

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**DISEÑO DE UNA RED MÓVIL COMPARTIDA PARA BRINDAR SERVICIOS DE
TELEFONÍA MÓVIL EN ZONAS RURALES.**

Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, que presenta la
bachillera:

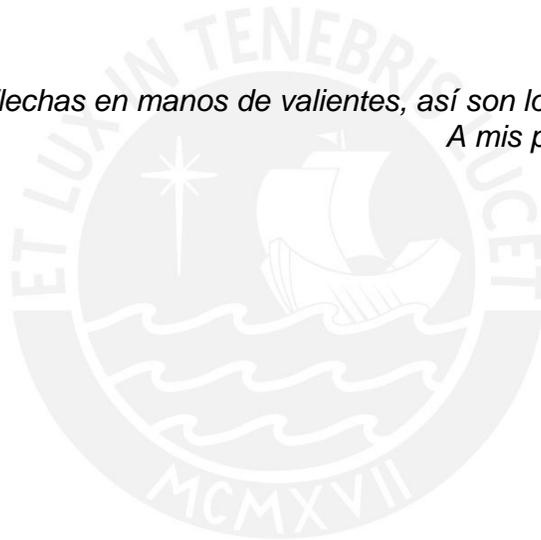
Joysi Jael Ccahuana Jayme

ASESOR: Pastor David Chavez Muñoz

Lima, diciembre de 2018

Dedicatoria

*"Como flechas en manos de valientes, así son los hijos..." Salmos 127:4
A mis padres por ser valientes.*



RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo acercar los servicios de comunicaciones móviles a las zonas rurales de nuestro país. Por una parte, las condiciones geográficas de estas zonas rurales no permiten que los avances tecnológicos lleguen tan rápido, a diferencia de otras regiones menos accidentadas geográficamente. Por otra parte, las zonas con poca población resultan menos rentables para que las operadoras desplieguen allí este tipo de tecnología.

Ante la problemática mencionada, se ha elaborado una propuesta a través de la compartición de infraestructura, la cual es una alternativa para reducir el costo de despliegue de red, especialmente en las zonas rurales.

El primer capítulo, a partir del problema que hay en las zonas rurales se muestran las alternativas tecnológicas que existen, luego de ello se plantea una propuesta que permita solucionar este problema.

El segundo capítulo abarca algunas generalidades de la telefonía móvil y también los tipos de compartición de infraestructura que existen. Este estudio de los servicios involucrados nos servirá para elegir el modelo técnico que se adecue más al diseño de la red compartida.

En el tercer capítulo desarrollamos la propuesta para la localidad de Challhuahuacho, distrito minero gracias al proyecto Las Bambas. Para ello, se realiza un estudio del mercado, tráfico y de los elementos involucrados en el diseño de la red compartida a implementar.

En el último capítulo, se realiza una propuesta económica de manera que se pueda detallar la rentabilidad del proyecto.

Finalmente, se presentan las conclusiones del presente trabajo; de igual manera, las recomendaciones que surgieron en el desarrollo de este documento.

Índice

LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA TABLAS.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO 1.....	11
ASPECTOS GENERALES.....	11
1.1 Planteamiento del Problema.....	11
1.2 Alternativas Tecnológicas.....	12
1.2.1 WiMAX Móvil.....	12
1.2.2 VSAT.....	12
1.3 Propuesta de solución.....	13
1.3.1 Compartición de Infraestructura.....	13
1.3.2 Estado del arte en compartición de infraestructura.....	14
1.3.3 Situación Actual del Perú.....	15
1.3.3.1 OIMR (Operador de Infraestructura Móvil Rural).....	15
1.4 Objetivos.....	16
CAPÍTULO 2.....	18
ESTUDIO DE LOS SERVICIOS INVOLUCRADOS EN LA COMPARTICIÓN DE INFRAESTRUCTURA.....	18
2.1 Generalidades de la telefonía móvil.....	18
2.2 Celdas.....	19
2.3 Estándar UMTS.....	20
2.3.1 Arquitectura UMTS.....	21
2.3.1.1 <i>User Equipment</i> (UE).....	22
2.3.1.2 UTRAN.....	22
2.3.1.3 <i>Core Network</i> (CN).....	23
2.4 Tipos de compartición de infraestructura.....	25
2.4.1 Compartición Pasiva.....	27
2.4.2 Compartición Activa.....	28
2.5 Tendencias en Compartición de Infraestructura.....	31
2.6 Influencia de compartición de infraestructura en los costos.....	32
2.7 Casos de Estudio en Latinoamérica.....	34

2.7.1	Brasil	34
2.7.2	Colombia	34
2.7.3	Chile.....	35
2.8	Marco Regulatorio en Perú	35
2.9	Selección de modelo técnico.....	36
CAPÍTULO 3		39
OPTIMIZACIÓN DE LA RED MÓVIL EN CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA DE COTABAMBAS – APURIMAC.....		39
3.1	Situación socioeconómica de Challhuahuacho	39
3.2	Cálculo del tráfico demandado	41
3.2.1	Perfil de usuario y población económicamente activa	41
3.2.2	Estado Actual de Cobertura Móvil y Análisis de Demanda	41
3.2.3	Requerimientos de máxima capacidad a ofrecer.....	44
3.3	Diseño de Red de solución propuesta.....	45
3.3.1	Femtoceldas	46
3.3.1.1	Arquitectura de Femtoceldas.....	46
3.3.1.2	Interacción entre la macro y la femto celda	47
3.3.2	Topología de la red.....	48
3.4	Estructura de Red de Transporte	51
3.4.1	Cálculo de la radio propagación para la estación base	52
3.4.1.1	Cálculo de la radio propagación para la estación base en la banda de 850 MHz. 52	
3.4.1.2	Cálculo de la radio propagación para la estación base en la banda de 450 MHz. 56	
3.4.1.3	Comparación entre ambas bandas calculadas.....	59
3.4.2	Cálculo de radio propagación para las femtoceldas	60
3.4.2.1	Cálculo de radio propagación para femtoceldas en la banda de 850 MHz.....	60
3.4.2.2	Cálculo de radio propagación para femtoceldas en la banda de 450 MHz.....	62
3.4.2.3	Comparación entre ambas bandas calculadas.....	63
3.4.3	Comparación entre la banda de 450MHz y 850 MHz	64
3.5	Determinación del equipamiento	65
3.5.1	Zona Femto	65
3.5.2	Zona Macro	66
CAPÍTULO 4		68
VALORACIÓN ECONÓMICA		68

4.1	Costos de Inversión	68
4.2	Costos Operación y Mantenimiento	70
4.3	Ingresos	70
4.4	Evaluación económica	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		73
BIBLIOGRAFÍA.....		75



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Co-localización de Antenas	14
Figura 2: Clasificación de celda según el tipo de cobertura	20
Figura 3: Arquitectura UMTS.....	21
Figura 4: Arquitectura Core Network UMTS.....	25
Figura 5 : Tipos de Compartición de Infraestructura	26
Figura 6 : Configuración Pasiva	27
Figura 7: Configuración Pasiva Extendida.....	28
Figura 8: Configuración MORAN.....	28
Figura 9: Configuración MOCN	29
Figura 10: Configuración GWCN.....	30
Figura 11: Obligaciones regulatorias en continentes	31
Figura 12: Modelo técnico a seguir por parte del OIMR	36
Figura 13: Modelo técnico MORAN	37
Figura 14: Mapa Distrital de Challhuahuacho.....	39
Figura 15: Porcentaje de Ocupación.....	40
Figura 16: Cobertura móvil del Distrito Challhuahuacho	42
Figura 17: Cobertura móvil de la localidad de Challhuahuacho.....	42
Figura 18: Calculadora Erlang	44
Figura 19: Arquitectura de Femtocelda.....	46
Figura 20: Comparación entre el acceso al núcleo de red celular de una estación base convencional y una femtocelda	47
Figura 21: Coexistencia entre la macro y femto celda	48
Figura 22: Esquema de red del proyecto	49
Figura 23: Cobertura deseada Challhuahuacho	51
Figura 24: Perfil de enlace NodoB-Móvil1 en la banda de 850 MHz.....	53
Figura 25: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil1 en la banda de 450 MHz.....	53
Figura 26: Perfil de enlace NodoB-Móvil2 en la banda de 850 MHz.....	54
Figura 27: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil2 en la banda de 450 MHz.....	54
Figura 28: Perfil de enlace NodoB-Móvil3 en la banda de 850 MHz.....	55
Figura 29: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil3 en la banda de 850 MHz.....	55
Figura 30: Perfil de enlace NodoB-Móvil1 en la banda de 450 MHz.....	56
Figura 31: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil1 en la banda de 450 MHz.....	57
Figura 32: Perfil de enlace NodoB-Móvil2 en la banda de 450 MHz.....	57
Figura 33: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil2 en la banda de 450 MHz.....	58

Figura 34: Perfil de enlace NodoB-Móvil3 en la banda de 450 MHz.....	58
Figura 35: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil3 en la banda de 450 MHz.....	59
Figura 36: Perfil de enlace Femtocelda-Móvil en la banda de 850 MHz.....	61
Figura 37: Cobertura polar de enlace Femtocelda-Móvil en la banda de 850 MHz.....	62
Figura 38: Perfil de enlace Femtocelda-Móvil en la banda de 450 MHz.....	62
Figura 39: Cobertura polar de enlace Femtocelda-Móvil en la banda de 450 MHz.....	63
Figura 40: E16/E24 nano3G	66
Figura 41: Caja de protección para exteriores	66
Figura 42: BTS 3900 Huawei	67



LISTA TABLAS

Tabla 1 : Comparación entre MORAN y MOCN	30
Tabla 2 : Casos de compartición en otros países	32
Tabla 3: Estructura de costos típica en una red móvil GSM	33
Tabla 4: Tabla reducción CAPEX y OPEX.....	37
Tabla 5: Tabla comparativa con indicadores.....	38
Tabla 6: PEA DE CHALLHUAHUACHO	41
Tabla 7: CRECIMIENTO ESPERADO DE CLIENTES.....	43
Tabla 8: Líneas telefónicas en la localidad de Challhuahuacho	49
Tabla 9: Parámetros para estación base y equipo móvil.....	52
Tabla 10: Comparación de los resultados de la macrocelda	59
Tabla 11: Parámetros para femtocelda y equipo móvil.....	61
Tabla 12: Comparación de resultados de la femtocelda	63
Tabla 13: Comparación de características entre la banda de 850 MHz y 450 MHz....	64
Tabla 14: Costo de Inversión de Capital	69
Tabla 15: Costo operación y mantenimiento anual	70
Tabla 16: Ingresos anuales.....	70
Tabla 17: Caja de Flujo	71
Tabla 18: Caja de flujo de 2 operadores.....	71

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la telefonía móvil se ha asentado en nuestras vidas para quedarse. Este innovador servicio en constante cambio no solo se utiliza para realizar llamadas, sino que también es utilizada para otros servicios como mensajería instantánea, consulta de correo electrónico, entre otros aplicativos. Sin embargo, esta realidad tan cotidiana para países desarrollados y áreas urbanas de países en desarrollo no suele darse para otras regiones del planeta. En áreas aisladas e inhóspitas, en general donde no existen grandes poblaciones, no resulta fácil acercar las nuevas tecnologías hacia estas áreas en particular.

Por una parte, las condiciones geográficas de estas zonas no permiten que los avances tecnológicos lleguen tan rápido, como es el caso de otras regiones menos accidentadas geográficamente. Por otra parte, las zonas con poca población resultan menos rentables para que las operadoras lleven este tipo de tecnología.

La presente tesis tiene como objetivo proponer acercar las nuevas prestaciones de las redes y servicios móviles a estas comunidades, mediante la compartición de infraestructura, y analizar viabilidad económica y las ventajas que ofrece para el sector de telecomunicaciones. De manera consecuente se analizará los beneficios y costos de la compartición de infraestructura.



CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 Planteamiento del Problema

Año tras año los servicios de voz y datos presentan un crecimiento acelerado tanto en la cantidad de usuarios como en el tráfico cursado; por esta razón, para lograr brindar estos servicios con una calidad aceptable y lograr satisfacer la creciente demanda es necesario desplegar infraestructura adecuada.

Para las zonas rurales aisladas de países en vías de desarrollo, no solo se carece de infraestructura adecuada para todo tipo de servicios, sino que en muchos casos es de mala calidad la infraestructura de electrificación. Es por ello que urge la necesidad de dotar a los sistemas de telecomunicaciones de alimentación eléctrica autónoma para garantizar su funcionamiento continuo. [1]

1.2 Alternativas Tecnológicas

Como se mencionó anteriormente, en países en vías de desarrollo es muy frecuente que en las zonas rurales, que suelen tener gran extensión, carezcan de infraestructura de telecomunicaciones. En esta sección se van a describir algunas tecnologías propuestas para el contexto de zonas rurales.

1.2.1 WiMAX Móvil

Es una solución inalámbrica de banda ancha que permite la convergencia de redes de banda ancha fija y móvil a través de una tecnología de acceso de radio de banda ancha desplegada sobre un área extensa común y una arquitectura de red flexible. La interfaz de aire WiMAX móvil adopta OFDMA para reducir la interferencia multitrajecto en entornos en los que no hay visión directa entre antenas.[1]

1.2.2 VSAT

El mercado de las telecomunicaciones satelitales bidireccionales de voz y datos está prácticamente copado en Hispanoamérica por una única tecnología: VSAT (*Very Small Aperture Terminals*). Las redes VSAT son redes de comunicación de datos vía satélite para el intercambio de información punto-punto, o punto-multipunto (*broadcast* o interactiva). Al ser una alternativa distinta al cableado y tratarse de equipos relativamente económicos, se suelen considerar como la solución a los problemas de comunicación entre zonas aisladas donde extender las redes de cable no sería técnica ni económicamente factible.

El componente principal de este sistema es el *hub*, el cual es la estación central terrestre de la red. El *hub* permite realizar la comunicación entre 2 terminales VSAT, en otras palabras, todo el intercambio de información debe pasar por el *hub*. [2]

1.3 Propuesta de solución

La telefonía móvil desempeña un papel muy importante para la prestación de servicios de telecomunicaciones a grandes segmentos de la población; sin embargo, hay mucho que hacer para mejorar la penetración de los servicios móviles, sobre todo en las zonas rurales de nuestro país. Uno de los principales problemas es la alta inversión que se debe realizar para el despliegue de las redes de telefonía móvil; por ello, desplegar redes móviles en zonas rurales y menos pobladas no resulta rentable para los operadores móviles, de manera que una parte de la población se encuentra excluida al acceso de servicios de telecomunicaciones móviles.

La compartición de infraestructura es una alternativa para reducir el costo de despliegue de red, especialmente en zonas rurales. Además, la compartición de infraestructura puede estimular la migración hacia nuevas tecnologías y la adopción de banda ancha móvil. Asimismo, se puede mejorar la competencia entre los operadores móviles y proveedores de servicio, con el consecuente beneficio de los usuarios finales.

1.3.1 Compartición de Infraestructura

La cohabitación y compartición de infraestructura es el proceso en donde dos o más operadores de servicios comparten distintas infraestructuras en un sitio particular. La infraestructura compartida vincula a varios elementos como el sitio donde están las radio bases, las torres, generadores y aire acondicionado. Los nuevos operadores pueden arrendar el espacio para sus antenas en las torres, instalar sus propios equipamientos dentro del sitio existente de un operador, y/o compartir los costos de operación y seguridad del sitio, reduciendo así el costo de capital y operación para ambos proveedores de servicio.[3]



Figura 1: Co-localización de Antenas

Fuente: “GSMA” [4]

Los operadores móviles están optando actualmente por la compartición de infraestructura para optimizar la utilización de sus activos, reducir costos y evitar la duplicación de infraestructura. Inclusive, se puede reducir el tiempo de adquisición de sitios. En general la compartición de infraestructura ofrece las siguientes ventajas [4]:

- Generar un despliegue de la cobertura más amplio y rápido hacia zonas geográficas nuevas y actualmente desatendidas
- Fortalecer la competencia
- Reducir el número de sitios de antenas
- Reducir el gasto de energía y la huella de carbono de las redes móviles
- Reducir el impacto ambiental de la infraestructura móvil en el paisaje
- Reducir los costos para los operadores

1.3.2 Estado del arte en compartición de infraestructura

La idea de compartir la infraestructura de las redes móviles no es algo novedoso; de hecho, se lleva varios años siendo contemplado y promovido por la Unión Europea con el objetivo de reducir las inversiones necesarias, esto es gracias a que la infraestructura de redes móviles es compartida por varios operadores, siempre que el número de usuarios no supere su capacidad. Naturalmente, también se ven reducidos los gastos de operación y mantenimiento. En el caso de la compartición pasiva, las autoridades de regulación no plantean ningún problema, por otro lado si la compartición es activa, entonces sí presentará algunas dificultades, por lo que en algunos países no está permitido aún.

Uno de los múltiples acuerdos que se han establecido es el de Vodafone y Orange, que en noviembre de 2006, llegaron a un acuerdo de ambas partes para poder compartir en España el despliegue de sus nuevas redes de 3G para aquellas poblaciones con menos de 25 000 mil habitantes de 19 provincias. El objetivo principal de este acuerdo fue llevar banda ancha móvil a zonas rurales o con poca densidad de población; además se pretendía optimizar y racionalizar el despliegue de redes 3G, limitando el impacto medioambiental, a la vez que mejora la cobertura de ambas operadoras. [5]

Por su parte, Telefónica y Yoigo llegaron, en julio de 2007, a un acuerdo para compartir en España parte de sus infraestructuras de telefonía móvil 3G durante un periodo de cinco años. Este acuerdo permitió a ambas empresas mejorar la calidad de sus servicios y llegar a un mayor número de usuarios en zonas rurales y en las ciudades, así como para reducir los costos de despliegue. [5]

Desde diciembre de 2007 existe un acuerdo entre T-Mobile y 3UK en Reino Unido para compartir infraestructura activamente, lo cual supone un ahorro estimado superior a los 2 000 millones de euros en diez años. Así mismo, en febrero de 2008 se firmó una alianza entre Vodafone UK y Orange UK para compartir los sitios y la infraestructura para sostener las estaciones base, lo que implicaría una reducción de 15% en el total de bases instaladas, con el consiguiente ahorro de energía y espacio, pero cada una manteniendo su propia infraestructura de red y de servicios.[5]

1.3.3 Situación Actual del Perú

1.3.3.1 OIMR (Operador de Infraestructura Móvil Rural)

La figura del operador de infraestructura móvil rural fue creada por la Ley 30083, promulgada en setiembre del 2013, y su Reglamento en agosto del 2015. Esta ley establece medidas para fortalecer la competencia en el mercado de los servicios públicos móviles. Permite a los operadores de telecomunicaciones instalar infraestructura de telefonía móvil en zonas rurales y de preferente interés social que hoy no tienen cobertura de ningún operador móvil, con la que uno o más operadores móviles pueden brindar sus servicios en dicha zona.[6]

Cualquier empresa proveedora de infraestructura de telecomunicaciones concesionaria de un servicio portador y que no tenga asignación de espectro radioeléctrico para servicios públicos móviles podría constituirse como un OIMR solicitando su inscripción en un registro de OIMR. Los OIMR no tienen usuarios finales móviles ni numeración propia y los servicios que brindarían a un operador móvil con red (“OMR”) bajo esta figura serían [7]:

- I. Servicio de transporte: Hacia/desde la central de conmutación del OMR.
- II. Servicio de Acceso: Facilidades de acceso a la infraestructura desplegada en zonas rurales donde los OMR no cuenten con red.

Mayu Telecomunicaciones se consolidó en nuestro país como el primer operador de telecomunicaciones móviles con el registro de OIMR otorgado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) el 3 de marzo 2016.

La tarea de Mayu Telecomunicaciones será instalar una mayor infraestructura de telefonía móvil en zonas rurales del país, con una inversión inicial de 7 millones de dólares, este proyecto beneficiará a 100 000 habitantes. El transporte de tráfico telefónico se realizará preferentemente mediante satélites.

Mayu Telecomunicaciones desarrollará una infraestructura basada en tecnología altamente eficiente, diseñada especialmente para zonas rurales alejadas y con poca población para ofrecer un servicio de telefonía móvil con la calidad que exige el mercado y el regulador. [7]

1.4 Objetivos

Objetivo General

Aumentar la penetración de telefonía móvil en las zonas rurales y de preferente interés social, que aún no han sido atendidas por operadores móviles.

Objetivo Específico

- Explicar el concepto general del sistema UMTS. Conocer la arquitectura de la red UMTS para que sirva de base para el desarrollo de esta tesis.

- Identificar las leyes y marcos regulatorios que incentiven la expansión de las redes en áreas rurales y/o lugares de preferente interés social.
- Encontrar y comparar los tipos de compartición de infraestructura móvil, de manera que se seleccione un modelo, tomando en cuenta que tipo de compartición será el más adecuado para poder llevar a cabo en nuestro diseño.
- Hacer una valoración económica que respalde el diseño, mostrando esta como una alternativa más asequible en cuanto a costos de implementación.



CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE LOS SERVICIOS INVOLUCRADOS EN LA COMPARTICIÓN DE INFRAESTRUCTURA

En este capítulo se tratarán los tipos de redes compartidas que existen. Además, se va a abarcar algunas generalidades de la telefonía móvil.

2.1 Generalidades de la telefonía móvil

Las redes móviles ofrecen transmisión de voz y datos mediante conexiones inalámbricas. Estas redes tienen componentes de radio de transmisión y recepción, pero también tienen una gran parte de infraestructura fija para poder ofrecer todo tipo de servicios. Cada vez aparece una nueva generación en telefonía móvil para poder satisfacer demandas y requisitos más complejos.

GSM es un sistema de comunicaciones móviles digital que constituye la segunda generación (2G) de sistemas móviles. Puede ser caracterizado como un sistema móvil celular digital de telefonía por radio.

La tercera generación (3G) es conocida como UMTS. Se trata de sistemas digitales que proveen una mejor calidad de voz que las redes 2G, también ofrece internet de alta velocidad y servicios multimedia. Las redes 3G deben ser capaces de proporcionar servicios de datos con una transmisión mínima de 144 kbps para ambientes móviles (exteriores) y 2 Mbps para ambientes fijos (interiores).[8]

La cuarta generación se denota como LTE-A. Se centra en satisfacer la cada vez mayor demanda de los usuarios en cuanto a las tasas de transmisión y bajo retardo para diversos tipos de servicios.

2.2 Celdas

Una celda es el área de cobertura donde se desea prestar un servicio, estas áreas parciales están gestionadas por una estación base concreta. El tamaño de las celdas utilizadas depende del tipo y el propósito del sistema móvil y se puede clasificar en las siguientes categorías, las cuales pueden funcionar simultáneamente dentro de una misma área geográfica: [8]

- *Megaceldas*: Tienen radios desde 100 hasta 500 Km. Ofrecen amplia cobertura para zonas con baja capacidad de tráfico a través del uso de satélites no geoestacionarios.
- *Macrocelas*: Tienen radios desde 1 hasta 35 Km. Se emplean para ofrecer coberturas en lugares rurales, carreteras y poblaciones cercanas.
- *Microcelas*: Ofrecen servicio a usuarios fijos o que se muevan lentamente (por ejemplo, peatones o para un automóvil en tráfico urbano) con elevada densidad de tráfico.
- *Picoceldas*: Ofrecen cobertura para ambientes urbanos intensos.
- *Femtoceldas*: Destinado a cubrir áreas que reciben una señal de baja calidad de otras celdas.

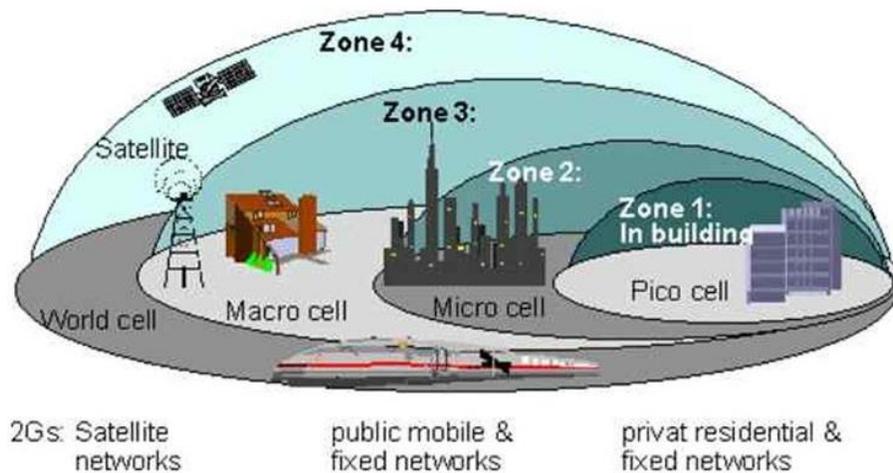


Figura 2: Clasificación de celda según el tipo de cobertura

Fuente: "UMTS" [9]

2.3 Estándar UMTS

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) constituye la visión europea con capacidades 3G como parte de la familia de estándares IMT-2000. UMTS es la evolución lógica de CDMA-One a la tercera generación.

El término UMTS es principalmente utilizado en Europa. El Release 99 del 3GPP es la primera definición de este estándar que consta de un conjunto de especificaciones organizadas en series. Dichas especificaciones se encuentran publicadas en la web del 3GPP.

La modalidad más habitual de UMTS es la que utiliza la interfaz aire de W-CDMA, aunque el sistema soporta otras. Al contrario de lo que sucedía con otras evoluciones de GSM como EDGE, UMTS necesita de nuevas bandas de frecuencia y nuevas estaciones base para su despliegue. [10]

2.3.1 Arquitectura UMTS

El sistema UMTS se estructura básicamente en dos planos: [11]

- La red de telecomunicaciones que tiene como objetivo asegurar el transporte de la información de extremo a extremo.
- La red de gestión con funciones auxiliares necesarias para la operación de la red: gestión de abonados, gestión de servicios contratados, facturación, etc.

En esta descripción del sistema nos centraremos especialmente en la red de telecomunicaciones, que se encuentra dividida en tres subsistemas:

- *Core Network (CN)*
- *UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)*
- *User Equipment (UE)*

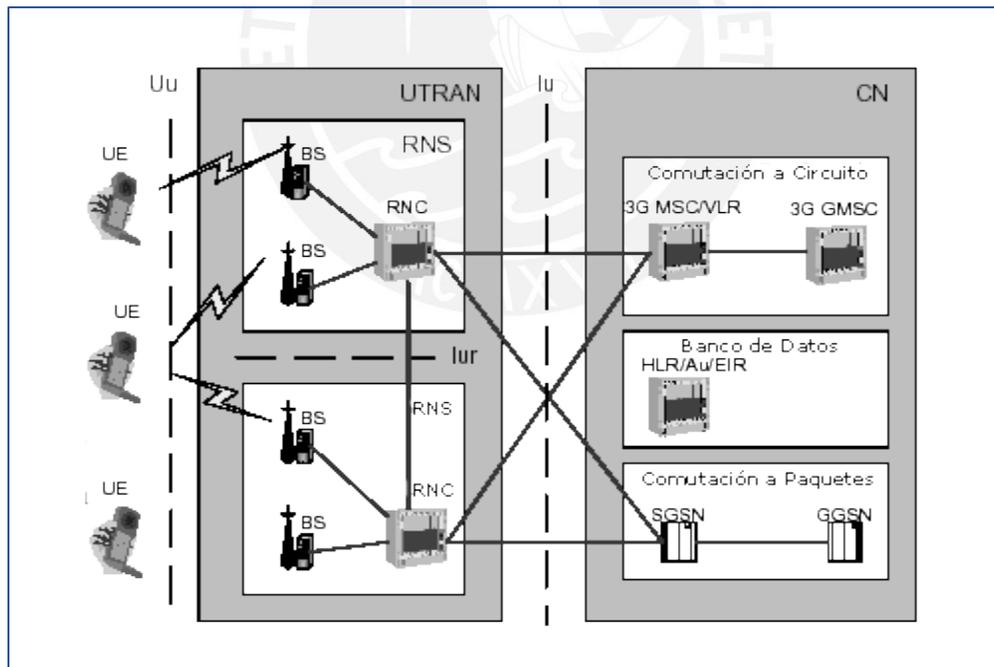


Figura 3: Arquitectura UMTS

Fuente: "UMTS, Arquitectura" [11]

2.3.1.1 *User Equipment (UE)*

El UE consta de dos bloques: [11]

- El equipo móvil (*Mobile Equipment ME*) es el dispositivo físico que gestiona todas las comunicaciones sobre la interfaz Uu.
- El USIM (*UMTS Subscriber Identity Module*), esta tarjeta incluye datos del usuario como su identificación, algoritmo de cifrado y autenticación, PIN y PUK (códigos de acceso y bloqueo), etc.

2.3.1.2 **UTRAN**

UTRAN es la red de acceso de radio para el sistema UMTS. Tiene dos interfaces que lo conectan con la red central y con el equipo de usuario; la interfaz Iu y la interfaz Uu respectivamente. La red UTRAN posee un conjunto de Subsistemas de Red de Radio (RNS – *Radio Network Subsystems*), el cual posee elementos entre ellos los controladores de Red de Radio (RNC – *Radio Network Controller*) y los Nodos B. [8]

- **Nodo B**

La función del Nodo B es similar a la BTS en las redes 2G. El nodo B se compone del mástil, antena, y el hardware y software necesario. El propósito principal de Nodo B es permitir que los UE's se conecten a la red 3G. Los UE se conectan a Nodo B mediante canales de radio (a través de la interfaz Uu).

- **RNC**

RNC es el elemento de la red responsable del control de los recursos radio bajo su dominio, es decir, de los nodos B conectados a él. Se encarga del control de carga y congestión de sus celdas y también ejecuta el control de admisión para nuevos usuarios. RNC tiene mayor responsabilidad que el BSC en lo que respecta a la gestión de la movilidad de los usuarios individuales.

2.3.1.3 Core Network (CN)

El core network soporta servicios de conmutación de circuitos (*Circuit-Switching* CS) y de conmutación de paquetes (*Packet-Switching* PS) para usuarios móviles. Los servicios basados en CS incluyen conmutación de llamadas de voz, video llamadas y funciones de control de llamadas para el soporte de llamadas punto a punto. Mientras que los servicios basados en PS incluyen enrutamiento y transporte de paquetes IP de usuarios.[12]

Las entidades del CS son:

- **MSC (*Mobile Services Switching Centre*)**
Realiza la conmutación y el control de llamadas que son servicios básicos hacia los usuarios móviles, realiza la administración de la movilidad, el registro de ubicación y el traspaso entre celdas (handover).
- **GMSC (*Gateway Mobile Services Switching Centre*)**
Se utiliza como interfaz con la red externa de conmutación de circuitos (PSTN). El GMSC es el responsable de direccionar la llamada a su destino final en la red externa de conmutación de circuitos.
- **VLR (*Visitors Location Register*)**
El VLR se encarga del seguimiento de la ubicación de las terminales móviles que se encuentren en la misma red que él, e informa a su correspondiente HLR de la ubicación de las terminales. Usualmente, el VLR está integrado en cada MSC.

El dominio de PS realiza las siguientes funciones:

- *Control de acceso a la red*: Determina cuál dispositivo puede utilizar el dominio PS; estas funciones incluyen registro, autenticación y autorización, control de admisión, filtrado de mensajes y recolección de datos del usuario.
- *Enrutamiento y transporte de paquetes*: Enruta los paquetes de usuario hacia su destino, ya sea que esté en la misma red o en otras redes externas.

- *Administración de la movilidad*: Realiza funciones de movilidad en la capa de red, estas funciones incluyen rastreo y actualización de la ubicación de las terminales móviles.

Las entidades que figuran el PS son:

- **SGSN (*Serving GPRS Support Node*)**

Este nodo interconecta a varias RAN hacia el dominio PS. El SGSN es el responsable de rastrear la ubicación de los móviles que utilizan el servicio de conmutación de paquetes y se comunican con el HLR para obtener información de suscripción. También se encarga de administrar la ruta hacia el GGSN para cada móvil enviando el tráfico a través de dicha ruta.[12]

- **GGSN (*Gateway GPRS Support Node*)**

El GGSN sirve como interfaz entre el dominio PS y cualquier otra red de paquetes (internet, intranet). Todos los paquetes de y hacia el móvil en la red deben de pasar primero por el GGSN, el cual envía los paquetes a su destino final.

El GGSN rastrea al SGSN que provee el servicio a cada móvil, establece entonces una ruta con este SGSN a través de la cual se realizará el intercambio de tráfico. [12]

Entre las entidades de servicios de información que comparten tanto el CS como el PS se encuentran:

- **HSS (*Home Subscriber Server*)**

Es la base de datos que contiene la información de suscripción de los usuarios. El componente principal del HSS es el HLR que contiene identidad del usuario, ubicación e información de suscripción.

- **AuC (*Authentication Center*)**

Es un elemento que contiene la información necesaria para autenticar al usuario y encriptar la comunicación sobre el trayecto de radio. Las redes acceden a él a través del HSS.

- **EIR (*Equipment Identity Register*)**

Es el elemento que almacena información acerca de los terminales móviles (por ejemplo, la lista de equipos autorizados o equipos robados, etc.)

En la siguiente figura se muestra todos los elementos mencionados:

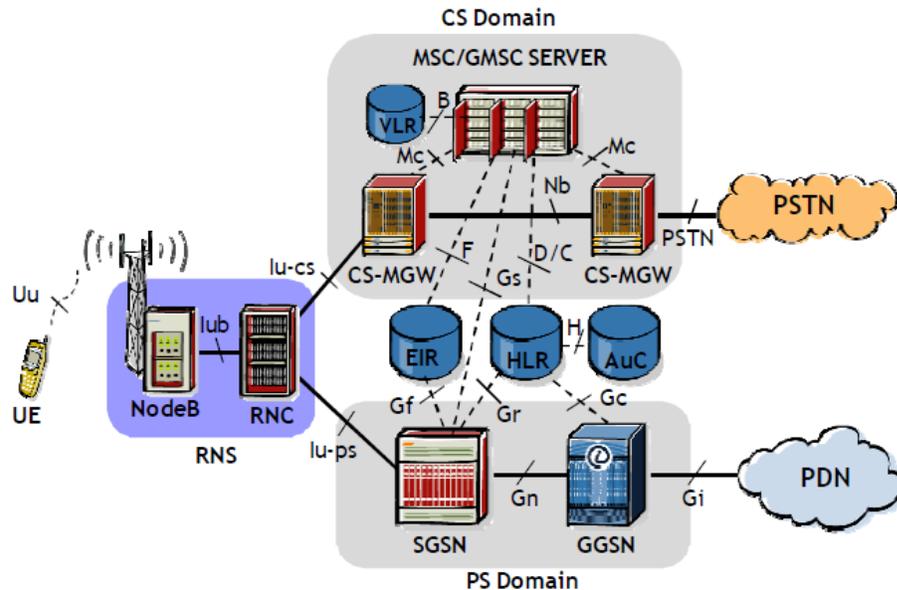


Figura 4: Arquitectura Core Network UMTS

Fuente: “Introducción a UMTS - HSPA” [13]

2.4 Tipos de compartición de infraestructura

La compartición de infraestructura puede ser pasiva o activa. La primera se refiere básicamente a la compartición de espacio físico, por ejemplo, en edificios, emplazamientos y mástiles, donde las redes se mantienen separadas. Por otro lado, en la compartición de infraestructura activa se comparte elementos activos de una red móvil, por ejemplo, las antenas, estaciones base completas o incluso elementos de la red troncal.

A continuación, se mostrará una figura con los tipos de compartición de infraestructura móvil clasificados según la cantidad de equipamientos y elementos compartidos entre los involucrados.

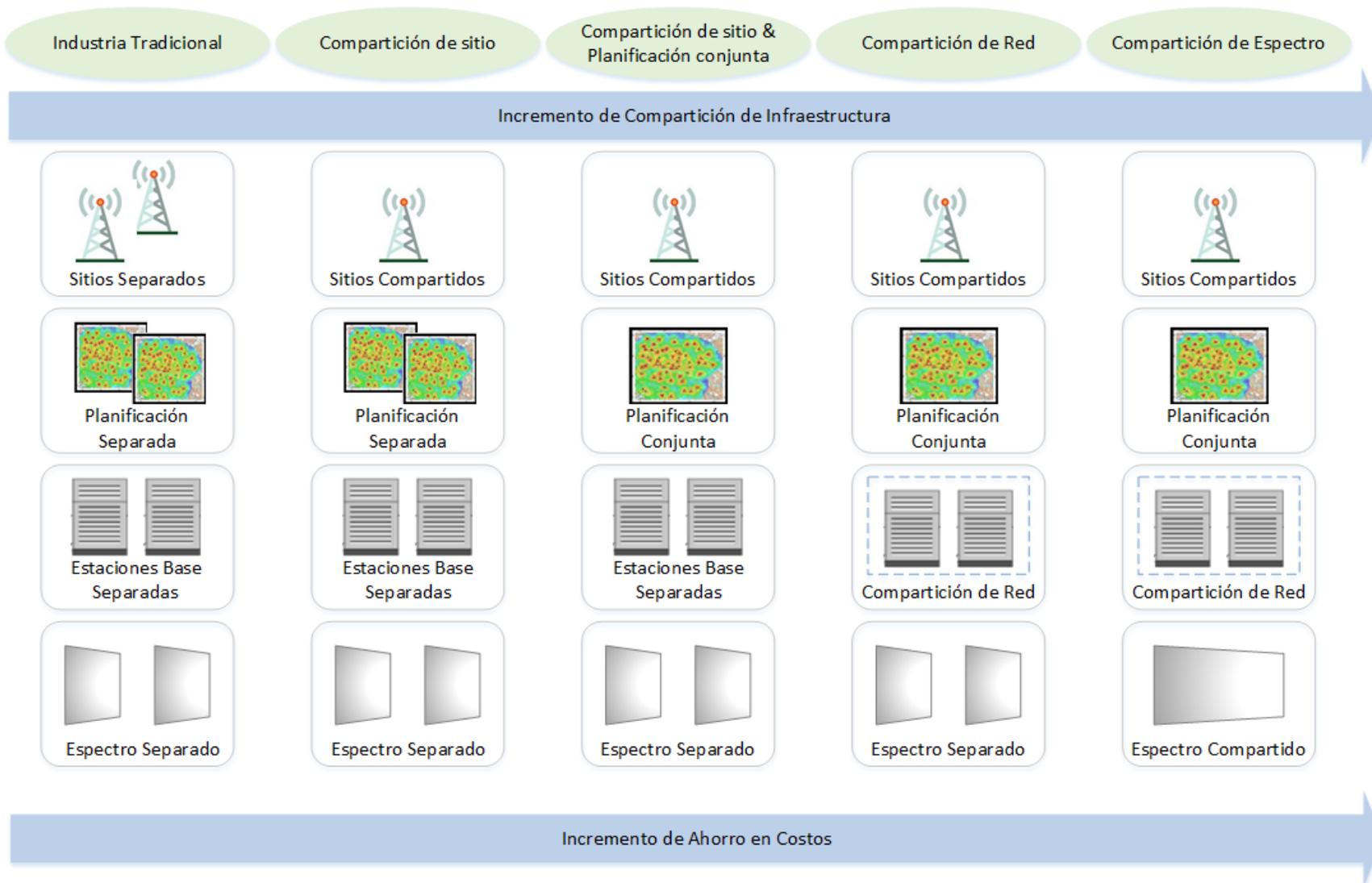


Figura 5 : Tipos de Compartición de Infraestructura

Fuente: “Elaboración propia con información de [14]”

2.4.1 Compartición Pasiva

I. *Compartición pasiva del Sitio*

En este tipo de compartición cualquiera de los elementos no radiales del sitio puede ser compartidos por dos o más proveedores de servicios móviles. La compartición incluye el espacio físico, mástiles, torres e instalaciones técnicas pasivas como fuente de energía, aire acondicionado, baterías de respaldo, alarmas de instalaciones, además de otros servicios de seguridad. [15]

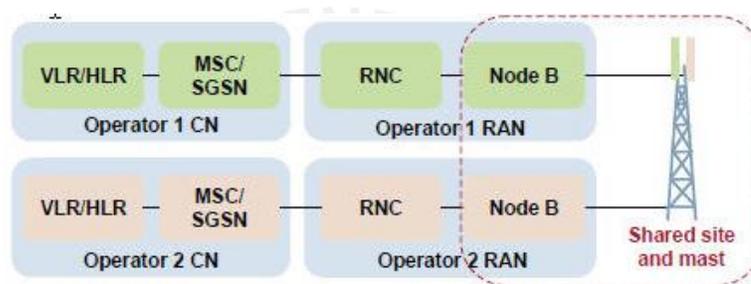


Figura 6 : Configuración Pasiva

Fuente: “Telecom Cloud” [15]

II. *Compartición pasiva extendida de sitios*

Este tipo de compartición abarca los elementos pasivos del sitio, los cuales ya fueron nombrados en el ítem anterior, y también incluye algunos equipamientos activos, como las antenas, enlaces de transmisión y cables de alimentación. Además, se permite también la compartición de enlaces *backhaul* (líneas arrendadas E1, fibra óptica, Ethernet, enlaces microondas o satelitales). [15]

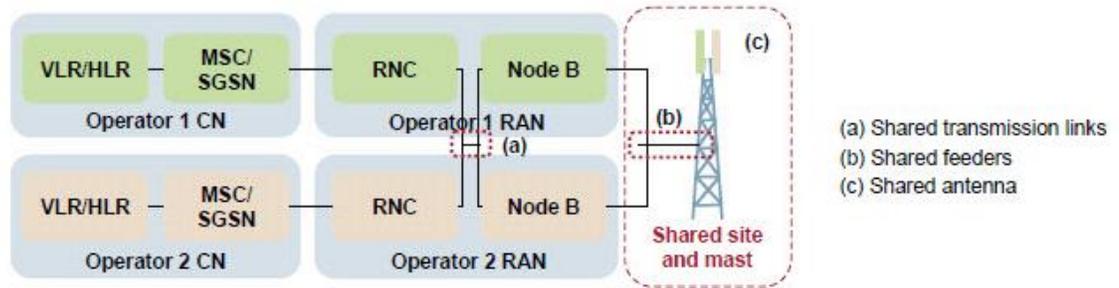


Figura 7: Configuración Pasiva Extendida

Fuente: “Telecom Cloud” [15]

2.4.2 Compartición Activa

I. Multi-Operator Radio Access Network (MORAN)

MORAN es una solución técnica en donde varias instancias de la red de acceso de radios virtuales se logran implementar mediante el fraccionamiento de la BTS y BSC (2G), Nodo B y RNC (3G) en unidades lógicamente independientes. Los operadores siguen utilizando el rango de frecuencias que les fue asignada, y también transmiten sus propios identificadores de red individual, de manera que la compartición no es visible para los abonados. [15]

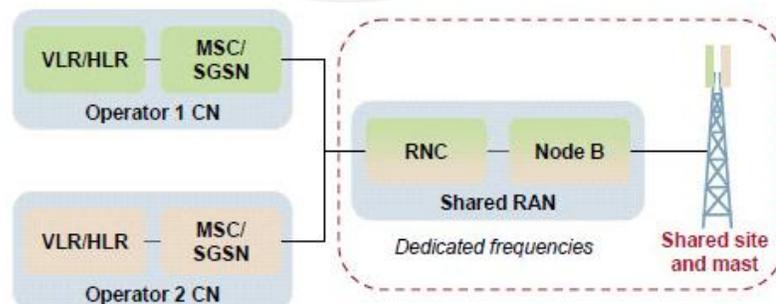


Figura 8: Configuración MORAN

Fuente: “Telecom Cloud” [15]

En esta configuración existen parámetros comunes a nivel de sitio, pero los operadores pueden controlar los parámetros a nivel de celdas de manera independiente, lo que admite una posible y necesaria diferenciación de servicio. MORAN da a los operadores la flexibilidad para implementar de forma independiente características y actualizar las configuraciones a nivel de celdas.

II. Multi Operator Core Network (MOCN)

Para este tipo de configuración se utiliza todos los elementos compartidos en el MORAN y también las frecuencias del conjunto establecido. La categoría MOCN se introdujo en el *Release 6* de las especificaciones 3GPP y se ha actualizado hasta el *Release 11*. Es por esta razón que los dispositivos a utilizarse deben trabajar con *Release 6* o superiores a esta. [15]

Un beneficio importante del MOCN es la posibilidad de implementar funciones sin tener que consolidar primero las redes centrales. Esto hace a las MOCN ideales para una solución temporal para la rápida expansión de cobertura después de una adquisición, por ejemplo, en áreas donde un solo operador tiene cobertura. Simplemente activando MOCN los abonados de otro operadores tienen acceso a esta cobertura sin tener que integrarse a las redes centrales. [16]

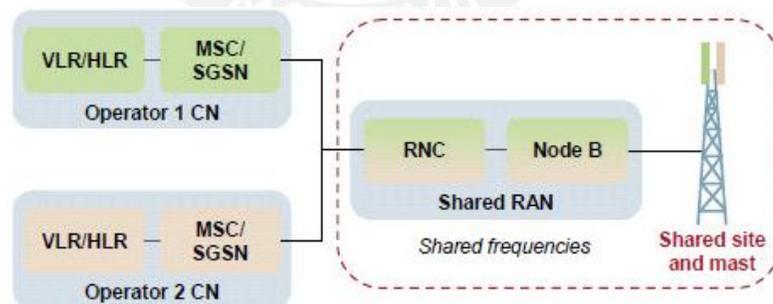


Figura 9: Configuración MOCN

Fuente: "Telecom Cloud" [15]

A continuación, se presenta un cuadro comparativo entre las configuraciones MORAN y MOCN.

Tabla 1 : Comparación entre MORAN y MOCN

Fuente: "Huawei" [16]

Item	MORAN	MOCN
Carriers	Independent	Shared
Feature deployment	Independent (cell level)	Shared
Network OAM	Independent PM/FM/CM (on cell level)	Shared CM, partly independent PM/FM
Network adjustment	Independent expansion, shared optimization	Shared
Transmission	Shared or independent	Shared or independent
Protocol version	3GPP R8	3GPP R8
Requirements on UE	No	3GPP R8 compliant

III. Gateway Core Network (GWCN)

Funciona como un MOCN, en donde múltiples nodos del *Core Network* (CN) están conectados al mismo *Radio Network Controller* (RNC), los nodos del CN son operados por diferentes operadores. En este tipo de configuración los operadores móviles comparten secciones del *Core Network*, además se comparten el RAN *Gateway Mobile Switching Center* (GMSC), *Serving GPRS Support Node* (SGSN) y *Visitor Location Register* (VLR). Para este modelo, los operadores pueden utilizar el espectro de un conjunto compartido o el espectro de algunas de las compañías asociadas a la compartición. [15]

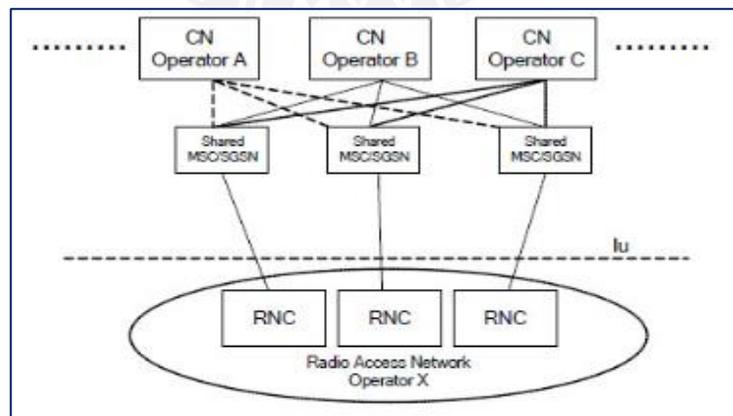


Figura 10: Configuración GWCN

Fuente: "Telecom Cloud" [15]

2.5 Tendencias en Compartición de Infraestructura

El intercambio voluntario es la forma más frecuente para la compartición de infraestructura móvil, sin embargo, de no ser este el caso, entraría a actuar los reguladores encargados.

Se permite la compartición de infraestructura pasiva en muchos países del mundo. En el caso de la infraestructura activa, se apoya menos, pero es cada vez más ampliamente considerado, en especial por sus beneficios potenciales para la banda ancha rural.

En la siguiente figura se muestra el porcentaje de aceptación o respuesta en cada continente respecto a las obligaciones regulatorias y tendencia de acuerdos entre operadores.

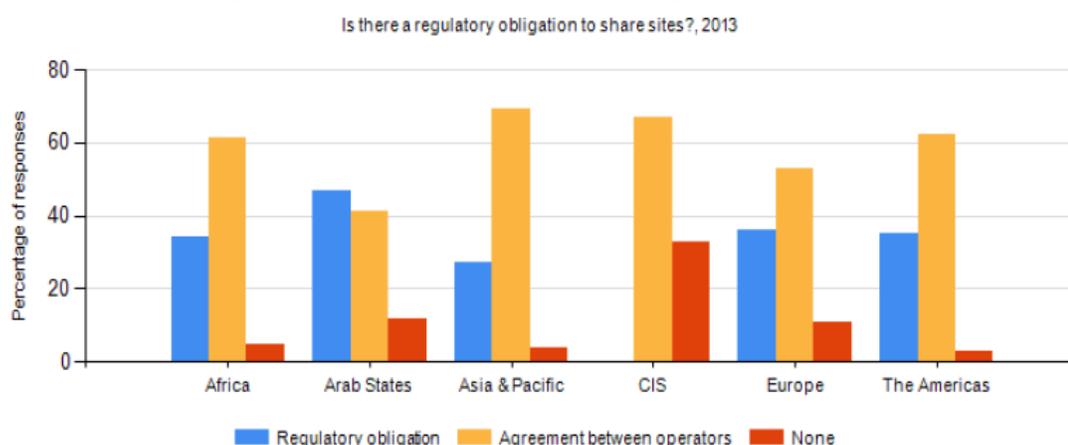


Figura 11: Obligaciones regulatorias en continentes

Fuente: "ITU" [17]

A continuación, se muestra una tabla con los acuerdos más resaltantes en la compartición de infraestructura:

Tabla 2 : Casos de compartición en otros países

Fuente: "ITU" [17]

PAÍS	CONFIGURACIÓN	DESCRIPCIÓN
Australia	MOCN	H3GA y Telstra crearon 3GIS, una empresa conjunta en el 2004 para desplegar de manera conjunta una red de servicios 3G.
Dinamarca	MOCN	En 2012, Telia y Telenor Dinamarca entraron en un acuerdo para compartir redes a través de una empresa conjunta Newco, que implica la puesta en común de RAN y el espectro.
España	MORAN	En 2006, France Telecom y Vodafone firmaron un acuerdo de compartición de RAN para dar cobertura a poblaciones inferiores a 25.000 habitantes.
Reino Unido	MORAN	<i>Mobile Broadband Network Limited</i> es una empresa conjunta formada en 2007 entre H3G y T –Mobile actualmente <i>EverythingEverywhere</i> (EE).
	MORAN	Vodafone y O2 se unieron para crear Towerco en 2012, una empresa conjunta que pretendía consolidar sus redes en el Reino Unido. Esta iniciativa, que se expande en 2009 "Proyecto Cornerstone", está dirigido a compartir los sitios 2G y 3G.
Suecia	MOCN	Net4Mobility es una empresa conjunta entre Telenor y Tele2 creado en abril 2009 para construir, poseer y operar una red LTE / GSM.

2.6 Influencia de compartición de infraestructura en los costos

El surgimiento del modelo de compartición de infraestructura ha tenido un gran impacto en la forma como se realizan inversiones de nuevas redes a nivel mundial, siendo un modelo de negocio aprobado y alentado por reguladores para la mejora de la cobertura y calidad de servicio en sus países.

Desde que se dio a conocer el modelo de compartición de infraestructura se han venido realizando estudios constantes sobre el efecto que tiene sobre el modelo de negocios tradicional de telecomunicaciones, llegando a la conclusión de que aporta un alto nivel de eficiencia en el ámbito económico mediante la reducción de costos CAPEX así como de OPEX en dichas inversiones donde es aplicado. Además, permite la reducción de las tarifas de servicio para los usuarios finales y la capacidad de reinvertir en expansiones de la red de comunicaciones gracias a los ahorros obtenidos. [18]

Un estudio realizado sobre la reducción de costos en la infraestructura compartida realizada en Nigeria por el doctor Francis E. Idachaba, comprueba la eficiencia de la compartición de red y el efecto que tiene sobre la inversión de proveedores de servicio. En el estudio se toma una distribución de costos típica de una red GSM, y se examina la distribución de costos anuales asociados con la red de acceso inalámbrica y determina los componentes en los cuales se puede reducir los costos bajo el modelo de compartición: [19]

Tabla 3: Estructura de costos típica en una red móvil GSM [19]

Ítem	Tipo de Costo	Porcentaje
1	Equipo GSM	18.1%
2	Repuestos, Soporte, Entrenamiento	7.6%
3	Energía	15.8%
4	Renta del sitio	10.2%
5	Operación y Mantenimiento	9.7%
6	OPEX relacionado a la red	6.7%
7	Trabajo civil	13.1%
8	Equipamiento de sitio	11.3%
9	Equipo de transmisión	7.3%

Como resultado del estudio, se indica de la compartición de recursos entre los operadores puede ser aplicada en varios de estos ítems, excepto en 1, 2, 5, 6, 9, ya que estos requieren un mayor nivel de confiabilidad entre los operadores móviles. Sin embargo, aún sin estos componentes, la compartición de infraestructura afecta más del 50% de la estructura de costos en un sitio GSM, lo cual se traduce en un ahorro promedio de 30% para un operador individual. [19]

2.7 Casos de Estudio en Latinoamérica

2.7.1 Brasil

En el 2013 los operadores móviles Oi y TIM llegaron a un acuerdo de compartición de tipo MORAN, parte de este acuerdo incluía la compartición activa y pasiva para desplegar LTE en la banda 2.5 GHz. Algunos puntos que se consideraron para este acuerdo fue el de no compartir el espectro a menos de que sea muy necesario y solamente por un tiempo limitado. Otro de los aspectos que también se tomaron en cuenta fue el de realizar implementación abarcando 12 ciudades, esta implementación se realizó en 2 fases [17]:

- Fase 1: Oi - Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Brasilia, Fortaleza y Salvador) TIM – Recife.
- Fase 2: TIM – Sao Paulo, Natal y Curitiba, Oi – Porto Alegre, Manaus y Cuiabá.

2.7.2 Colombia

En el 2013 Colombia subastó espectro en la banda AWS (1.7 – 2.1 GHz) en favor de la compartición de infraestructura móvil, pasiva y activa. En agosto de ese mismo año Movistar y Tigo entraron en un acuerdo de compartición con la configuración MORAN con el objetivo de desplegar sistemas 4G utilizando las bandas AWS.

Los factores claves para este proyecto fueron el ahorro en CAPEX y OPEX para el despliegue de la nueva red 4G, lograr un rápido despliegue para poder competir y vencer al proveedor dominante, Claro, del mercado. Uno de los principales retos que se atravesó

fue el de la implementación de nuevos sitios en Colombia debido a las dificultades en la obtención de permisos para locales. [17]

2.7.3 Chile

El gobierno de Chile aprobó en el 2012 la Ley 20599, la cual regula la instalación de antenas emisoras y transmisoras de servicios de telecomunicaciones. Esta ley establece que de haber torres en zonas sensibles o congestionadas entonces estas serían decomisadas o caso contrario se debería hacer un pago por compensación a las localidades. Es por esa razón que los 4 principales operadores móviles con red de Chile, negociaron acuerdos de compartición de infraestructura. [17]

2.8 Marco Regulatorio en Perú

En el marco legal y regulatorio, se tiene a la Ley 30083 y el Decreto Supremo N° 049-2003-MTC. El objetivo de la ley 30083 es que se pueda fortalecer la competencia y expandir el mercado de los servicios móviles, para que esto sea posible se ha determinado la inserción de dos actores: los operadores móviles virtuales (OMV) y los operadores de infraestructura móvil rural (OIMR). En este último nos vamos a enfocar, la figura del OIMR permite a los operadores de telecomunicaciones instalar infraestructura de telefonía móvil en zonas rurales y de preferente interés social que hoy no tienen cobertura de ningún operador móvil, entonces la ley 30083 determina que los operadores móviles con red están obligados a utilizar estas facilidades de red que ofrecen los OIMR. Finalmente, para complementar, el Decreto Supremo N° 049-2003-MTC tiene por objetivo promover el desarrollo de los servicios públicos de telecomunicaciones mediante el establecimiento de nuevas disposiciones que faciliten e incentiven la expansión de las redes en áreas rurales y/o lugares de preferente interés social.

2.9 Selección de modelo técnico

En el capítulo 1 se mencionó la figura del OIMR, se va tomar como base el alcance del OIMR, este será nuestro punto de partida del modelo de compartición a diseñar. A continuación, se muestra el siguiente modelo técnico en la parte de acceso:

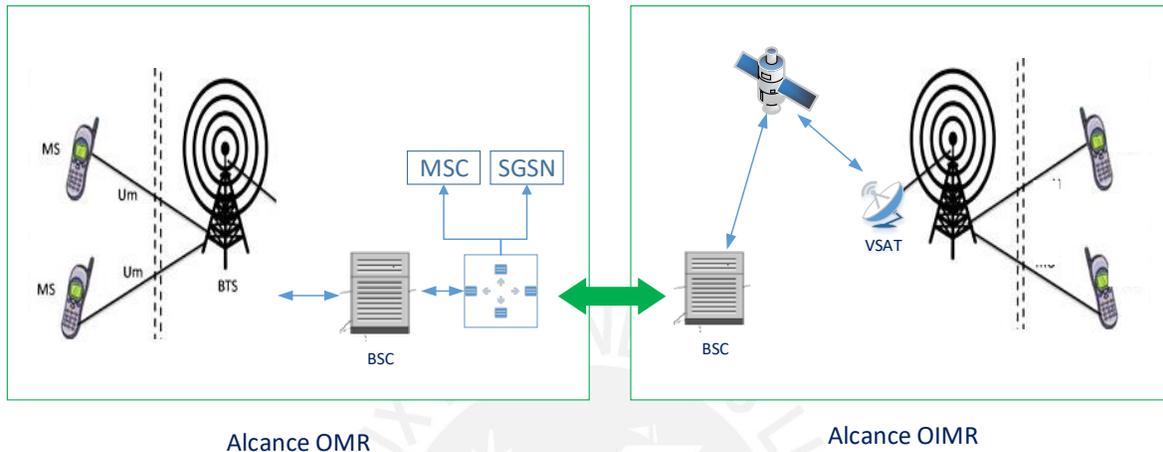


Figura 12: Modelo técnico a seguir por parte del OIMR

Fuente: "OSIPTEL" [20]

De acuerdo a lo mencionado en el marco legal, se puede lograr que 2 o más operadores móviles puedan desplegar sus servicios de telecomunicaciones mediante el modelo técnico mostrado en la figura 12. Este modelo nos permite inclinarnos a tomar el siguiente tipo de compartición de infraestructura: **Multi-Operator Radio Access Network (MORAN)**. MORAN ofrece a los operadores la flexibilidad de implementar funciones y actualizar las configuraciones a nivel de celda. Los datos operacionales también se pueden monitorear independientemente a nivel de celda.

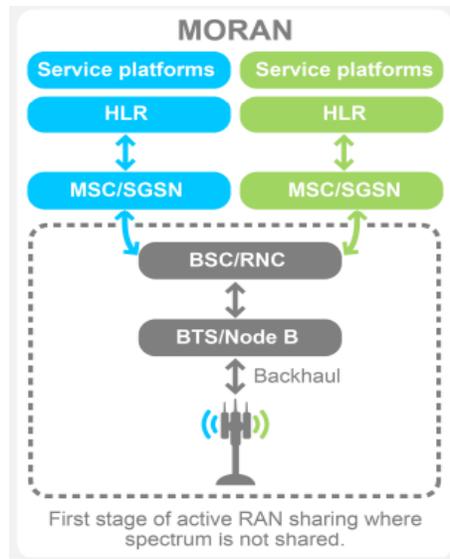


Figura 13: Modelo técnico MORAN

Fuente: “Accedian Networks” [21]

Se realizó una comparativa con el resto de los modelos, en el cual se miden distintas variables en base a información de otros países donde ya se ha implementado este modelo MORAN.

Tabla 4: Tabla reducción CAPEX y OPEX

Fuente: “Elaboración propia-Coleago Consulting”[22]

	Passive	Passive&Backhaul	Active (MORAN)	Active (MOCN)
CAPEX	-18%	-20%	-33%	-33%
OPEX	-9%	-12%	-19%	-21%

En esta tabla se puede apreciar que para el modelo MORAN el CAPEX se reduce en un 33% mientras que el OPEX se reduce en un 20%, estos valores se asemejan mucho a los del modelo MOCN. Sin embargo, en la siguiente tabla se muestra algunos indicadores con respecto a cada tipo de compartición:

Tabla 5: Tabla comparativa con indicadores
Fuente: “Elaboración propia-Coleago Consulting” [22]

	Passive	Passive&Backhaul	Active (MORAN)	Active (MOCN)
Ahorros	50%	75%	100%	100%
Tiempo de Preparación	25%	25%	25%	100%
Control sobre el despliegue y calidad	100%	100%	100%	25%
Aprobación Regulatoria	100%	100%	50%	25%

De acuerdo a esta tabla se puede concluir que el modelo MORAN sería el más adecuado ya que tiene menor tiempo de preparación y mayor posibilidad de aprobación regulatoria. Además, se puede apreciar mayor ahorro en costos de implementación y mayor control sobre el despliegue de la red móvil.

En el siguiente capítulo se diseñará una red para una localidad rural, en la cual los operadores móviles podrán acogerse para brindar cobertura. Además, se buscará optimizar la cobertura móvil mediante el uso de femtoceldas.

CAPÍTULO 3

OPTIMIZACIÓN DE LA RED MÓVIL EN CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA DE COTABAMBAS – APURIMAC.

Challhuahuacho, distrito minero gracias al proyecto Las Bambas, es la localidad que se ha elegido para implementar el proyecto de infraestructura de redes compartidas. Con esto se pretende mejorar los problemas de cobertura móvil en esta zona y además obtener ahorros significativos en CAPEX y OPEX.

3.1 Situación socioeconómica de Challhuahuacho

El distrito de Challhuahuacho es uno de los 6 distritos de la provincia de Cotabambas, la cual se encuentra ubicada en el departamento de Apurímac. Debido al proyecto minero Las Bambas, la población de Challhuahuacho se ha triplicado en menos de 10 años.

La cantidad de habitantes en el distrito de Challhuahuacho es de 7321 personas, las cuales se encuentran principalmente ubicadas en el centro poblado de Challhuahuacho, esta es considerada como capital del distrito mencionado. En la localidad de Challhuahuacho reside aproximadamente el 41% de la población total.

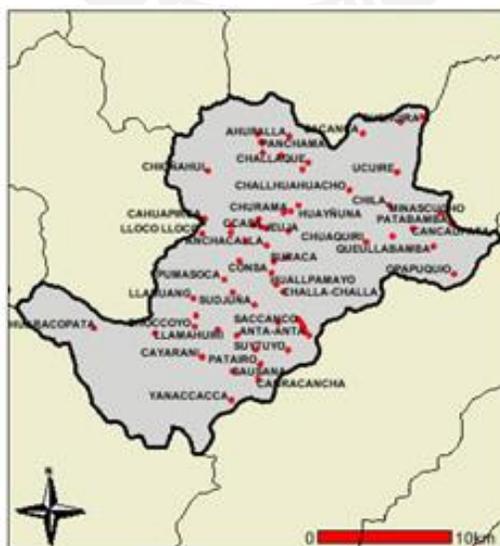


Figura 14: Mapa Distrital de Challhuahuacho
Fuente: “Proyecto Cotabambas” [23]

La cifra de la población económicamente activa (PEA) según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) es de 1103 personas, lo que equivale al 16% de la población total.

Entre las actividades económicas que predominan, figuran la explotación de minas y canteras, la ganadería y agricultura, la construcción y la enseñanza. En la figura 15 se puede apreciar la distribución de actividades económicas en la zona, es importante mencionar que al ser un centro minero, este va albergar oficinas y también personal administrativo de las diferentes compañías mineras que han ido explotando los yacimientos de dicha zona.

En la figura que se muestra a continuación se puede apreciar las actividades económicas que se realizan, reafirmando que la explotación de canteras, la construcción y la enseñanza son las actividades más demandadas de la localidad.

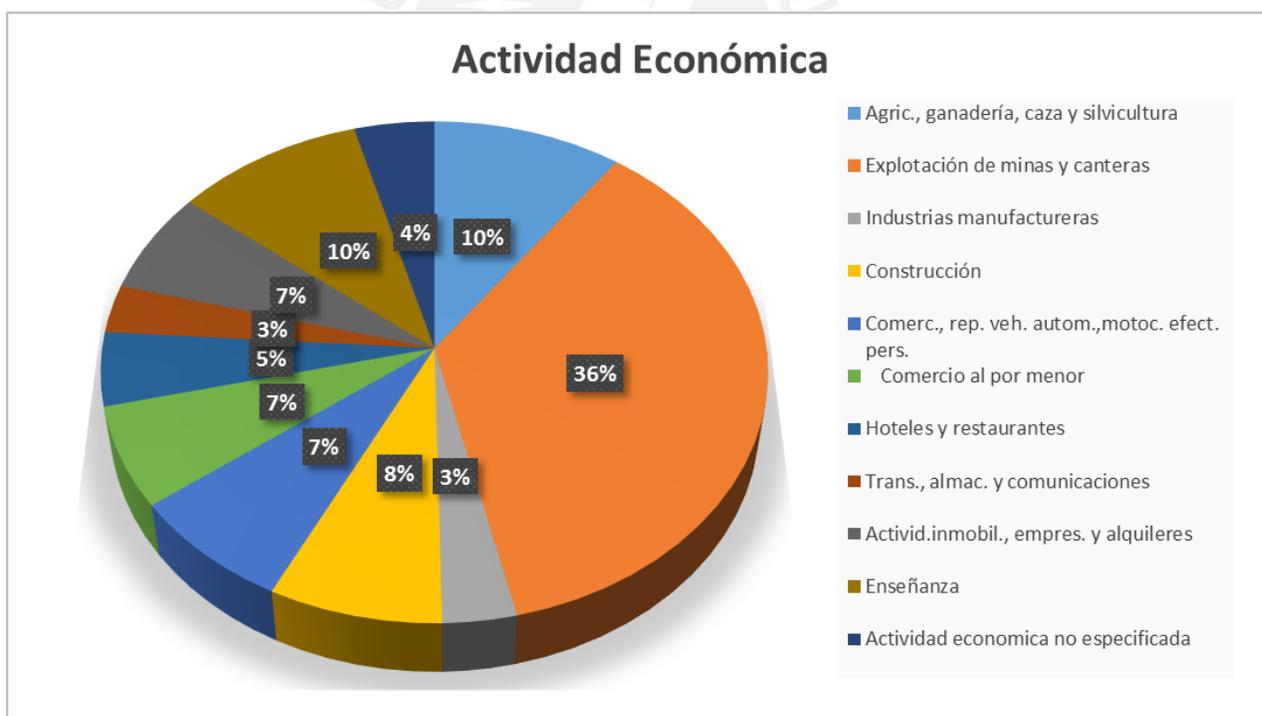


Figura 15: Porcentaje de Ocupación

Fuente: "Elaboración propia - INEI" [24]

3.2 Cálculo del tráfico demandado

3.2.1 Perfil de usuario y población económicamente activa

Es importante resaltar que Challhuahuacho es la localidad que recibe más visitas de personas de diferentes partes de la zona, en comparación con las otras localidades de Cotabambas, estas visitas varían alrededor de 1000 visitas al mes de personas que vienen por temas comerciales, personal de compañía minera, visitantes a colegios, a estos denominaremos “población en edad de trabajar” (PET).[24]

Ya que Challhuahuacho es la zona con mayor concurrencia, entonces se tratara de cubrir áreas aledañas, como es el caso de Nueva Fuerabamba y también de las vías que conducen hacia la minería Las Bambas. En la siguiente tabla se presenta el total de la posible demanda, para lo cual se va presentar un estudio de tráfico de voz y datos.

Tabla 6: PEA DE CHALLHUAHUACHO

Fuente: “Elaboración propia - INEI” [24]

POBLACIÓN PEA	
Población en edad de trabajar	604
Población Actual	1103
TOTAL	1707

3.2.2 Estado Actual de Cobertura Móvil y Análisis de Demanda

La implementación de cobertura móvil en la localidad de Challhuahuacho fue puesta en marcha a partir del año 2010, este proyecto llevó a cabo la construcción de una red eléctrica e instalación de equipos y antenas de telecomunicaciones satelitales, para que capten la señal de telefonía móvil. Sin embargo, se ha presentado varios problemas de cobertura, esto viene por parte de las quejas hechas por los pobladores de la misma localidad de Challhuahuacho y también de pobladores de zonas aledañas que reclaman el derecho de

servicio de cobertura móvil. A continuación, se muestra el mapa de cobertura de la localidad de Challhuahuacho, así como de zonas aledañas.

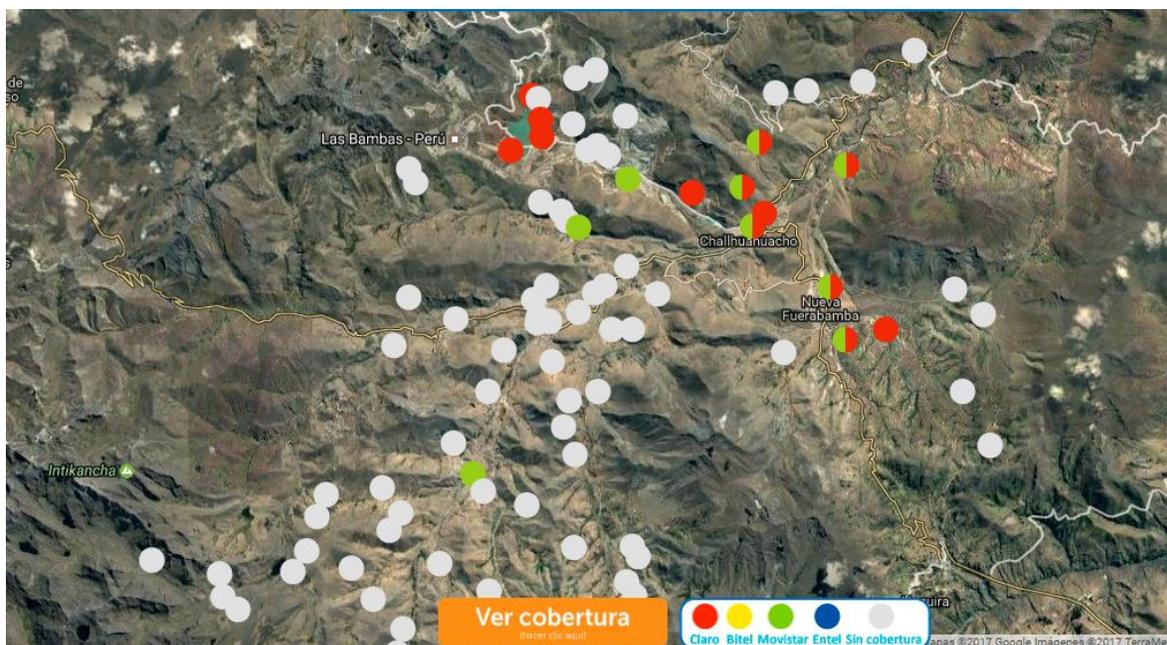


Figura 16: Cobertura móvil del Distrito Challhuahuacho

Fuente: "OSIPTEL" [25]

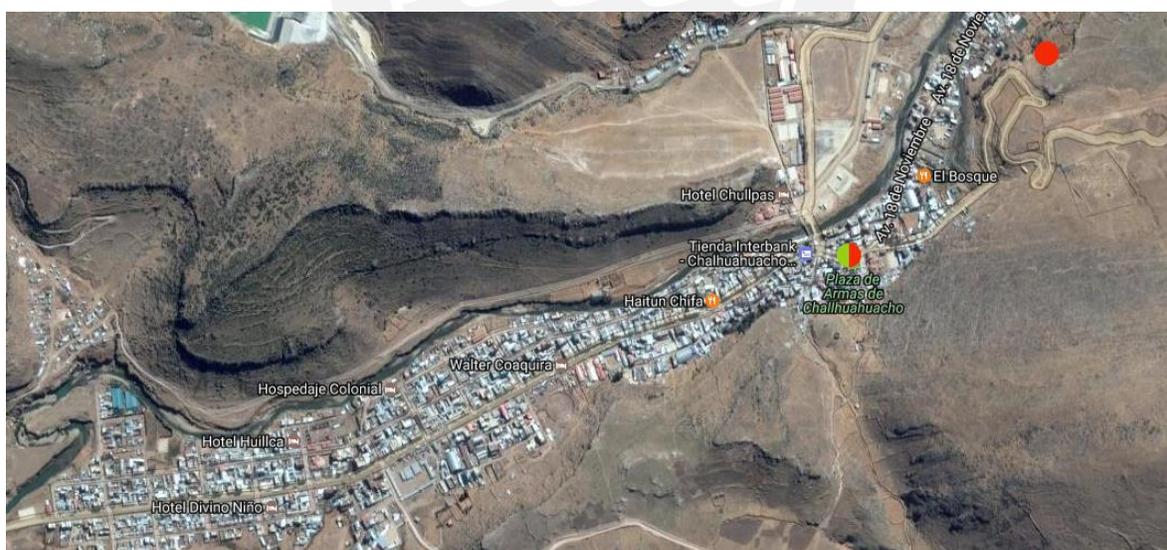


Figura 17: Cobertura móvil de la localidad de Challhuahuacho

Fuente: "OSIPTEL" [25]

En el mapa se puede visualizar puntos de color verde y puntos de color rojo, estos representan la ubicación de las estaciones base de Telefónica de Perú y América Móvil respectivamente. Por otro lado, los puntos grises representan la ausencia de cobertura móvil.

Para propósitos de este proyecto se va considerar la implementación de la tecnología UMTS, por ser la red con mayor despliegue y además tiene mayor cantidad de terminales vendidos.

- Voz: 10mErlang tráfico que genera un usuario rural [26]
- Datos: 300 kbps [27]
- Multimedia: 200 kbps

El impulso económico que se le ha dado a la zona de Challhuahuacho, implica tasas de crecimiento no esperadas, por lo que se va a asumir un aumento del 10% de la población cada año. De esta manera se resume el crecimiento de la población en los próximos 4 años, considerando año 1 como el año 2018, y una penetración en las zonas rurales del 80% como se indica en el INEI, llegando al 100% para finales del 2021. De esta forma se obtiene la tabla 7 que nos muestra una potencial demanda para propósitos del presente proyecto.

Tabla 7: CRECIMIENTO ESPERADO DE CLIENTES

Fuente: "Elaboración propia"

AÑO	PEA	PENETRACIÓN MOVIL	USUARIOS
1	1707	80%	1364
2	1878	90%	1691
3	2066	95%	1963
4	2273	100%	2273

3.2.3 Requerimientos de máxima capacidad a ofrecer

Se va analizar el escenario de mayor frecuencia de uso para realizar la demanda de tráfico. Se debe tener en consideración la recomendación por parte de la UIT y del Colegio de Ingenieros de Lima, un margen del 30% más de la red disponible para una demanda extraordinaria, por alguna externalidad. De acuerdo a lo expuesto se va analizar los requerimientos de tráfico en voz, datos y multimedia.

- **Voz**

Teniendo en cuenta que el tráfico generado por usuario va ser de 10mErlang, y tomando un factor de simultaneidad del 60%, se va tener un total de 1364 en el peor de los casos, generando un tráfico total de 13.64 Erlang. Añadiendo el margen por mayor demanda mencionado al inicio se obtiene un tráfico final de 17.73 Erlang, considerando un bloqueo del 1%. [26]

Haciendo uso de la tabla Erlang o una calculadora Erlang se obtiene un total de 27 circuitos para el proyecto.

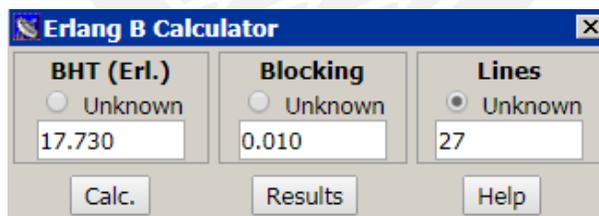


Figura 18: Calculadora Erlang

Fuente: "Erlang B Calculator" [28]

- **Datos**

Para los datos se va evaluar el tráfico requerido por el uso de acceder a Internet desde distintos dispositivos que puedan utilizar los pobladores de la zona, ya sea para hacer uso de mensajería, navegación por páginas web, entre otros. Por ello considerando una velocidad de 300 kbps, tiempo de uso de 4 minutos, y un factor de simultaneidad de 10%; se obtiene lo siguiente: [29]

$$\text{Tráfico de datos} = \frac{300 \text{ kbps} * 4 \text{ min} * 0.1 * 2273}{60 \text{ min}} = 4.54 \text{ Mbps}$$

Considerando el factor de externalidades mencionado anteriormente, se requiere 5.9 Mbps.

- **Multimedia**

Para este punto se va a evaluar la descarga de archivos, ya sea imágenes, videos, documentos, etc. Se va a considerar una velocidad de descarga de 200 kbps, tiempo de uso de 4 minutos, y un factor de simultaneidad de 5%; se obtiene lo siguiente: [29]

$$\text{Tráfico de datos} = \frac{200 \text{ kbps} * 4 \text{ min} * 0.05 * 2203}{60 \text{ min}} = 1.51 \text{ Mbps}$$

Considerando factor de externalidades se obtiene: 1.96 Mbps.

3.3 Diseño de Red de solución propuesta

El diseño de red consistirá en describir el despliegue de la macro celda, a través de la estación base. Además, se va a hacer uso de las femtoceldas como agente de mejora de calidad del servicio móvil, lo que finalmente se traduce para el usuario en ahorros significativos y el ahorro del CAPEX y OPEX por parte del operador. A continuación, se hará una breve explicación de las femtoceldas y de la convergencia entre la femto y macro celda.

3.3.1 Femtoceldas

Las femtoceldas son pequeñas estaciones base que se conectan a la red y permiten dirigir el tráfico de voz y datos. Estas brindan una mejor cobertura para espacios tales como el interior de edificios, hogares u oficinas.

Las femtoceldas se caracterizan por ser equipos de baja potencia de transmisión, lo cual permite una reducción de las interferencias, y también dado que la distancia entre la femtocelda y el usuario es mínima en comparación a que se conecte a una macro celda, esto hace que el terminal del usuario reciba una mayor potencia. Además, esta tecnología debido a que tiene bajo número de usuarios permite que ellos gocen de una mejor y mayor calidad. [30]

3.3.1.1 Arquitectura de Femtoceldas

Una femtocelda es una extensión de la infraestructura de la red móvil. La estación móvil del usuario todavía se conecta a la red del operador por la interfaz aérea mediante la estación base. Tanto en el sistema UMTS y LTE, la estación base llamadas Nodo B y eNodo B, respectivamente, pues en las femtoceldas en 3GPP se llaman Home Nodo B y Home eNodo B respectivamente, o HNB y HeNB. En la figura 19 se muestra la arquitectura de las femtoceldas según 3GPP. [30]

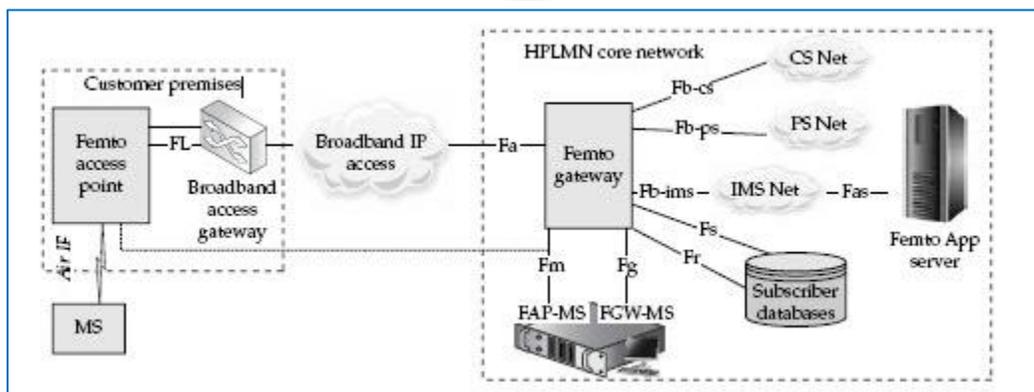


Figura 19: Arquitectura de Femtocelda

Fuente: "Femtocell Project" [31]

En la figura 20 se puede observar una pequeña comparación entre el acceso al núcleo de red celular de una estación base convencional y el acceso al núcleo de red celular de una femtocelda.

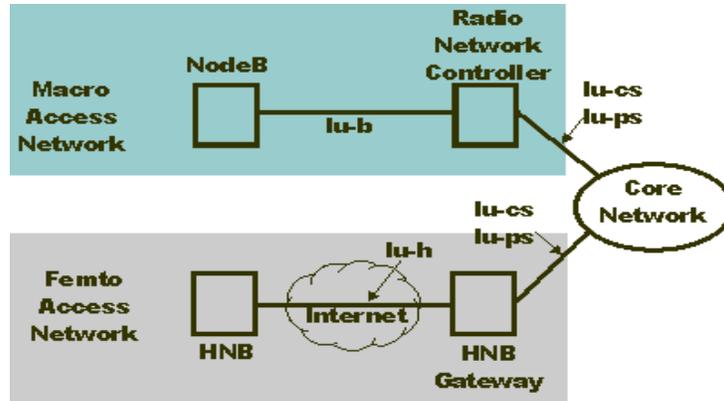


Figura 20: Comparación entre el acceso al núcleo de red celular de una estación base convencional y una femtocelda

Fuente: “Femtocell network architecture” [32]

El HNB o Home Node B se refiere al punto de acceso a la femtocelda, este incorpora la característica de un Node B estándar. La interfaz Iu-h es la que brinda el enlace para que se conecte el HNB con HNB-GW.

El HNB-GW o Home Node B Gateway es la interfaz de punto de acceso femtocelda. Este elemento es el que se encarga de concentrar un número grande de HNBs en una interfaz IuCS/PS para introducir la información en el núcleo central de la red IP.[30]

3.3.1.2 Interacción entre la macro y la femto celda

3GPP contempla una serie de situaciones en las que un usuario puede hacer uso de los servicios macro y femtocelda, éstas son:

- HNB fuera de cobertura GSM o UMTS ofrecido por macroceldas
- HNB dentro de cobertura GSM suministrada por una macrocelda
- HNB dentro de cobertura UMTS suministrada por una macrocelda, ambos entre la misma frecuencia

- HNB dentro cobertura UMTS suministrada por una macrocelda utilizando distintas frecuencias

Se puede observar en la figura 3.6, como es la coexistencia entre las femtoceldas y macroceldas en un escenario real.

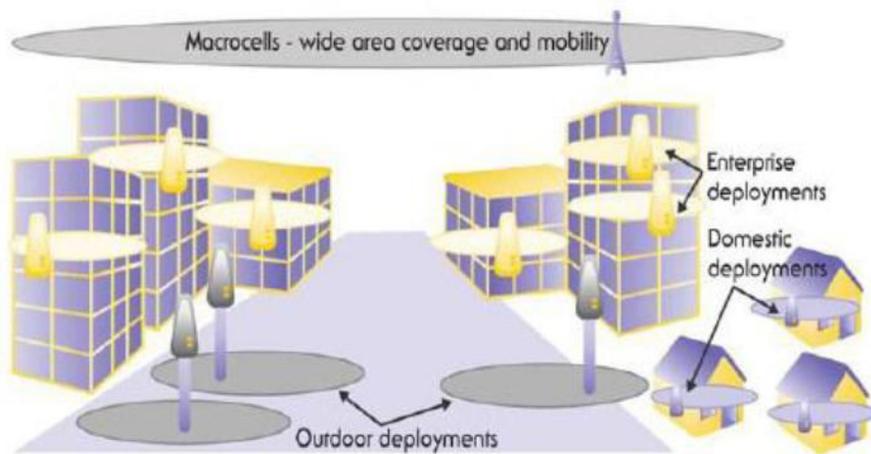


Figura 21: Coexistencia entre la macro y femto celda

Fuente: "Small Cell Forum" [33]

3.3.2 Topología de la red

Una vez seleccionadas las tecnologías a utilizarse, se puede continuar con el diseño de la solución de comunicaciones para la localidad. La solución propuesta comprende la utilización de sistemas inalámbricos. En la red de transporte se utilizará una estación VSAT ubicada en la localidad de Challhuahuacho.

La localidad de Challhuahuacho cuenta con un teléfono rural satelital. La operadora que brinda estos servicios es Gilat to Home Perú S.A. El tipo de tecnología que utilizan estos teléfonos es satelital de tipo VSAT.

Tabla 8: Líneas telefónicas en la localidad de Challhuahuacho

Fuente: "INDECI" [34]

Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	Tipos de Servicio	Líneas
Apurímac	Cotabambas	Challhuahuacho	Challhuahuacho	Telefonía Pública	83-812136

Este teléfono satelital nos indica que ya existe una terminal VSAT en la localidad de Challhuahuacho, por lo que solamente se necesitara la adquisición de un switch para poder conectar otros dispositivos como es el caso de la Femto BTS o Home NodeB.

En la figura 22 se muestra el esquema de red de la solución propuesta con los elementos ya mencionados:

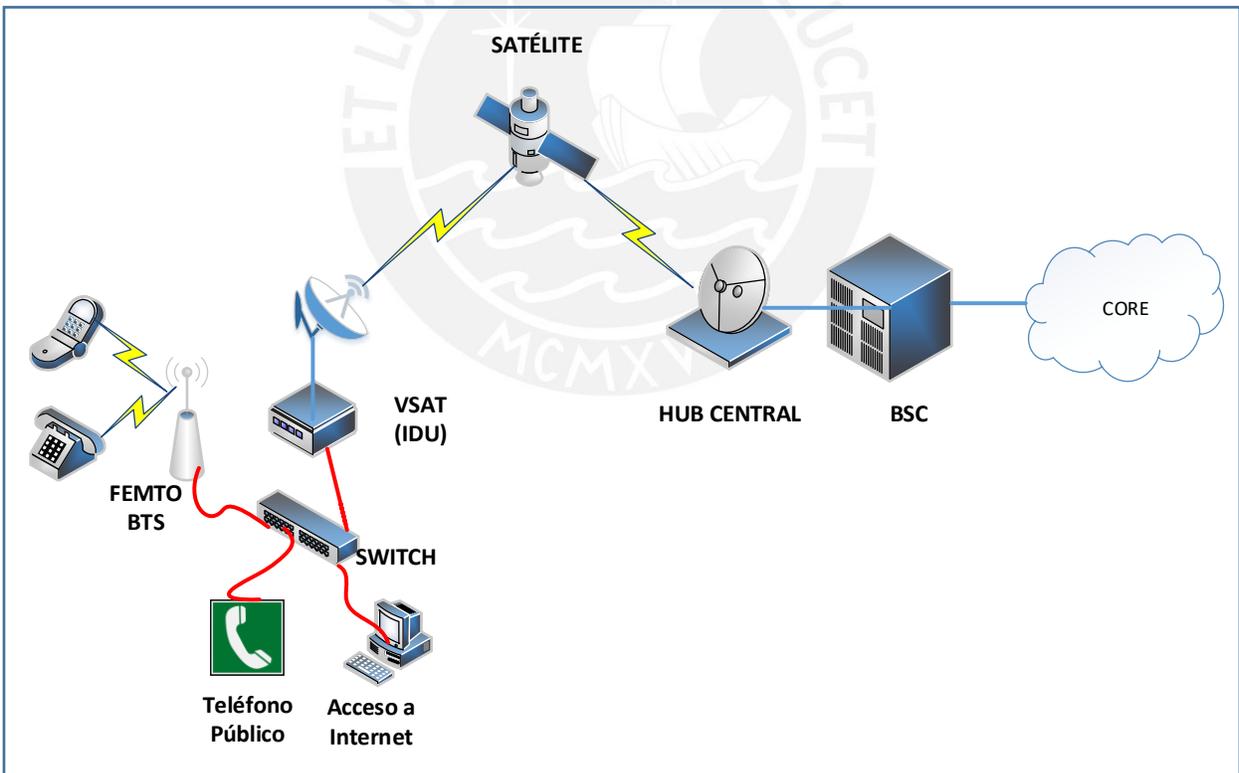
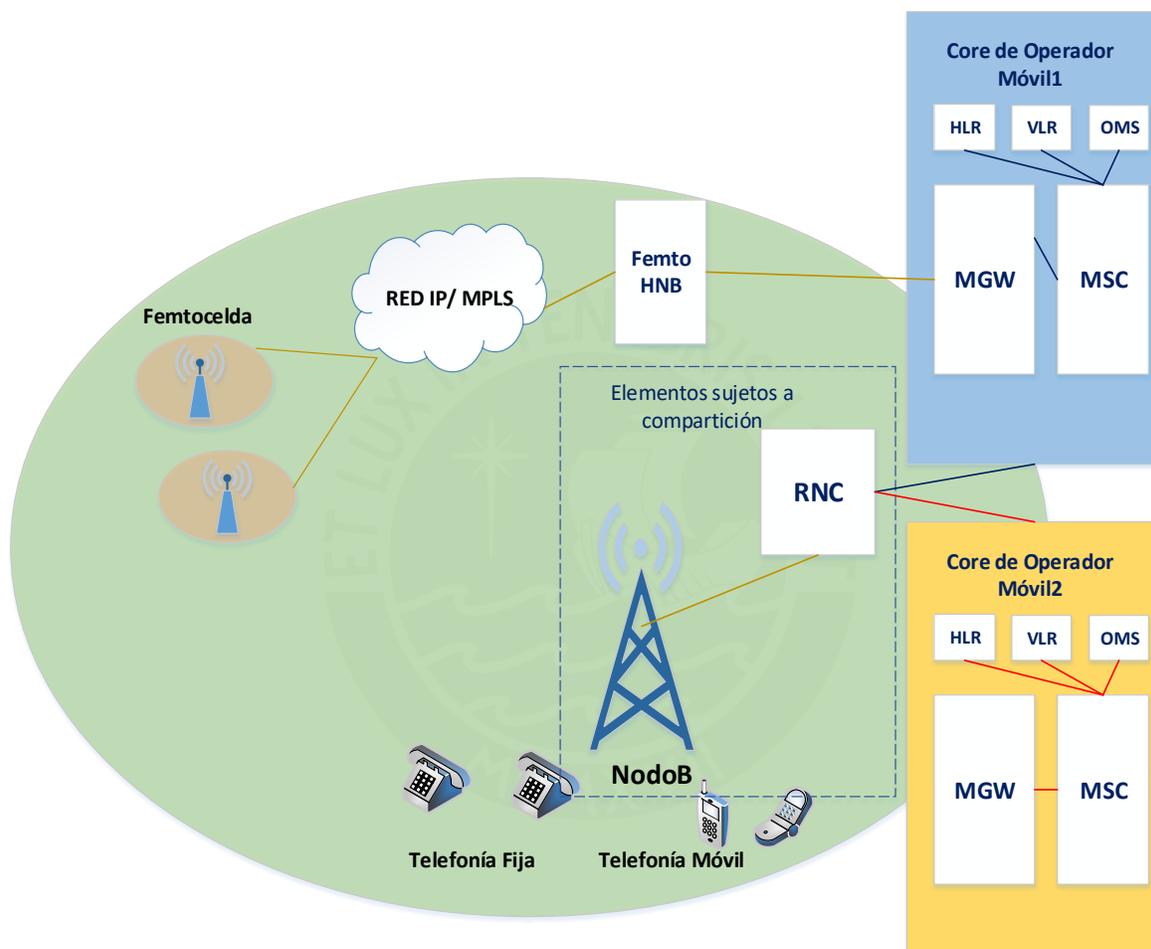


Figura 22: Esquema de red del proyecto

Fuente: "Elaboración Propia – FITEL" [35]

De igual manera es necesario el despliegue de la macro celda, y de la convergencia con las femtoceldas a instalar como se propone en este documento. En la figura 23 se puede apreciar cómo es la convergencia entre la macro celda y las femtoceldas. Siendo esta la topología a seguir en el presente diseño:



CONVERGENCIA ENTRE LA MACRO Y LA FEMTO CELDA

Fuente: "Elaboración propia"

3.4 Estructura de Red de Transporte

Para determinar la ubicación de la estación base con sus respectivas coordenadas y demás parámetros de radiofrecuencia, se va tener en cuenta la distribución de edificaciones de la localidad de Challhuahuacho. Así mismo, se buscará cubrir zonas aledañas a la ciudad y también las vías que conducen a la minería Las Bambas, ya que se trata de vías concurridas por aquellas personas que laboran en dicha mina.

A continuación, se muestra la cobertura deseada, en la figura 23, indicando la numeración de los sectores.



Figura 23: Cobertura deseada Challhuahuacho

Fuente: “Elaboración Propia-Google maps” [36]

3.4.1 Cálculo de la radio propagación para la estación base

Para este caso, se hará uso del modelo de propagación Longley-Rice conocido como *Irregular terrain model (ITM)*, este es el modelo de predicción troposférica para predecir las pérdidas de radio de transmisión en el espacio libre sobre terreno irregular para enlaces de medio y largo alcance. Este modelo está diseñado para trabajar en el rango de frecuencias de 20MHz y 40GHz, y para distancias que se encuentren entre 1 km y 200 km. [37]

Se hará uso del software Radio Mobile, el cual implementa el modelo de Longley-Rice. Radio Mobile es una herramienta útil mediante la cual se puede verificar la factibilidad de transmisión de los sistemas de comunicaciones y enlaces a diseñar. Este programa trabaja con mapas satelitales tridimensionales de las zonas en las cuales se realizarán los enlaces. [37]

3.4.1.1 Cálculo de la radio propagación para la estación base en la banda de 850 MHz

A continuación, se muestra los resultados de las simulaciones. Para las simulaciones con Radio Mobile se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 9: Parámetros para estación base y equipo móvil [38]

ESTACIÓN BASE		EQUIPO MÓVIL	
Potencia Tx	43dBm	Sensibilidad	-90dBm
Umbral receptor	-121 dBm	Tipo de antena	Omnidireccional
Ganancia de antena	17 dBi	Altura de antena	1.6 metros
Altura de antena	70 metros		
Pérdida de la línea	3dB		

- **Sector 1:** Este sector cubrirá la ciudad de Challhuahuacho.

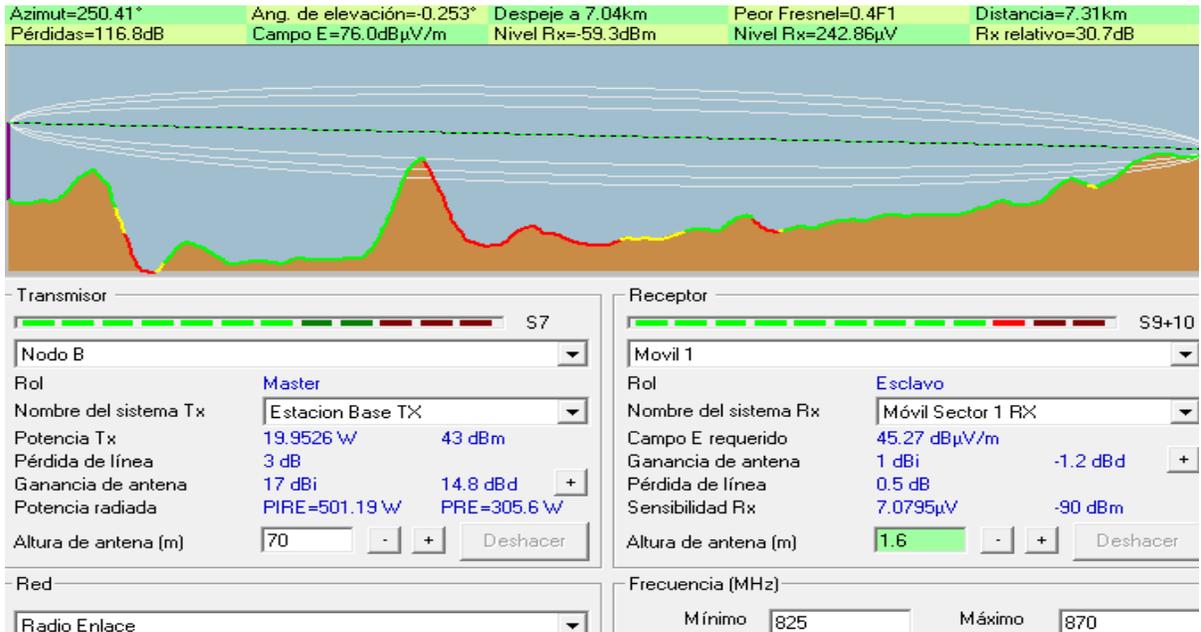


Figura 24: Perfil de enlace NodoB-Móvil1 en la banda de 850 MHz

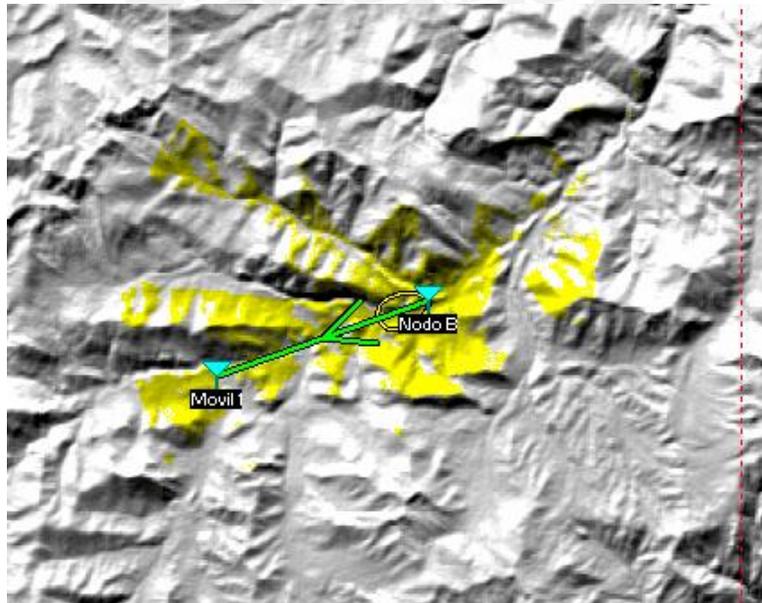


Figura 25: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil1 en la banda de 450 MHz

- **Sector 2:** Este sector cubre las zonas aledañas a la ciudad de Challhuahuacho.

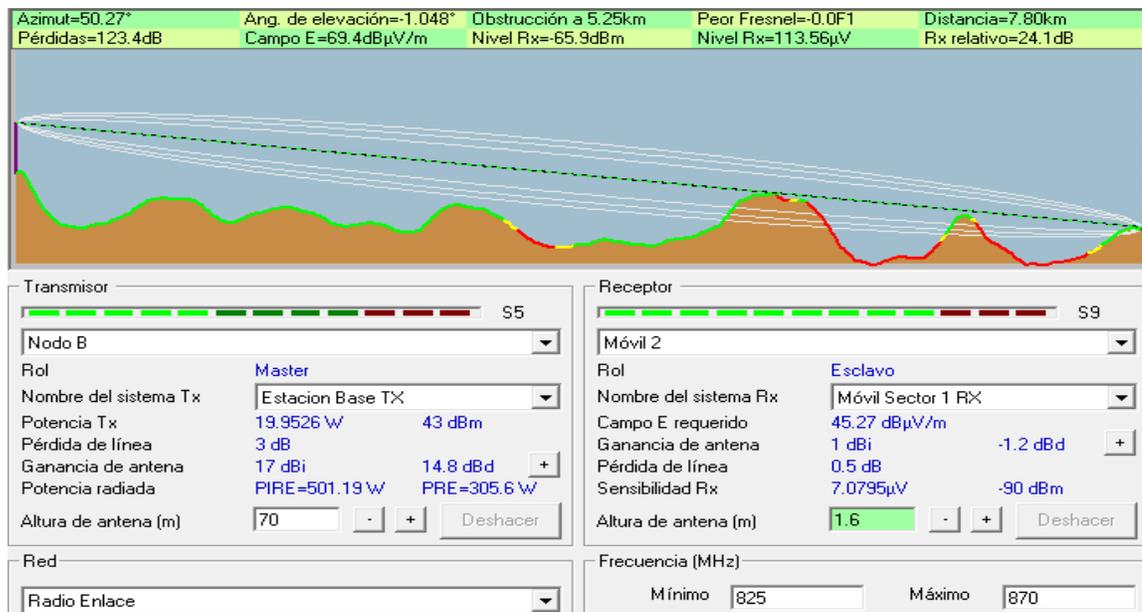


Figura 26: Perfil de enlace NodoB-Móvil2 en la banda de 850 MHz

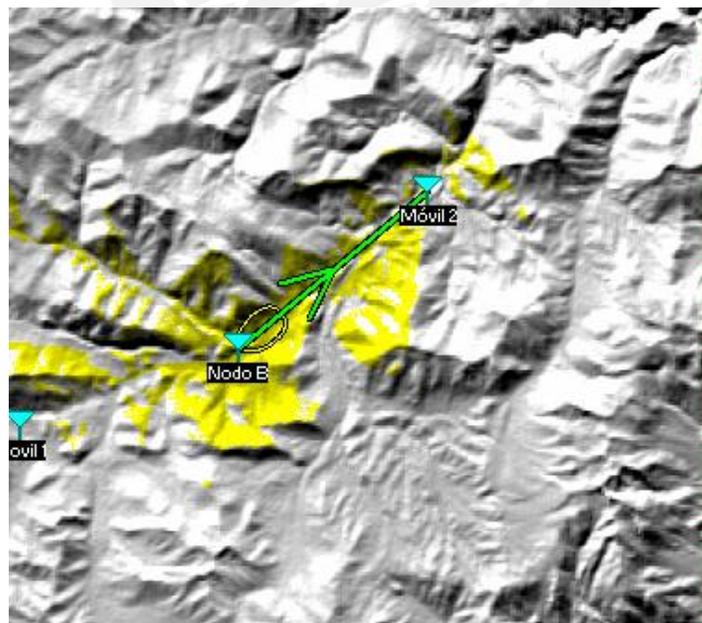


Figura 27: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil2 en la banda de 450 MHz

- **Sector 3:** Este sector cubre las vía que conducen a la minería Las Bambas.

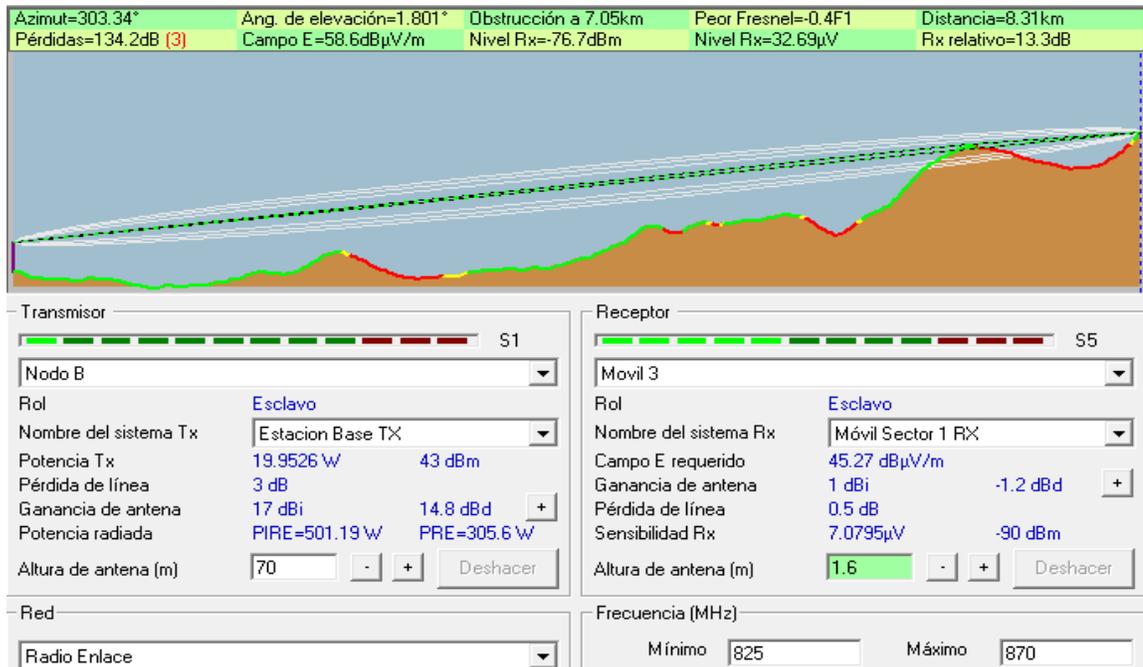


Figura 28: Perfil de enlace NodoB-Móvil3 en la banda de 850 MHz

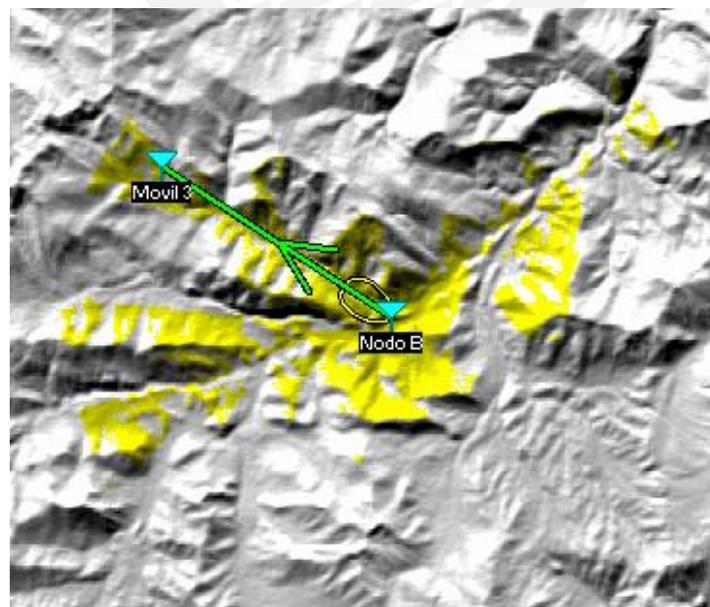


Figura 29: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil3 en la banda de 850 MHz

3.4.1.2 Cálculo de la radio propagación para la estación base en la banda de 450 MHz

Para los cálculos en esta sección se tomarán en cuenta los mismos parámetros mostrados en la tabla 9, la única diferencia será la frecuencia en la que se va trabajar.

A continuación, se muestra los resultados de las simulaciones para cada sector:

- **Sector 1:** Este sector cubrirá la ciudad de Challhuahuacho.

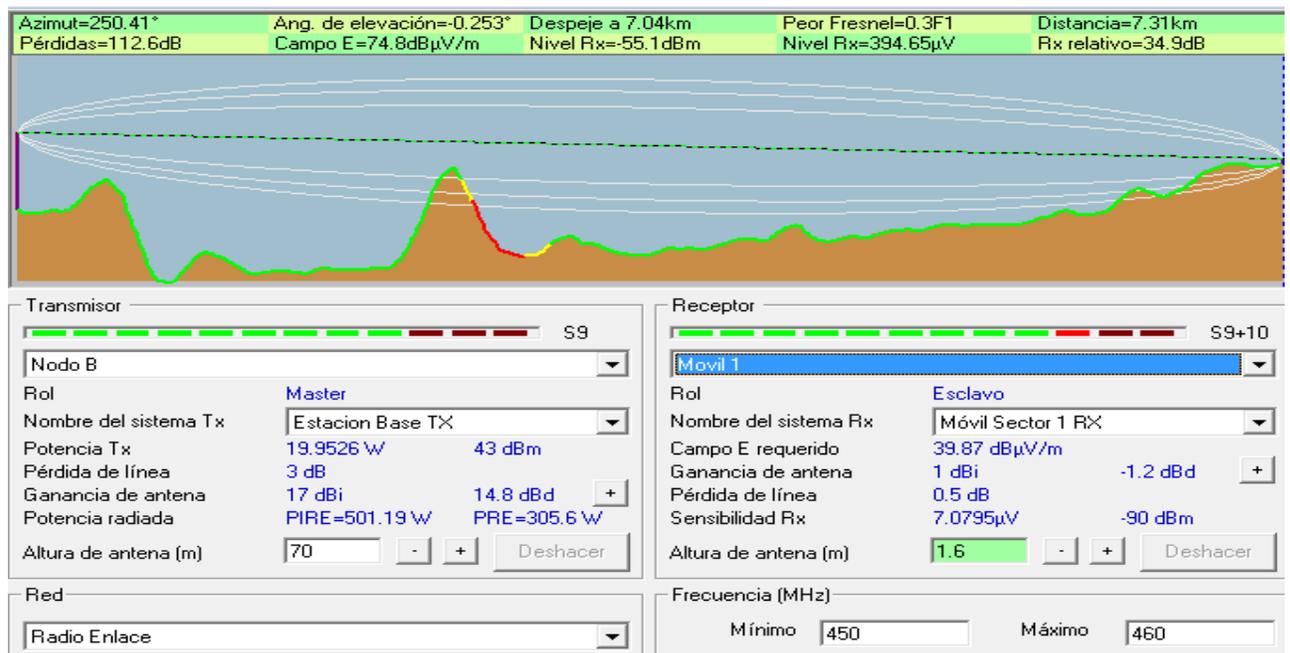


Figura 30: Perfil de enlace NodoB-Móvil1 en la banda de 450 MHz

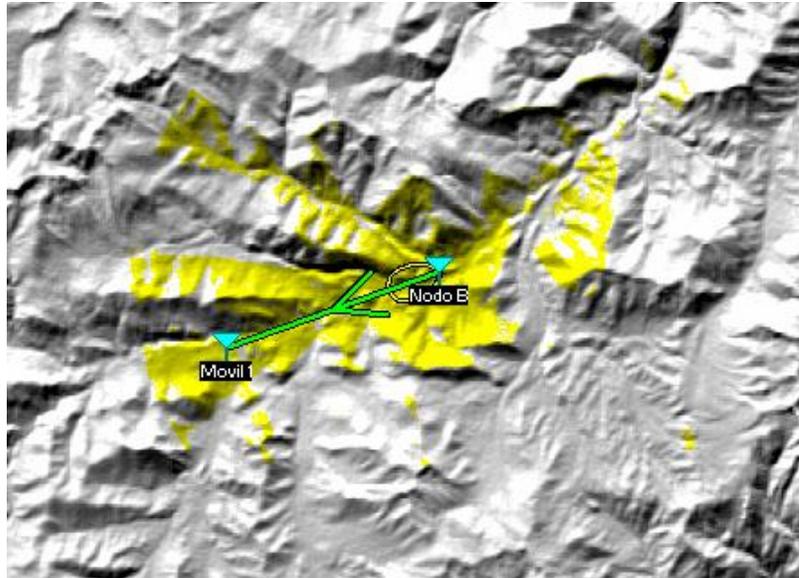


Figura 31: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil1 en la banda de 450 MHz

- **Sector 2:** Este sector cubre las zonas aledañas a la ciudad de Challhuahuacho.



Figura 32: Perfil de enlace NodoB-Móvil2 en la banda de 450 MHz

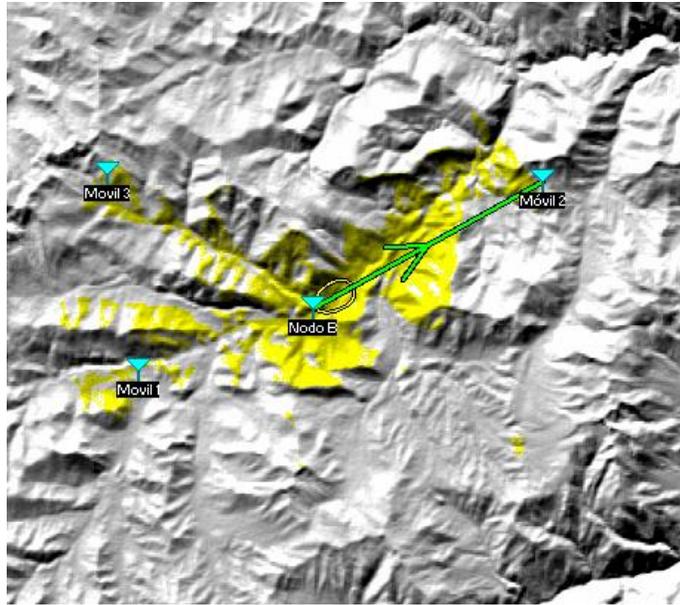


Figura 33: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil2 en la banda de 450 MHz

- **Sector 3:** Este sector cubre las vía que conducen a la minería Las Bambas.

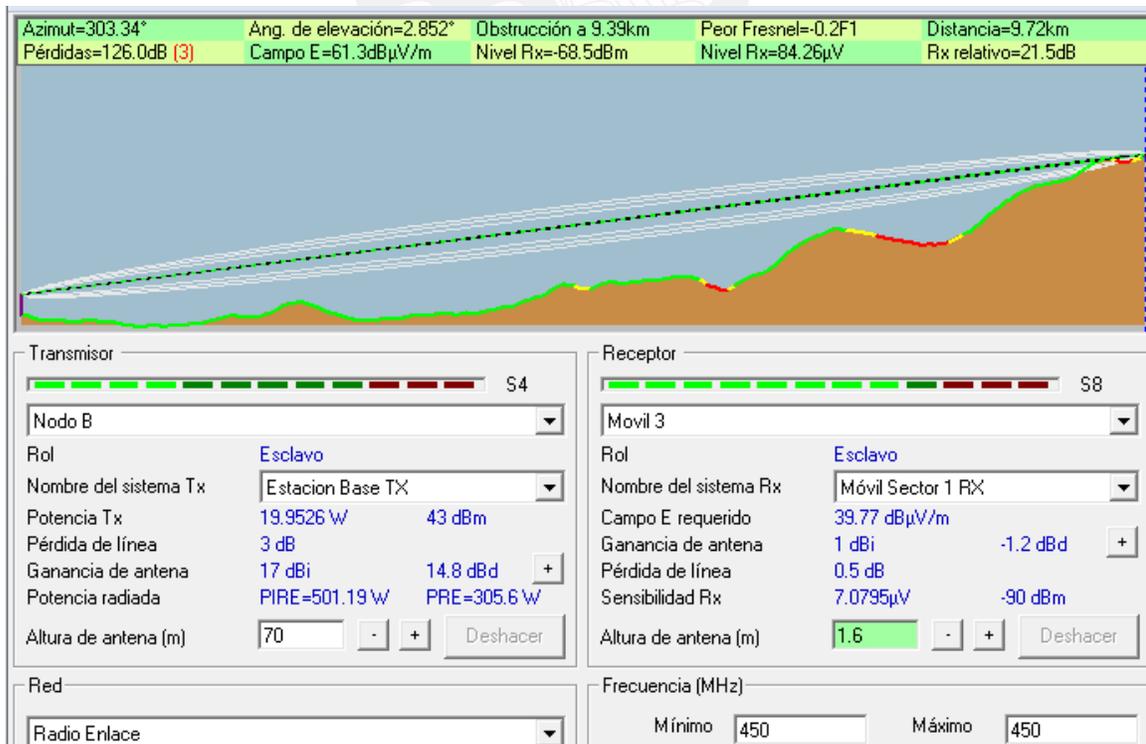


Figura 34: Perfil de enlace NodoB-Móvil3 en la banda de 450 MHz

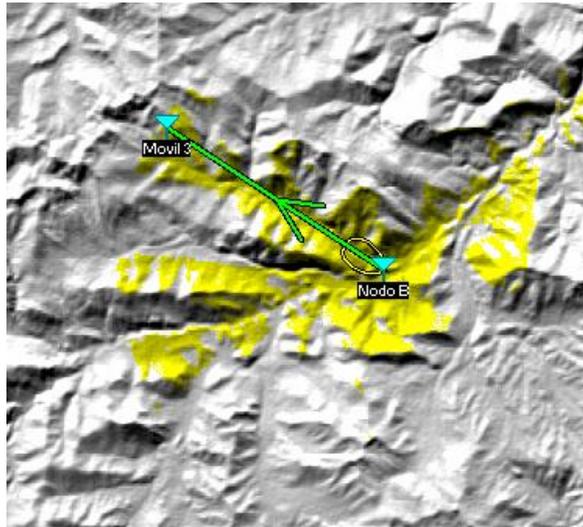


Figura 35: Cobertura polar de enlace NodoB-Móvil3 en la banda de 450 MHz

3.4.1.3 Comparación entre ambas bandas calculadas

Se ha elaborado un cuadro comparativo entre las bandas de 450 MHz y 850 MHz en base a algunos resultados que fueron devueltos por la simulación en Radio Mobile para hallar la cobertura de la estación base:

Tabla 10: Comparación de los resultados de la macrocelda

	Banda 850 MHz			Banda 450 MHz		
	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Pérdidas	116.8 dB	123.4 dB	134.2 dB	112.6 dB	116.7 dB	126.0 dB
Nivel de Rx	-59.3 dBm	-65.9 dBm	-76.7 dBm	-55.1 dBm	-59.2 dBm	-68.5 dBm
Cobertura	7.31 Km	7.80 Km	8.31 Km	7.31 Km	10.44 Km	9.72 Km

Como se puede apreciar el nivel de recepción para ambos casos y en todos los sectores siempre es mayor al umbral mínimo de recepción, que tiene un valor de -90 dBm como se indica en la tabla 9. Esto quiere decir que enlace es viable para ambos casos. Sin embargo, haciendo una comparación en las pérdidas de cada sector, se puede observar que las pérdidas en la banda de 450 MHz son siempre menores que las pérdidas en la banda de 850 MHz, además el nivel de cobertura es mayor en la banda de 450 MHz. Es por ello que se escoge trabajar con la banda de 450 MHz ya que muestra resultados óptimos que finalmente favorecen a nuestro enlace.

En general, la utilización de bajas frecuencias tiene como consecuencia una mayor propagación, esto se traduce en un área mayor de cobertura permitiendo el uso de menos estaciones base. Esta característica del uso de la frecuencia de 450 MHz hace que sea una buena alternativa para emplearse en zonas rurales, por lo que representa costo menos elevado que otras tecnologías y tiene además un mayor alcance. [39]

3.4.2 Cálculo de radio propagación para las femtoceldas

De la misma manera que en el cálculo de radio propagación para la estación base, se van a realizar los cálculos para las femtoceldas en las bandas de 450 MHz y 850 MHz. También se hará uso del software Radio Mobile, el cual implementa el modelo de Longley-Rice.

3.4.2.1 Cálculo de radio propagación para femtoceldas en la banda de 850 MHz

Para el caso de estudio, las femtoceldas estarán ubicadas en los postes públicos y/o en la parte superior de las edificaciones con mayor altura, como es el caso de los múltiples hospedajes que se encuentran en la zona. Se está considerando que cada edificio público tiene una altura máxima de aproximadamente 8 pisos y cada piso equivalente a 3 metros de altura. [40]

A continuación, se muestra los resultados de las simulaciones. Para las simulaciones con Radio Mobile se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 11: Parámetros para femtocelda y equipo móvil [41]

FEMTOCELDA (TX)		EQUIPO MÓVIL (RX)	
Potencia Tx	20dBm	Sensibilidad	-90dBm
Tipo de antena	Omnidireccional	Tipo de antena	Omnidireccional
Ganancia de antena	0 dBi	Altura de antena	1.6 metros
Altura de antena	24 metros		

Resultados de la simulación:

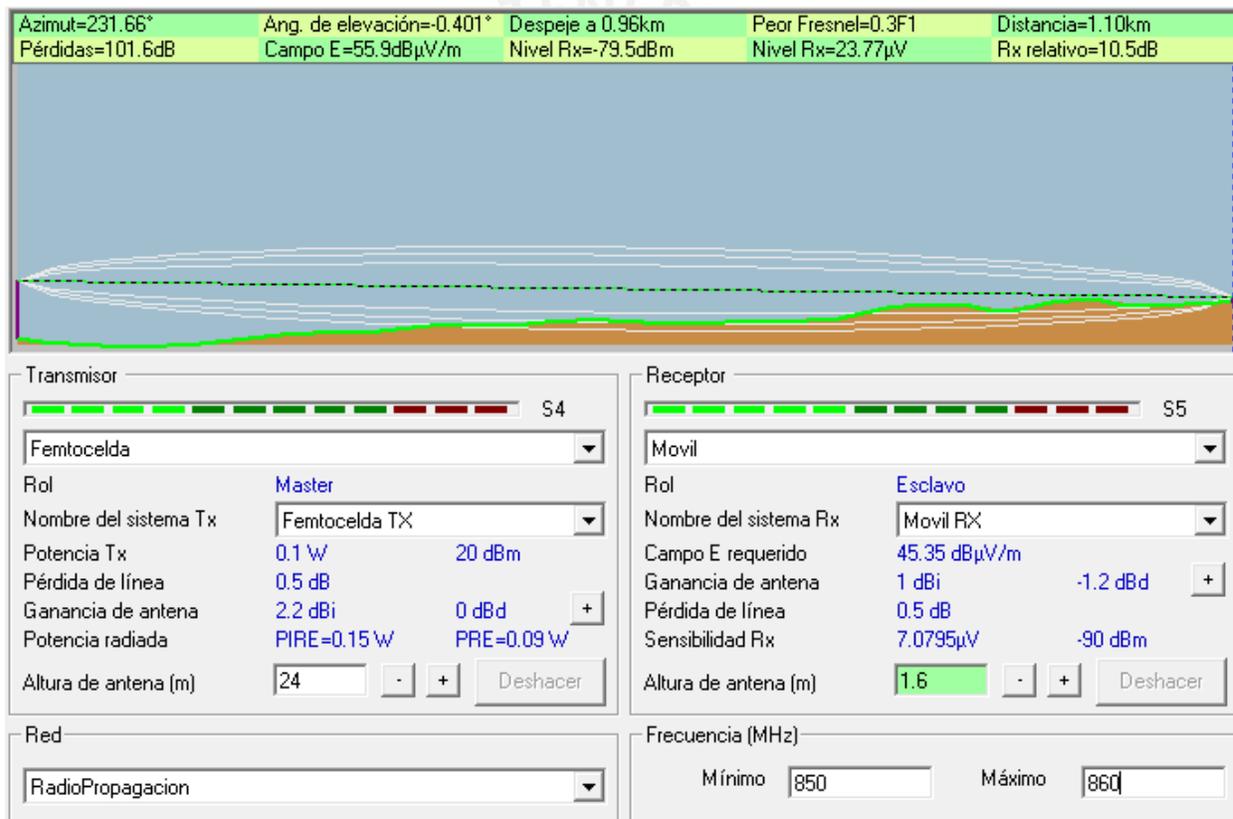


Figura 36: Perfil de enlace Femtocelda-Móvil en la banda de 850 MHz

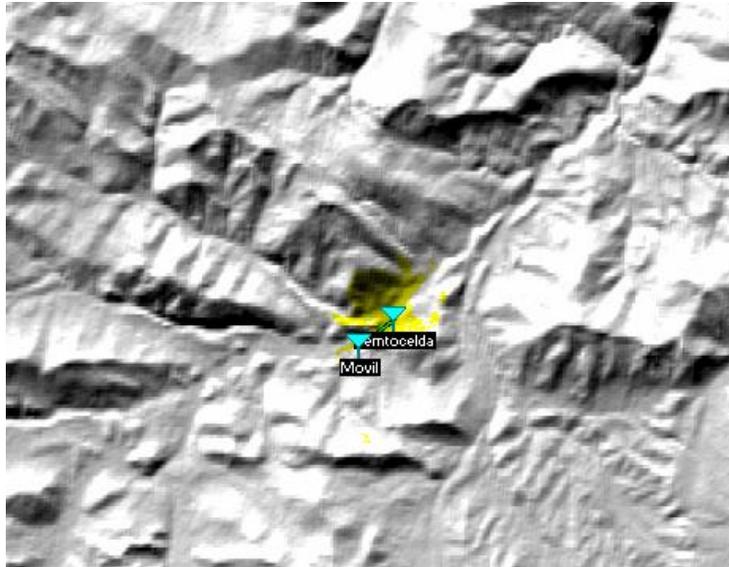


Figura 37: Cobertura polar de enlace Femtocelda-Móvil en la banda de 850 MHz

3.4.2.2 Cálculo de radio propagación para femtoceldas en la banda de 450 MHz

Para el cálculo de pérdidas en este punto se va a hacer uso de los mismos parámetros que fueron utilizados en la tabla 11.

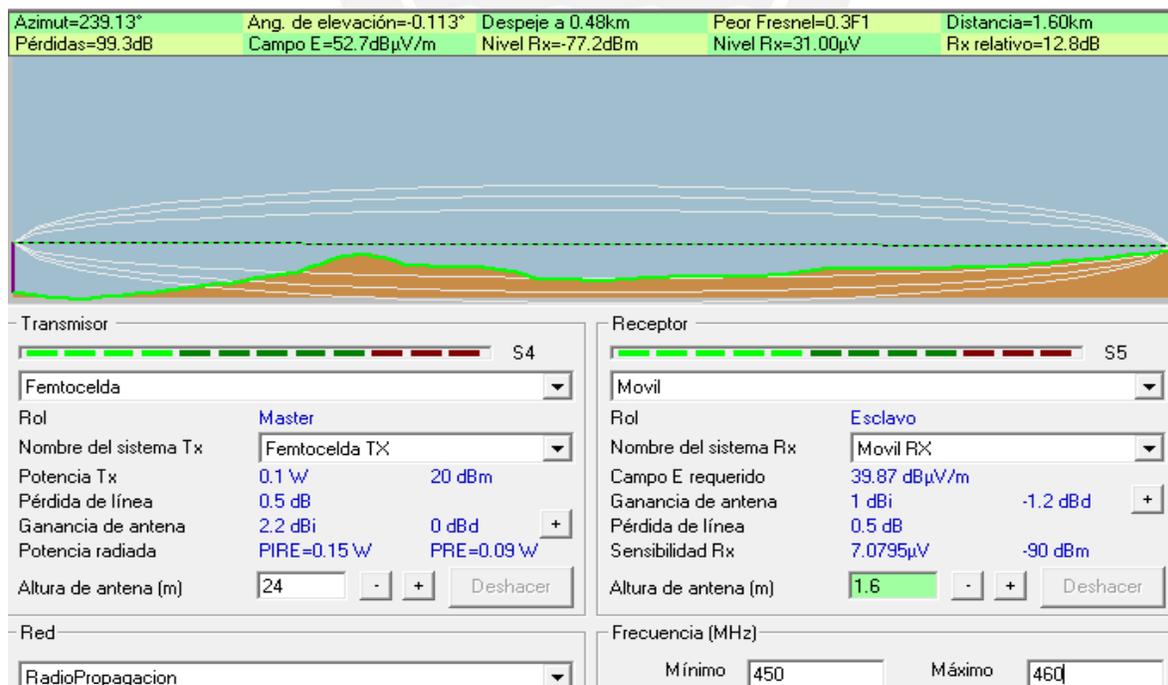


Figura 38: Perfil de enlace Femtocelda-Móvil en la banda de 450 MHz

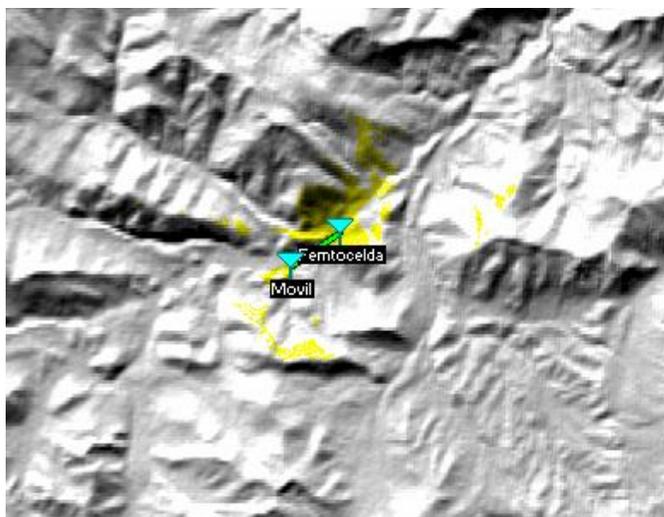


Figura 39: Cobertura polar de enlace Femtocelda-Móvil en la banda de 450 MHz

3.4.2.3 Comparación entre ambas bandas calculadas

Se ha elaborado un cuadro comparativo entre las bandas de 450 MHz y 850 MHz en base a algunos resultados que fueron devueltos por la simulación en Radio Mobile para hallar la cobertura de las femtoceldas:

Tabla 12: Comparación de resultados de la femtocelda

	Banda 850 MHz	Banda 450 MHz
Pérdidas	101.6 dB	99.3 dB
Cobertura	1.10 Km	1.6 Km
Nivel de Rx	-79.5 dBm	-77.2 dBm

De acuerdo a los resultados mostrados se puede concluir que el enlace es viable para ambos casos, ya que el valor de nivel de recepción o la potencia de recepción está por encima del umbral mínimo de recepción que en este caso es de -90dBm, como se puede apreciar en la tabla 11. Sin embargo, las pérdidas para la banda de 450 MHz son menores y además la cobertura es mayor que en la banda de 850 MHz. Es por ello que se hará uso de la banda de 450 MHz dado que su uso muestra un resultado más óptimo que finalmente favorecen a nuestro enlace.

3.4.3 Comparación entre la banda de 450MHz y 850 MHz

El uso de frecuencias como la de 450 MHz es la alternativa más eficiente en términos de cantidad de radios bases necesarias, por ejemplo, en teoría cada radio base con la frecuencia de 450 MHz cubre el doble de distancia 4 veces más la superficie que utilizando la banda de 850 MHz.

A continuación, se muestra un cuadro comparativo con algunas características de estas frecuencias:

Tabla 13: Comparación de características entre la banda de 850 MHz y 450 MHz

Fuente: “Elaboración propia - CEPAL” [42]

Propiedades	Banda 850 MHz	Banda 450 MHz
Cobertura	Media	Alta. Hasta 1.9 veces más que UMTS 850 para cobertura en terrenos llanos
Ahorro en Capex	Moderado	Alto. Ahorro de hasta 48% usando tecnología LTE 450 en lugar de UMTS 850
Ecosistema	UMTS 850	LTE 450, ecosistemas más completos hasta el momento y para el futuro
Avance en Dispositivos Móviles	No hay mayor avance en dispositivos móviles para que trabajen en esta banda	Los avances en dispositivos móviles LTE son más importantes actualmente. Por el momento los dispositivos móviles LTE 450 no son comerciales.

3.5 Determinación del equipamiento

El equipamiento se va dividir en 2 zonas de cobertura: la zona femto y la zona macro

3.5.1 Zona Femto

A continuación, se muestran los equipos a utilizarse:

- Controlador Femto

El equipo a utilizar será un controlador Nano 3G Access Controller NC200, sólo se requiere uno para la gestión de las femtoceldas, soportando la gestión de 200 femtoceldas, lo cual varía de acuerdo al modo de seguridad usado, los modos de atención al cliente, entre otros parámetros. [43]

En el controlador Femto se configura las redes privadas virtuales (VPN) acorde al tipo de servicio que se va a ofrecer mediante las femtoceldas, se asocian las mismas y se administra los recursos de red asignados como: frecuencia a trabajar, horarios de gestión, restringir acceso a usuarios, canales de radio, tipo de seguridad, etc.

- Femtocelda

Para las femtoceldas se utilizará el equipo E16/E24 nano3G. Este equipo tiene la característica de proporcionar movilidad total con transferencia configurable abierta o cerrada, transferencia bidireccional a redes macro 3G, LTE y 2G, además soporta el estándar 3GPP Release 9.[44]

Estas femtoceldas también incorporan *Power over Ethernet* (PoE) para simplificar el cableado en sitios complejos, eliminando la necesidad de que haya energía disponible donde se despliega la femtocelda.



Figura 40: E16/E24 nano3G [44]

Cabe señalar que se hará uso de cajas de protección para exterior, ya que las femtoceldas irán instaladas en su mayoría en la parte más alta de edificaciones de la localidad o también en postes de alumbrado público.



Figura 41: Caja de protección para exteriores [45]

3.5.2 Zona Macro

Para la elección del BTS se eligió BTS3900 de Huawei, porque soporta los modos de tecnología GSM, WCDMA, UMTS. Esto permite una migración a la cuarta generación de

servicios en el futuro, en el caso que se requieran estos servicios en las localidades rurales.
[46]

Esta BTS de alta la capacidad, incluye todos los elementos necesarios, para la transmisión, así para soportar la antena y un gabinete de apoyo para la batería de respaldo.



Figura 42: BTS 3900 Huawei [46]

CAPÍTULO 4

VALORACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se presentará la propuesta económica para la implementación del diseño que se plantea, se van a estimar los costos tanto de inversión como los de operación y mantenimiento para la solución propuesta.

4.1 Costos de Inversión

Los costos de inversión o también llamados CAPEX, son todos aquellos precios involucrados para la implementación del proyecto. Parte de estos precios abarca la adquisición de los equipos y costos de instalación del diseño propuesto.

Para la inversión se tomará en cuenta todos los requerimientos ya mencionados en este documento, por otro lado, los gastos administrativos, licencias y/o permisos no se están considerando, porque se espera que las autoridades locales cooperen en este proceso.

Para el caso del enlace satelital, no se está considerando los precios de instalación VSAT, ya que la localidad cuenta con un teléfono satelital, el cual ya se encuentra conectado a la estación VSAT existente, es por ello que en los costos del enlace satelital solamente se incluirá un SWITCH que irá conectado al IDU de la estación VSAT.

Se destinará además una pequeña partida presupuestal para los costos y gastos derivados de la interconexión al terminal VSAT de Gilat to Home Perú.

Tabla 14: Costo de Inversión de Capital

Fuente: “Elaboración Propia con información de [47]”

	Estación Base	Precio Unitario	Precio Total (US\$)	O&M/ mes (US\$)
Femtoceldas	5 Femtocelda	\$ 314.00	\$ 1 570.00	\$ 40.00
	Controlador (Femto Gateway)		\$ 850.00	\$ 61.00
	Obra Civil		\$ 372.00	\$ 15.00
Macroceldas	BTS y Equipos de Tx y Rx		\$ 25,000.00	\$ 1,500.00
	Sistema Radiante(3 antenas)	\$ 1,200.00	\$ 3,600.00	\$ 50.00
	Obra civil macrocelda		\$ 111,850.00	\$ 850.00
	SWITCH Cisco SGE2000 24		\$ 520.00	\$ 40.00
Total de costo en dólares americanos US\$			\$ 143,762.00	\$ 2,556.00

4.2 Costos Operación y Mantenimiento

Los costos de operación u OPEX, son aquellos costos que se realizan para mantener el correcto funcionamiento de nuestro diseño. Estos costos van a incluir el mantenimiento de los equipos a usarse, y también costos de los enlaces mensuales.

En la tabla (número de la tabla) se muestran los gastos anuales por costos de operación y mantenimiento:

Tabla 15: Costo operación y mantenimiento anual

Año	1	2	3	4
O&M mensual	\$ 2,556.00	\$ 2,556.00	\$ 2,556.00	\$ 2,556.00
Total Anual	\$ 30,672.00	\$ 30,672.00	\$ 30,672.00	\$ 30,672.00

4.3 Ingresos

Para esta sección se va a considerar el ARPU (Average Revenue Per User, ingresos medios por usuario) mensual por cliente con un valor de \$7, de manera que el ARPU anual sería de \$84. [43]

Tabla 16: Ingresos anuales

Año	1	2	3	4
Clientes	1364	1691	1963	2273
Ingreso Total	\$ 114,576.00	\$ 142,044.00	\$ 164,892.00	\$ 190,932.00

4.4 Evaluación económica

En esta sección se va a armar el flujo de caja y se va a calcular el VAN y TIR. Para el cálculo se está considerando una tasa del 20%.

Tabla 17: Caja de Flujo

Fuente: "Elaboración propia"

Año	0	1	2	3	4
Inversión	143,762.00				
Gastos		30,672.00	30,672.00	30,672.00	30,672.00
Ingresos		114,576.00	142,044.00	164,892.00	190,932.00
Flujo	-143,762.00	83,904.00	111,372.00	134,220.00	160,260.00

VAN	225,927.94
TIR	65%

Se tiene una VAN mayor a cero lo que significa que el proyecto es viable. Además, se obtuvo un TIR con un valor mayor a la tasa de referencia, lo que significa que el proyecto es también altamente rentable.

En el capítulo 2 se hizo mención que se utilizaría el modelo de compartición de redes MORAN. Este modelo permite una reducción del 33% en el CAPEX y del 19% en el OPEX, estos valores fueron establecidos en la tabla 4 que se encuentra en el capítulo 2. De acuerdo a estos porcentajes de reducción se procede a armar otra caja de flujo para hallar el VAN y el TIR.

Tabla 18: Caja de flujo de 2 operadores

Fuente: "Elaboración propia"

Año	0	1	2	3	4
Inversión (CAPEX)	96,320.00				
Gastos (OPEX)		24,844.32	24,844.32	24,844.32	24,844.32
Ingresos		68,745.60	85,226.40	98,935.20	114,559.20
Flujo	-96,320.00	43,901.28	60,382.08	74,090.88	89,714.88

VAN	105,510.74
TIR	50%

*Se está considerando una reducción del 40% en los ingresos por la presencia de un operador móvil más. [22]

Finalmente, se puede apreciar que el VAN es mayor que cero, lo que significa que el proyecto sigue siendo viable, también el TIR mantiene un valor mayor a la tasa de referencia, esto comprueba que la red compartida de tipo MORAN será altamente rentable. Esta reducción de costos el CAPEX y OPEX finalmente se verá también reflejada en las tarifas para el usuario final.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

1. La necesidad de comunicación en las localidades rurales y de preferente interés social de nuestro país nos impulsa a buscar y elegir tecnología que se adecuen para satisfacerlas, de manera que esta cubra los requerimientos básicos de las telecomunicaciones rurales como la cobertura, capacidad y rentabilidad del sistema. Se demostró mediante el análisis económico que el uso de redes compartidas es altamente rentable, además este fomenta la competencia en el mercado de las telecomunicaciones móviles, lo cual nos beneficia económicamente a todos nosotros, los usuarios finales.
2. Con la propuesta de esta tesis se puede lograr reducir el aislamiento y la marginación de zonas rurales y también se da pie a una mayor adopción y uso de nuevas estrategias de comunicación. Otro aspecto importante que se obtiene a raíz del impacto del uso de telefonía móvil es tener una mejor respuesta ante emergencias de salud, educación y seguridad.
3. La propuesta de esta tesis contribuye garantizar la mejora socio económica de los pobladores en las zonas rurales, ya que al tener un adecuado servicio móvil, es decir un cobertura móvil óptima, no existiría la necesidad de desplazarse de un punto a otro para encontrar la cobertura móvil deseada. Esta mejora puede ser explotada para las actividades económicas de comercio y servicios que se realizan a diario.
4. El diseño realizado en esta tesis tomo en cuenta varios aspectos para poder mejorar la cobertura móvil en áreas rurales aisladas de la ciudad, se buscó utilizar tecnologías que puedan adecuarse a estas zonas que muchas veces son geográficamente accidentadas. Es por eso que se trabajó en la banda de 450 MHz, la cual es una alternativa de relativas mejores prestaciones para este tipo de entornos, debido principalmente a sus características de uso de espectro expandido y gran área de cobertura.

Recomendaciones:

1. El único modelo de compartición de infraestructura de telecomunicaciones regulado por la legislación actual es la compartición pasiva del sitio, en la cual solo se compartirán elementos no radiales del sitio. Es por ello que se recomienda fomentar leyes que permitan el uso compartido de elementos radiales.
2. Se recomienda un plan capacitación y sensibilización en aquellas zonas rurales donde se tiene pensado ofrecer y mejorar la cobertura móvil, para que se pueda generar un concepto de participación en los proyectos a realizarse, logrando así que población pueda conservar y cuidar el equipamiento.



Bibliografía

- [1] WiMAX
2012 "Proyectos WiMAX" Consulta: Marzo, 2016
URL: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11677/fichero/Volumen+1%252F3.-WiMAX.pdf>
- [2] Grupo de Telecomunicaciones Rurales GTR-PUCP
"REDES INALÁMBRICAS PARA ZONAS RURALES" . Consulta: Marzo, 2016
URL: <http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/publicaciones/>
- [3] International Telecommunication Union (ITU)
2008 "Mobile Sharing". Consulta: Marzo, 2016
URL: https://www.itu.int/ITU-T/treg/Events/Seminars/GSR/GSR08/discussion_papers/Camila_session4.pdf
- [4] GSMA
"Compartición de Infraestructura en América Latina". Consulta: Julio, 2016
URL: <http://www.gsma.com/latinamerica/es/comparticion-de-infraestructura-en-america-latina>.
- [5] MANUEL, José
2014 "Compartición de redes móviles para reducir costes". Consulta: Julio, 2016
URL: <http://www.zonamovilidad.es/noticia/1899/reportajes/comparticion-de-redes--moviles-para-reducir-costes.html>.
- [6] Gestión
2016 Artículo: "Mayu Telecomunicaciones instalará infraestructura de telefonía móvil en zonas rurales." Consulta: Abril, 2016
URL: <http://gestion.pe/empresas/mayu-telecomunicaciones-instalara-infraestructura-telefonía-movil-zonas-rurales-2156544>

- [7] REYES, Felipe
2016 "Telecomunicaciones: Mercados y Tecnologías." Consulta: Julio, 2016
URL: <http://telecomunicaciones-peru.blogspot.pe/2016/03/peru-mayu-telecomunicaciones-es-el.html>
- [8] Z. Becvar, P. Mach, I. Pravda
"Redes Móviles" Consulta: Junio, 2017
URL: http://improvet.cvut.cz/project/download/C4ES/Redes_moviles.pdf
- [9] ABHISHEK GHOSH AUGUST
"UMTS or Universal Mobile Telecommunications System,". Consulta: Junio, 2017
URL: <https://thecustomizewindows.com/2012/08/umts-or-universal-mobile-telecommunications-system/>.
- [10] ANAYA DE PAZ, Marta
2012 "FEMTOCELDAS DE UMTS". Proyecto fin de carrera. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Consulta: Junio, 2017
URL: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20120313MartaAnayaDePaz.pdf>
- [11] TELECO
"UMTS: Arquitectura". Consulta: Mayo, 2017
URL: http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialumts/pagina_2.asp.
- [12] UNAM
"Redes móviles de Tercera Generació". Consulta: Junio, 2017
URL: <http://studylib.es/doc/5585551/redes-m%C3%B3viles-de-tercera-generaci%C3%B3n>
- [13] VELARDE, Edgar
2016 "Introducción a UMTS - HSPA Revisión de principios de sistemas móviles." (Diapositivas) Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

- [14] Krzywicki, John ANALYSYS MASON
2010 "Trends in mobile infrastructure sharing Presentation for Macquarie Securities" Consulta: Junio, 2016
URL: <http://docplayer.net/756248-Trends-in-mobile-infrastructure-sharing.html>
- [15] Telecom Cloud
"Radio Network Sharing." Consulta: Julio, 2016
URL: <http://www.telecom-cloud.net/radio-network-sharing-the-new-paradigm/>.
- [16] HUAWEI
2015 White Paper. "Network Consolidation". Consulta: Setiembre, 2016
URL:
http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw_454338.pdf
- [17] LEZA, Daniel. ITU
2014 "Mobile Infrastructure Sharing : Trends in Latin America". Consulta: Setiembre, 2016
URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Documents/CostaRica/Presentations/Session8_Daniel%20Leza%20-%20Mobile%20Infrastructure%20Sharing%20-%202012%20March%202014.pdf
- [18] D. E. Meddour, T. Rasheed, Y. Gourhant
2011 Telecom-Orange R&D . "On the role of infrastructure sharing for mobile network operators in emerging markets," *Comput. Networks*, vol. 55, no. 7, pp. 1576–1591
- [19] F. E. Idachaba
2010 "Telecommunication Cost Reduction in Nigeria through Infrastructure Sharing between Operators .," vol. 11, no. 1, pp. 272–276

- [20] OSIPTEL
2016 Regulatoria, “CONTRATO MARCO PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE FACILIDADES DE ACCESO Y TRANSPORTE POR PARTE DE EL OPERADOR DE INFRAESTRUCTURA MÓVIL RURAL”. Consulta: Marzo, 2017
URL: <https://www.osiptel.gob.pe/>
- [21] ACCEDIAN NETWORKS
2015 “RAN Sharing Solutions”. Consulta: Marzo, 2017
URL: https://accedian.com/wp-content/uploads/2015/07/Accedian_-_RAN_Sharing_White_Paper_-_2015-2Q-r0.pdf
- [22] Coleago Consulting
2016 “Mobile Network Infrastructure Sharing,” 2016. Consulta: Abril, 2017
URL: <https://es.slideshare.net/StefanZehle/coleago-network-sharing-overview-v011-100215-cb>.
- [23] PROYECTO COTABAMBAS
2012 “Proyeto Cotabambas”. Consulta: Mayo, 2017
URL: <https://proyectocotabambas.wordpress.com/zonas-de-intervencion/>.
- [24] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)
“Censos Nacionales 2007 XI de población y VI de vivienda.” Consulta: Mayo, 2017
URL: <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>.
- [25] Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL)
“Señal Móvil”. Consulta: Junio, 2017
URL: <http://www2.osiptel.gob.pe/CoberturaMovil/>.
- [26] L. MONTES BAZALAR
“Diapositivas del curso Proyecto en Telecomunicaciones.” Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería., 2016.

- [27] WIKIPEDIA
“Universal Mobile Telecommunications System”. Consulta: Marzo, 2017
URL: https://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System.
- [28] W. Engineers
“Erlang B Calculator,” *Telecommunications software and services*. Consulta: Mayo, 2017
URL: <http://www.erlang.com/calculator/erlb/>
- [29] L. MONTES BAZALAR
“Diapositivas de curso Planificación de Redes.” Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería., 2016.
- [30] L. OÑATE MARTINEZ
“Estudio e investigación de las Femto Celdas para aumentar la cobertura y capacidad de las redes móviles,” *Univ. Católica Santiago Guayaquil*, p. 80, 2014.
- [31] FEMTOCELL
“Femtocell Architecture,” *Femtocell Project*. Consulta: Junio, 2017
URL: <https://sites.google.com/site/eeg473femtocellproject/femtocell-architecture-network>.
- [32] ADRIO COMMUNICATIONS LTD
Radio-Electronics, “Femtocell network architecture”. Consulta: Junio 2017
URL: <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/femtocells/femtocells-network-architecture.php>.
- [33] SMALL CELL FORUM
“Small Cell Forum”. Consulta: Mayo, 2017
URL: Available: <http://www.smallcellforum.org/>.
- [34] INDECI
“SINPAD” *El Sistema Nacional de Información para la Prevención y Atención de Desastres*. Consulta: Mayo, 2017
URL: <http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpadweb/>.

- [35] FITEL
Fondo de Inversión en Telecomunicaciones. Consulta: Abril, 2017
URL: <http://www.fitel.gob.pe/pg/proyecto-fitel-8.php>.
- [36] GOOGLE MAPS
“Google Maps,” *Challhuahuacho Localidad*. Consulta: Abril, 2017
URL: <https://www.google.com.pe/maps/place/Challhuahuacho/@-14.1185757,-72.2598123,14.75z/data=!4m5!3m4!1s0x916c13d224b0dfd5:0x2198085ecc573a6a!8m2!3d-14.1187849!4d-72.2475967>.
- [37] “LABORATORIO DE TRANSMISORES Y RECEPTORES.” Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- [38] VELARDE, Edgar
2016 “Diapositiva del curso Redes Móviles.” Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- [39] Blog de Telecomunicaciones PUCP
“CDMA 450.” Consulta: Junio, 2017
URL: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/telecom/2008/12/31/cdma-450-una-solucion-para-zonas-rurales/>.
- [40] ISSUE
2012 “Reglamento nacional de construcción”. Consulta: Junio, 2017
URL: https://issuu.com/residente/docs/rnc_ilustrado_peru
- [41] J. Vidal, A. Pascual, and M. Torrellas
2015 “3G Small Cell Planning Tool for Remote Rural Areas Contractual,” *ICT-601102 STP TUCAN3G Wirel. Technol. Isol. Rural communities Dev. Ctries. based Cell. 3G femtocell deployments*

- [42] CEPAL
2013 "La banda de 450 MHz para LTE en América Latina: situación actual y recomendaciones de política". Consulta: Febrero, 2018
URL: https://www.cepal.org/socinfo/noticias/noticias/2/51362/Uso_banda_450_MHz_WEB.pdf
- [43] TUCAN 3G
2013 "Socio-economic scenarios, technical specifications and architecture for the proof of concept". Consulta: Mayo 2017
URL: <http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/2/601102/080/deliverables/001-tucan3gd21ehasc.pdf>.
- [44] IP ACCESS
"E16/24 nano 3G". Consulta: Julio 2017
URL: http://www.ipaccess.com/uploads/wysiwyg_editor/files/2017/E16_E24-Datasheet-v1.0.pdf.
- [45] HARIS VADADA
2010 "*Strand mounted public access femtocell*" Artículo publicado en un Blog.
Consulta: Julio, 2017
URL: <http://www.telecom-cloud.net/tag/femtocells/>.
- [46] HUAWEI
2012 "eWSE GSM-R 5.0 3900 Series Base Station Product Description".
Consulta: Julio, 2017
URL: <http://www.huawei.com>
- [47] V. JAIME PILCO
2011 "Diseño de una red rural CDMA 450, en las cuencas de los ríos Apurímac, Paruro y Acomayo"
Consulta: Julio, 2017
URL: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/193>

