput High Speed Internet (UL)	Peak RLC Cumulated Throughput VoIP	Peak RLC Cumulated Throughput VoIP	No Service	Connection Success Rate High Speed In- -
Sitio_Coopetel	198.779	12.043,80	99,25	182	170	47	1	400	198.718	11.982,80	61,03	61,01	3	99,24
Sitio_Norte	77.842,10	5.920,58	97,05	82	55	28	0	165	77.829,90	5.883,97	12,2	36,61	5	97,01
Sitio_Sur	49.031,90	4.160,01	98,23	60	35	16	0	111	49.031,90	4.147,81	0	12,2	2	98,21

Tabla N°10: Análisis por sitio.

Transmisor	Traffic Load (DL) (%)	Traffic Load (UL) (%)	Connection Success Rate (%)	No. of connected users (UL)	No. of connected users (DL)	No. of connected users (UL+DL)	No. of Inactive Users	Number of connected users	Throughput Internet (DL) (kbps)	Throughput Internet (UL) (kbps)	Throughput VoIP (DL) (kbps)	Throughput VoIP (UL) (kbps)	No Service (%)
Sitio_Coopetel_1	82,11	29,73	100	73	62	12	1	148	65.282,42	4.439,63	24,41	12,2	0
Sitio_Coopetel_2	76,9	24,99	99,24	59	56	17	0	132	67.015,70	3.941,68	36,62	48,81	0,75
Sitio_Coopetel_3	78,09	23,76	98,36	50	52	18	0	120	66.419,81	3.601,47	0	0	1,64
Sitio_Norte_1	70,88	14,39	95,71	28	25	14	0	67	34.106,01	2.223,87	12,2	12,2	4,29
Sitio_Norte_2	43,81	7,67	95,23	18	16	6	0	40	21.947,61	1.275,47	0	12,2	4,76
Sitio_Norte_3	43,81	14,26	100	36	14	8	0	58	21.776,22	2.384,62	0	12,2	0
Sitio_Sur_1	21,47	8,23	100	19	13	6	0	38	18.784,93	1.375,06	0	0	0
Sitio_Sur_2	18,33	13,2	98,03	32	10	8	0	50	16.182,10	2.162,74	0	12,2	1,96
Sitio_Sur_3	16,25	3,87	95,83	9	12	2	0	23	14.064,91	610	0	0	4,17

Tabla N°11: Análisis por transmisor.

En la tabla N°11, podemos apreciar el porcentaje de carga de tráfico de cada transmisor para los enlaces DL y UL, estos no llegan a superar el 85 % (recordemos que el análisis se hizo cargando la red al 100%), este indicador nos permite verificar que la red no tendrá sobrecargas en momentos críticos.

Con respecto a los usuarios que no se pudieron conectar a la red por falta de servicio, vemos que están ubicados en zonas alejadas de los sitios donde el análisis de cobertura dio que la señal llegaba de forma debilitada, este inconveniente se solucionará elevando la antena que posee el CPE.

Como conclusión de este apartado obtenemos que la red que hemos diseñado luego de corregir aspectos técnicos y de planificación cumple con los objetivos propuestos y se puede llevar a cabo su implementación.

A continuación, expondremos el diseño final donde detallaremos los equipos a utilizar y el despliegue a realizar.

2.10. Diseño de la red.

Luego de realizar las evaluaciones de cobertura, capacidad y tráfico a nuestra red, procedimos a realizar el diseño final. Para cumplir con los requisitos de cobertura y capacidad se instalarán tres sitios y además un HUB o Nodo central donde funcionará la red troncal también denominada EPC.

Al momento de realizar el diseño tuvimos en cuenta el despliegue previo en infraestructura con la que cuenta la cooperativa, ya que está posee los emplazamientos necesarios para montar los equipos.

El primero de los sitios denominado “Sitio COOPETEL”, estará situado en la sede de la cooperativa, ya que esta cuenta con una torre de 35 metros de altura donde están montadas las antenas de las diferentes compañías de telefonía móvil que dan servicio en la ciudad. Esta estructura posee los diferentes sistemas de sujeción para el sistema radiante, los cables de comunicación y de alimentación. En la torre se montarán 3 antenas con sus respectivos RRU.

El segundo sitio llamado “Sitio Norte” será instalado en una plazoleta en la intersección de las calles Azcuénaga y Av. San Martín. Allí se montará un poste similar al de una luminaria de 12 metros de altura donde se instalarán las 3 antenas y los RRU correspondientes. En la base se montará un gabinete donde ingresará la alimentación de la red de distribución que luego por medio de rectificadores es convertida a -48VCC para ser suministrada a los equipos de radio. Las alturas de las antenas y el tipo de poste los hemos seleccionados con el fin de que estos no afecten el entorno y la visual de la ciudad.

El último sitio denominado “Sitio Sur”, se ubicará en una plaza ubicada en la calle Lavalle entre Gutiérrez e Int. Granollers, la instalación será similar a la del “Sitio norte”.

La disposición de cada antena será calibrada con los valores de tilt y azimut que fueron obtenidos de las simulaciones previas. En la figura N°45, observamos el modelo de estación base que se instalarán en los sitios “Norte” y “Sur”, este tipo de disposición permite una instalación más rápida y es apta para la zona



Figura N°45: Estaciones base “Norte” y “Sur”.

Los tres sitios se conectarán al HUB central por medio de fibra óptica, cada sitio utilizará dos pares de fibras por cada RRU (uno para transmisión y otro para recepción), esto implica que cada sitio utilizará un total seis pelos de fibra. El tendido desde los sitios “Norte” y “Sur” se hará de forma soterrada, si bien esto presupone que demandará mayores tiempos en la instalación, al no tratarse de largas distancias se asegura la protección de la fibra en su recorrido hasta el hub central. Calculamos que se utilizarán 1000 metros de fibra para llevar a cabo la instalación, en la figura N°46 se puede observar (en naranja) el tendido de los sitios hacia el HUB central.

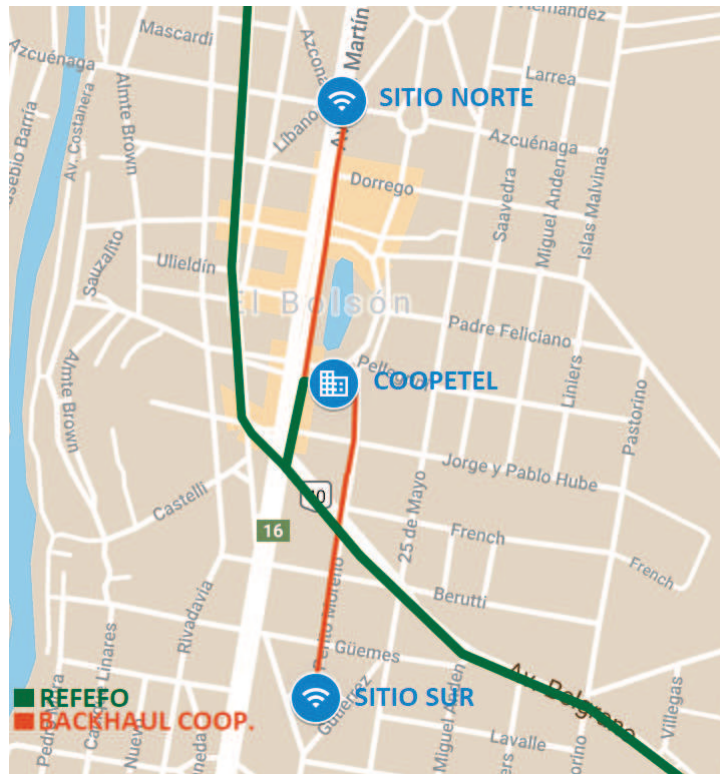


Figura N°46: Tendido de la fibra óptica.

Además de las antenas y los RRU, los sitios poseen otro componente que es el BBU (como se vio en capítulos anteriores). Para nuestro diseño se optó por emplazar un BBU en el HUB central, donde los sitios se conectarán por medio de las fibras ópticas antes mencionadas. Esta topología que consiste en unir los sitios al nodo central se denomina estrella la cual ofrece un mantenimiento, ingeniería y capacidad mayores ya que la transmisión de datos es directa y se ejecuta entre el sitio y el HUB central. Al reducir el número de nodos por los que viajan las señales, se eleva la confiabilidad de la transmisión.

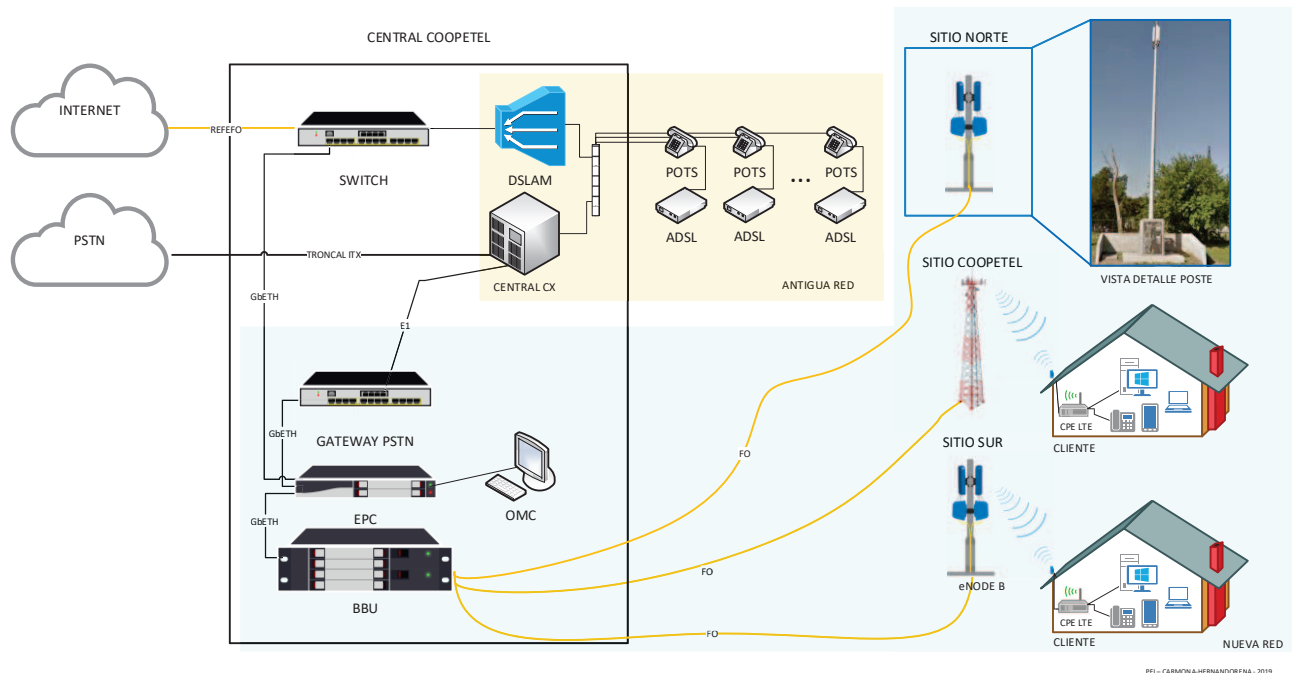


Figura N°47: Diseño final de la red.

La figura N°47, nos muestra el diseño de la red donde se observan los tres sitios que serán instalados, y su conexión por medio de la fibra óptica a la BBU alojado en el HUB central.

La BBU se conecta por medio de una interfaz Gigabit Ethernet (GbE) a la red troncal, también denominada Envolved Packet Core (EPC). En esta unidad están las diferentes entidades que conforman la red que se mencionaron en capítulos anteriores.

La EPC se conecta por medio de una interfaz GbE a un gateway (denominado PSTN) donde a través de 4 tramas E1 se une a la central de conmutación, con la que cuenta la cooperativa (central CX), para que se puedan cursar las llamadas de la nueva red a la red de telefonía pública conmutada (PSTN) por medio del troncal TX. Esto también permite la convivencia entre las dos redes, ya que en la nueva red las llamadas serán IP y en la antigua red son de conmutación de circuitos.

Para que la red se comunique a través de Internet, la EPC se conecta a la red de backbone por medio de un Gateway (llamado IP) utilizando una interface GbE. Este Gateway se conecta con la REFEFO a través de fibra óptica. En la figura N°46 se puede observar el tendido de la REFEFO por la ciudad, la conexión entre el nodo de la red de Arsat y el HUB central se realizará de forma soterrada. El gateway IP también se conecta al DSLAM que se encarga de suministrar servicio de Internet ADSL a la antigua red. De esta forma el servicio de Internet de las dos redes es suministrado por Arsat, para ello se contratará un abono de 400 Mbps los cuales

cubren la demanda de la nueva red y de la existente.

Se dispondrá de una estación de trabajo para realizar las tareas de puesta en marcha de la red y las de operación y mantenimiento.

Como último elemento en la nueva red tenemos los dispositivos de los clientes (CPE) que como explicamos en apartados anteriores serán inalámbricos pudiendo acoplar una antena interna o externa para aumentar la intensidad de señal en el caso de que esta sea débil. Este dispositivo cuenta con la posibilidad de configurar una red wifi, también posee puertos ethernet y un puerto para la conexión de un teléfono tradicional.

Es importante destacar que cada equipo en los sitios dispondrá de una UPS para mantener la alimentación de estos en caso de cortes imprevistos en el suministro eléctrico.

La sala de equipos en el HUB central estará equipada con racks donde se montarán los gateway IP y PSTN, también la BBU y la EPC. Estos equipos estarán refrigerados adecuadamente para asegurar su buen funcionamiento. El piso de la sala será del tipo técnico para poder realizar debajo el cableado entre los equipos. Además, deberá contar con suministro constante de energía eléctrica con el fin de evitar la interrupción del servicio.

En este capítulo se llevó a cabo el proyecto, una vez seleccionados los parámetros de la red de acuerdo con requisitos propuestos se prosiguió a realizar las simulaciones de cobertura y capacidad de esta. Se partió de un diseño que fue cambiando a medida que surgieron inconvenientes para llegar a un diseño final que fue explicado con mayor detalle. En el siguiente capítulo se realizará una selección de equipos, para luego llevar a cabo los cálculos económicos. y por último se detallarán puntos para tener en cuenta para la operación y mantenimiento de la red.

3. Selección de equipos y evaluación económica.

Conforme a las necesidades evaluadas en el capítulo anterior, y haciendo foco en los principales recursos, en este capítulo abordaremos la selección de equipamiento necesario para la construcción de la red y la evaluación económica de la solución propuesta.

3.1. Evaluación del equipamiento.

Los equipos a evaluar en este apartado son los elementales para el funcionamiento de la red. Los mismos forman parte de la red central, fueron mencionados en el capítulo 1, y a continuación analizaremos las características que deben cumplir y necesidades que deben satisfacer.

En el capítulo 2, “Proyecto”, seleccionamos diferentes parámetros que deben cumplir los equipos que utilizamos en el diseño de la red: La frecuencia en la cual deben trabajar los equipos es 3.5GHz, el ancho de banda de canal es de 20MHz, el tipo de duplexado es TDD, y para asegurar la interoperabilidad entre estos equipos y los existentes en la cooperativa se dispone que deben ser alimentados con -48 VCC.

En las tablas de análisis resaltamos las características adicionales a las comentadas anteriormente que requerimos en cada caso. Así como también su relevancia presentada en porcentaje. Dentro de cada cuadro se muestran tres diferentes alternativas que reúnen las especificaciones y se le asigna un puntaje sobre un total de 5. El producto elegido será aquel que obtenga la mejor calificación dentro de las características de mayor relevancia, lo cual se muestra en la última fila de cada tabla.

- Solución de BBU (Base Band Unit), EPC (Envolved Packet Core) y nueve RRU's (Radio Remote Unit): Junto con las antenas estos tres equipos son los encargados de la difusión inalámbrica. Para estos equipos decidimos optar por una solución integral ofrecida por los fabricantes, ya que permite una mayor integración. Entre las principales especificaciones las de más relevancia son la económica, la capacidad de aceptar varias RRU, el servicio postventa:

ESPECIFICACIONES	Relevancia	ZTE	Huawei	Ericsson
1 – Capacidad de aceptar varias RRU	20%	3/5	5/5	3/5
2 – Solución de BBU centralizado	30%	5/5	5/5	4/5
3 – Capacidad de múltiples frecuencias.	15%	3/5	5/5	2/5
4 – Soporte para VoIP	10%	5/5	4/5	5/5
5 – Precio	10%	4/5	5/5	3/5
6 – Servicio postventa	15%	4/5	4/5	5/5
		81%	97%	73%

Tabla N°12: Análisis de la solución de BBU, EPC, y RRU.

Como podemos observar en la Tabla N° 12 todas las opciones evaluadas presentan capacidad de aceptar varias RRU en sus productos, pero la solución ofrecida por Huawei ofrece la posibilidad de colocar hasta 12 RRU por BBU, mientras que la solución de ZTE y Ericsson en similares características requieren de más de un BBU para aceptar la misma configuración de RRU. En nuestro proyecto solo se requiere de 9 RRU, pero la capacidad de ampliación a futuro es importante en proyectos de este tipo. En todos los casos el BBU es del tipo centralizado, es decir no se requiere de un BBU por sitio, sino que presenta la ventaja de poder instalar un único BBU en el nodo central y administrar los RRU de los sitios remotos. Si bien para nuestro proyecto requerimos de un manejo sobre la banda de frecuencia de 3.5Ghz la versatilidad al momento de poder elegir la frecuencia a utilizar es un adicional importante a considerar, ya que otorga escalabilidad, por esto es que la opción de Huawei presenta una ventaja por sobre ZTE y Ericsson al permitir el manejo de varias bandas (400, 800Mhz, 1.4, 1.8, 2.3, 2.6, 3.5, 3.7, 5.8GHz), mientras que las otras opciones evaluadas permiten el manejo sobre dos o tres bandas como máximo. El soporte para VoIP es un requisito necesario para el desarrollo del presente proyecto, en todos los casos las opciones de las empresas ZTE, Huawei y Ericsson cuentan con este. Con un precio menor, la solución de la compañía Huawei se presenta como la opción más accesible, desde este punto de vista, frente a sus competidores. Al evaluar el servicio postventa todas las compañías mencionadas (Ericsson, Huawei y ZTE) poseen oficinas en Argentina y brindan soporte desde las mismas, pero al evaluar el tiempo medio de reparación y la disponibilidad el equipo de Ericsson sobresale entre sus competidores. En el caso del servicio postventa el tiempo de garantía es de 24 meses con posibilidad de extenderlo en todas las opciones evaluadas. Por lo mencionado, en suma, la solución más acorde a nuestros requerimientos es el de la empresa Huawei (Figura N°48).



Figura N°48: Solución integrada de la empresa Huawei.

- Antenas: requerimos de nueve antenas en total, tres por cada sitio, el modelo de antena a seleccionar debe cumplir con las características esenciales descritas anteriormente. Como adicionales, en orden de relevancia, son que posea una ganancia de 15 dBi, el costo de estas y el grado de protección IP (estándar desarrollado para calificar equipamientos en función del nivel de protección que sus materiales contenedores le proporcionan contra la entrada de materiales extraños):

ESPECIFICACIONES	Relevancia	ARC Wireless Solution	Nanhai Microwave	KP Performance
1 - Ganancia ≥ 15 dBi	40%	3/5	3/5	4/5
2 - Grado de protección IP	20%	5/5	1/5	4/5
3 - Peso ≤ 6 kg	5%	5/5	4/5	3/5
4 - Precio	30%	3/5	5/5	4/5
5 - Tiempo de garantía	5%	5/5	2/5	5/5
		72%	64%	80%

Tabla N°13: Análisis de las antenas.

Para este dispositivo, de las 3 marcas que seleccionamos, tenemos que en cuanto a ganancia el que supera con 15.5 dBi es la de la compañía KP Performance contra los 15 dBi de sus competidores. Evaluando el precio de las antenas la empresa con el mejor precio es Nanhai Microwave, seguido por KP Performance y luego ARC Wireless Solution. En cuanto al grado de protección IP, la antena de ARC Wireless Solution provee un grado IP 65 (que protege fuertemente contra el polvo y chorros de agua), la de KP Performance es de grado 55 (la protección contra polvos es menor que su competidor y protege en igual magnitud contra el agua), y Nanhai Microwave no posee información al respecto. Valorando el peso ARC, Nanhai y KP tienen un

peso por antena de 3.6 kg, 4kg y 5kg respectivamente. El tiempo de garantía ofrecido es de 24 meses en KP y ARC y de 12 meses en Nanhai. Por lo expuesto KP performance (Figura N° 49) es la antena seleccionada.



Figura N°49: Antena KP-3DP120S-45 de KP Performance.

- CPE (Customer Premises Equipment): En la Tabla N°14 presentamos tres CPEs de diferentes vendedores: Huawei, iStartek y BeeTelco; como parámetro de más relevancia ponemos el precio del producto ya que es un gran volumen (2000 unidades) que debemos adquirir del mismo, seguido por la posibilidad de contar con Telefonía sobre IP (ToIP) y luego es deseable que cuente con WiFi y mientras más normas acepte del estándar mejor calificación se le otorgará. Como especificaciones de menos relevancia se ubican contar con conector para antenas externas y el tiempo de garantía:

ESPECIFICACIONES	Relevancia	Huawei B612 Cat 6 LTE	iStartek Cat 4 LTE	BeeTelco Cat 6 LTE
1 – Normas WIFI incluidas	15%	5/5	4/5	5/5
2 – Tiempo de garantía	5%	2/5	3/5	2/5
3 – Soporta ToIP	20%	5/5	4/5	4/5
4 – Precio	50%	3/5	5/5	3/5
5 – Posee conector de antena externa	10%	1/5	5/5	1/5
		69%	91%	65%

Tabla N°14: Análisis del CPE.

El CPE de la compañía iStartek es el que posee el precio más bajo respecto de sus competidores. Los tres cuentan con la posibilidad de brindar ToIP, pero el de la empresa Huawei tiene características como 2 puertos para telefonía (los de la competencia poseen solo 1) y opciones para VoLTE. Si bien esta última no es requisito imprescindible para el proyecto resalta por sobre sus competidores. En cuanto al WiFi los modelos de Huawei y Beetelco son los que presentan mayor compatibilidad de normas. Por último, al momento de evaluar la cantidad de meses de garantía el de

iStartek ofrece 24 meses, contra los 12 meses de sus competidores. Por el puntaje asignado en cada caso, y siendo en esta oportunidad la característica de mayor relevancia el precio, el dispositivo que mejor cumple los requerimientos es el CPE de la compañía iStartek.



Figura N°50: CPE iStartek indoor cat4 LTE WiFi.

- Switch: Es el dispositivo que usaremos para la interconexión con la REFEOF. El modelo que seleccionaremos deberá contar con puertos para conexión de fibra óptica, capacidad de gigabit ethernet como características obligatorias, posibilidad de manejo a nivel IP, es decir que presente características de ruteo. Además, en la tabla N°15 se muestran otras especificaciones que buscamos en el equipamiento:

ESPECIFICACIONES	Relevancia	Cisco	Huawei	Fortinet
1 - Cantidad de puertos	20%	5/5	5/5	5/5
2 - Precio	20%	5/5	4/5	4/5
3 - Servicio postventa	10%	5/5	5/5	5/5
4 - Puertos Gigabit-Ethernet	30%	4/5	5/5	3/5
5 - Características de ruteo	20%	5/5	5/5	3/5
		94%	96%	76%

Tabla N°15: Análisis del Switch

Respecto al switch, una de las características más importante es la posibilidad de contar con varios puertos y en particular que estos sean Gigabit Ethernet lo que permite trabajar con un mayor ancho de banda; en el mercado existen dos alternativas en este tipo de puertos: eléctricos u ópticos. Todos los productos que evaluamos contaban con un mínimo de 24 puertos del tipo Fast Ethernet, y algunos en Gigabit Ethernet ópticos, el equipo de Huawei era el que más puertos de este tipo poseía con 4 unidades del tipo óptico y 2 más configurables del tipo eléctrico. Otra característica importante es la configuración en capa 3, es decir la posibilidad de ruteo, tanto Cisco como Huawei aceptan gran cantidad de protocolos, en ruteo IPv4 soporta ruteo

estático (RIP v1, RIP v2, y ECMP) y OSPF, IS-IS, y BGP y en ruteo IPv6 soporta ruteo estatico, RIPng, y OSPF v3; no es así en el dispositivo de la compañía Fortinet (donde sobresalen las características de seguridad por sobre las de ruteo). En cuanto al servicio postventa la mejora respecto a sus competidores la obtiene Cisco por la trayectoria en el mercado, material disponible online, servicio de capacitaciones, evaluaciones y soporte. El tiempo de garantía es el mismo, 12 meses, en los tres equipos mencionados. En cuanto al precio, donde el equipo de la empresa Huawei es el más económico. En resumen, el equipo seleccionado por sus prestaciones técnicas es el de la empresa Huawei (Figura N°51).



Figura N°51: Switch Huawei S3328TP-EI-24S

- Gateway IP – PSTN: este equipo de cumplir con dos requisitos principales, soportar un tráfico superior de 170 Erlang y capacidad superior a 6 tramas E1:

ESPECIFICACIONES	Relevancia	Mediatrix G7	Audiocodes Mediant 1000B	Smartmedia Patton SN10100
1 – Trafico superior a 170E	20%	4/5	4/5	5/5
2 – Capacidad superior a 4 tramas	10%	3/5	3/5	5/5
3 – Tiempo de garantía	25%	5/5	3/5	3/5
4 – Posee soporte técnico en el país	20%	4/5	5/5	2/5
6 - Precio	20%	5/5	2/5	3/5
7 – Servicio postventa	5%	4/5	5/5	3/5
		87%	70%	68%

Tabla N°16: Análisis del Gateway IP-PSTN

En este último análisis de la Tabla N°16 vemos que en orden de relevancia se encuentra en primer lugar la posibilidad de contar con garantía y el precio del gateway. El Gateway Mediatrix G7 es el equipamiento que mejor cumple estos requisitos, posee una garantía de 3 años y un precio por debajo del de sus competidores. Si bien no tiene soporte técnico dentro del país, como en el caso de Audiocodes, ofrece ventas y soporte técnico desde Chile y Brasil para Latinoamérica. Es escalable en comparación al Audiocodes, pero no en la magnitud que lo es el equipo de Smartmedia. Igualmente, en suma, el Mediatrix (Figura N°52) es un equipo que se adapta a las necesidades que

buscamos.



Figura N°52: Gateway Mediatrix G7 series.

Hasta el momento evaluamos los equipos principales del proyecto, es decir los que son esenciales, pero debemos mencionar los dispositivos y accesorios adicionales, que, si bien no requieren un análisis importante por su bajo costo, son necesarios para cumplimentar el proyecto en su totalidad. Estos son: fuentes de -48VDC que servirán en cada sitio para la conversión de los 220 VAC a los -48VDC necesarios para la alimentación de los dispositivos. UPS de 10 KVA necesarias en caso de cortes de energía. Shelters para los postes, es decir, gabinetes que se ubicarán en la parte inferior de los postes y que albergarán las fuentes, UPS y bandeja de conexiones de la FO. Antenas Outdoor para los CPE, estas las instalaremos donde la cobertura es más débil. Por último, en la lista de materiales vamos a requerir de fibra óptica monomodo por 12 pelos para soterrar, conectores LC-PC y SC-PC para la vinculación con los equipos en el nodo central y los RRUs respectivamente y bandejas para la correcta terminación de la fibra óptica en cada extremo.

Con el análisis presentado pudimos obtener las opciones que mejor se adaptan a nuestros requerimientos y definir los equipos a comprar. El mismo nos será de utilidad en el próximo apartado para considerar la inversión a realizar en materia de equipamiento.

3.2. Economía del proyecto.

El presente desarrollo tiene por finalidad estudiar la viabilidad económica del proyecto. En este plan tomamos como referencia el dólar estadounidense y evaluamos el proyecto mes a mes, en un plazo de dos años. A fin de resumir el mismo solo son presentados en la Figura N°53 las columnas año 1 y 2. Para este análisis es necesario contar con una serie de parámetros, estos se dividen en cuatro partes principales, que

también se muestran en las columnas de la figura mencionada anteriormente, y que se describen a continuación:

- **Ingresos:** como su nombre lo indica en este ítem consideramos los dos planes de servicios a brindar de 15M y 25M, es decir el abono que se cobrará a cada suscriptor, a estos planes le fijamos un abono de u\$s 30 y u\$s 35 respectivamente. Los valores responden a los actuales del mercado para esa zona y consideramos que en El Bolsón la cooperativa es el único proveedor actual de Internet. La estimación, como se explicó anteriormente, es de 1120 abonados de 15M y de 480 abonados que solicitarán el servicio de 25M. Prevemos una instalación de 6 enlaces por día, 4 de 15M y 2 de 25M, lo que nos deja un promedio de 120 servicios instalados al mes. Con esto obtenemos un monto anual de ingresos brutos para el primer año de u\$s 187.200 para los abonos de 15M y u\$s 109.200 para los abonos de 25M. En suma, u\$s 296.400 para el primer año. En el mes dos del segundo año alcanzamos el total de los 1600 usuarios, a partir de ese momento para el escenario evaluado mantenemos la cantidad de abonados hasta el cierre del año con un total anual de u\$s 602.400.
- **Costos:** en este punto consideramos los gastos producto de impuestos y pago a terceros. En el primer caso tomamos en cuenta las tasas que descontaremos a los ingresos producidos: 4.9% en alícuota para ingresos brutos (corresponde a las actividades autónomas, actos u operaciones, que consiste en la aplicación de un porcentaje sobre la facturación de un negocio independientemente de su ganancia, es de aplicación provincial), 0.64% en tasas municipales (impuesto mensual a pagar a la municipalidad de El Bolsón), 0.60% en impuesto a las transacciones financieras y 0.50% es la tasa a Enacom (todo prestador de servicios de telecomunicaciones está obligado al pago de la Tasa de Control Fiscalización y Verificación, sobre el total de ingresos que se obtengan por los servicios prestados). En segundo lugar, encontramos los costos generados por uso o pago de enlaces a terceros, en este caso contemplamos el pago del abono por el enlace mayorista al prestador Arsat, el mismo tiene un costo de u\$s 14 por Mega, en el proyecto contemplamos una capacidad a contratar de 400 Megas, esta la dividimos en dos etapas, los primeros 6 meses contrataremos una capacidad de 200M lo que generará un costo de u\$s 16.800 para luego aumentar la capacidad a 400M, lo que nos dará un costo total anual de u\$s 50.400 en el primer año, y de u\$s 67.200 para el segundo periodo. También consideramos los gastos de energía eléctrica por un consumo mensual de 500 KWh/mes, lo que genera un costo mensual u\$s 80. Luego consideramos la locación de los 2 postes en dos predios municipales, con un costo por unidad de u\$s 150, en total u\$s 300. Además, como comentábamos anteriormente

prevedemos seis servicios instalados por día, con un costo por servicio instalado de u\$s 20, cargo de dos empleados técnicos y materiales para la instalación, lo que al mes suma u\$s 2.400 y anualmente u\$s 28.800. Por último, evaluamos los costos de facturación y cobranza (con un 2.4% sobre los ingresos generados) y un cargo por incobrabilidad del 1.11%. Todo lo descripto anteriormente genera un costo anual de u\$s 113.772 en el primer año y de u\$s 161.556 para el segundo. Cuando al ingreso le sustraemos los costos de origen, tenemos una variable llamada EBIT (Earnings Before Interest and Taxes), que es un indicador del resultado de explotación de la empresa sin tener en cuenta los intereses y costos financieros, esto nos da un saldo a favor de u\$s 182.628 un 62% del total de los ingresos anuales. En caso de considerar amortizaciones surge el EBITDA (Earnings before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization), indicador financiero que hace referencia a las ganancias antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones. Para el caso de estudio no contemplamos amortizaciones por tanto el EBITDA será igual al EBIT. Finalmente descontando la tasa de impuesto a las ganancias (del 35% sobre el EBIT) nos queda un monto anual de u\$s 117.448 para el primer año, que representa un 40% sobre los ingresos (para el segundo año el monto anual es de u\$s 285.289, 47% de los ingresos generados).

- Inversiones: valiéndonos de lo evaluado en el apartado anterior (“evaluación de equipamiento”) desarrollamos el cuadro de inversiones, que son los dispositivos y equipamientos con los que necesitamos contar para desarrollar la red propuesta. Observaremos en el mismo que la inversión está contemplada al inicio del proyecto, mes 0, por lo que solo estará presente en el año 1. Para el segundo año no se contemplan inversiones. Estas son: Los CPE a instalar en casa de cliente, con una cantidad de 1.800 unidades a un precio por unidad de u\$s 75, nos da un total de u\$s 135.000. Luego tenemos el conjunto BBU, RRU y EPC de la solución ofrecida por la compañía Huawei, en este caso solo requerimos de una unidad, el costo del mismo es de u\$s 60.000. Seguidamente encontramos el gateway PSTN, del cual también requerimos solamente una unidad, el precio que tienen el mismo en la compañía Mediatrix es de u\$s 5.913. Para el switch de la empresa Huawei es costo es de u\$s 2.000. Las fuentes de -48 VDC que serán usadas en cada uno de los tres sitios tienen un costo de u\$s 800, en total u\$s 2.400. Las UPS que también se utilizarán en cada uno de los sitios valen u\$s 600 cada una, u\$s 1.800 por el total. Las 9 antenas que requerimos, 3 por cada sitio, tienen un costo de u\$s 3.150 en total. Como comentamos en la parte inferior de cada poste se ubicará un shelter, estos tienen un valor por unidad de u\$s 230, lo que da un costo total de u\$s 460. Luego tenemos las antenas outdoor para los CPE, como se comentó anteriormente se utilizarán en los casos donde la cobertura es más débil, según

lo contemplado en el proyecto hay 225 suscriptores que se encuentran en ese rango, el valor por unidad de cada antena es de u\$s 6, en total u\$s 1.350. También tuvimos en cuenta los cables de FO y materiales para la vinculación y fusión de esta, estos en total suman u\$s 2.000. Por último, en el ítem postes y elementos de sujeción, consideramos dos postes, para los sitios Norte y Sur, de u\$s 500 cada uno, con una instalación evaluada por los dos postes de u\$s 500, los elementos de sujeción de las antenas en los tres sitios y las horas hombre (2 personas trabajando tres días en altura, 8 horas por día, con un valor por hora de u\$s 15) para la instalación de las antenas en los postes; todo esto suma un total de u\$s 1.940. Todos estos dispositivos y materiales nos dan un costo de inversión de u\$s 216.073.

- Flujos de Fondos: casi sobre el final podemos observar el cuadro de los flujos de fondos. En la primera fila se presenta el flujo de fondos anual, es el resultado de descontar los costos, las inversiones y el impuesto a las ganancias. Luego mostramos el flujo de fondos anual descontado, que utilizamos para valorar el proyecto al inicio, determinando el valor actual de los flujos de fondos futuros descontándolos a una tasa (anual 10.5%, en dólares) que refleja el coste de capital al inicio. Esto es necesario porque los flujos de fondos en diversos períodos no pueden ser comparados directamente puesto que no es lo mismo contar con una cantidad de dinero traído a hoy, que en el futuro. Es decir, los flujos de mensuales traídos al presente. Por último, en la tercera fila del recuadro, tenemos el acumulado, que es el la sumatoria de, ir descontándole al monto total invertido el beneficio neto de cada mes.

Podemos ver también sobre la columna final de la Figura N°53 el total de los importes de los 2 años evaluados.

Finalmente presentamos un cuadro de resumen el cual contiene cuatro parámetros:

- VAN (valor actual neto) que permite evaluar el valor presente del proyecto. La metodología consiste en descontar al momento actual (mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros o en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera el proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Este valor para el proyecto es de u\$s 142.018.
- El repago nos dice a partir de qué mes el flujo de fondos descontado acumulado comienza a ser positivo, es decir cuantos meses tardamos en recuperar la inversión realizada, para el caso son 17 meses. A modo gráfico esta variable se presenta la Figura N°54.

- La máxima exposición que el máximo valor negativo acumulado del flujo de fondos. El proyecto requiere una inversión inicial para ponerlo en funcionamiento. Sumado a esto, los primeros meses se produce un flujo negativo, ya que el volumen de ventas todavía no llega a cubrir los costos fijos. Para el caso en este ítem es la inversión inicial del proyecto: u\$s 217.225.
- La TIR (tasa interna de retorno), la rentabilidad del proyecto luego del impuesto a las ganancias, en porcentaje, el beneficio neto que obtendremos de nuestro proyecto es del 46%.

EVALUACION ECONOMICA			
COOPETEL			
	Año 1	Año 2	TOTAL
INGRESOS SUJ A IMP			
ABONOS INTERNET 15M	187.200	400.800	588.000
ABONOS INTERNET 25M	109.200	201.600	310.800
TOTAL INGRESOS	296.400	602.400	898.800
IMPUESTOS VARIOS			
Ingresos Brutos	-14.524	-29.518	-44.041
Tasas Municipales	-1.897	-3.855	-5.752
Impuesto Transacciones Financieras	-1.778	-3.614	-5.393
Tasa Enacom	-1.409	-2.864	-4.274
USO O PAGO RECURSOS TERCEROS	-54.960	-71.760	-126.720
Enlace ARSAT	-50.400	-67.200	-117.600
Energía eléctrica	-960	-960	-1.920
Locacion Postes	-3.600	-3.600	-7.200
INSTALACIONES Y MANTENIMIENTOS	-28.800	-28.800	-57.600
Mantenimiento e instalación CPE	-28.800	-28.800	-57.600
FACTURACION Y COBRANZA	-7.114	-14.458	-21.571
INCOBRABLES	-3.290	-6.687	-9.977
COSTOS VARIABLES	-113.772	-161.556	-275.328
EBITDA	182.628	440.844	623.472
	62%	73%	69%
INVERSIONES			
CPE	135.000	0	135.000
BBU - RRU - EPC	60.000	0	60.000
GATEWAY PSTN	5.913	0	5.913
SWITCH	2.000	0	2.000
FUENTE -48VDC	2.400	0	2.400
UPS	1.800	0	1.800
ANTENAS	3.150	0	3.150
SHELTERS P/ POSTES	460	0	460
ANTENAS OUTDOOR PARA CPE	1.350	0	1.350
CABLES DE FO y OTROS	2.000	0	2.000
POSTES y ELEMENTOS DE SUJECION	1.940	0	1.940
EBIT	182.628	440.844	623.472
	62%	73%	69%
IMPUESTO A LAS GANANCIAS	-65.180	-155.555	-220.735
RESULTADO DESPUES DE IIGG	117.448	285.289	402.737
	40%	47%	45%
FLUJO DE FONDOS ANUAL	-98.565	285.289	
FF ANUAL DESCONTADO	-103.921	245.940	
FF DESCONTADO ACUMULADO	-103.921	142.018	
VAN	142.018	u\$s	
REPAGO	17	Meses	
MAXIMA EXPOSICION	-217.225	u\$s	
TIR	45	%	

Figura N°53: Evaluación económica.

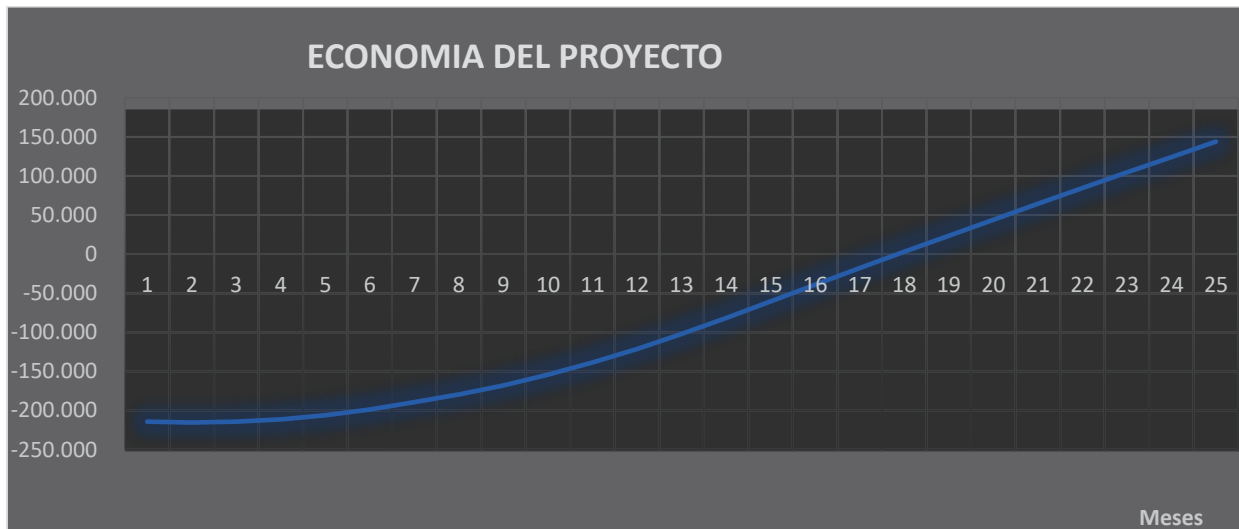


Figura N°54: Flujo de fondos y plazo de repago.

También tomamos en cuenta un escenario menos optimista en el que pudiéramos encontrarnos con un posible competidor y en cuyo caso la Cooperativa se viera en la necesidad de presentar una oferta más agresiva para mantener el parque de abonados. Para este caso en el análisis económico realizado anteriormente procedimos a buscar el caso para el cual el VAN llegara a cero. Esto sucede al aplicar abonos de u\$s 20 y u\$s 25 sobre los perfiles de 15M y 25M, respectivamente. En la Figura N°55 observamos un gráfico donde se representa el precio promedio de la oferta de Internet fija en Argentina en 2019, de acuerdo al tamaño de la localidad observada. Se dividen en tres grupos: grandes, medianas y chicas, con abonos promedios de u\$s 27, u\$s 33.70 y u\$s 36.26 respectivamente. Comparando esto con la localidad de El bolsón, que entraría en el grupo de localidades chicas, nos deja, aun ante un acontecimiento desfavorable, en un escenario bastante competitivo.

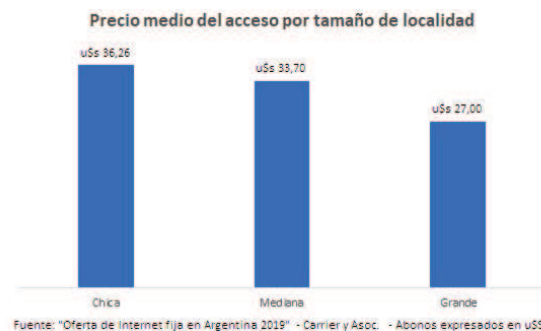


Figura N°55: Oferta de Internet fija en Argentina 2019.

En este capítulo realizamos una selección detallada y minuciosa de los equipos principales a utilizar para la construcción de la red, mencionamos los equipos

adicionales, comentando los requerimientos que debían cumplir y por último realizamos un análisis para evaluar la viabilidad, desde el punto de vista económico-financiero, del proyecto. En el siguiente capítulo detallamos los conceptos a tener en cuenta para la instalación, operación y mantenimiento de la red.

4. Lineamientos sobre instalación, operación y mantenimiento.

En este capítulo desarrollaremos algunos lineamientos sobre la instalación de la red, la operación de esta y los tipos de mantenimientos a realizar y como se deberán llevar a cabo.

Las tareas de instalación, operación y mantenimiento de la red serán realizadas por personal de la cooperativa que será capacitado adecuadamente en las nuevas tecnologías y equipos.

4.1. Instalación.

Como se mostró en el apartado “diseño de la red” en el capítulo “Proyecto”, la red estará compuesta por diversos equipos que deberán ser instalados de forma adecuada siguiendo los instructivos presentes en las documentaciones y manuales que proporcionan los diferentes fabricantes.

Una vez realizada la obra civil de los eNB's que contempla la instalación de los mástiles que forman los sitios “Norte” y “Sur” y el suministro de energía, se procede a la instalación de los gabinetes donde se ubicarán los equipos para la conexión de los sitios con el nodo central y la alimentación de estos (rectificadores). Luego se realizará la instalación de las antenas (tres por sitio), los RRU (tres por sitio), la UPS y bandejas de FO (fibra óptica) asegurándose la correcta fijación de estos por medio de sujetadores y abrazaderas correspondientes. Para el anclaje de las antenas se tendrá en cuenta la orientación que se obtuvo en las simulaciones. Ya montados los equipos se procederá al cableado de estos, este se divide en conexiones de alimentación y conexiones de RF. Para ambas conexiones es necesario el correcto armado de los conectores con las herramientas adecuadas, una vez realizado el ensamble se tiene que asegurar la firme conexión en los terminales a fin de evitar falsos contactos que puede perjudicar el buen funcionamiento de la red. También se deberá verificar que la tensión de alimentación de los equipos se encuentre en los valores correctos.

En el hub central donde funciona el tercer sitio se realizarán las mismas tareas descriptas para la instalación de este. Recordemos que ya existe una torre para la instalación de las antenas.

Parte de este trabajo se realizará en altura, por ello es necesario tener los elementos de seguridad pertinentes, estos serán auditados por personal de seguridad e higiene de la cooperativa.

La conexión de los sitios “Norte” y “Sur” se realizará mediante un tendido de fibra óptica soterrado. Para ello se llevará a cabo una obra civil donde se instalarán caños (denominados tritubos) subterráneos para luego pasar la fibra óptica. Se instalarán cada cien metros cámaras de inspección donde se dispondrán las cajas de empalme de ser necesario y también se dejarán metros sobrantes de fibra que podrán ser utilizados para realizar mantenimientos posteriores.

El HUB central donde se instalarán el gateway IP, el PSTN, la EPC y la BBU, estará ubicado en una sala equipada con racks para la disposición de los equipos, piso técnico, bandejas para cables, tendrá iluminación y refrigeración adecuada. Una vez montados los equipos se procederá al tendido de los cables, el armado de los conectores y su correcta conexión.

Durante la instalación de la red se realizarán pruebas y mediciones con el fin de ajustar y corregir diferentes parámetros (potencia de transmisión, alimentación, atenuaciones, etc.).

En los hogares de los clientes se deberá instalar un CPE, esta tarea será realizada por dos técnicos de la cooperativa. Estos contarán con un vehículo donde llevarán herramientas manuales (destornilladores, pinzas, etc) y eléctricas (taladros, tester, etc), escalera, elementos de fijación, notebook, mástiles para antenas (para el caso en que la instalación requiera antena externa), las antenas externas, CPE y cables. Además de elementos de protección personal para realizar el trabajo.

Las tareas se pueden dividir en dos tipos:

- Instalación del CPE indoor (no requiere la instalación de antena externa).
- Instalación del CPE con antena exterior.

La instalación del CPE indoor, solamente requerirá del armado y configuración del equipo. Se le deberá colocar la SIM card correspondiente, conectarlo a la red eléctrica y corroborar que su correcto funcionamiento.

La instalación del CPE con antena exterior requiere la selección de un lugar en el techo de la casa para la fijación del mástil, la realización de agujeros para la fijación de este por medio de grampas, el cableado de la antena hacia el CPE dentro del hogar. Luego se procede a la conexión del cable, colocación de SIM card y conexión a la red eléctrica. Una vez en funcionamiento se procede a orientar la antena para obtener la

mejor calidad de señal y luego se la ajusta al mástil en su posición final.

Una vez instalada y operando la red en la ciudad será necesario realizar las tareas de operación y mantenimiento de esta. A continuación, explicaremos los puntos más relevantes sobre estas tareas.

4.2. Operación.

La operación de la red LTE se realizará a través de la estación de trabajo conectada a la EPC que se sitúa en el nodo central. Esta posee un software que dará diferentes estadísticas e informaciones de la red.

El software de operación y mantenimiento de la red se puede dividir en distintas capas. La primera capa llamada “administración de elementos” proporciona funcionalidad de gestión de parámetros de la red para el operador a través de interfaces gráficas de usuario. Estos parámetros son alarmas, actualización de aplicaciones, realización de expansiones entre otros.

La segunda capa denominada “Servicio” provee información de los sitios de la red. Además, cuenta con información sobre alarmas, configuración de parámetros, monitoreo y configuración de los servicios de los clientes.

La tercera capa llamada “Adaptación” proporcionar una abstracción de los recursos de tráfico y equipos que se administran.

La última capa denominada “Recursos” proporciona funcionalidad para el manejo de tráfico y equipos.

Para desarrollar un conocimiento adecuado se deberá realizar un entrenamiento proporcionado por la empresa Huawei a través de manuales y documentación sobre la solución que seleccionamos.

4.3. Mantenimiento.

El objetivo principal de las actividades de mantenimiento es reducir al mínimo el número de fallas de los servicios y también sus consecuencias y resolver efectivamente las fallas que se produzcan; esto implica que mediante las actividades de mantenimiento se logre sostener una alta calidad, disponibilidad y confiabilidad del servicio.

Dentro de estas actividades tenemos dos tipos de mantenimiento: el correctivo y el

preventivo.

Se denomina mantenimiento correctivo, a las actividades que se ejecutan a fin de reponer el servicio o la integridad de la red de planta interna cuando se presenta una falla que atenta contra la continuidad y/o calidad del servicio que brinda la cooperativa.

Todas las actividades de mantenimiento se orientarán a reducir al mínimo posible la reincidencia de fallas de tipo correctivo.

Todas las actividades de mantenimiento correctivo serán ejecutadas siguiendo las prácticas profesionales más apropiadas para cada caso, no obstante, es importante definir algunos aspectos deberán observarse al momento de realizar este tipo de trabajos:

- La revisión en casos de falla del cableado interno deberá ser integral, vale decir, a pesar de que la falla se localice en un punto específico de la red interna o equipo terminal, será necesario revisar el resto del circuito a fin de localizar otros puntos con posibles problemas, de esta manera se podrá evitar la reincidencia de fallas.
- Medición de los niveles de señal y calidad del servicio entregado en cliente.
- Los trabajos deberán ser ejecutados empleando las herramientas adecuadas y específicas para cada caso (Ej.: alicata crimping, pelador de cable, etc.).
- En las instalaciones internas, deberá evitarse la existencia de empalmes en el cable en toda la extensión del circuito.
- Las medidas del enlace deberán ser efectuadas durante la intervención para garantizar el correcto desempeño del circuito, estas medidas deberán ser las adecuadas para el servicio y los valores obtenidos se documentarán.
- En casos de instalación con antena externa en ambientes del cliente deberá tener siempre línea de vista hacia la estación base correspondiente.
- La alimentación AC de los equipos inalámbricos en ambientes del cliente deberá estar conectada a una toma de corriente que no dependa de interruptores y cuente con tensión regulada de: 230V~ +/-15% 50-60Hz; 0.40 A. El equipo deberá ser ubicado en un lugar protegido de la humedad y no exponerlo directamente a los rayos de sol.
- Cuando el problema sea en equipos de propiedad del cliente, como ser una PC, Laptop o modem, el mantenimiento será responsabilidad de este.
- Cuando el problema se ubique en equipos Router de propiedad del cliente, se dará un asesoramiento básico de la falla para que el mismo pueda efectuar el

mantenimiento correspondiente.

- Cuando el problema se ubique en el equipo CPE de propiedad de COOPETEL, se deberá evidenciar en lo posible que la falla se deba a problemas de fábrica. En estos casos se proporcionará otro equipo al cliente (cambio por garantía).
- Los problemas en la tarjeta SIM (quemado, etc.) serán reemplazados sin costo para el cliente de forma inmediata.

Las actividades de mantenimiento correctivo se desarrollarán con la siguiente secuencia de tareas: se registrará la falla y se realizará un análisis para localizarla, luego se generará una orden de trabajo. El personal técnico procederá a intervenir localizando e identificando la causa. Luego de identificar la falla y eliminar la causa de esta, de ser necesario se reemplazan elementos defectuosos o dañados y por último se realizará una verificación general de la instalación y certificación de la solución de la falla.

Las actividades de mantenimiento correctivo se destinarán a reducir la probabilidad de fallas de los servicios o la degradación de la calidad del servicio.

Los trabajos involucrados en este tipo de mantenimiento serán:

- Mediciones de los niveles de señal y calidad del servicio entregado en cliente.
- Mantenimiento en la red domiciliaria.
- Relevamiento de conexiones en los sitios secundarios.
- Reorientación de la antena externa y/o reforzamiento de sus elementos de sujeción.
- Cambio de ruta de cableado interno.
- Optimización de la instalación hecha por el abonado.
- Verificación de los sistemas de protección instalados y su consiguiente diagnóstico.

Los mantenimientos correctivos y preventivos que se explicitaron anteriormente son los destinados a los abonados. Análogamente se pueden establecer puntos para tener en cuenta para el mantenimiento preventivo del plantel externo de la red, a continuación, se enumeramos algunos:

- Revisión de conexiones y empalmes de fibra óptica en el tendido aéreo.
- Verificación del estado de los postes del tendido aéreo.
- Revisión y limpieza de los equipos instalados en los sitios.
- Verificación del estado de las baterías de los UPS de los diferentes equipos de la red.

En este capítulo se plantearon y desarrollaron lineamientos para tener en cuenta para la instalación, operación y mantenimiento de la red. A continuación, expondremos las conclusiones que extrajimos sobre la experiencia de realizar este proyecto.

5. Conclusiones.

La idea de este proyecto surge de la necesidad de las cooperativas telefónicas que operan principalmente en el interior del país de reconvertir su red con tecnologías que le permitan poder afrontar las exigencias de los clientes en ancho de banda y calidad de servicio debido al uso cada vez más amplio de Internet.

La ciudad de El Bolsón está situada en el extremo suroeste de la provincia de Rio Negro, a 130 Km de Bariloche y a solo 10 Km del límite con Chile, en medio de un paisaje de montañas, bosques, ríos y lagos. Se encuentra emplazada al pie de un cerro, en un valle de origen glaciar. Actualmente se estima que su población es de 23.000 habitantes. Las principales actividades económicas son el turismo y la agricultura donde se destaca por ser el principal productor nacional de lúpulo, una de las materias primas para la producción de cerveza. Debido a estas actividades la ciudad se ve en la necesidad de contar con servicios de telecomunicaciones.

Los servicios son ofrecidos por la cooperativa de obras y servicios públicos, sociales y vivienda El Bolsón Ltda. (COOPETEL), la cual suministra telefonía convencional e Internet ADSL. Cuenta con 4.400 abonados, de los cuales 1.200 poseen Internet. Con el pasar de los años la planta externa (cables de cobre, equipos, etc.) se fue deteriorando lo que no permite afrontar las nuevas exigencias de los usuarios con respecto a velocidad y calidad del servicio, por ello la cooperativa tiene que actualizar su red para poder cumplir con estas exigencias.

Nuestro trabajo tuvo como fin el estudio y diseño de una nueva red de telecomunicaciones de voz y datos para la ciudad.

Comenzamos realizando un relevamiento de la ciudad y de la cooperativa tanto en infraestructura de red como en su cartera de abonados para luego poder utilizarlo en la elección de la nueva red. Esta elección la llevamos a cabo primero realizando un relevamiento de las diferentes tecnologías disponibles en el mercado, destacando sus pros y contras para luego seleccionar una. Como primera alternativa analizamos la implementación de tecnologías que utilizan el par de cobre como VDSL, pero debido al deterioro de los tendidos de cable no se podía desarrollar, luego estudiamos la posibilidad de montar una red híbrida de fibra óptica y cable coaxil (HFC) que descartamos ya que requería de un nuevo tendido por toda la ciudad, además de ser un sistema costoso y delicado para su mantenimiento. Otra posible red que analizamos fue la de fibra óptica, más precisamente la denominada “Fiber To The Home” (FTTH), para implementarla se necesitaba de una obra de tendido y un mantenimiento costoso además de personal especializado para realizar empalmes y

fusiones en la fibra. Otro punto desventajoso en estas tecnologías alámbricas es la dificultad para llegar a zonas de difícil acceso para brindar servicio, debido a la geografía del lugar donde diferentes factores (como por ejemplo los desniveles del suelo, la dureza de la tierra, etc.) y también factores climáticos, hacen dificultoso el despliegue. Por estos motivos empezamos a analizar que las tecnologías inalámbricas de transmisión de datos podían ser una solución. Dentro de este grupo nos focalizamos en dos: WiMax y LTE.

Realizamos una comparación entre ambas tecnologías y llegamos a las siguientes conclusiones:

La tecnología de acceso en el enlace ascendente utilizada en LTE (SC-FDMA) permite una mayor eficiencia energética frente a OFDMA utilizada por WiMax. Esto lleva a que los terminales de usuario tengan un menor consumo de energía.

LTE tiene una velocidad máxima de enlace descendente de 100 a 324.4 Mbps ante los 75 Mbps que ofrece WiMax. Para el enlace ascendente LTE ofrece una velocidad de entre 50 a 86 Mbps ante los 25 Mbps de WiMax. (Estas velocidades dependen del ancho de banda del canal).

Por último, la capacidad de la celda LTE es mayor a 200 usuarios (para un ancho de banda de 5 MHz) y a 400 usuarios para ancho de banda mayores, en WiMax la capacidad se ve reducida hasta un máximo de 200 usuarios.

LTE se impone sobre WiMax al tener mejores prestaciones en peores condiciones. Además, es el mismo estándar que el de comunicaciones celulares móviles, por ende, la estandarización baja los costos.

Por estos factores es que optamos por la tecnología LTE sobre WiMax.

Una vez que seleccionamos LTE como nuestra tecnología para la actualización de la red, comenzamos con su estudio. Investigamos las diferentes entidades que la componían como también tuvimos que analizar la conformación de la red ya que necesitábamos de otros equipos que están fuera de LTE como los gateway para ToIP y para la salida hacia Internet. Para esta última optamos por utilizar la red de Arsat ya que nos permitió un acceso a un ancho de banda considerable a un precio competitivo.

Como primer paso para llevar a cabo el proyecto relevamos la cantidad y los tipos de servicios que utilizaban los abonados de la cooperativa, esto nos permitió tener un plano general de la red actual.

Luego seleccionamos la banda de operación a utilizar. Este punto fue primordial ya que las bandas están reguladas por un ente estatal y no se puede operar en cualquiera de ellas. Otro factor que influyó es que a medida que aumenta la frecuencia más sensible es a las atenuaciones. Luego de una investigación optamos por la banda de 3.5 Ghz, en base a esta frecuencia seleccionamos un modelo de propagación adecuado, también teniendo en cuenta el tipo de terreno.

Para calcular el ancho de banda que se iba a utilizar en ToIP, debimos seleccionar un codec que manejara un ancho de banda reducido ya que en las redes inalámbricas este factor es importante. El codec que seleccionamos cumplía con este requisito, pero tenía un retardo superior a otros con más ancho de banda. Decidimos optar por un mayor retardo en virtud de un ancho de banda reducido.

La velocidad de internet que ofreceremos en el servicio se basó en el estudio de la demanda de los clientes, el estudio del mercado actual para este tipo de ciudades y el estado del arte. Con estos datos y la cantidad de abonados a los cuales se les va a dar cobertura calculamos el ancho de banda que hay que contratar a Arsat. Luego elaboramos dos tipos de perfiles de abonados, uno de 15 Mbps y otro de 25 Mbps.

Con los datos y cálculos realizados procedimos a simular la red mediante un software, para esto investigamos y estudiamos el mismo con el fin de poder realizar los ensayos para conocer la cantidad de sitios necesarios a instalar para dar servicio a la cantidad de usuarios propuesta. En este paso tuvimos que configurar algunos parámetros que el software trae por defecto y ajustarlos a nuestro proyecto. La elección de la antena fue importante, si bien necesitábamos que cumpliera con la frecuencia que íbamos a utilizar y la ganancia, el modelo que seleccionamos no estaba entre las plantillas predeterminadas del software, por ello tuvimos que desarrollar el patrón de radiación.

Como primer paso ensayamos el sitio instalado en la cooperativa. Este análisis nos arrojó que la cobertura no alcanzaba a cubrir toda la ciudad, por ello fuimos agregando más sitios distribuidos en toda la zona y obtuvimos la cobertura que deseábamos, pero el número de sitios era demasiado elevado, diez en total. Esto haría a la red demasiado costosa, por ello pensamos otra estrategia, analizando el mapa de abonados notamos que estos estaban concentrados en una determinada área de la ciudad, en la zona céntrica. A partir de este análisis delimitamos una nueva zona y realizamos las simulaciones allí.

El resultado final del estudio nos arrojó que con tres sitios instalados cumplíamos con los requisitos de cobertura y capacidad propuestos. Además del sitio en la sede de COOPETEL, se agregaron dos sitios nuevos uno al norte denominado “Sitio Norte”

y otro al sur denominado “*Sitio Sur*”.

Para el emplazamiento de estos sitios tuvimos en cuenta sectores de la ciudad en donde no existieran locaciones altas y cercanas y se pudieran instalar los postes para la fijación de las antenas. Los postes que seleccionamos son de 15 metros de altura, esto se debe a que no queríamos que estos provoquen contaminación visual en la ciudad ya que una de sus principales actividades es el turismo. Por ello también para la interconexión de los sitios con el HUB central optamos por soterrar la fibra óptica, así mismo de esta forma la red se encontrará resguardada ante daños.

Para el emplazamiento de las BBU, decidimos hacerlos en el HUB central contrariamente a los diseños convencionales de redes LTE que lo hacen en cada sitio. Esto nos permitió una centralización que reduce tiempos en la respuesta de la red.

Luego realizamos la elección de los modelos de los equipos, que debían cumplir con ciertas características que valoramos para desarrollar la economía del proyecto con el fin de evaluar si este podía realizarse obteniendo rentabilidad. Al comenzar a desarrollar este apartado se nos presentó un inconveniente con la planificación de los abonos ya que estos se debían cobrar en pesos al usuario final y los costos e inversiones en la nueva red estaban expresados en dólares. En un contexto actual donde la economía del país presenta una alta inflación y un tipo de cambio fluctuante al alza se nos dificultó realizar una estimación precisa, pero logramos una planificación equilibrada.

Por último, escribimos los lineamientos de como deberán llevarse a cabo las tareas de instalación, operación y mantenimiento.

Para la instalación de la red mencionamos los procedimientos a realizar con el fin de desplegar la red de una forma apropiada. También describimos los procedimientos para la instalación de los CPE por parte de los técnicos de la cooperativa.

La operación de la red se llevará a cabo en el HUB central, donde se realizará el monitoreo de sus parámetros.

El mantenimiento que será llevado a cabo por personal técnico de la cooperativa, lo dividimos en dos. El mantenimiento preventivo, tareas que se realizan para asegurar el correcto funcionamiento de la red y el mantenimiento correctivo, tareas para la resolución distintas fallas.

Cada paso del desarrollo de este proyecto se realizó tratando de maximizar la viabilidad técnica y económica del mismo.

Durante el desarrollo del proyecto tuvimos aciertos y también errores que pudimos corregir para llegar a la finalización de este. En lo que concierne a los aciertos destacamos la elección adecuada del software para la simulación de la red, este nos permitió optimizar el desarrollo del trabajo y también la adecuada división de las tareas. Los principales errores fueron enfocar el diseño de la red desde un marco puramente teórico y no teórico-práctico como luego hicimos con la inclusión del software de simulación y el retraso en las reuniones de feedback que provocaba comenzar las tareas siguientes estipuladas en el Gantt sin tener cerradas las tareas anteriores lo que producía que en el caso de tener que modificar algo en la tarea anterior también debíamos hacerlo en la que estábamos trabajando en ese momento lo que provocaba demoras.

Personalmente este proyecto nos permitió aplicar los conocimientos teóricos y las aptitudes que nos fueron inculcadas durante la carrera. Estas aptitudes son las que nos sirvieron para analizar y resolver dificultades a la hora de realizar el trabajo. El desarrollo del proyecto nos permitió expandir nuestro perfil como futuros ingenieros en telecomunicaciones sentando las bases para un futuro profesional exitoso.

Anexo I: Glosario.

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
ABR	Available Bits Rate
ACP	Automatic Cell Planning
ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Loop
AMG	Access Media Gateway
ASN	Access Service Network
AuC	Authentication Centre
BAS	Broadband Access Server
BBIP	BackBone IP
BBU	Base Band Unit
BHCA	Busy Hour Call Attempt
BHT	Busy Hour Traffic
CBR	Constant Bit Rate
CENTREX	Central Office Exchange Service
CNR	Carrier-to-Noise Ratio
CoS	Class of Service
CP	Cyclic Prefix
CPE	Customer Premises Equipment
CPRI	Common Public Radio Interface
CSN	Connectivity Service Network
CSN	Connectivity Service Network
DDE	Direct-Dialing-In
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DL	DownLink
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DSP	Digital Signal Processor
DTMF	Dual-Tone Multifrequency
EDTB	E1 Digital Trunk Board
eNB	Evolved Node B
EPC	Envolved Packet Core
FDD	Frequency Division Duplexing
FE	Fast Ethernet
FFT	Fast Fourier Transform
FO	Fibra Optica
FoIP	Fax over IP
FSK	Frequency Shift Keying
GbE	Gigabit Ethernet
HSS	Home Subscriber Server
IAD	Integrated Access Device
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform

IP	Internet Protocol
ISI	InterSymbol Interference
ITU-T	International Telecommunication Union
IUA	ISDN Q.921-user Adaptation Layer – SIGTRAN Protocol
LAN	Local Area Network
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MG	Media Gateway
MGC	Media Gateway Controller
MIMO	Multiple Inputs Multiple Outputs
MME	Mobilty Managment Entity
MOS	Mean Opinion Score – from 0 to 5 (best performance)
MS	Mobile Stations
NAP	Network Access Provider
NCS	Nominal Channel Spacing
NGN	Next Generation Network
NMS	Network Management System
NRT	Non Real Time
NSP	Network Service Provider
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OSS	Operation & Support System
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PBCH	Physical Broadcast Channel
PBX	Private Branch Exchange
PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDN GW	Packet Data Network Gateway
PDP	Packet Data Protocol
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PDSN	Packet Data Serving Node
PE	Provider Edge
PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel
PLMN	Public Land Mobile Network
PMCH	Physical Multicast Channel
PMCH	Physical Multicast Channel
PMIPv6	Proxy Mobile IP version 6
POTS	Plain Old Telephone Service
PPP	Point-to-Point Protocol
PPPoE	PPP over Ethernet
PPS	Packet Per Second
PRACH	Physical Random Access Channel
PRACH	Physical Random Access Channel
PRB	Physical Resource Block

PS	Packet Switched
PSTN	Public Switched Telephone Network
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
PVC	Permanent Virtual Circuit
PVM	Packet Voice Module
QoS	Quality of Service
RADIUS	Remote Authentication Dial-In User Service
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RB	Radio Bearer
RLC	Radio Link Control
RLC	Radio link control
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RRU	Remote Radio Units
RT	Real Time
RTCP	Real-time Transport Control Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
SBC	Session Border Controller
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SCH	Shared Channel
S-CSCF	Serving Call Session Control Function
SDF	Service Data Flow
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDP	Session Description Protocol
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SHDSL	Single-line High-speed DSL
SIGTRAN	Signaling Transport
SIM	Subscriber Identity Module
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
SIP	Session Initiation Protocol
SMS	Short Message Service
SNMP	Simple Network Management Protocol
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SPM	Standard Propagation Model
SRB	Signaling Radio Bearer
SS	Subscriber Stations
STB	Servicio de Telefonía Básica
TA	Tracking Area
TCP	Transmission Control Protocol

TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplexing
TDM	Time Division Multiplex
ToIP	telephone over internet protoco
ToS	Type of Service
TSS	Test Board
UBR	Unspecified Bits Rate
UDP	User Datagram Protocol
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UE	User Equipment / Equipo de Usuario
UICC	Universal Integrated Circuit Card
UL	Uplink UMTS Universal Mobile Telecommunications System
UL	UpLink
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
VBR	Variable Bits Rate
VCC	Voice Call Continuity
VDSL	Very High Speed DSL
VLAN	Virtual Local Area Network
VLR	Visited Location Register
VoIP	Voice over IP
VoIP	Voice over IP
VPLMN	Visited PLMN
WAN	Wide Area Network
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
xDSL	x Digital Subscriber Line

Anexo II: Bibliografía.

Abdul Basit S. (2009). *Dimensioning of LTE Network, Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio interface*. Helsinki University of Technology.

Cox C. (2014). *An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications*. Wiley.

Forsk. (2011). *Atoll User Manual Radio 3.1.0*.

Fernandez I. (2014). *Planificación y dimensionado de una red LTE*. UPC.

Forsk. (2011). *Technical Reference Guide version 3.1.0*.

González Hernández E. (2014). *Despliegue de una red de acceso en comunicaciones móviles*. UPM.

Ghosh A, Zhang J, Andrews J. G. & Muhamed R. (2010). *Fundamentals of LTE (Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series from Ted Rappaport)*. Prentice Hall.

Khan F. (2009). *LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance*. Cambridge University Press.

Tejas B. (2008). *LTE and WiMAX Comparison*. Santa Clara University.

Wallingford T. (2005). *Switching to VoIP: A Solutions Manual for Network Professionals*. O'Reilly Media.