

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

Mejoramiento y optimización de la red rural móvil utilizando femtoceldas, en la localidad de Morococha, provincia de Yauli, Junín.

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

Juan Carlos Mamani Limachi

ASESOR: Ing. Luis Montes Bazalar

Lima, febrero de 2012

Resumen

El presente proyecto de tesis consiste en plantear una solución a la baja calidad del servicio móvil y escasa cobertura móvil en localidades rurales; a pesar del creciente índice de penetración móvil en nuestro país, la calidad de servicio que se ofrece en las zonas mencionadas, muchas veces deja insatisfacción en los usuarios; problemas como falta de cobertura, baja calidad de la voz percibida, pérdidas de llamada; entre otros, son algunos de los problemas que se siguen presentando.

Ante el dinamismo de la tecnología móvil, se ha elaborado una propuesta a través del uso de femtoceldas, pequeñas estaciones base que son económicas, de un enorme potencial de uso y convergencia de servicios. Con ello, se presentan 4 capítulos que permiten bosquejar el uso de esta tecnología en nuestro país.

El primer capítulo está centrado en identificar el problema que se da en localidades rurales, señalando las causas y los efectos que estos provocan; así como plantear una propuesta que permita solucionar el tema en común.

El segundo capítulo busca presentar la tecnología de las femtoceldas, recientemente estandarizada por el FemtoForum en el año 2009, y de creciente uso en el mercado europeo y norteamericano. Realizando un interesante estudio de esta tecnología, y que sirve de fuente de información para los interesados en femtoceldas.

En el tercer capítulo, desarrollamos la propuesta para la localidad de Morococha, localidad minera por excelencia, sobre los 4200 msnm, este centro urbanizado está siendo reubicado por una importante inversión minera, a lo que la propuesta planteada busca servir de referencia a las autoridades del distrito y las empresas interesadas. Para ello, se realiza un estudio del mercado, tráfico y diseño de la red a implementar.

En el último capítulo, se realiza una comparación tecnológica con tecnologías similares y una propuesta económica para detallar la rentabilidad del proyecto.

Por último, se presentan las conclusiones de este trabajo; así como, las recomendaciones que surgieron a partir del desarrollo de este documento.

Dedicatoria

*A mis padres, por hacer de lo imposible,
lo más simple, por levantarme,
del letargo en el que uno siente desfallecer.*



Agradecimientos

*A mi asesor,
el Ingeniero Luis Montes Bazalar,
por su ayuda y orientación en el
desarrollo del presente trabajo.*

*A mis padres,
por todo el apoyo que me han dado.*

*A mis amigos de la especialidad de
Ingeniería de las Telecomunicaciones.*

Índice

Índice	6
Lista de Figuras	9
Lista de Tablas	10
Lista de Abreviaturas	11
Introducción	13
Capítulo 1 Análisis del Problema	14
1.1 Impacto social de la telefonía móvil en localidades rurales	14
1.2 Identificación del Problema	16
1.2.1 Causa indirectas	17
1.2.2 Efectos directos.....	18
1.2.3 Efectos indirectos.....	19
1.2.4 Efecto final.....	20
1.2.5 Árbol de problemas o de causas – efectos	20
1.3 Objetivos del proyecto	22
1.3.1 Medios del objetivo	22
1.3.2 Fines directos del objetivo	23
1.3.3 Fines indirectos del objetivo	23
1.3.4 Fin último.....	24
1.3.5 Árbol de objetivos o árbol de medios - fines	24
1.4 Alternativas de solución	26
1.4.1 Planteamiento de acciones.....	28
Capítulo 2 Tecnología de femtoceldas para áreas rurales	30
2.1 Descripción de la tecnología de femtoceldas	30
2.1.1 Modo de empleo	31
2.2 Características generales	32
2.2.1 Tecnología GSM y UMTS	33
2.2.2 Canales de control en GSM.....	36
2.3 Tipos de control de acceso en femtoceldas	37
2.3.1 Modo de acceso cerrado	37
2.3.2 Modo de acceso abierto.....	37
2.3.3 Modo de acceso híbrido.....	38
2.4 Escenarios de interferencia usando femtoceldas	38
2.4.1 Interferencia a nivel de femtoceldas.....	39
2.4.1.1 Reducción de la interferencia en el enlace descendente (FL).....	40
2.4.1.2 Reducción de la interferencia de enlace ascendente (RL)	41
2.5 Arquitectura de Femtoceldas	42

2.5.1	lu-b sobre IP	43
2.5.2	Generic Access Network (UMA / Unlicensed Mobile Access)	43
2.5.3	IMS y SIP	44
2.6	Movilidad en femtoceldas	46
2.6.1	Handover en los límites de cobertura de las femtoceldas	47
2.6.2	Femtoceldas en zonas de baja señal de cobertura	47
2.7	Seguridad en femtoceldas	48
2.7.1	IP sec.....	48
2.7.2	Protocolo de autenticación extendible (EAP)	49
2.7.3	Autenticación X.509	49
2.7.4	Autenticación con tarjeta SIM	49
Capítulo 3 Mejoramiento y optimización de la red móvil en Morococha, provincia de Yauli – Junín		50
3.1	Descripción socio económica de la zona	50
3.2	Nueva ciudad: Morococha	53
3.3	Cálculo del tráfico demandado, estimaciones	55
3.3.1	Perfil del usuario	56
3.3.2	Análisis de la demanda - Estado actual del servicio móvil	56
3.3.3	Requerimientos de máxima capacidad a ofrecer	59
3.4	Estructura de la red de transporte y acceso para el uso de las femtoceldas en la zona elegida	61
3.4.1	Infraestructura actual de telecomunicaciones	61
3.4.2	Infraestructura requerida para el despliegue de femtoceldas	62
3.4.2.1	Compartición de infraestructura de telecomunicaciones	63
3.4.2.2	Topología de la red	64
3.4.2.3	Cálculos de radio propagación para la BTS	68
3.4.2.4	Cálculo de radio propagación para las femtoceldas	73
3.5	Equipamiento necesario	78
3.5.1	Zona Femto	79
3.5.1.2	Controlador Femto	79
3.5.1.3	Femtoceldas	80
3.5.2	Zona Macro	82
Capítulo 4 Costo del proyecto		85
4.1	Comparación tecnológica/económica (sustitutos cercanos)	85
4.2	Costo de inversión - CAPEX	86
4.3	Costo de operación - OPEX	88
4.4	Evaluación económica	88
4.5	Convenio Marco Público - Privado	89

Conclusiones y recomendaciones	91
Bibliografía	93
Anexos	96



Lista de Figuras

FIGURA 1-1: LA TELEFONÍA CELULAR EN LA ESCALA DE LA POBREZA DIGITAL	15
FIGURA 1-2: PENETRACIÓN DE TELEFONÍA MOVIL RURAL	16
FIGURA 1-3: ÁRBOL DE PROBLEMAS	21
FIGURA 1-4: ÁRBOL DE OBJETIVOS	25
FIGURA 1-5: MEDIOS IMPRESCINDIBLES.....	26
FIGURA 1-6: RELACIONES ENTRE LOS MEDIOS FUNDAMENTALES	27
FIGURA 2-1: ESQUEMA DE LA ARQUITECTURA INICIAL	30
FIGURA 2-2: ESQUEMA DE CONVIVENCIA ENTRE LAS FEMTO Y MACRO CELDAS EN GSM ..	32
FIGURA 2-3: ARQUITECTURA PRINCIPAL DE UNA RED MÓVIL GSM	34
FIGURA 2-4 ARQUITECTURA UMTS RELEASE 4	35
FIGURA 2-5 COBERTURA EN DOS CAPAS	39
FIGURA 2-6 ARQUITECTURA UMA	44
FIGURA 2-8: CONVERGENCIA ENTRE LA FEMTO Y MACRO CELDA.....	46
FIGURA 2-9 ESQUEMA DE SEGURIDAD EN FEMTOCELDAS - IPSEC	48
FIGURA 3-1: MAPA DEL DISTRITO DE MOROCOCHA	51
FIGURA 3-2: IMAGEN PANORAMICA DEL CENTRO POBLADO	52
FIGURA 3-3: PORCENTAJE DE OCUPACIÓN.....	53
FIGURA 3-4: ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PROYECTO	54
FIGURA 3-5: BENEFICIOS ECONÓMICOS	55
FIGURA 3-6: VISTAS DE LA NUEVA CIUDAD.....	55
FIGURA 3-7 INTESIDAD DE SEÑAL REGISTRADA DURANTE EL RECORRIDO	57
FIGURA 3-8: COMPARTICIÓN DE INFRAESTUCTURA PASIVA	64
FIGURA 3-9: PLANO DE LA NUEVA CIUDAD Y ZONAS CON COBERTURA FEMTOCELDA	66
FIGURA 3-10: COBERTURA DESEADA MOROCOCHA	67
FIGURA 3-11: RELIEVE DEL DISTRITO, CIUDAD SOBRE LOS 4200 mSNM.....	67
FIGURA 3-12: ANGULO ENTRE RAYO DIRECTO Y EL EJE HORIZONTAL A LA CALLE	74
FIGURA 3-13: CONVERGENCIA ENTRE LA MACRO Y LA FEMTO CELDA	76
FIGURA 3-14: CONTROLADOR ALCATEL LUCENT MODELO 9365 BSR GATEWAY.....	80
FIGURA: 3-15 CAJA DE PROTECCION PARA EXTERIOR	81
FIGURA: 3-16 CAJA DE PROTECCION USADO EN VIA PÚBLICA.....	81
FIGURA 3-17: ALCATEL LUCENT 9364 MC OD.....	82
FIGURA 3-18 NOKIA BASE STATION ULTRASITE	83
FIGURA 3-19 EMPLAZAMIENTO ESTACIONES BASE MOROCOCHA	84

Lista de Tablas

TABLA 2-1: COMPARACIÓN DE LAS ARQUITECTURAS USANDO FEMTOCELDAS	46
TABLA 3-1: PEA AL AÑO 2011.....	56
TABLA 3-2: CRECIMIENTO ESPERADO DE LOS CLIENTES.....	59
TABLA 3-3: DEMANDA TOTAL	61
TABLA 3-4: TRX POR SECTOR.....	61
TABLA 3-6: CENTRO DE CONMUTACION TELEFONICA DEL PERU S.A.A.	62
TABLA 3-8: PARAMETROS PARA ENLACE UPLINK.....	70
TABLA 3-9: PARAMETROS PARA ENLACE DOWNLINK	71
TABLA 3-10: POTENCIA DE RECEPCIÓN EN EL UPLINK BTS.....	72
TABLA 3-11: POTENCIA DE RECEPCIÓN EN EL DOWNLINK MS.....	72
TABLA 3-12: POTENCIA DE RECEPCIÓN EN EL UPLINK FEMTOCELDA	77
TABLA 3-13: POTENCIA DE RECEPCIÓN EN EL DOWNLINK FEMTOCELDA.....	78
TABLA 4-1: TABLA COMPARATIVA TECNOLOGICA/ECONOMICA EN RELACION A SUSTITUTOS CERCANOS A LAS FEMTOCELDAS	86
TABLA 4-2: COSTO DE INVERSION DE CAPITAL / COSTO POR OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	87
TABLA 4-3: COSTO POR OPERACIÓN Y MANITEMIENTO ANUAL.....	88
TABLA 4-4: FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO.....	88
TABLA 4-5: VAN Y TIR DEL PROYECTO	89
TABLA 5-1: BENEFICIOS DE USAR FEMTOCELDA.....	91

Lista de Abreviaturas

2G	2nd Generations
3G	3rd Generations
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
AAA	Authentication, Authorization and Accounting
AMo	América Móvil Perú S.A.C.
ARPU	Average Revenue per User
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AUC	Authentication Center
BS	Base Station
BTS	Base Transceiver Station
BSC	Base Station Controller
CAPEX	Capital Expenditure
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	UMTS Core Network
CS	Circuit Switched
CSG	Closed Subscriber Group
DL	Downlink
DSL	Digital Subscriber Line
E1	European Telecommunication Standard for 2,048Mbit/s link
EAP	Extensible Authentication Protocol
EDGE	Enhanced Data Rates GSM of Evolution
EIR	Equipment Identity Register
FAP	Femto Access Point
FDD	Frequency Division Duplex
GAN	Generic Access Network

GPRS	General Packet Radio Service
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GSM	Global System Mobile
HLR	Home Location Register
ITU	International Telecommunication Union
MGW	Media Gateway
MS	Mobile subscriber
MSC	Mobile Services Switching Center
NSS	Network switching subsystem
PDN	Public Data Network
PS	Packet Switched
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SIP	Session Initiation Protocol
QoS	Quality of Service
TMo	Telefónica Móviles S.A.
UIT	International Telecommunication Union
UNC	UMA Network Controller
VLR	Visitor Location Register

Introducción

En los últimos años, la tecnología ha avanzado rápidamente, cada vez aparecen más herramientas que permiten mejorar la eficiencia de las actividades diarias; y, la información se ha convertido en uno de los bienes más importantes para los sectores productivos. El desarrollo de esta tesis tiene como objetivo la propuesta de las pequeñas estaciones base, denominadas femtoceldas, en áreas rurales y zonas no rentables para la inversión por parte de los operadores.

Actualmente, las grandes ciudades urbanizadas de nuestro país ya se acercan a un 100% de penetración móvil; si es que ya no sobrepasaron ese límite, como Lima, Arequipa entre otras. Así mismo, los operadores móviles han volteado la mirada hacia las zonas no atendidas hasta el momento, ya que pueden ser una plaza nada despreciable si se ejecuta un proyecto con beneficios tanto para los operadores, como para las localidades rurales o desatendidas.

La expansión del servicio celular se puede implementar a través de convenios entre el operador y las instituciones públicas; como puede ser, la Municipalidad Distrital de Morococha, distrito que tiene una inmejorable oportunidad para desarrollar su potencial económico y cultural, a través de la inserción económica que la minería le está dando, a través del Proyecto Toromocho, con una inversión de 2200 millones de dólares americanos.

En los países menos desarrollados, las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's) fueron percibidas como una de las herramientas fundamentales para promover el desarrollo. Su difusión fue acompañada por la expectativa de mejora en el desarrollo económico y social de los habitantes de estos países, en particular, del nuestro.

Para llegar a obtener los beneficios que se mencionan es importante contar con una calidad de servicio óptima, la cual debe ser la misma que se ofrece en las ciudades urbanizadas. Algunos indicadores que influyen directamente en la calidad de servicio ofrecida son la cobertura y la calidad de la señal recibida (satisfacción del cliente); que pueden ser cubiertos al 100% con una baja inversión de capital y costos de operación mínimos.

Capítulo 1

Análisis del Problema

El propósito de este capítulo es definir el problema central que se intenta resolver en el presente documento, presentando un flujo de información elocuente para llegar a plantear una solución al problema.

1.1 Impacto social de la telefonía móvil en localidades rurales

En el Perú, la expansión de la telefonía celular es probablemente la expresión más visible de la revolución digital ocurrida durante la última década. La expansión de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's) permitió a los países más avanzados llegar a un estado de "riqueza digital" que permitió mejorar la productividad del sector privado y proporcionar mejores servicios. [INS2006]

El punto central de la formulación de este documento está en el mejoramiento de la calidad del servicio móvil. Uno de los principales indicadores es la calidad de la señal, que ofrecen los operadores a los usuarios de áreas rurales, la población rural del país representa a un 30% de la población total. [INE2010B]

En estos poblados rurales no se brindan todos los servicios de telecomunicaciones y muchos poblados no cuentan con estos servicios; por lo tanto, es un clamor ciudadano que estos servicios estén disponible en todo el territorio del país, brindando una amplísima gama de servicios fundamentales para el desarrollo de las comunidades.

Hoy en día el servicio de telefonía celular no es considerado por los usuarios como un bien de lujo, sino muy por el contrario, como un bien necesario. Además, alrededor del 50% de la población rural de menores ingresos usa los servicios móviles y estima que el costo de los mismos es razonable, frente a un 25% que considera el servicio caro. [INS2006]

En la figura 1-1 podemos analizar la diferencia en cuanto a la calidad de vida de una persona y su relación con el acceso a los medios de comunicación, donde el acceso a la TIC marca significativamente la oportunidad que uno tiene como herramienta para desarrollar negocios.

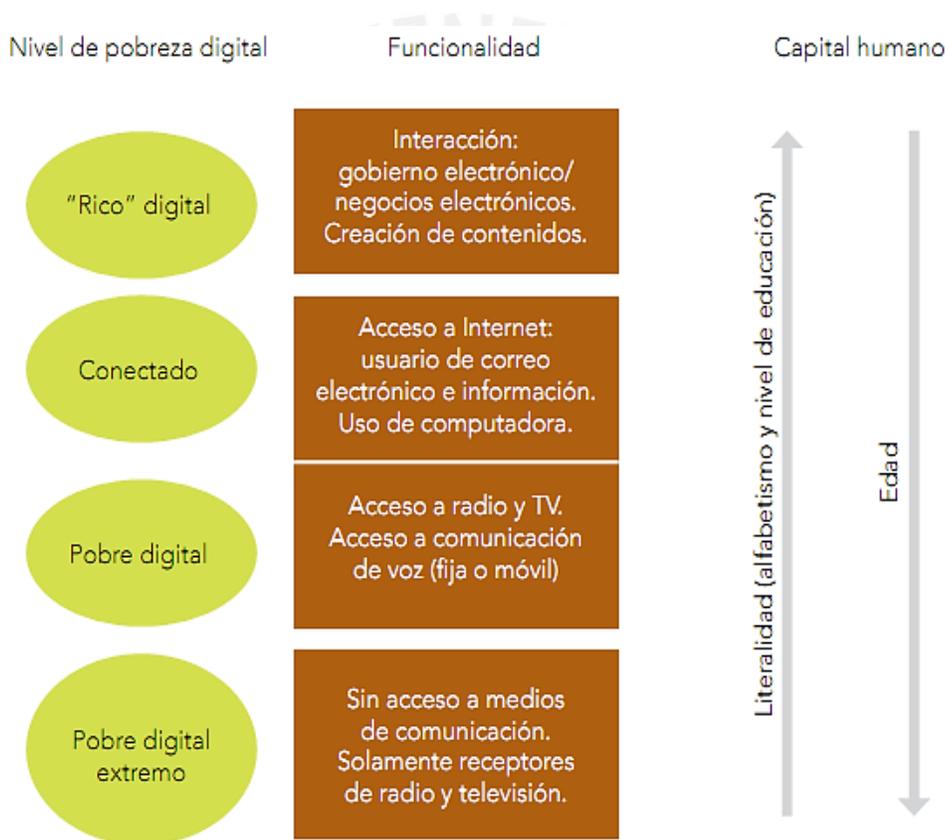


FIGURA 1-1: LA TELEFONÍA CELULAR EN LA ESCALA DE LA POBREZA DIGITAL

Fuente: “¿Qué es y cómo medir el acceso a las TIC?” [INS2006]

Los resultados de la Encuesta Nacional de Hogares indican que el 46,20% de hogares rurales del Perú, tiene al menos un miembro de la familia que utiliza un teléfono celular, esta cifra es aproximadamente, cuatro veces a la cifra de los hogares rurales con acceso a telefonía móvil registrados por INEI en 2007. Del mismo modo, se espera que para el año 2011, se haya alcanzado una penetración cercana al 51%. [INE2011A]

En la figura 1-2 se aprecia este crecimiento exponencial que ha venido registrando la penetración móvil rural; sin embargo, como indican los mismos reportes de OSIPTEL la cobertura de un distrito no implica una calidad de servicio óptima (percepción de la comunicación por voz); así tampoco, implica la cobertura del servicio en todo el distrito.

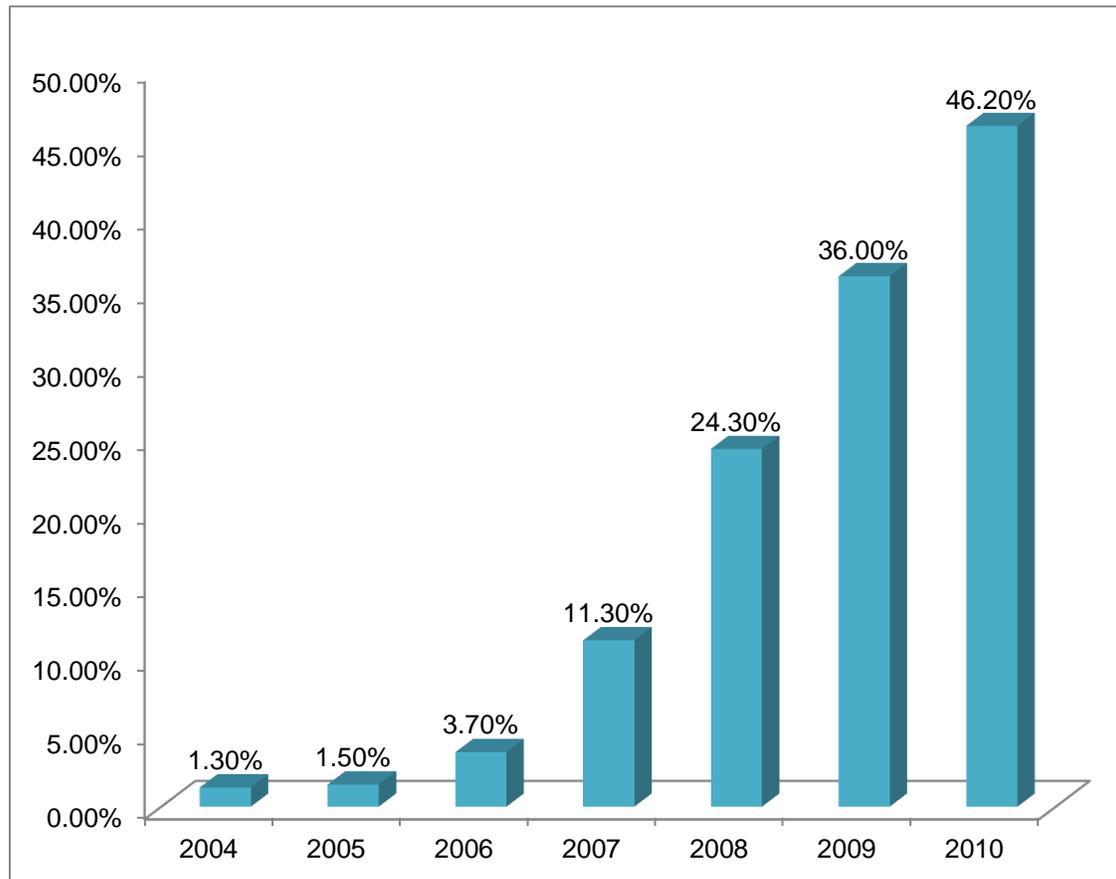


FIGURA 1-2: PENETRACIÓN DE TELEFONÍA MOVIL RURAL

Fuente: “Encuesta Nacional de Hogares 2004-2011 – Elaboración propia” [INE2011A]

1.2 Identificación del Problema

Se ha identificado el siguiente problema central:

“Baja calidad de servicio móvil y escasa cobertura móvil en localidades rurales”

Para la realización del diagnóstico del problema se ha elaborado el “árbol de problemas”, con el fin de detallar las causas directas e indirectas de nuestro problema central. Para luego identificar el origen de los efectos que provocan las causalidades en el diagnóstico realizado. [MEF2003]

- **Limitada capacidad de gestión y gobierno por parte de las autoridades**
Las autoridades municipales no han logrado identificar las necesidades básicas de la población. Es necesario promover proyectos de inversión pública con retorno de inversión y de largo plazo que generen beneficios económicos tangibles para las localidades. La administración pública del tesoro público es una tarea que requiere de una buena práctica en la distribución y uso de los bienes públicos.
- **Desinterés por parte de los operadores móviles en inversiones de infraestructura en áreas rurales**
La rentabilidad económica que perciben los operadores privados al realizar inversiones en zonas rurales no cumple con las expectativas de negocio generadas, debido a que los pobladores, en su mayoría solo pueden satisfacer necesidades esenciales como alimentos y vivienda.
- **Insuficiente inversión en vías de acceso hacia localidades rurales**
Existen localidades rurales muy lejanas de centros urbanos importantes; además de no contar con vías de comunicación adecuadas, ya que las carreteras y/o caminos se encuentran deteriorados.

1.2.1 Causa indirectas

- **Improductivos proyectos de inversión pública por parte de los gobiernos locales**
Se elaboran y desarrollan proyectos de inversión pública que no crean, mejoran o recuperan la capacidad de producción de la localidad y/o región.
- **Inadecuado diálogo con empresas del sector privado**
Estas dos ideas van asociadas a la capacidad limitada de gestión y gobierno, debido a que no se trabajan con proyectos de envergadura, con ello tampoco se refuerza un diálogo adecuado con posibles empresas privadas interesadas en desarrollar proyectos rentables para ambas partes.
- **Ingresos tarifarios no cubren los costos de operación y mantenimiento del servicio móvil**
Los ingresos del operador móvil provienen básicamente del tráfico cursado por un usuario a una tarifa establecida, si este es bajo, la empresa no satisface los costos operativos para brindar un servicio de calidad.

- **Aumento de actos vandálicos o robos de equipos de telecomunicaciones**

Estas dos ideas generan un desinterés por parte de los operadores en invertir en infraestructura de telecomunicaciones en localidades rurales, ya que no se generan rentabilidades hacia sus inversiones. Sumado a esto, la inseguridad por temor a pérdidas en costo hundido (inversión no recuperable) provocado por el alto índice de robos, no es un aliciente a la inversión en localidades rurales.

Por ejemplo, Telefónica del Perú informó que durante el 2009, un total de 1046 paneles solares, correspondientes a las zonas urbanas y rurales de todo el país, fueron violentados o robados, representando un incremento de 13% con relación al 2008. El 73% de las sustracciones de paneles solares se realizaron en las zonas de Lambayeque, Cusco y Junín, sobre todo en áreas rurales. [STA2010]

- **Insuficiente inversión en vías de acceso hacia localidades rurales**

La inversión pública en infraestructura enfocada a carreteras, puentes, ferrocarriles, etc. es baja, lo que impide a poblaciones alejadas de centros urbanos, competir con sus productos, lo que reduce su índice de productividad.

- **Topografía sumamente accidentada que contiene zonas andinas**

La geografía accidentada de nuestro país siempre ha sido un obstáculo a vencer en el desarrollo de nuestras localidades, lo que requiere tener vías de comunicación y acceso adecuados para mejorar la capacidad de producción de una localidad.

1.2.2 Efectos directos

- **Desinterés por parte de los pobladores en el desarrollo de su localidad**

Las inadecuadas gestiones de los alcaldes, incrementan la insatisfacción en la calidad de vida que se tiene, cuyos resultados son acciones independientes de los pobladores en busca de incrementar su bienestar.

- **Baja productividad de actividades productivas y comerciales**

Como se mencionó al inicio de este documento, el acceso a la telefonía celular es un bien necesario para el impulso de desarrollo de actividades económicas en beneficio de los pobladores.

- **Migración de los pobladores hacia otras zonas de la región e urbanizadas.**
La búsqueda por mejores condiciones de vida, impulsa a los pobladores dejar el distrito en busca de oportunidades de crecimiento.
- **Necesidad de desplazarse hacia zonas de cobertura móvil**
Es necesario desplazarse hacia las zonas en las que existe cobertura móvil, que en algunos casos se encuentran alejadas de la localidad; y, aunque exista cobertura, la baja calidad de señal móvil recibida provoca el desplazamiento de los pobladores.

1.2.3 Efectos indirectos

- **Negativa imagen proyectada hacia los inversionistas**
Los inversionistas privados buscan obtener rentabilidad en el negocio que implementen, si la productividad en los proyectos ejecutados de una localidad es reducida, es muy difícil, satisfacer las expectativas de los inversionistas.
- **Debilitado sistema organizacional del distrito, lo que aumenta la desintegración entre los pobladores y lo no participación en proyectos conjuntos.**
Estas ideas se originan debido al desinterés de los pobladores en el desarrollo de su localidad, proyectando una imagen de ser una localidad desintegrada y sin objetivos claros.
- **Baja calidad de vida de los pobladores**
Al existir escasos o nulos recursos económicos y/o proyectos inadecuados para mejorar la capacidad de producción, la calidad de vida de los pobladores decrece.
- **Bajo desarrollo productivo de las localidades**
Si no existen actividades económicas que promuevan el desarrollo de la localidad, la calidad de vida percibida por los pobladores será negativa; así, la obtención de reducidas utilidades para los pobladores.
- **Incremento de costos e inseguridad por usar el servicio móvil**
Al desplazarse hacia zonas de coberturas, que pueden estar muy lejanas, o en zonas altas (cerros) de las localidades incrementan el riesgo de las personas a sufrir accidentes o robos.

1.2.4 Efecto final

- **Retraso socio económico de las localidades rurales**

Los efectos mencionados en líneas anteriores, tienen el efecto final mencionado. De esta manera, hemos analizado el problema central con sus respectivas causas, de esta forma podemos tener un visión más clara y objetiva de cómo resolver el presente problema.

1.2.5 Árbol de problemas o de causas – efectos

A continuación, en la figura 1-3 se presenta el árbol de problemas, que sintetiza e identifica el problema a solucionar. Se puede evaluar cuáles son las causas directas e indirectas, para luego analizarlas y ofrecer una propuesta de solución.



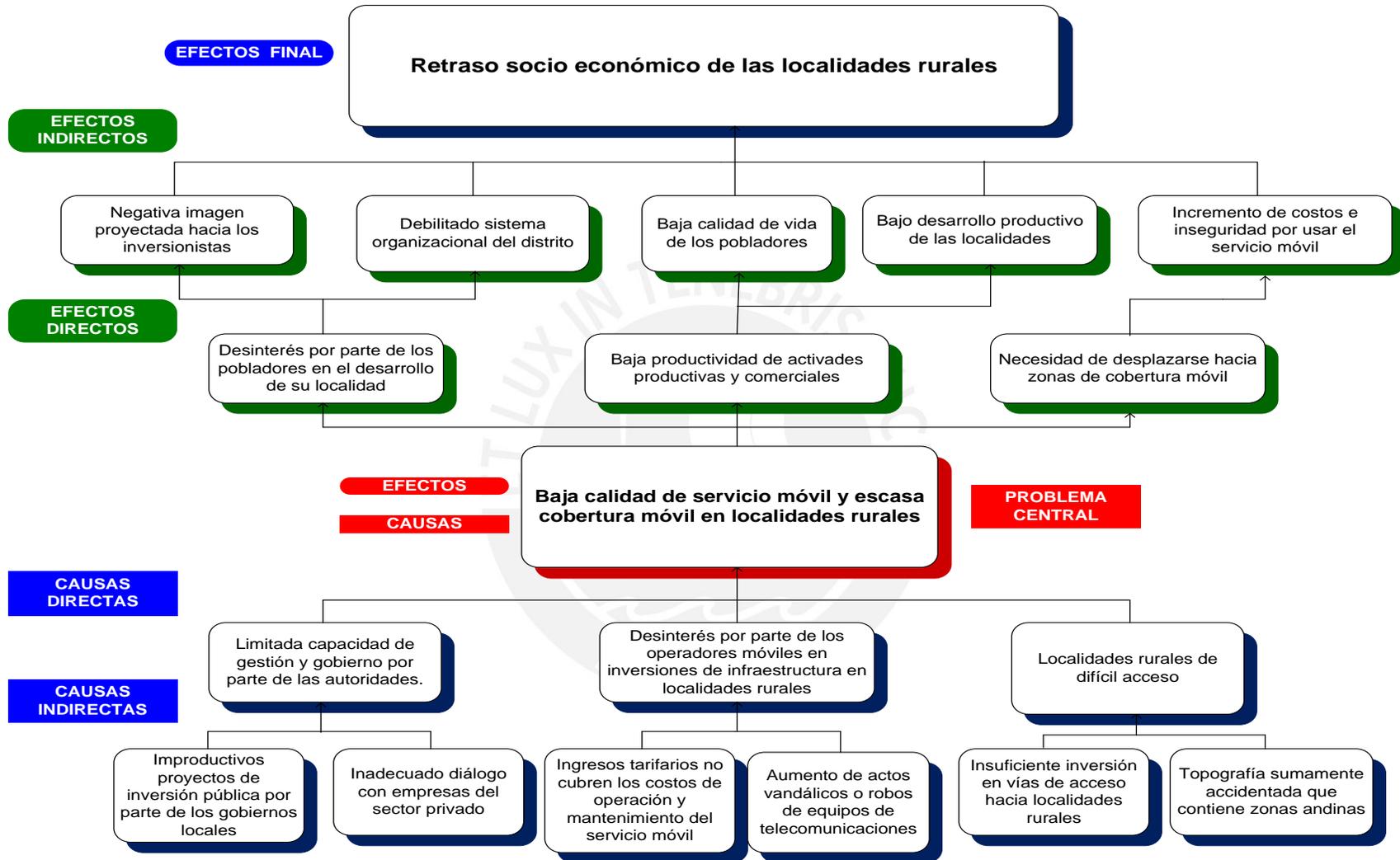


FIGURA 1-3: ÁRBOL DE PROBLEMAS

Fuente: "Elaboración propia"

1.3 Objetivos del proyecto

Se pretende alcanzar el siguiente objetivo central:

”Brindar una alta calidad de servicio de servicio móvil y óptima cobertura móvil en áreas rurales”

Para concebir este objetivo, vamos a definir los siguientes medios, que son ideas jerarquizadas e identificadas en base a las causalidades, analizadas anteriormente.

1.3.1 Medios del objetivo

- **Mejorar la capacidad de gestión y gobierno por parte de las autoridades**

Es imprescindible una gestión de gobierno transparente, concertador e integradora entre el sector privado y las mismas autoridades del gobierno. Buscando identificar necesidades básicas y satisfacer las mismas a través de proyectos rentables para las comunidades.

Medios Fundamentales

- ✓ Desarrollar proyectos de inversión pública productivos, por parte de los gobiernos locales
- ✓ Adecuado diálogo con empresas del sector privado

- **Interés por parte de los operadores móviles en invertir de infraestructura en localidades rurales**

Al crear un ambiente seguro de inversión para el sector privado, se consiguen mayores oportunidades de crecimiento con beneficios concretos tanto para las empresas como las mismas comunidades.

Medios Fundamentales

- ✓ Ingresos tarifarios cubren los costos de operación y mantenimiento del servicio móvil
- ✓ Disminución de actos vandálicos o robos de equipos de telecomunicaciones

- **Localidades rurales con fácil acceso**

La inversión en vías de comunicación y acceso a pueblos remotos, constituyen un factor de desarrollo importante para toda localidad. El tiempo que tome de traslado

de productos, bienes y/o personas de una localidad alejada a centros urbanos será mucho menor con una infraestructura adecuada de comunicación. Con ello se generan mayores actividades económicas, incrementando la productividad de la localidad.

Medios Fundamentales

- ✓ Suficiente inversión en vías de acceso hacia las localidades rurales
- ✓ Reducir en lo mínimo el efecto de la topografía accidentada que contiene la zona

1.3.2 Fines directos del objetivo

Estos se denominan así, por ser resultados obtenidos a partir de conseguir el objetivo principal. Los cuales permitirán llegar a nuestro fin último.

- **Interés por parte de los pobladores en el desarrollo de su distrito.**

Es de suma importancia el respaldo y compromiso de los pobladores a los proyectos y/o actividades que emprenda la entidad municipal, por lo que el uso de las TIC's permitirá una eficiente y mejor comunicación entre las autoridades.

- **Productividad Alta en actividades productivas y comerciales**

La oportunidad de negocios generadas a partir de contar con el servicio de telefonía celular, representan un incremento en actividades productivas y comerciales, con lo que el dinamismo económico se verá reflejado en mejores ingresos para los pobladores.

- **Satisfacción de la necesidad de desplazarse hacia zonas de cobertura móvil.**

Al momento de planificar un área urbana es necesario tener en cuenta las zonas de mayor uso y demanda del servicio móvil, teniendo en cuenta los alrededores y puntos críticos de cobertura.

1.3.3 Fines indirectos del objetivo

Una vez que se conocen los fines a alcanzar, se espera alcanzar los siguientes fines indirectos, fines que permiten obtener el fin último de este análisis.

- ✓ Positiva imagen proyectada hacia los inversionistas, esto genera una invitación a terceros a invertir en el distrito.
- ✓ Mejoramiento del sistema organizacional del distrito
- ✓ Incremento de la calidad de vida de los pobladores
- ✓ Incremento del desarrollo productivo de las localidades

1.3.4 Fin último

- **Mejora socio económica de las localidades rurales**

Como se ha observado, los problemas identificados permiten obtener un fin último que refleja el efecto final de los medios trazados. Con ello el bienestar y desarrollo económico social es imprescindible en las localidades rurales de nuestro país.

1.3.5 Árbol de objetivos o árbol de medios - fines

A continuación se presenta el “árbol de objetivos” en la figura 1-4, donde podemos analizar los objetivos por cada problema detectado en la figura 1-3. De esta forma, los objetivos llamados medios en un árbol de objetivos, nos permitirán obtener resultados que se denominan fines.

Estos fines son los que se buscan alcanzar con el proyecto a través de acciones que se definen en el punto 1.4.1 para su estudio.

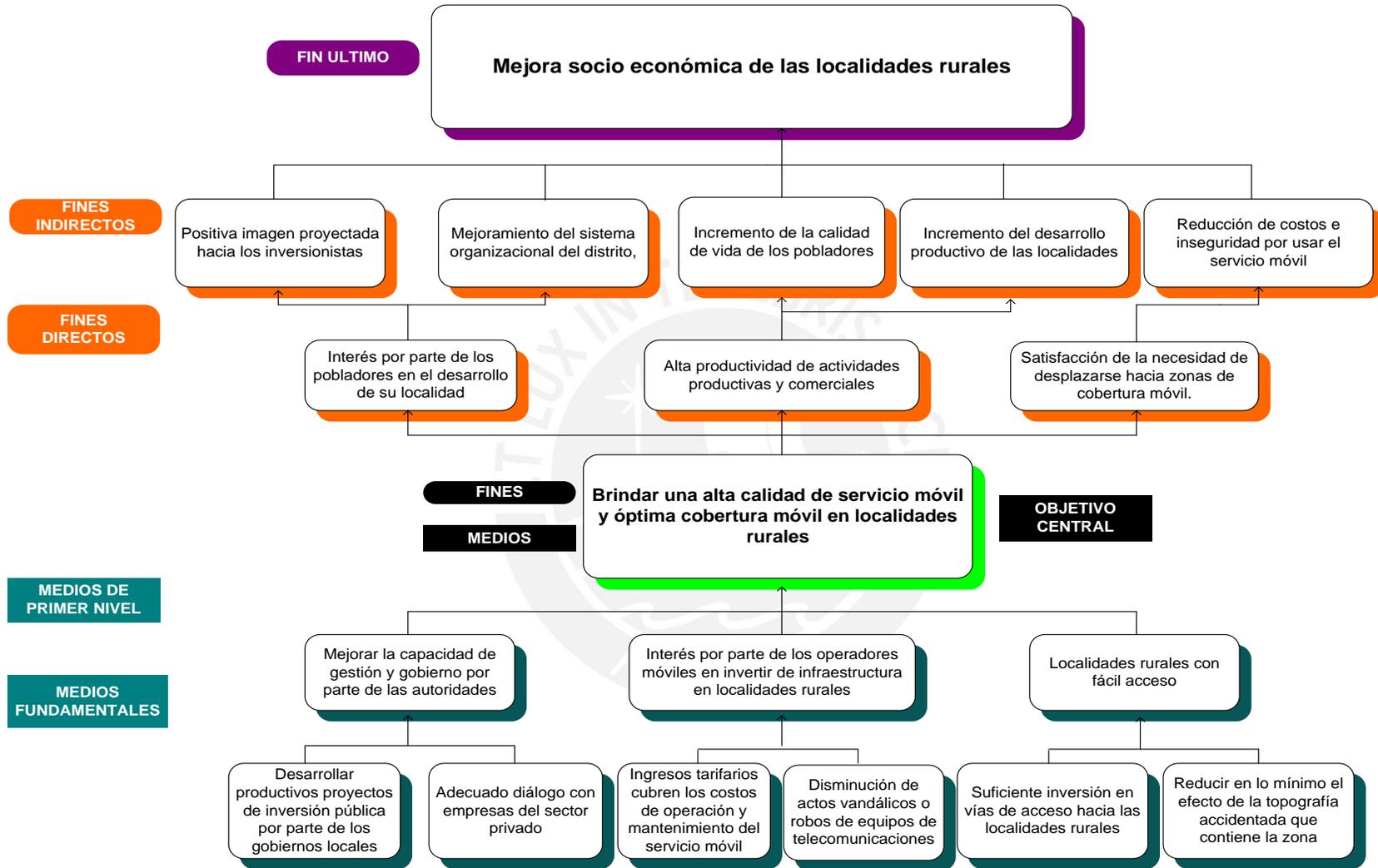


FIGURA 1-4: ÁRBOL DE OBJETIVOS

Fuente: “Elaboración propia”

1.4 Alternativas de solución

Sobre la base de los medios fundamentales del árbol de objetivos, se procede a plantear las acciones a realizar para concretizar los objetivos planteados y con estos alcanzar el objetivo central.

Por ello, la decisión de realizar acciones orientadas a lograr los objetivos de estos medios fundamentales será tomada posteriormente, considerando tanto las relaciones existentes entre medios fundamentales como las restricciones que se presentan para alcanzarlos (presupuestales, técnicas, etc.). Siguiendo este concepto pasamos a definir los medios imprescindibles.

Medios imprescindibles		
IMPRESINDIBLE	IMPRESINDIBLE	IMPRESINDIBLE
Medio fundamental 1 Mejorar la capacidad de gestión y gobierno por parte de las autoridades	Medio fundamental 2 Desarrollar proyectos productivos de inversión pública por parte de los gobiernos locales	Medio fundamental 3 Adecuado diálogo con empresas del sector privado

Medios imprescindibles	
IMPRESINDIBLE	IMPRESINDIBLE
Medio fundamental 5 Ingresos tarifarios cubren los costos de operación y mantenimiento del servicio móvil	Medio fundamental 7 Suficiente inversión en vías de acceso hacia las localidades rurales

FIGURA 1-5: MEDIOS IMPRESINDIBLES

Fuente: “Elaboración propia”

Es importante señalar, que los medios imprescindibles pueden relacionarse entre sí, pudiéndose realizar acciones que den lugar a resultados complementarios entre ellos. Esto permite ahorrar esfuerzos, costos y alcanzar mejores resultados. Estos medios se denominan complementarios [MON2010A].

Como pueden también no llevarse a cabo simultáneamente siendo excluyentes. Existe un tercer caso en el que los medios no interfieren directamente con otros y pueden ser llevados simultáneamente siendo denominados independientes. A partir de esta definición se presenta la siguiente tabla:

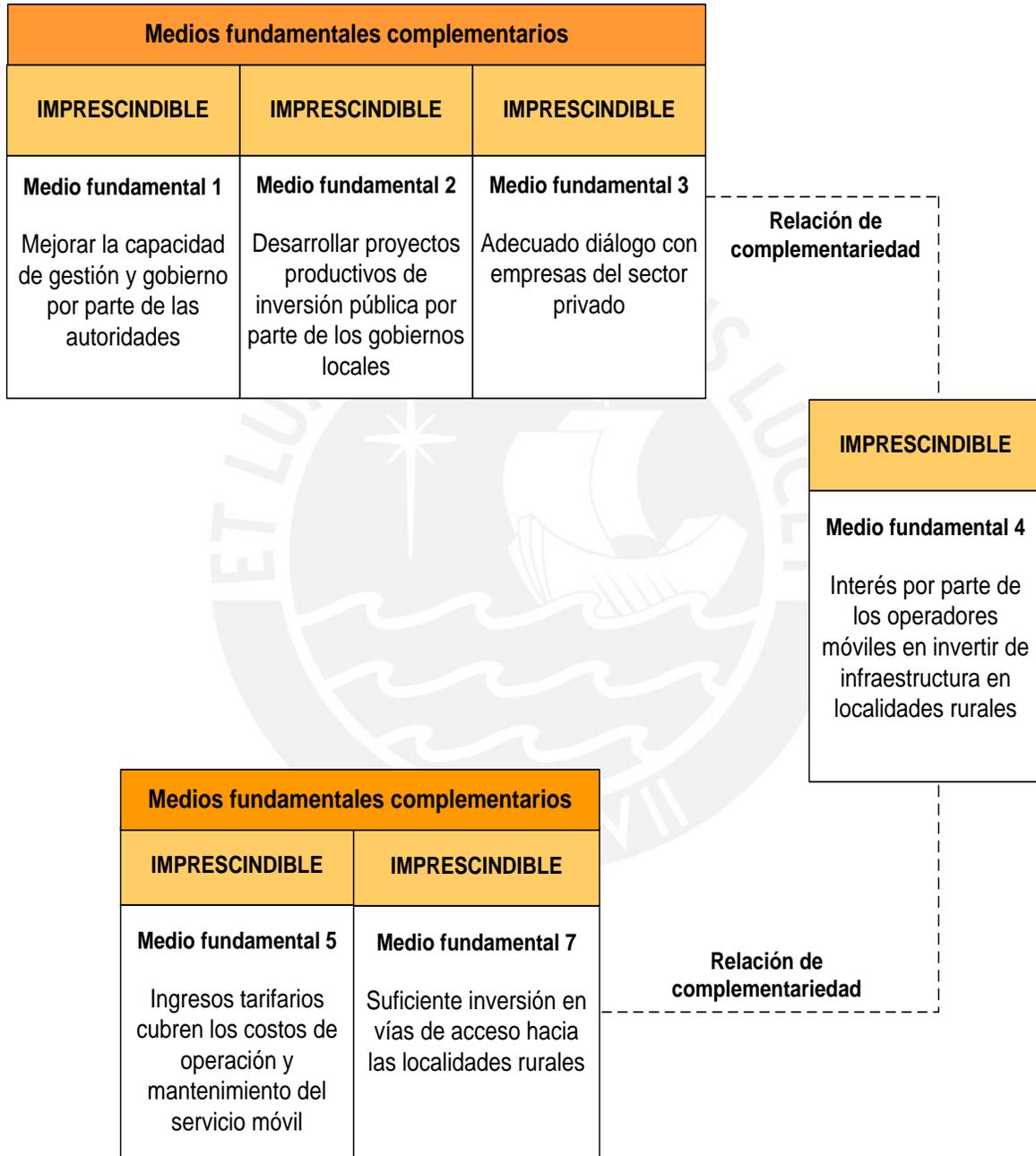


FIGURA 1-6: RELACIONES ENTRE LOS MEDIOS FUNDAMENTALES

Fuente: "Elaboración propia"

En la tabla anterior podemos apreciar que todos los medios son complementarios y no existe uno que sea excluyente. Se ha enfocado el ámbito administrativo y tecnológico como solución a plantear mediante este documento de tesis.

1.4.1 Planteamiento de acciones

Para cada medio fundamental pasamos a definir acciones que permitan obtener las metas, estas acciones poseen tipos de relación entre ellos al igual que los medios fundamentales. Existen acciones excluyentes, complementarias e independientes.

Las acciones excluyentes cuando solo se debe elegir una de ellas, si provienen de dos medios excluyentes por ende también las acciones serán excluyentes. Por otro lado las acciones complementarias son aquellas que conllevarán a obtener mejores resultados. Por último, las acciones independientes son aquellas no se encuentran relacionadas con otras, por lo que su realización no afectará ni dependerá de la realización de estas últimas [MON2010B].

En la figura 1-7, planteamos las acciones correspondientes a cada medio fundamental. Se puede observar que no se han identificado acciones excluyentes, estas reciben dicha denominación debido a que no pueden ejecutarse ambas a la vez, a pesar de pertenecer a un mismo medio fundamental, llevar a cabo ambas acciones incurriría en realizar una inversión económica alta. Por lo que cada uno pertenecerá a una alternativa de solución distinta.

En este caso se desarrollará la acción 7^a, que consiste en realizar un estudio para el despliegue de femtoceldas en localidades rurales, con ello permitir al operador privado ahorrar en inversiones y el costo de operación. Las especificaciones técnicas de estas propuestas son especificadas en los capítulos III y IV. Esta alternativa es enunciada en el capítulo III, en la que se propone mejorar la cobertura móvil, usando como soporte a las femtoceldas.

A continuación se muestra la figura 1-7, donde se ha definido cada acción correspondiente a su medio fundamental; de esta manera, identificamos que cada acción pertenece a un entorno de acción distinto, dichas acciones se pueden desarrollar en forma paralela o secuencial, dependiendo de la gestión de trabajo de las autoridades o partes interesadas.

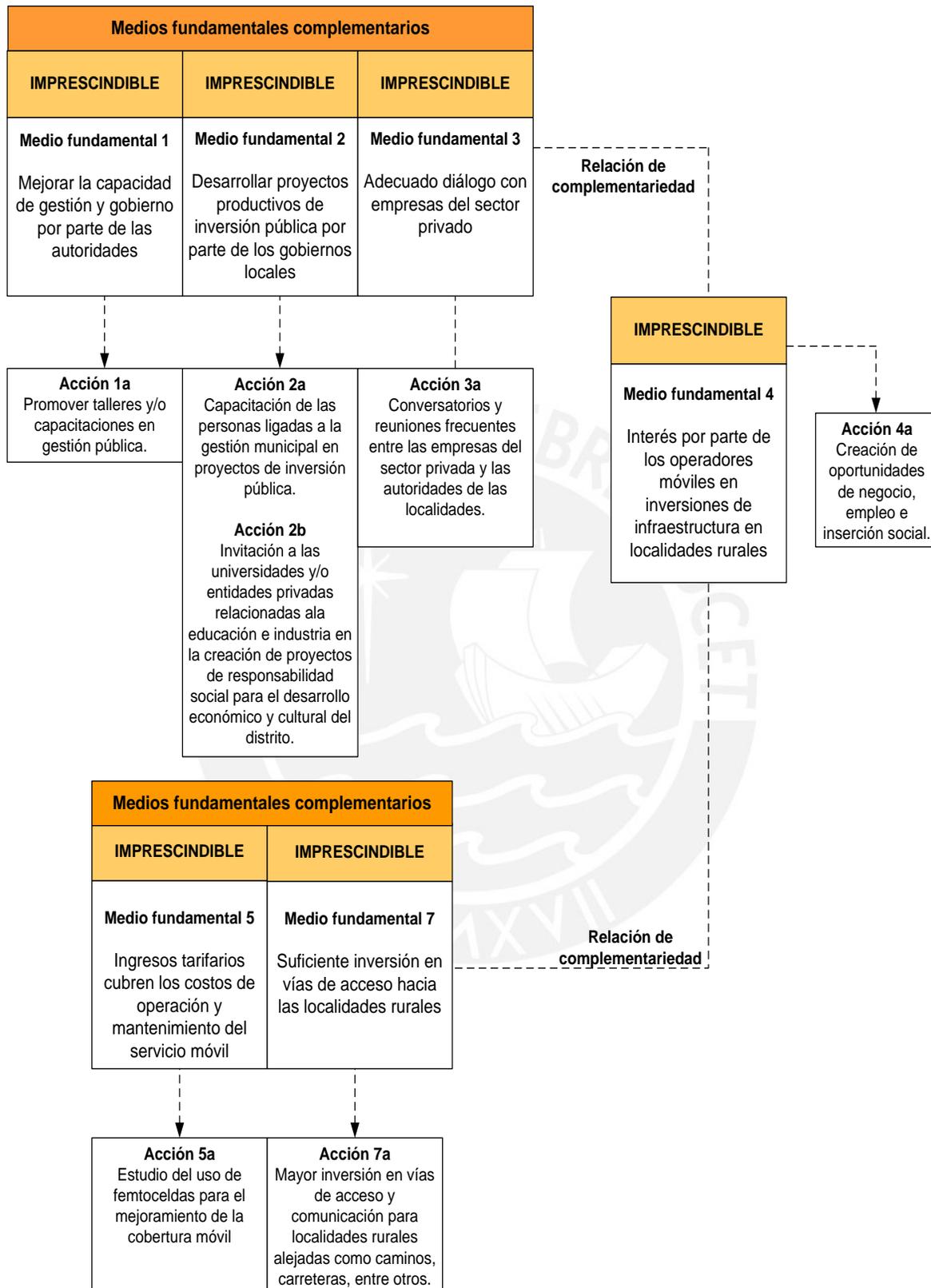


FIGURA 1-7: PLANTEAMIENTO DE ACCIONES

Fuente: "Elaboración propia"

Capítulo 2

Tecnología de femtoceldas para áreas rurales

En este capítulo abordamos de manera breve y concisa la tecnología de las femtoceldas así como su arquitectura, enfocando los conceptos para el uso en áreas rurales.

2.1 Descripción de la tecnología de femtoceldas

En el año 2002, un grupo de ingenieros de Motorola en Inglaterra se plantearon como objetivo implementar equipos equivalentes a los hotspots, que son puntos de cobertura Wi-Fi, empleados para teléfonos móviles y el de poder usarlos en lugares de baja señal, tal como en interiores de edificios. Estos nuevos dispositivos fueron llamados Access Point Base Station y seis años después, femtocell (término en inglés) o femtocelda (término a usarse en el presente documento). La figura 2-1 nos explica el esquema inicial del uso de femtoceldas. [CHA2008]

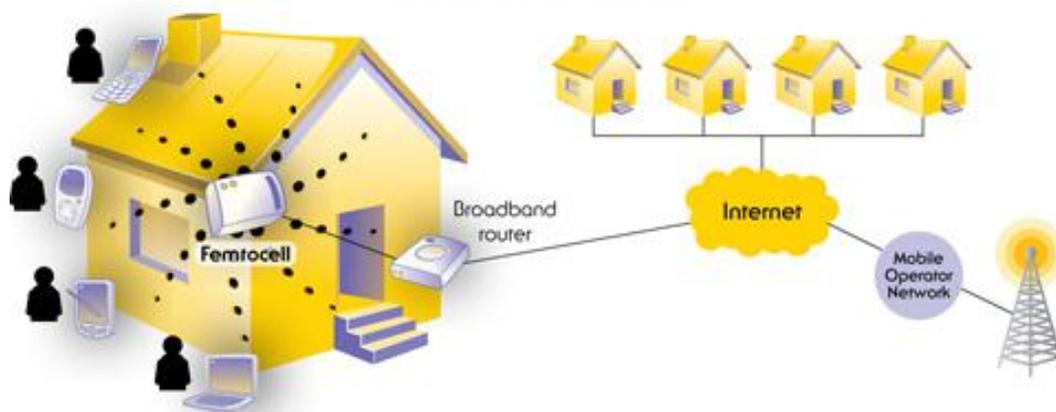


FIGURA 2-1: ESQUEMA DE LA ARQUITECTURA INICIAL

Fuente: "FemtoForum" [FEM2011]

Las femtoceldas son pequeñas estaciones base celular, las cuales se conectan vía una conexión a internet de banda ancha con la operadora, estas funcionan a manera de puente entre los dispositivos móviles y la red de un operador móvil mediante ADSL, conexiones de banda ancha por cable, fibra óptica o tecnologías inalámbricas de última milla.

Esta femtocelda fue creada inicialmente para trabajar en 3G, debido a la capacidad de cobertura que ofrece esta tecnología de acceso. Sin embargo, dado que las zonas rurales peruanas, el despliegue de 3G aún no se ha dado, una variante de conexión en lugar de 3G, es interconectar a las femtoceldas con la red GSM, que hoy en día están desplegadas en la mayoría de localidades rurales.

La femtocelda incorpora la funcionalidad de una estación base típica (BTS en GSM, Nodo-B en UMTS). Puede interactuar con el RNC (Radio Network Controller) y en el caso de GSM cuenta con el BSC (Base Station Controller) y todos los elementos fundamentales de una red móvil. No requiere una red de una estación base controladora que lo auto soporte; sólo se necesita una conexión de datos (Internet).

La femtocelda posee un área de servicio que a la vez es un punto de acceso Wi-Fi, incluyendo tecnologías como IEEE 802.11b, 802.11g y 802.11n. Agregadas a las tecnologías celulares que posee como GSM / GPRS / EDGE, UMTS / HSPA / LTE y móviles WiMAX (IEEE 802.16e). De este modo, el operador consigue extender el alcance de su red, aprovechando la conexión a Internet y con costos más reducidos. [ZHA2010]

2.1.1 Modo de empleo

Al usar una femtocelda esta debe ser capaz de configurarse automáticamente, lo que facilita la instalación y el costo de operación para el operador. Esta auto-configuración se logra a través del protocolo TR-069, el cual gestiona la femtocelda, utilizando los procedimientos y métodos descritos en el Broadband Forum (DSL) a través de las especificaciones TR-069.

A través de este protocolo se manejan los parámetros de la ingeniería de radio y el auto-tuning; donde los parámetros de la femtocelda (por ejemplo, la bajada de potencia de transmisión (Tx), la asignación de sub-canales, etc.) serán automáticamente configurados, el cual es clave para el éxito del despliegue de femtoceldas.

2.2 Características generales

Acorde a su capacidad, las femtoceldas se clasifican en dos categorías, femtocelda para hogar, soportan de 3 a 5 usuarios simultáneos, y femtocelda para empresas, que soportan de 8 a 16 usuarios. Existe una baja probabilidad de que todos los usuarios utilicen la femtocelda al mismo tiempo, por lo que la demanda real es distinta. [ZHA2010]

La razón de ser de una femtocelda es proporcionar servicios de alta velocidad de datos y alta calidad de voz a los usuarios finales. Esto está restringido por la limitación de ancho de banda del ADSL de enlace ascendente (uplink), descendente (downlink) y las tecnologías móviles usadas.

Estos dispositivos se pueden clasificar en UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) Femtocells, GSM Femtocells, WiMAX Femtocells; y así sucesivamente, existe una tendencia a combinar diferentes interfaces de aire acorde a cada tecnología móvil en una femtocelda.

En la figura 2-2 se observa un esquema típico de convivencia entre femto y macro celdas en GSM. La diferencia entre femto y macro (del griego $\mu\alpha\kappa\rho\omicron$; significa «grande»), se aprecia en el área de cobertura reducida de las FAP (Femto Access Point, otra denominación para las femtoceldas) comparadas a la de una BTS. Se puede observar, que las femtoceldas convergen con la red Macro GSM, a través del Interface Gateway.

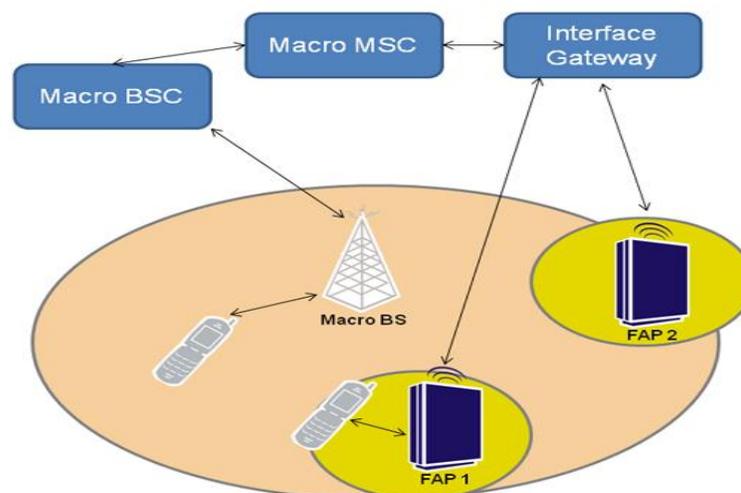


FIGURA 2-2: ESQUEMA DE CONVIVENCIA ENTRE LAS FEMTO Y MACRO CELDAS EN GSM

Fuente: "Femtocells: technologies and deployment" [ZHA2010]

GSM es un sistema antiguo en comparación a UMTS y LTE (Long Term Evolution). Sin embargo, es la tecnología desplegada por excelencia por los operadores móviles locales. Cabe añadir, que fabricar femtoceldas GSM son sustancialmente más baratas comparadas a las 3G, lo que las hace más competitivas frente a otras tecnologías como: voz sobre Wi-Fi. Además, poseen soporte para utilizar GPRS (General Packet Radio Service Transmisión) y EDGE (Enhanced Data Rates GSM of Evolution). [CHA2008]

La desventaja más notoria viene a ser el mecanismo de control de potencia en las redes GSM, ya que no es tan flexible como en 3G y esto podría ser una importante fuente de interferencia para superponer macro celdas. Por otra parte, los rendimientos alcanzables en GPRS son bastante bajos en comparación a los nuevos sistemas en tecnologías UMTS, lo que significa que femtoceldas 2G están limitadas a ofrecer una alta calidad de servicio de voz.

2.2.1 Tecnología GSM y UMTS

Como ya es conocido dentro de la arquitectura GSM, tenemos el BSC (Base Station Controller), encargado del control y gestión del manejo de los recursos de radio en la BTS (Base Station Transceiver). El BSC asigna los canales de radio a las BTS diferentes, que controla los niveles de potencia en cada canal y controla el salto de frecuencia (frequency hopping) para el usuario móvil cuando ocurre un cambio de celda. [CHA2008]

Por lo tanto, el BSC concentra los datos que llegan de los usuarios móviles, que luego se transmiten al Mobile Services Switching Center (MSC). La BTS se comunica con el MSC a través de la interfaz A-bis, que generalmente es ejecutado por un medio de transmisión E1. A su vez, el teléfono móvil (MS) usa la interfaz de aire, Um, para comunicarse con la BTS; asimismo, entre la BSC y la MSC se usa la interfaz A.

En la figura 2-3, podremos identificar las partes descritas en los párrafos anteriores, además de las interfaces de aire y lógicas usadas en GSM.

En el caso de las femtoceldas, la conexión con el core es IP, por lo que la información y señalización se envían a la MSC a través de la conexión a datos, que para efectos de la presente tesis es transparente.

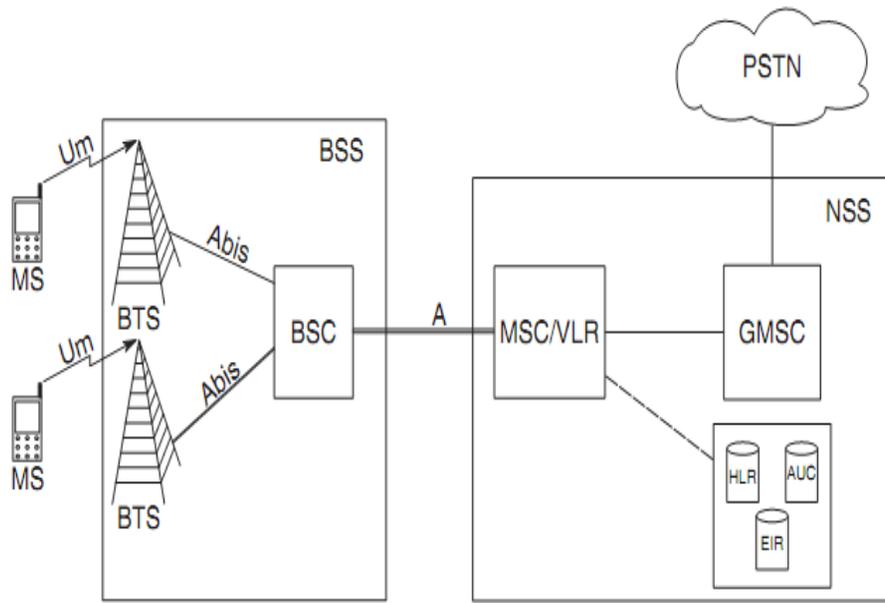


FIGURA 2-3: ARQUITECTURA PRINCIPAL DE UNA RED MÓVIL GSM

Fuente: "Femtocells: technologies and deployment" [ZHA2010]

El Network Switching Subsystem (NSS) es el núcleo de la red GSM. Es el encargado de interconectar las estaciones móviles a la red pública de telefonía conmutada (PSTN). Por otro lado, realiza tareas relacionadas con la facturación de los abonados. La parte principal en el NSS es el MSC, encargado del enrutamiento de conexiones entre cientos de BTS.

La tecnología UMTS es un estándar de la 3GPP, en la que se brinda una mejor experiencia en el acceso de datos, brindando una velocidad de hasta 384kbps de bajada, utilizando un espectro de 5Mhz y una modulación por división de código, denominada WCDMA.

En el Perú se usa el estándar UMTS release 4, donde en la parte de acceso, se mantiene la BTS, que es el acceso para telefonía móvil de segunda generación y el Nodo B para telefonía móvil de tercera generación. En la arquitectura UMTS release 4, todo es llevado al mundo de paquetes, en la cual, voz y datos son tratados como paquetes de datos IP.

Los Media GateWays (MGW), son los traductores y se encargan de convertir paquetes de voz a señales de voz para que puedan ser transmitidas por la red PSTN. En el caso que la información sea datos, entonces estos son dirigidos hacia Internet, o conocido como la red pública de datos (PDN).

Para comprender mejor este esquema, se presenta la figura 2-4, donde se pueden observar lo descrito en líneas anteriores. Se puede apreciar el NodeB, que realiza las funciones de una BTS en GSM. Los nodos B se conectan a los Radio network Controller (RNC) a través de los interfaces Iubis.

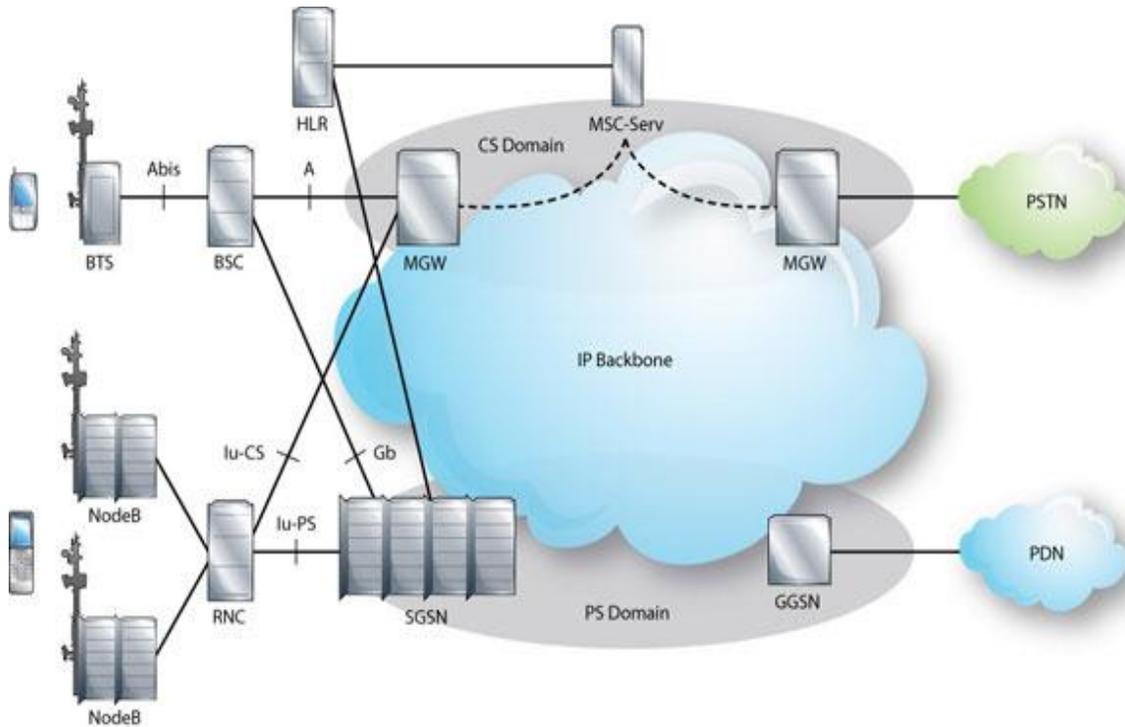


FIGURA 2-4 ARQUITECTURA UMTS RELEASE 4

Fuente: "The IP Road to Mobile Network Evolution" [ALC2007]

El RNC se encarga del control general de los recursos radio proporcionados por uno o varios Nodos B. El RNC es responsable de las decisiones de handover que requieren señalización al equipo móvil; se conecta al core del operador a través del interfaz Iu. [ALC2007]

En la figura 2-4, podemos apreciar estas interfaces, existe un interfaz Iu para las aplicaciones del dominio de circuito conmutado (CS Domain), denominado Iu-CS y otro para las aplicaciones del dominio de paquetes conmutado (PS), denominado Iu-PS.

El Serving GPRS Support Node (SGSN) y el Gateway GPRS Support Node (GGSN) contienen funcionalidad de encaminamiento IP y pueden estar interconectados por routers IP. El SGSN sigue y mantiene la posición de los terminales móviles en su área, realiza funciones de seguridad y control de acceso.

El SGSN está conectado al BSC a través del interfaz Gb. Por su parte, el Gateway GPRS Support Node (GGSN), proporciona la interconexión con redes externas con conmutación de paquetes.

2.2.2 Canales de control en GSM

Se analiza ahora los canales de control que se utilizan en GSM, los canales de control broadcast (BCHs) son utilizados por las femtoceldas para enviar información relacionada con la red a los usuarios móviles y existen tres de ellos:

- El canal de control broadcast es usado por la BTS para transmitir continuamente el ID de la celda e información relacionada de la red. El equipo móvil lee este canal para detectar en que celda se encuentra y conocer la potencia del canal.
- El canal de control de sincronización (SCH), se utiliza para ayudar a los MS a sincronizarse con los parámetros enviados por el BTS. Esto se hace mediante el envío de una secuencia, así como el código de identidad de la estación base (BSIC). [CHA2008]
- El canal de control de frecuencia-correlación (FCCH) lleva un tono sinusoidal. Este es utilizado por el MS para sincronizar su frecuencia con la de la BTS. El canal de control común (CCCH) se utiliza para el establecimiento de llamadas y se subdivide en tres canales:
 - ✓ El canal de paginación (PCH) se utiliza para notificar a los MS de que existe una llamada entrante.
 - ✓ El canal de acceso aleatorio (RACH) es un canal de enlace ascendente en el que los MS envían solicitudes de acceso a la red.
 - ✓ El canal de acceso de subvención (AGCH) se utiliza para notificar a los MS sobre el slot asignado después de la solicitud hecha a través del RACH.
- El canal de control asociado rápido (FACCH) se utiliza para transmitir información de control en los casos en que la calidad de la señal decrece rápidamente o durante el handover. Lo mismo se aplica a situaciones en el que un usuario de una femtocelda de acceso abierto realiza un handover hacia una macro celda. [ZHA2010]

- El canal de control dedicado (DCCH) se utiliza con fines de señalización entre el MS y la red GSM. Se compone de los siguientes canales:
 - ✓ El canal dedicado, Canal de Control (SDCCH) se utiliza para la señalización en el establecimiento de una llamada.
 - ✓ El SACCH contiene información sobre intercambios de control de potencia entre los MS y la femtocelda en cada multitrama. [ZHA2010]

2.3 Tipos de control de acceso en femtoceldas

El operador móvil configura las BTS para trabajar de forma abierta en la que todos los clientes, previo registro; y los clientes de otros operadores que tienen un roaming válido puedan acceder a la red. Sin embargo, las femtoceldas también pueden manejar tipos de acceso a ellos, como parte de la red del operador, los cuales se detalla a continuación:

2.3.1 Modo de acceso cerrado

Este modo es usado ampliamente en casas, edificios u otro tipo de identificación de interiores, en el cual se tiene como finalidad solo atender a los usuarios dentro de alguna edificación o cercanos a este. El Closed Subscriber Group (CSG), como se denomina en el 3GPP, rechaza cualquier terminal que no está registrado en la femtocelda, a través de la IMSI, el cual está registrado en el femto-GW (Femto-Gateway; el cual se aborda en el punto 2.4. [ZHA2010, CHA2008]

Un dispositivo móvil que pertenezca a un CSG, incluye su ID de CSG, la cual permite que una o más CSG se identifiquen con un identificador numérico único llamado CSG Identidad (CSG ID).

2.3.2 Modo de acceso abierto

Este modo de acceso que se registra en el 3GPP versión 9 publicado el 2009, es el modo convencional en la que no existen CSG y el operador puede desplegar un femtocelda para cubrir algunos puntos sin cobertura de interior y algunos puntos públicos para atender a todos los usuarios como si fuese una BTS.

En la red móvil no es necesario realizar ningún tipo de control de acceso específico para acceder al uso de la femtocelda, este modo es el más adecuado para cubrir las zonas muertas en áreas rurales. [CHA2008]

2.3.3 Modo de acceso híbrido

Al igual que el modo de acceso abierto, fue publicado el 2009. Este modo es una combinación de ambos modos ya mencionados. En la que la femtocelda da cobertura no sólo a través del CSG ID, ya que permite también que los terminales móviles que no son miembros tengan acceso a la femtocelda. Este registro es opcional, por parte de la femtocelda.

En este modo de acceso, los dispositivos móviles que no son parte del CSG, sólo pueden requerir un servicio de calidad de servicio limitado y poseer menor prioridad en comparación con los móviles registrados. Además, la femtocelda tiene que realizar una solicitud de identidad con el fin de obtener la IMSI del MS para el control de acceso y servicio con los propósitos de diferenciarlos en la QoS a ofrecer. [ZHA2010]

2.4 Escenarios de interferencia usando femtoceldas

El despliegue de femtoceldas introduce algunos cambios en la topología de redes macro celulares convencionales. Teniendo que evaluar dos capas, una de ellas es el área cubierta por la femtocelda y la otra, la capa en la cual opera la macro celda. Estas capas se denominan “arquitectura de dos niveles”, una de ellas, la red celular tradicional, mientras que la segunda incorpora varias redes celulares distribuidas de forma aleatoria como lo son las femtoceldas. En la figura 2-5 podemos ver reflejada la idea que se piensa plantear para mejorar la cobertura móvil.

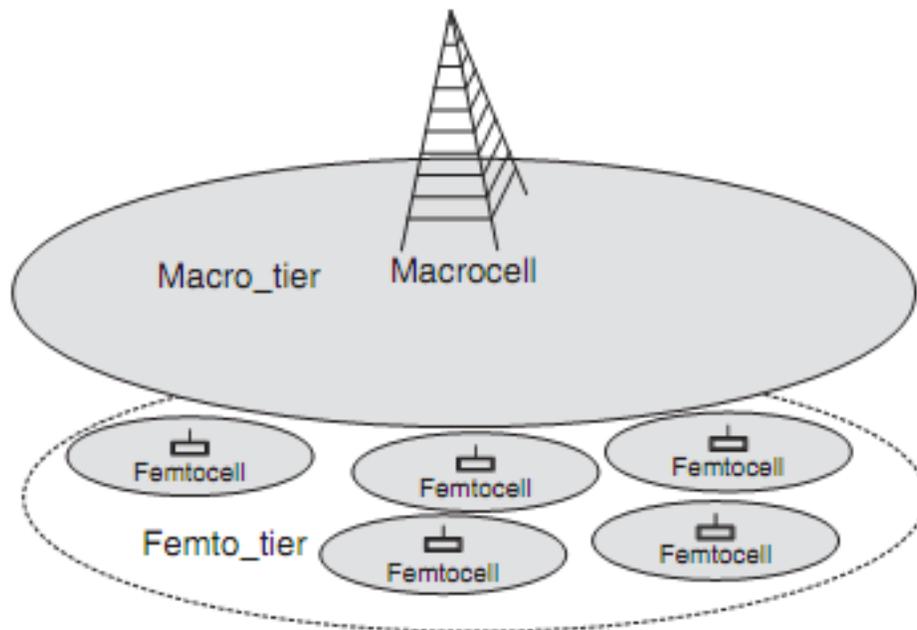


FIGURA 2-5 COBERTURA EN DOS CAPAS

Fuente: "Femtocells: technologies and deployment" [ZHA2010]

Esta cooperación con la capa de las macro celdas permitirá disponer de una capacidad adicional y mejora de la cobertura móvil en zonas rurales mediante una mejor reutilización del espectro. Lograr una eficiente operación de una femtocelda depende de sobremanera que esté integrado a la red, en el que los terminales puedan ser capaces de moverse sin problemas entre una femto – macro y viceversa. Teniendo como objetivo principal, tener la capacidad de compartir los recursos de radio sin ningún tipo de planificación en la parte de implementación final.

El aumento del número de células que causan interferencias es especialmente un problema cuando las capas macro y femto se encuentran en modo de operación co-canal. La operación co-canal es esencial para los operadores con el objetivo de lograr la máxima ganancia del espectro de reutilización. A continuación se evalúan diferentes casos de interferencia basados en estudios realizados por el 3GPP y Femto Forum, enfocando estos para áreas rurales:

2.4.1 Interferencia a nivel de femtoceldas

Es necesario acotar que evaluaremos estas interferencias para GSM, ya que es la tecnología por excelencia desplegada en nuestro país. Dado que se va a compartir

todo el espectro disponible entre las femtoceldas y macro celdas, esto conlleva a hacer un uso más eficiente del espectro disponible, siempre y cuando se usen técnicas adecuadas de reducción de interferencia.

En la discusión de las técnicas a continuación, consideramos por separado la interferencia en el DL, desde la BTS hacia el dispositivo móvil y la interferencia en el enlace ascendente UL, desde el dispositivo móvil hacia la estación base. Además, consideramos por separado interferencias que afectan a los usuarios de la femtocelda y usuarios de la macrocelda. [CHA2008]

2.4.1.1 Reducción de la interferencia en el enlace descendente (FL)

Una femtocelda debe establecer una potencia de transmisión en el FL lo suficientemente alta como para superar la señal de la macrocelda que interfiere dentro del área de cobertura de la femtocelda. Esta potencia de transmisión, no es aleatoria ya que esto podría generar interferencias en los dispositivos móviles cercanos que están operando en el mismo canal de radio y que están siendo atendidas por una estación base o alguna femtocelda. Esto puede crear una "zona muerta", donde incluso la comunicación básica de voz con la BTS puede llegar a ser imposible.

Frente a lo anterior, las femtoceldas evitan esta situación, ya sea empujando estos dispositivos móviles a otro canal de radio en la macrocelda, cuando aún están en modo de espera. El modo espera se puede mantener tanto en la femto como en la macro, para luego entregarlo a un canal de radio diferente siempre que se active al solicitar el servicio de voz o datos. De esta manera todas las llamadas en las inmediaciones de la femtocelda siempre tienen lugar en un canal de radio y así evitar cualquier interferencia.

Para hacer frente a este dilema, las femtoceldas usan una potencia de transmisión adaptativa, la que obtienen midiendo la potencia de las señales recibidas de las macro celdas y femtoceldas aledañas. Con ello establecen comparaciones del nivel de potencia de transmisión lo bastante alto como para alcanzar un SNR aceptable dentro del área de cobertura de destino.

Los equipos actuales de femtoceldas de distintos fabricantes como Airvana, Alcatel, Huawei entre otros, permiten obtener informes de medición de los dispositivos móviles cercanos, y realizar un seguimiento de la presencia de los dispositivos móviles. Con lo

que mejoran el nivel de potencia de transmisión y ofrecer el mejor grado de servicio posible a todos los usuarios de femtoceldas y macroceldas cercanas. [CHA2008]

Otra solución es emplear las antenas receptoras de la femtocelda con un rango dinámico extendido en la que se detecta las señales de las celdas que lo rodean y ajusta dinámicamente el poder propio de su transmisor al mismo tiempo con el objetivo de mantener su área de cobertura propia.

En el escenario en el que un dispositivo móvil inicia una llamada desde la macrocelda, fuera del área de cobertura de la femtocelda, y se mueve hacia la femtocelda, cuando aún la llamada está activa, la calidad de esta puede degradarse al aproximarse a la femtocelda. Ya que la detección de la señal de la femtocelda es más fuerte. Así, el dispositivo móvil informa a su BTS que el SNR ha disminuido y que otra celda con una señal más fuerte está cerca. [CHA2008, ZHA2010]

Un controlador de radio bien diseñado puede identificar en base a la información del equipo móvil, que la celda es una femtocelda, y reorientar el dispositivo móvil a otro canal de radio; es decir, realizar una transferencia entre frecuencias, evitando cualquier interferencia que pueda ser causado por la femtocelda.

2.4.1.2 Reducción de la interferencia de enlace ascendente (RL)

Los dispositivos móviles que están siendo atendidos por las macro celdas establecerán su potencia de transmisión (Tx) sin ser conscientes de la presencia de femtoceldas. Debido a que la distancia entre un dispositivo móvil y un macrocelda suele ser mucho mayor que la existente entre el dispositivo y un femtocelda cercana, por ende la potencia de recepción (Rx) de la señal que recibe la femtocelda de los MS's puede ser muy alta, elevando el nivel de interferencia hasta 30 o 40 dB por encima de los niveles que se observa típicamente en macroceldas, cuyos valores son están alrededor de los 9dB.

El hardware de la femtocelda receptora está diseñado para manejar esos altos niveles de interferencia de los cercanos dispositivos móviles, sin sufrir ningún tipo efecto de saturación. La femtocelda dará instrucciones a los dispositivos móviles a los que sirve para aumentar su poder de transmisión para superar la interferencia debido a la cercanía de algún MS que se sirve a la a vez de una BTS, usando una variación del algoritmo de control de potencia utilizados en las macroceldas.

Tener que aumentar su potencia de transmisión no plantea ningún problema para el dispositivo móvil que se sirve de la femtocelda debido a que su transmisor está diseñado para funcionar con las BTS distantes. Aquí entramos a un tema de ahorro de energía, ya que por lo general el MS posee energía disponible para comunicarse sin problemas con femtoceldas cercanos.

Otra técnica que se usa es en base a los mismos MS, limitando la potencia máxima de salida de un móvil que opere en la zona de la femto. Esto asegura que el teléfono antes de realizar un hand off hacia la macro celda controle su potencia de transmisión antes de añadir ruido en dicha red y evitar la interferencia provocada por el RL/FL en macro celdas. [CHA2008, ZHA2010]

2.5 Arquitectura de Femtoceldas

La conexión de la femtocelda a la red del operador móvil se realiza mediante una conexión de banda ancha. Los tres temas principales en el diseño de arquitecturas de red han sido los de escalabilidad, seguridad y estandarización.

Se va a poner especial consideración a la tecnología GSM, ya que es la tecnología a proponer en los capítulos siguientes, GSM se diseñó inicialmente para comunicaciones de voz, por lo que para las transmisiones de datos, se introdujo el GPRS, por lo que existe un elemento de red llamado SGSN, que se conecta con el BSC y sirve como punto de entrada a red basada en IP, el mundo de paquetes.

Por último, otro elemento denominado Gateway GPRS Support Node (GGSN) se introduce para comunicar el SGSN a las redes externas como Internet.

Una diferencia importante entre la red GSM tradicional y una que contiene femtoceldas, es el número de celdas cubiertas por las femto. La red GSM que opera como macro celda de un operador, puede operar a la vez con un buen número de femtoceldas, número cercano a los 1000.

Por tanto, es necesario que la red principal tenga la capacidad de recibir todos los flujos de datos de femtoceldas individuales. Estos flujos independientes son concentrados en un elemento de la red, denominado Femto Gateway (FGW). Existen varias arquitecturas propuestas para la forma en la que el FGW se va a conectar a la red

principal. Los componentes principales del modelo de red, y que se repiten a menudo son las siguientes:

- Punto de acceso, femtocelda
- Pasarela de red, Femto Gateway
- Security Gateway

2.5.1 lu-b sobre IP

Se basa en las redes 3G existentes, en la cual cada femtocelda se conecta a un RNC (Radio Network Controller) sobre la interfaz estándar lu-b. Esta, a su vez, es encapsulada dentro de la señalización IP, el cual es denominado "tunneling lu-b". La seguridad de la red se establece mediante el protocolo IPsec usando un servidor de seguridad (Secure Gateway).

Una preocupación con esta arquitectura es la capacidad de un RNC para soportar un número elevado de femtoceldas. La interface lub permite a los operadores operar en sus centrales existentes a través de interfaces estándar (lu-CS e lu-PS), que cumplan el requisito de ser transparente para el operador, bajo costo de implementación inicial y evitar interrupciones en el servicio. [ZHA2010]

2.5.2 Generic Access Network (UMA / Unlicensed Mobile Access)

UMA es el nombre comercial para el 3GPP global "GAN" estándar para la convergencia fijo-móvil. UMA permite un acceso seguro, escalable para servicios móviles de voz, datos y servicios de IMS en redes de banda ancha de acceso IP. Fue desarrollado inicialmente para permitir que otros tipos de interfaz de radio interactúen con la red básica GSM, como los teléfonos duales, entre otros.

Para la convergencia con las femtoceldas fue planteado recientemente, agregando un nuevo elemento, RAN Gateway, que interactúa a través de la interfaz Up estándar entre la UMA Network Controller (UNC - funciones de gateway) y las femtoceldas. Esto funciona mediante una conexión segura, IP tunnel, por razones de privacidad y seguridad. [KIN2007]

A diferencia de la solución lub sobre IP, las femtoceldas manejan los recursos de radio directamente, lo que permite una solución a mayor escala y mejores capacidades, ya que la RNC ya no controla este proceso.

En la figura 2-6 podemos apreciar la arquitectura UMA y lo descrito en párrafos anteriores, en la que se puede operar con femtoceldas 2.5G/3G, esto depende del Media Gateway (FGW).

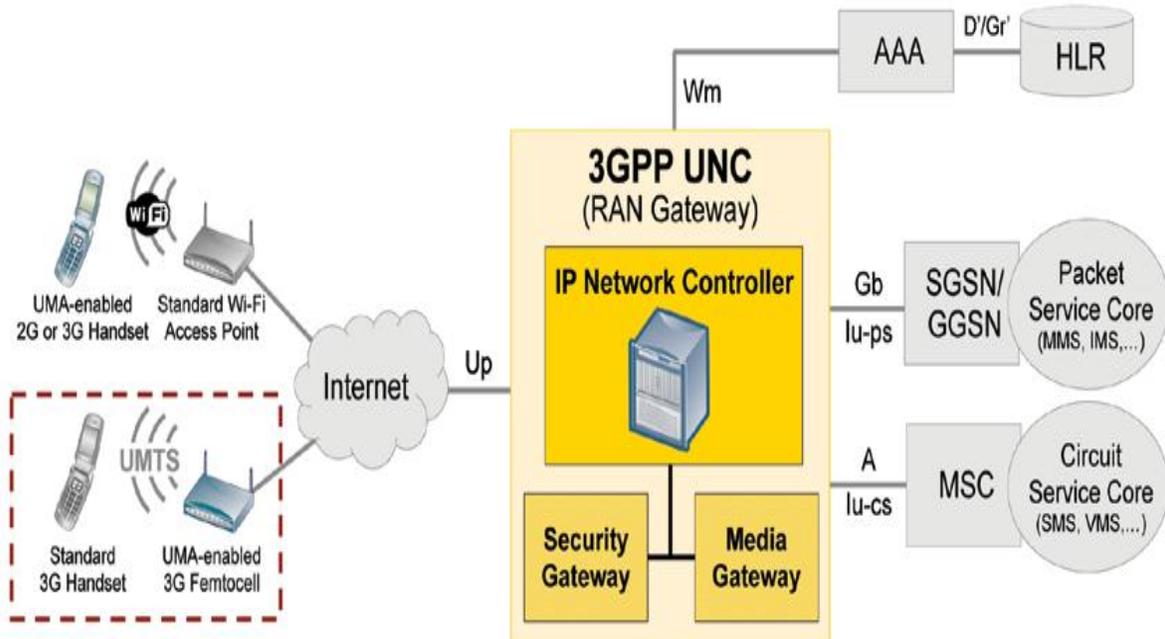


FIGURA 2-6 ARQUITECTURA UMA

Fuente: "The Case for UMA-Enabled Femtocells" [KIN2007]

2.5.3 IMS y SIP

Diferente a las arquitecturas descritas, se basa desde el inicio en redes IP, y emplea protocolo SIP (Session Initiation Protocol) para sostener las llamadas como Voz sobre IP (VoIP). Aquí, las funciones del RNC se integran en la femtocelda, la cual establece una sesión entre ella misma y un servidor IMS dentro de la red del operador.

En la figura 2-7, podemos observar las tres arquitecturas mencionadas, identificando el FGW en las distintas arquitecturas, lo que resalta la necesidad de cada una, de contar con un traductor entre las femtoceldas y el core del operador.

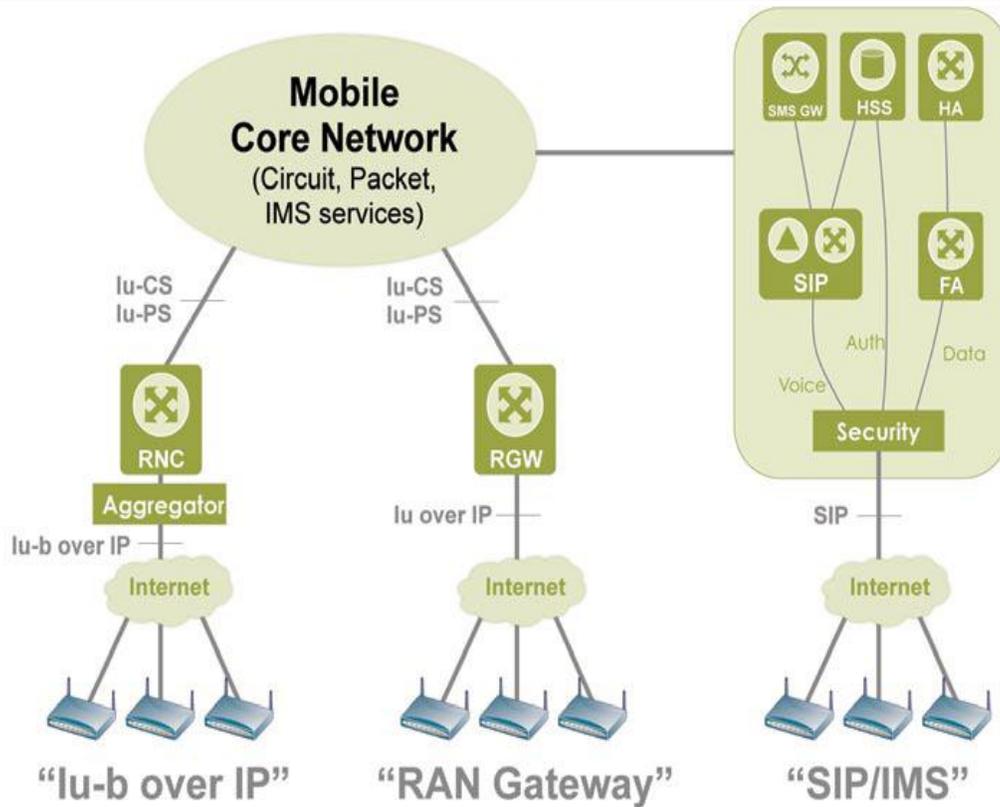


FIGURA 2-7 ARQUITECTURAS USANDO FEMTOCELDAS

Fuente: "The Case for UMA-Enabled Femtocells" [KIN2007]

Para la implementación de femtoceldas es necesaria la interconexión con la red celular existente; sin embargo, su implementación será sencilla, debido a que en la arquitectura UMTS release 4, con la que cuentan los operadores móviles del país, el núcleo IP permite una interconexión a través del FGW, el cual se encargara de controlar el tráfico generado y dirigido hacia las femtoceldas, además de la autenticación y seguridad de las mismas.

Así, realizando una comparación entre las arquitecturas mencionadas, presentamos la tabla 2-1, que nos permite identificar la arquitectura más apropiada para presentarla como propuesta en este documento, la arquitectura GAN basada en el RAN Gateway ofrece una menor inversión inicial y una gran escalabilidad, por lo que es la arquitectura elegida para efectos de esta tesis.

Otro punto a su favor es la posibilidad de trabajar con la tecnología GSM, interactuando con el core del operador de forma transparente, lo que permitirá a los usuarios finales con terminales móviles GSM, poder recibir y realizar llamadas; a su vez, si posee un terminal móvil 3G, puede sincronizarse con la femtocelda.

TABLA 2-1: COMPARACIÓN DE LAS ARQUITECTURAS USANDO FEMTOCELDA

Fuente: “Kineto Wireless, Inc. - Elaboración Propia” [KIN2007]

	lub-over ip	GAN – RAN Gateway	IMS Y SIP
Transparencia del servicio	Excelente	Excelente	Baja
Costo Inicial/Inversión	Regular	Baja	Baja
Escalabilidad	Baja	Excelente	Excelente
Estandarización	Baja	Excelente	Buena

La figura 2-8 puede darnos una mejor idea de cómo queda el esquema final con la instalación de femtoceldas “outdoor”, para mejorar la cobertura móvil en áreas rurales. Además se hace hincapié en que el backhaul de la conexión hacia el core del operador es transparente para los fines propios de la tesis.

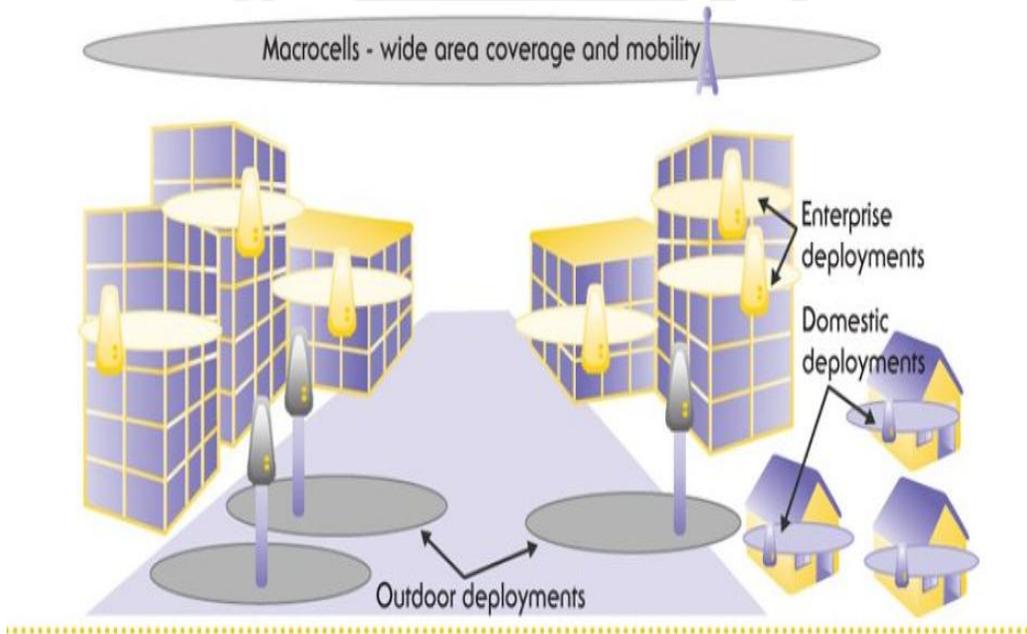


FIGURA 2-8: CONVERGENCIA ENTRE LA FEMTO Y MACRO CELDA

Fuente: “Femto Forum” [FEM2011]

2.6 Movilidad en femtoceldas

Las femtoceldas se han diseñado para producir mayor cobertura y mayor capacidad, especialmente en zonas grises (sin cobertura). Al usar estas en áreas rurales es necesario de que operen bajo la misma frecuencia que las macro celdas, permitiendo al usuario, movilizarse dentro de forma transparente.

Las femtoceldas no soportan soft-handover, siendo el “hard handover” la técnica de radio a usarse. Además, los sistemas 2G y 3G conviven en la misma red móvil sin mayores dificultades, permitiendo que las femtoceldas 3 G puedan recibir llamadas de terminales móviles GSM. [ZHA2010]

A continuación se describen dos escenarios:

2.6.1 Handover en los límites de cobertura de las femtoceldas

Cuando un usuario está realizando una llamada y se mueve dentro o fuera de la cobertura de una femtocelda, se empieza a ejecutar un procedimiento que mantiene la continuidad de las llamadas. Esto se logra haciendo que la femtocelda se comporte igual que una macrocelda intercambiando información con el MSC. Las femtoceldas se ubicarán en zonas donde el cambio en los niveles de señal puede variar repentinamente por la geografía del lugar.

Se busca obtener el menor número de cambios repentinos para que el teléfono no esté en constante movimiento entre la macro y la femto. Si se mantiene constantemente en “modo espera”, modo en que el móvil intercambia los mensajes de control para solicitar el handover, se evitará el consumo innecesario de energía durante la llamada, evitando sobrecargar innecesariamente a la red con mensajes de control.

El canal FACCH se encarga de enviar los mensajes de control respectivos con las potencias de recepción y transmisión que posee para informar a la femtocelda; y así, lograr el handover hacia la macrocelda o viceversa. [CHA2008, ZHA2010]

2.6.2 Femtoceldas en zonas de baja señal de cobertura

Pruebas realizadas por el 3GPP han demostrado que es más fácil realizar el handover en frecuencias GSM, banda de 900MHz, debido a la mayor cobertura que se tiene en esa banda.

La femtocelda puede reconocer celdas cercanas 2G y terminales móviles, guardando un registro de los mismos, estos son recogidos por las femtoceldas y las macro celdas para medir el nivel y calidad de la señal de los móviles cercanos en esas celdas, para luego realizar el handover.

2.7 Seguridad en femtoceldas

La mayoría de los usuarios velan mucho por su privacidad, y siendo la femtocelda muy similar a un AP WiFi, la encriptación WEP les dejaría muchas dudas en cuanto a la integridad de los datos que intercambian. Más aún, si se ha señalado el modo de operación abierto, con ello cualquier usuario podría corromper la integridad de la información que se transfiere. [CHA2008, ZHA2010]

Además es necesario, indicar que existe un punto de vulnerabilidad el esquema de uso de las femto, ya que el tráfico ha de viajar por la conexión a Internet, lo que implica estar inmersos en los ataques comunes a las que están expuestas las redes IP. Para ello se proponen las siguientes soluciones:

2.7.1 IP sec

IPsec es un protocolo de Internet, cuyo objetivo es garantizar la seguridad y la autenticación en Internet. Con IPsec, paquetes se dividen en dos partes: un encabezado IP, y los datos. El protocolo puede operar en dos modos:

- Modo de transporte: sólo los datos que se transfieren se cifra, y el encabezado no son modificados.
- El modo de túnel: todo el paquete (encabezado y datos) se cifra y se encapsula en un nuevo paquete con una nueva cabecera.

IPsec fue construida para proteger el vínculo entre los usuarios de las femtocelda y la red principal, por lo que el túnel se construye entre el FAP y el Femto Gateway (FGW). Eso puede verse reflejado en la figura 2-9.

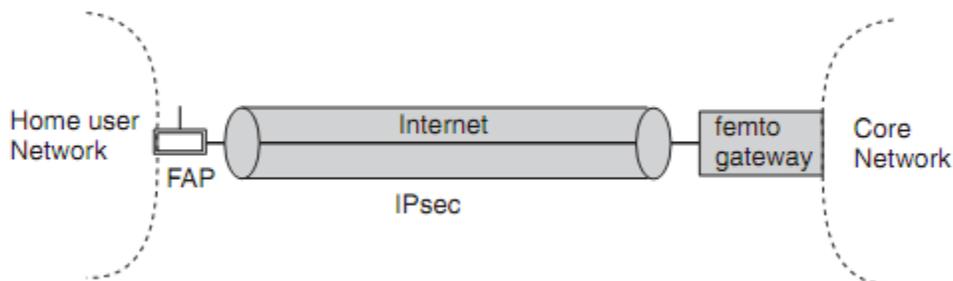


FIGURA 2-9 ESQUEMA DE SEGURIDAD EN FEMTOCELDAS - IPSEC

Fuente: "Femtocells: Technologies and deployments" [ZHA2010]

2.7.2 Protocolo de autenticación extensible (EAP)

EAP es una propuesta de autenticación universal de uso frecuente en las redes inalámbricas, esta técnica es la más usada, son implementadas principalmente en el femto gateway. A continuación se listan las más importantes:

- **EAP-Transport Layer Security (TLS)** es el más conocido de EAP, y se implementa en todos los equipos inalámbricos. Se basa en el uso de una infraestructura de clave pública (PKI) para crear y gestionar los certificados digitales. En este protocolo, un equipo ofrece las claves públicas con sus respectivos usuarios. El certificado se puede establecer automáticamente por software o manualmente por los propios usuarios.
- **EAP-SIM**, es la aplicación usada para GSM mediante la tarjeta SIM. En este enfoque, la información compartida entre el proveedor y el usuario es contenida en la tarjeta SIM.

2.7.3 Autenticación X.509

Los certificados X.509 se utilizan para la autenticación en las redes basadas en IP. En la que el número de serie se almacena en un elemento específico llamado Trusted Platform Module (TPM). Este elemento es una memoria protegida cuyo contenido no puede ser modificado. Con este enfoque, la identificación de la femtoceldas es definida en la etapa de fabricación.

Cuando el usuario obtiene la femtocelda de un operador, este asocia este nuevo cliente al número de serie de la femtocelda. El número de serie está dada por el fabricante directamente al operador, de modo que no hay posibilidad de que un tercero tenga acceso a esta información. Cuando el cliente utiliza el equipo, la clave pública que posee, sólo puede ser utilizada junto con ese número de serie. [ZHA2010]

2.7.4 Autenticación con tarjeta SIM

Esta opción es la más usada para autenticar a un femtocelda, se usa una tarjeta SIM (GSM). En este caso, la información está protegida por la tarjeta SIM, ya que se conectará con el centro de autenticación, autorización y tarificación (AAA) del core del operador.

Capítulo 3

Mejoramiento y optimización de la red móvil en Morococha, provincia de Yauli – Junín

Morococha, distrito minero por excelencia, es la localidad elegida para la propuesta del despliegue de femtoceldas, mejorando así, la cobertura rural móvil y obtener ahorros significativos en CAPEX y OPEX.

3.1 Descripción socio económica de la zona

El distrito de Morococha, es uno de los diez distritos de la provincia de Yauli, provincia que pertenece al departamento de Junín, y a la región del mismo nombre. La distancia del distrito a las ciudades principales son de 132Km. de la ciudad de Lima y 20 Km de la ciudad metalúrgica de la Oroya, se encuentra a una altitud de 4524 msnm y es una zona minera por excelencia.

El distrito tiene a la mayoría de sus habitantes, que equivalen a un total de 5397, ubicados principalmente en el centro poblado de Morococha, la cual es considerada área urbana y como tal capital del distrito. En este centro poblado reside el 86.7% de la población, mientras que el 13.3% restante se distribuyen entre las localidades de San Francisco de Pucará y Alpamina.



FIGURA 3-1: MAPA DEL DISTRITO DE MOROCOCHA

Fuente: "INEI" [INE2011B]

Evaluar la situación actual de la población es complicado debido a que la tasa de mortalidad en recién nacidos es muy alta, llegando al 77.2% [INE2011B]. Existe una actividad frecuente de visitantes periódicos ya que Morococha es un punto de paso obligatorio si uno se traslada a la sierra y/o selva central; además de existir proyectos de explotación en minería muy importante y de constante actividad.

Los malos manejos administrativos por parte de las autoridades municipales hacen ver una realidad cruda a pesar de las importantes sumas de dinero que perciben por Canon Minero. Actualmente, los habitantes de Morococha viven en casas construidas con materiales precarios que corren el riesgo de hundirse; debido a que, han sido edificadas sobre túneles subterráneos usados para sacar mineral y que luego fueron abandonados.

No cuentan con sistema de desagüe, además, de estar rodeado de relaves mineros que son fuente de problemas de salud para los pobladores. Los principales problemas son respiratorios, digestivos, estomacales y dermatológicos. Por ende, un sistema de comunicaciones con alta prestaciones es necesario para coordinar traslados de enfermos hacia las ciudades cercanas o requerir ayuda en caso de emergencias, tanto para los pobladores, que en su mayoría son mineros expuestos a accidentes.



FIGURA 3-2: IMAGEN PANORAMICA DEL CENTRO POBLADO

Fuente: [Estudio de campo]

El PEA del distrito según datos del último censo realizado en el año 2007, equivale al 43.3%, que son en total 2335 habitantes [INE2011B]. Las actividades económicas que predominan son la explotación de minas y canteras, el comercio y servicios de hospedaje, alimentos e inmobiliaria. En la figura 3-3 podremos apreciar la distribución de actividades económicas en la zona, es importante añadir que al ser un centro minero, alberga oficinas y personal administrativo de las diferentes compañías mineras que a lo largo del tiempo han explotado los yacimientos de dicha zona.

En la siguiente figura podemos apreciar las actividades económicas que realizan, reafirmando que es el comercio, transporte (servicios) y la explotación de canteras, las actividades más importantes.

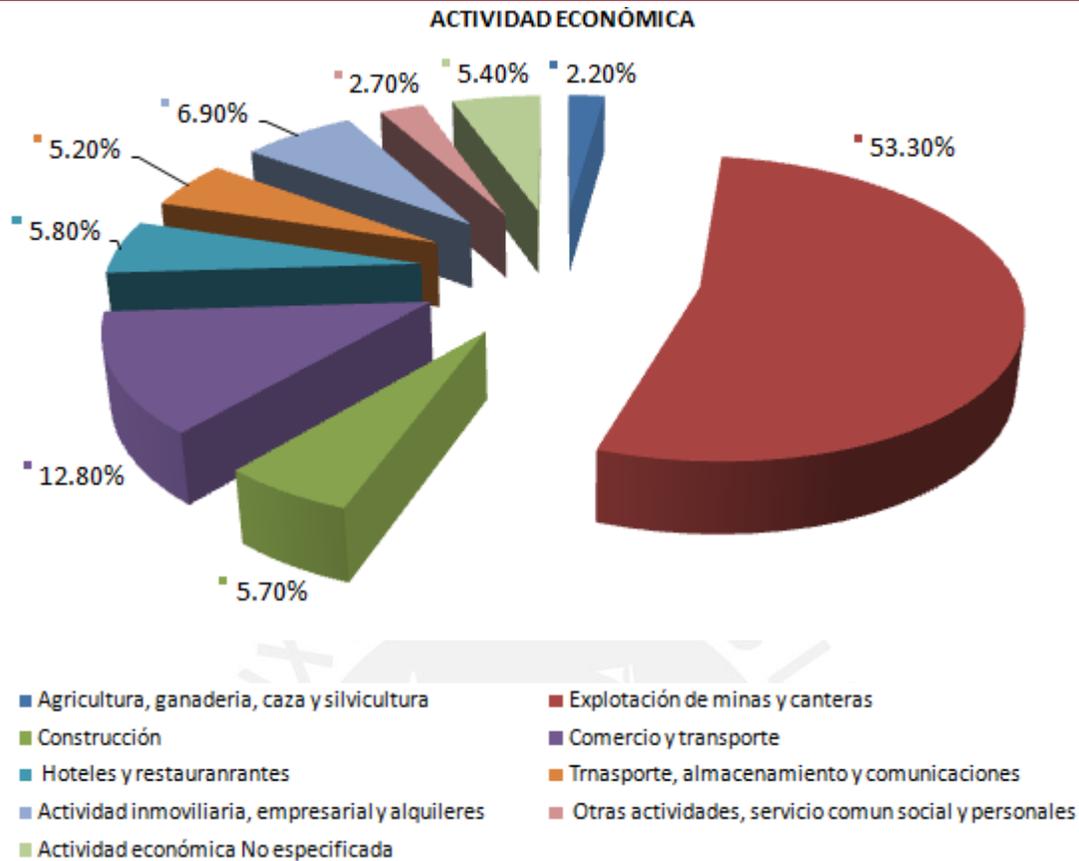


FIGURA 3-3: PORCENTAJE DE OCUPACIÓN

Fuente: "INEI - Elaboración propia" [INE2011B]

3.2 Nueva ciudad: Morococha

Actualmente se está construyendo la nueva ciudad "Morococha", que es parte del Proyecto Toromocho, y que está siendo llevada a cabo por la Minera Chinalco Perú S.A. La cual inició sus actividades en mayo del 2008 con una inversión expectante en el proyecto de \$ 2, 500, 000,000.00 (dos mil quinientos millones de dólares americanos) hasta el 2012 [MIN2010]; inversión que contempla una inversión mínima de \$ 50, 000, 0000.00 (50 millones de dólares americanos) en la nueva ciudad de Morococha.

La nueva ciudad estará ubicada en la localidad de Carhuacoto, distrito de Morococha, a unos nueve kilómetros al este de la actual Morococha con un área de 1.8 Km². Los planos de la nueva ciudad contemplan colegios, centros médicos, edificios municipales, espacios de recreación, alumbrado público, entre otros. Además de construirse 1400 viviendas que contarán con los servicios básicos de agua, desagüe y electricidad [MIN2010].

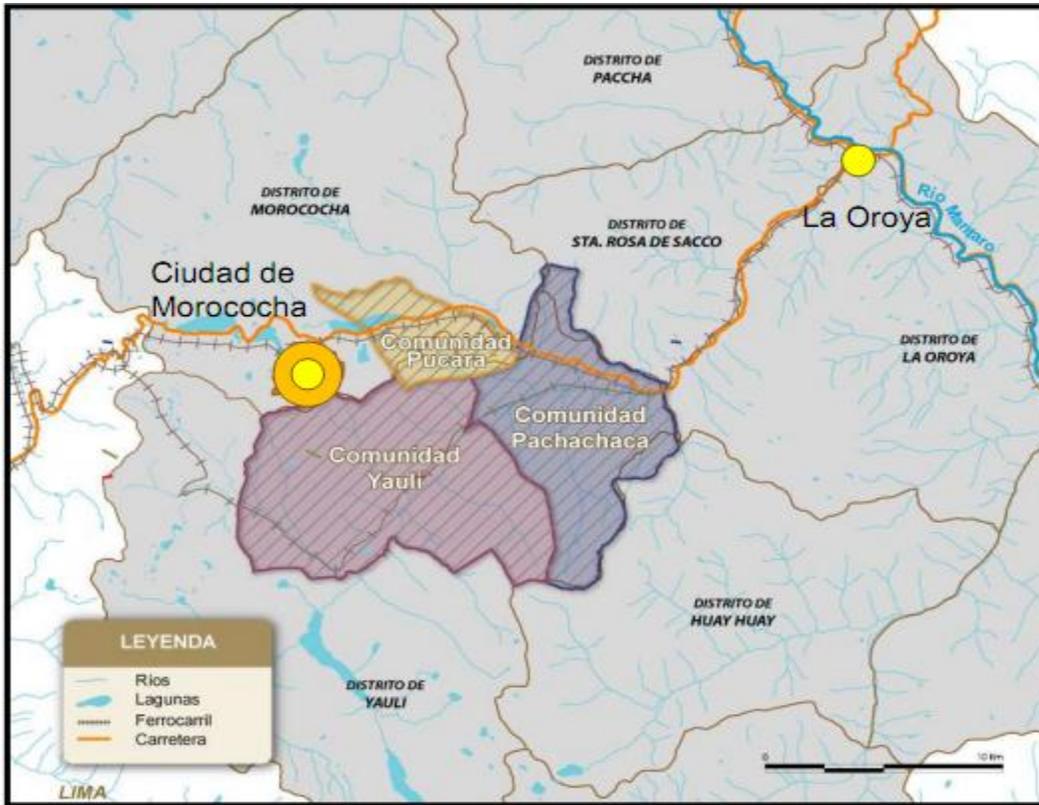


FIGURA 3-4: ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DEL PROYECTO

Fuente: "Minera Chinalco" [MIN2010]

Se tiene pensado albergar a los más de 5000 habitantes y entregar las nuevas viviendas en el invierno del 2012. En la figura 1-4 se puede observar la cercanía de la nueva ciudad (Pucará) hacia la antigua Morococha (bordes azules). Un beneficio importante es que la población podrá mantener su identidad cultural, mientras que la Municipalidad Distrital de Morococha percibirá 10% de canon minero y 20% de regalías, como parte de los beneficios económicos que brindará el Proyecto Toromocho.

Esta importante inserción económica de la que será protagonista Morococha, trae efectos secundarios como son la creación de:

- 5000 empleos en la etapa de construcción
- 2500 empleos directos durante 32 años.
- 7500 empleos indirectos durante 32 años (población externa a la actual).

Estas estimaciones contemplan cifras durante la vida de la mina, como puede verse reflejado en la figura 3-5:

En millones de US dólares

Precio Cobre (x libra)	US\$ 1.50	US\$ 3.00
Impuestos a la renta	2223	7600
Canon Minero	1112	3800
Regalías	417	760
Pago de Utilidades (Trabajadores)	644	2100

FIGURA 3-5: BENEFICIOS ECONÓMICOS

Fuente: “Minera Chinalco” [MIN2010]

En la figura 3-6 se pueden apreciar imágenes de lo que será la nueva ciudad, cuya construcción comenzó el 27 de abril de 2011.



FIGURA 3-6: VISTAS DE LA NUEVA CIUDAD

Fuente: “Minera Chinalco” [MIN2010]

3.3 Cálculo del tráfico demandado, estimaciones

Para un mejor entendimiento de la dinámica poblacional en el distrito de Morococha, es importante entender que este distrito se creó a partir del desarrollo de la actividad minera. Lo cual explica el rápido crecimiento y/o decrecimiento de la población económicamente activa. Asimismo, la dinámica económica de este distrito mantiene una alta dependencia con esta actividad, por lo cual muchos comerciantes y trabajadores del sector servicios dependen de la actividad minera.

El presente estudio de la demanda se va a centrar básicamente en la nueva ciudad de Morococha que está en construcción, centrándonos en cubrir las necesidades de cobertura móvil de este nuevo centro urbano y alrededores.

3.3.1 Perfil del usuario

Es importante resaltar, que Morococha recibe visitas de personas de diferentes partes de la zona, la cual fluctúa alrededor de 1000 visitas al mes de personas que vienen por comercio, investigación, personal de la compañía minera, visitantes a colegios, entre otros; a las cuales denominaremos “población en edad de trabajar” (PET). Las cuales por poseer poder económico serán considerados como PEA, para efectos del estudio.

Cabe añadir que Morococha es zona obligatoria de paso, debido a su cercanía a la carretera central, por la cual circulan diariamente alrededor de 3454 vehículos [MTC2004], las personas incurren en realizar llamadas desde los vehículos, dado que es la zona con cobertura móvil más cercana, pasando el abra Atincona (Ticlio). De esta forma se tratará de cubrir el área de influencia que tendrá la ciudad en sus zonas aledañas, como la carretera central.

En la tabla 3-2 se especifica el total de nuestra posible demanda, para los cuales se presenta el realiza un estudio de tráfico tanto de voz como de datos.

TABLA 3-1: PEA AL AÑO 2011

Fuente: “Elaboración propia”

POBLACION PEA	
POBLACION EN EDAD DE TRABAJAR	1000
POBLACION ACTUAL	2335
POBLACION TRANSITO	10
TOTAL	3345

3.3.2 Análisis de la demanda - Estado actual del servicio móvil

Es necesario acotar, que el presente proyecto tendrá una vigencia de 4 años, el primer año inicia a partir de que se produzca el reasentamiento de la población en el nuevo centro urbano pronosticado para inicios de 2013. Así mismo, para realizar el presente análisis se realizó un trabajo de campo en la ciudad de Morococha realizado el 10 de octubre del 2011. A este viaje se llevaron las siguientes herramientas:

- Terminal SmartPhone Mini-Galaxy S5570 – Claro

- Terminal BlackBerry 8520 - Movistar
- Celular Chino doble chip – Movistar, Claro
- Cámara fotográfica
- Software RF Signal Track versión 2.3.2 by Ken Hunt
- 30 encuestas para evaluar la calidad de servicio móvil actual y posible demanda

Se realizó un drive test, utilizando el software RF Signal Track, con el cual pudimos comprobar que debido a la accidentada geografía de la zona, existen puntos muertos o con intensidad de señal debajo de los -95 dBm, que es lo permitido, alcanzando picos de -111 dBm. En la figura 3-7 se ilustra lo mencionado. Los datos registrados correspondientes a este gráfico se adjunta en el anexo 3.



FIGURA 3-7 INTESIDAD DE SEÑAL REGISTRADA DURANTE EL RECORRIDO

Fuente: “Elaboración propia” [Estudio de campo]

De la misma forma, se procedió a realizar llamadas de prueba, con los celulares, tratándose de llevar a cabo los siguientes escenarios:

- Interiores, desde un vehículo

- Exteriores, al aire libre.

Se encontró dificultad, para poder completar llamadas desde el interior del vehículo. Se requería encontrar un punto de cobertura, para, realizar las llamadas. Existen zonas, en las que no hay cobertura y los usuarios necesitan desplazarse o moverse hacia las zonas donde sí existe señal, para realizar llamadas. Se adjunta un archivo de video, con las pruebas de campo realizadas.

Además, se realizaron encuestas a 30 personas, cuyo análisis se encuentra en el Anexo 2 del presente documento; se obtuvieron importantes conclusiones; dado que un 90% afirma que la calidad de servicio móvil es regular, ya que existe interferencia o ruido. Por otro lado respecto a la cobertura móvil, un 88.4% rescata que es buena y 13.3% que es regular, dado que existen varios puntos muertos dentro de la localidad.

Por último, el 86.6% de los encuestados tiene una línea plan pre-pago, indicando que la compra del celular, no se ha realizado en Morococha; sino, en ciudades como La Oroya, Huancayo, Lima entre otras.

A partir de que la penetración móvil bordea en general el 51% para el 2011, se obtiene un equivalente a 1706 clientes móviles. Es necesario acotar que se considera sólo la tecnología GSM, por ser la red con mayor despliegue y mayor cantidad de terminales vendidos en nuestro país. [INE2011A]

- Voz: 10 mErlang tráfico que genera un usuario rural [MON2010B]
- Datos: 90Kbps – GSM/GPRS
- Multimedia: 64Kbps – GSM/GPRS

Además, el impulso económico que se le ha dado a la zona, conlleva a tasas de crecimiento no esperados por lo que no se pueda especular sobre la cantidad final de habitantes que pueda albergar la ciudad una vez reubicada. Por lo que se resume un crecimiento en base a las expectativas de creación de puestos de trabajo a crearse y con ello, el incremento de la población económicamente activa, según fuentes de la propia minera:

- 5000 empleos en la etapa de construcción
- 2500 empleos directos durante 32 años.
- 7500 empleos indirectos durante 32 años.

Así resumimos el crecimiento para los próximos 4 años, considerando el año 1, como el 2012, y una penetración en zonas rurales del 80%, tal como se indica los pronósticos del INEI, llegando al 100% para finales de 2014. De esta forma se obtuvo la tabla 3-2, que nos resume una potencial demanda para la vigencia del presente proyecto. [INE2010A]

TABLA 3-2: CRECIMIENTO ESPERADO DE LOS CLIENTES

Fuente: “Elaboración propia”

AÑO	PEA	PENETRACION MÓVIL	USUARIOS
1	3345	80%	2810
2	3512	90%	3160
3	3688	100%	3688
4	3872	100%	3872

3.3.3 Requerimientos de máxima capacidad a ofrecer

Para realizar la demanda de tráfico, debemos analizar el escenario de mayor frecuencia de uso, “peor caso”. Es necesario tener en consideración la recomendación por parte de la UIT y del Colegio de Ingenieros de Lima, un margen de 30% más de la red disponible para una demanda extraordinaria, por alguna externalidad.

De esta manera analizamos los requerimientos de tráfico en voz, multimedia y navegación por Internet (datos).

- **Voz**

Sabiendo que el tráfico es de 10mErlang en la HC por usuario, y tomando un factor de simultaneidad del 60%, tenemos un total 2324 usuarios en el peor caso, entonces se obtiene un total de 23.232 Erl. Añadiendo el margen por causa de mayor demanda por actividades excepcionales, se obtiene un flujo de tráfico de 30.20 Erl., considerando un bloqueo del 1%.

Utilizando una calculadora de Erlang, se obtiene un total de 42 circuitos para el proyecto, en el caso de uso de las femtoceldas, un circuito de voz usa el códec de voz G.729, que se propone en este documento; y, requiere una tasa de 29.6Kbps por circuito.[MON2010B]

Para hallar la cantidad de TRX a usarse, en la BTS, se sabe que en GSM los canales ocupan 200Khz tanto para el uplink, como para el downlink. Por lo que se va a configurar una TRX, con un canal de control por TRX y los otros 7 en modo Full Rate, se obtiene un total de 6 TRX para cubrir la demanda de 30.20 Erl.

Estas 6 TRX se usarán para el sector 2 (la sectorización de la BTS a implementarse se muestra en la figura 3-7), que cubre la nueva ciudad. Por otro lado se propone, el uso de 1 TRX para el sector 1 y 3, de forma individual. Con el fin de ofrecer la máxima cobertura en todo el distrito y el área de la carretera central.

Existe el caso de que las femtoceldas a instalarse, soporten el tráfico de voz producido por 10 conexiones. Con ello, al utilizar el factor de simultaneidad del 60%, podremos indicar que se registrarán 6 llamadas simultáneas como máximo. Se demandará 177.6 Kbps para voz por femtocelda.

- **Datos**

En este caso evaluamos el tráfico requerido por el uso de acceder a Internet desde correo, para el uso de mensajería, navegación por páginas web, entre otros. Por ello, considerando una velocidad de 90Kbps, tiempo de uso de 2 minutos, y un factor de simultaneidad del 10% durante la HC; se obtiene lo siguiente:

$$\text{Tráfico Datos} = \frac{90 \text{ Kbps} \times 2 \text{ min} \times 0.1 \times 3872}{60 \text{ min}} = 1161.6 \text{ Kbps}$$

Considerando el factor de externalidades, se requieren: 1510.08 Kbps

- **Multimedia**

Aquí evaluamos la descarga de archivos de audio, transferencia de imágenes, fotos o vídeos. Considerando una velocidad de 64 Kbps, tiempo de uso de 2 min y un factor de simultaneidad de 5% en la HC; se obtiene lo siguiente:

$$\text{Tráfico Datos} = \frac{64 \text{ Kbps} \times 2 \text{ min} \times 0.05 \times 3872}{60 \text{ min}} = 413.02 \text{ Kbps}$$

Considerando el factor de externalidades, se requieren: 536.93 Kbps

De esta forma obtenemos el total de capacidad requerido en base a la demanda estimada, en las tablas 3-4 y 3-5; donde se resume lo anterior:

TABLA 3-3: DEMANDA TOTAL

Fuente: “Elaboración propia”

DEMANDA TOTAL	
Trafico voz total	30.20 Erl
Tráfico voz Mbps	1.25 Mbps
Trafico datos total	1.58 Mbps
E1's total	4

TABLA 3-4: TRX POR SECTOR

Fuente: “Elaboración propia”

SECTOR	TRX	ANILLO DE COBERTURA
1	1	Nueva Morococha
2	6	Vieja Morococha, Carretera Central
3	1	Población aledaña, Carretera Central

3.4 Estructura de la red de transporte y acceso para el uso de las femtoceldas en la zona elegida

Antes de que la empresa América Móvil Perú S.A.C., en adelante AMo, comenzará a brindar el servicio de telefonía móvil desde el año 2006 a través de la tecnología GSM en la banda de 850MHz. Los servicios de telecomunicaciones eran implementados en base a los requerimientos que las mineras solicitaban para cubrir sus necesidades.

Siendo Telefónica del Perú S.A.A. la que cubría la demanda que las compañías mineras requerían en la zona, instalando conexiones privadas; lo que significa, que el servicio de comunicaciones estaba restringido a lo que las empresas ofrecían a sus propios trabajadores e intereses.

3.4.1 Infraestructura actual de telecomunicaciones

Como ya se mencionó, AMo, fue la primera operadora móvil que ofreció cobertura móvil en la zona de Morococha, la cual es cubierta por la estación base, cuyas coordenadas geográficas se presentan en la tabla 3-5.

A su vez la empresa Telefónica Móviles S.A., en adelante TMo, empezó a ofrecer cobertura móvil a partir de septiembre del 2010. A pesar de que la estación es nueva,

ya son varias las quejas por diferentes cortes del servicio móvil por parte de la operadora. Muchos pobladores de la zona, manifestaban este malestar al momento de realizar las encuestas y/o conversaciones durante el trabajo de campo.

TABLA 3-5: UBICACIÓN DE LA ESTACION BASE AMo y TMo

Fuente: "INE2011B" [MTC2010A]

ESTACIÓN	DPTO	PROVINCIA	DISTRITO	LONGITUD	LATITUD	NODO
Morococha	Junín	Yauli	Yauli	-76.071	-11.597972	Si

Ambas estaciones están emplazadas en un mismo lugar, con lo que se puede apreciar cómo se aplica la compartición de infraestructura física, para el despliegue de nuevas estaciones base. El tema de compartición se desarrolla más adelante (3.4.2.1). Cabe añadir, que la presencia de TMo en esta zona, responde a las grandes inversiones de dinero que genera el proyecto Toromocho.

Morococha cuenta con acceso a Internet, ofrecido por Telefónica del Perú S.A., la empresa posee un centro de conmutación en el mismo centro poblado; asimismo, es posible encontrar servicios de las denominadas "cabinas de Internet" (dos en toda la ciudad), en las cuales se realizan llamadas LDN y LDI.

En la siguiente tabla se muestra información sobre la URA, ubicada en Morococha.

TABLA 3-6: CENTRO DE CONMUTACION TELEFONICA DEL PERU S.A.A.

Fuente: "MTC" [MTC2010A]

CENTRAL	TIPO	DPTO	PROVINCIA	DIRECCIÓN	LONGITUD	LATITUD
Morococha	URA	Junín	Yauli	Jr. Unión s/n	-76.1325	-11.606

3.4.2 Infraestructura requerida para el despliegue de femtoceldas

Como se analizó en el capítulo II, se requiere de un backhaul de banda ancha, el cual va a ser transparente para efectos de esta tesis. La presente propuesta está diseñada para cualquier operador privado, ya que cuentan con el centro de conmutación de su par Telefónica del Perú, y con ello se posee acceso a una conexión segura de banda ancha económica. Esta propuesta va ligada directamente al tema de compartir infraestructura de telecomunicaciones, que se explica en el siguiente punto.

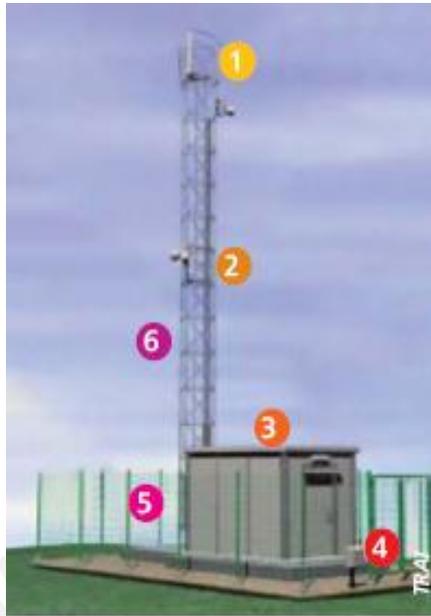
3.4.2.1 Compartición de infraestructura de telecomunicaciones

Compartir infraestructuras móviles es una alternativa que reduce el coste de la instalación de redes, especialmente en localidades rurales o mercados marginales. La compartición de infraestructuras móviles también puede estimular la migración hacia nuevas tecnologías y la adopción de la banda ancha móvil, lo que es una razón suficiente para la propuesta que se plantea en el presente documento.

Pueden compartirse dos categorías básicas de infraestructuras móviles, la pasiva y la activa. La primera se refiere a la compartición de espacio físico, por ejemplo, en edificios, emplazamientos y mástiles, donde las redes se mantienen separadas. En la figura 3-8 podemos observar un ejemplo de esto. En la compartición activa se comparten elementos de la capa activa de una red móvil tales como antenas, estaciones de base completas o incluso elementos de la red troncal.

La compartición activa comprende la itinerancia móvil, en la que un operador puede utilizar la red de otro operador cuando no dispone de cobertura o de infraestructura propia. Por ejemplo, Orange y Vodafone han acordado compartir infraestructuras en el Reino Unido y en España; pero, seguir gestionando su propio tráfico de manera independiente y compitiendo en los servicios al por mayor y al por menor [EXP2009].

El 10 de junio del 2008, salió publicada la Ley de Acceso a la Infraestructura de los proveedores importantes de servicios públicos de Telecomunicaciones por decreto legislativo N° 1019, en el diario “El Peruano”. En ella se establece el derecho que faculta a un concesionario de servicios públicos de telecomunicaciones a hacer uso de la infraestructura de telecomunicaciones de un Proveedor Importante de Servicios Públicos de Telecomunicaciones, para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones, a cambio de una contraprestación económica.



- 1 Antenna or antennas
- 2 Feeder or feeders
- 3 Shelter and support cabinet
- 4 Transmission equipment
- 5 Real estate
- 6 Mast

FIGURA 3-8: COMPARTICIÓN DE INFRAESTRUCTURA PASIVA

Fuente: "International Telecommunications Union" [ITU2009]

3.4.2.2 Topología de la red

Ahora pasaremos a determinar la ubicación de la BTS con sus respectivas coordenadas y demás parámetros de radiofrecuencia (RF). Para ello, es necesario tener en cuenta la distribución de edificaciones en la nueva ciudad; de la misma manera, cubrir las zonas aledañas a la ciudad, teniendo especial consideración a las vías que pertenecen a la Carretera Central.

Es preciso describir el despliegue de la macro celda, a través de la BTS, para evaluar de forma objetiva el impacto de las femtoceldas, como agentes de mejora de la calidad móvil, como beneficio para el usuario y el ahorro CAPEX/OPEX por parte del operador.

En la figura 3-6 podremos visualizar el plano de la ciudad que está pensando en desarrollarse en dos etapas, la primera etapa para los primeros 10 años, en la que

básicamente se espera albergar a todos los habitantes de la antigua ciudad y el creciente número de visitantes. Y la segunda etapa, contemplando el crecimiento de la ciudad en base a su actividad comercial.

Asimismo, en la figura 3-9, se presenta el plano de la ciudad (área de 1.8 Km²), que por el tamaño de influencia es necesario el despliegue de la BTS, a su vez punto central, y de convergencia con las femtoceldas a instalar como propuesta en este documento. Para la infraestructura del NOC (centro de gestión, MSC, RNC, Femto Gateway, etc.). Como se mencionó en el capítulo II, pondremos especial atención al FGW o controlador, equipo responsable del correcto funcionamiento de las femtoceldas.

En esta BTS, se usará una torre triangular auto soportada, de 70 metros, ideal para este tipo de terrenos y geografía. En la siguiente tabla se muestra la información de las coordenadas y la sectorización deseada:

TABLA 3-7: RESUMEN BTS MOROCOCHA

Fuente: "Elaboración propia"

SECTOR	ALTURA ANTENA	AZIMUT	TILT	ANILLO DE COBERTURA
1	70	22	1°	Nueva Morococha
2	70	110	13°	Vieja Morococha, Carretera Central
3	70	275	18°	Población aledaña, Carretera Central

A continuación se muestra la cobertura deseada, a través de la figura 3-10, indicando la numeración de los sectores. La ubicación de esta BTS es la misma que poseen las empresas AMo y TMo, debido a que esta es la mejor posición para ofrecer una cobertura de mayor alcance en la zona de estudio.

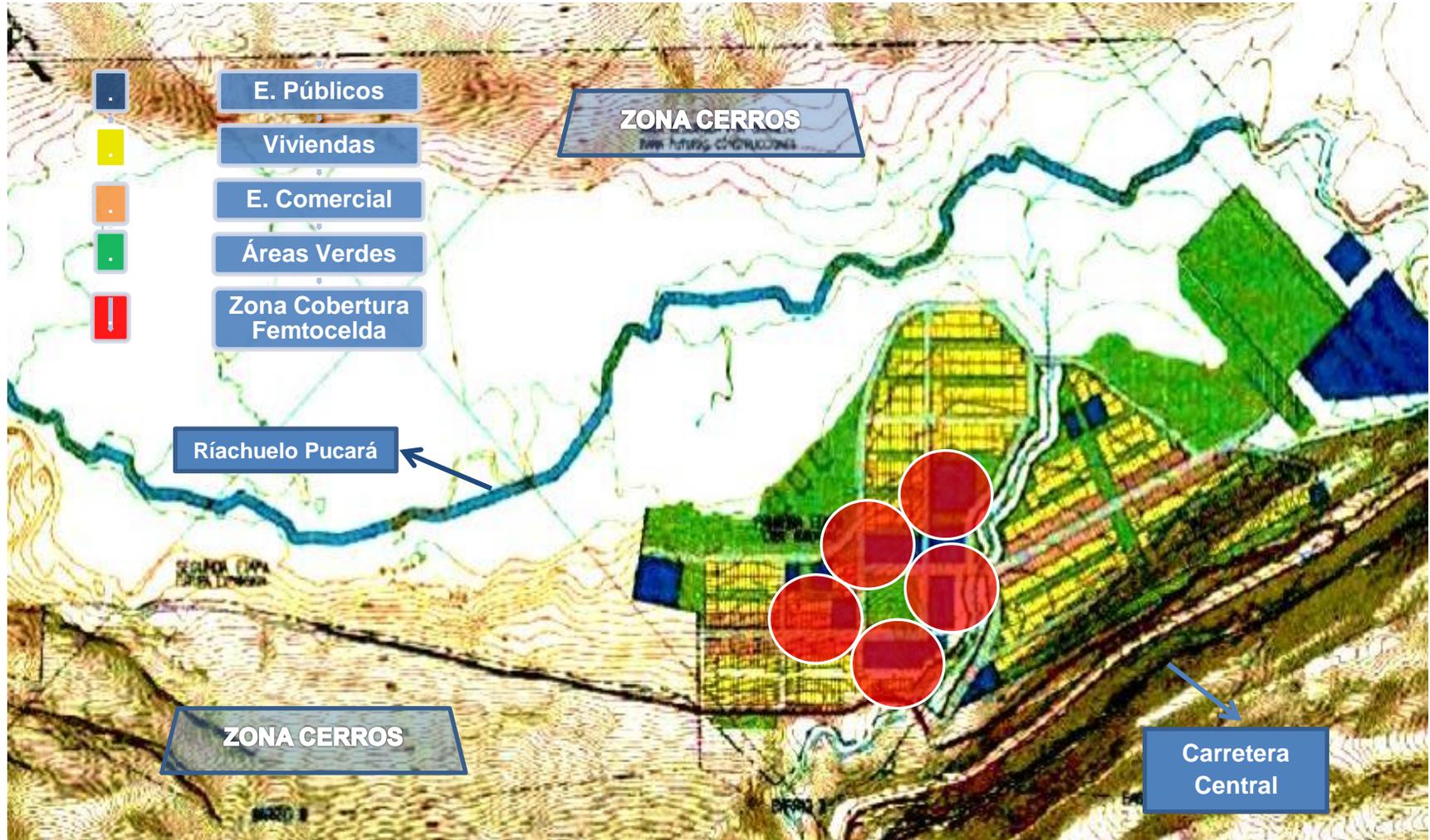


FIGURA 3-9: PLANO DE LA NUEVA CIUDAD Y ZONAS CON COBERTURA FEMTOCELDA

Fuente: "Minera Chinalco" [CHIN2010]

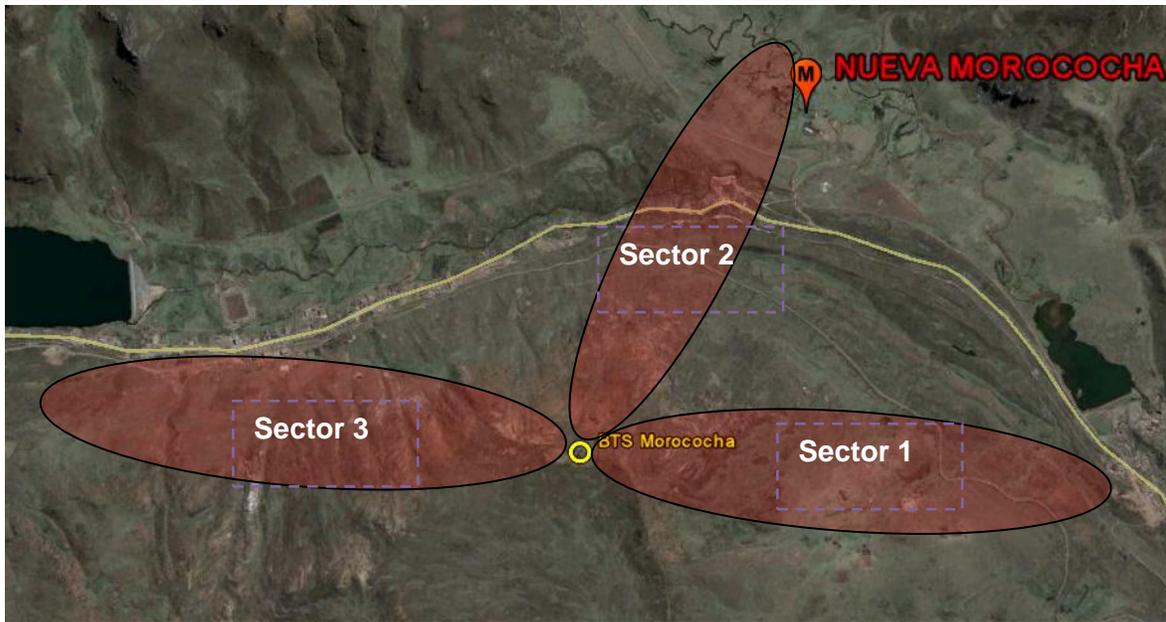


FIGURA 3-10: COBERTURA DESEADA MOROCOCHA
Fuente: “Minera Chinalco – Elaboración propia” [CHIN2010]

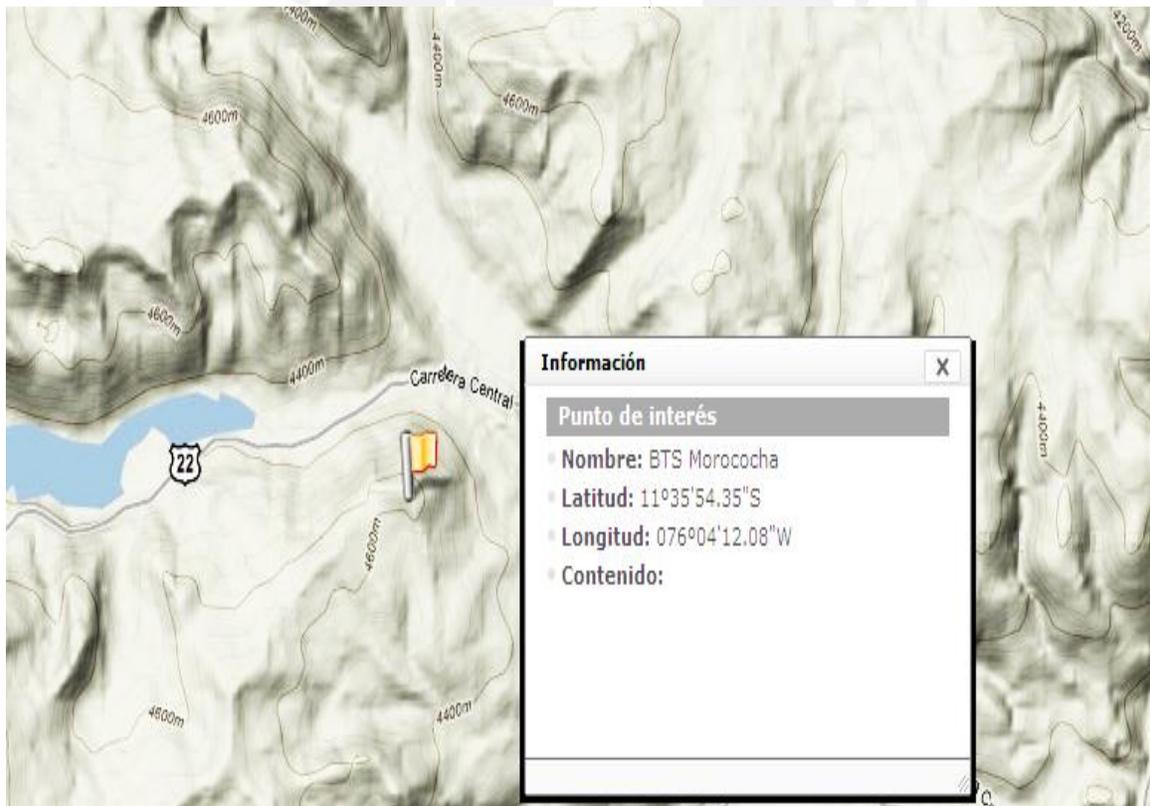


FIGURA 3-11: RELIEVE DEL DISTRITO, CIUDAD SOBRE LOS 4200 msnm
Fuente: “Minera Chinalco – Elaboración propia” [CHIN2010]

En la figura 3-11 se muestra el relieve de la zona para tener una mejor idea de la altura en la que se encuentra la zona de trabajo, así como, observar la accidentada geografía del lugar, de esta manera, poder aclarar la información dada en la tabla 3-4. Además, se grafica la cobertura que cubre las femtoceldas, las cuales se piensan usar en el centro de la ciudad, zonas públicas; por ende, zonas de mayor tránsito de personas, tal como se indica en la figura 3-9.

Existirá comercio privado (restaurantes, galerías, mercados, hospedaje, etc.), plazas, centros educativos de gran capacidad de alumnado, estadio municipal, etc. Se puede observar que la distribución de las viviendas, tienen una construcción particular de campamentos mineros, viviendas 8x10 de un solo piso. Estas viviendas son contiguas una con otra en hileras. Se formarán nueve barrios compuestos principalmente por estas casas que estarán alrededor del centro de la ciudad [MIN2010].

Se pondrá especial énfasis en usar las femtoceldas en áreas de alta demanda de usuarios, la que se ubica en el centro de la ciudad, donde se ubican los edificios públicos, con ello, ofrecer una buena calidad de servicio. Las femtoceldas tienen un área de cobertura entre los 10 – 50m de radio. Para efectos de esta tesis tomaremos un promedio de 40m de radio, para cubrir las áreas mencionadas.

3.4.2.3 Cálculos de radio propagación para la BTS

En nuestro diseño se propone la banda de 850 MHz para la distribución de canales de downlink y uplink, los principales beneficios que se otorga en esta banda son los siguientes:

- Menores pérdidas por propagación comparada con la banda de 1900 MHz La experiencia empírica indica que a menor frecuencia, mayor distancia puede haber entre transmisor y receptor.
- Mejora la cobertura dentro de edificios en zonas urbanas.

El siguiente paso es la realización de los cálculos que considerarán los posibles problemas que se presentarán en el enlace como son los desvanecimientos (fading), pérdidas en los cables o conectores, atenuaciones atmosféricas como lluvia, niebla, condiciones climáticas adversas propias de la zona. A fin de poder hallar esto se realizará el modelamiento para propagación en el espacio libre, sabiendo de la geografía de los suelos de Morococha.

A continuación se presenta el modelo de propagación Okamura-Hata, modelo empírico, válido para frecuencias desde los 150MHz hasta los 1500MHz, rango en el cual está contenido nuestra frecuencia de operación (850MHz), la fórmula propuesta que contempla este modelo, tiene el valor agregado de contemplar entornos rurales, a partir de cálculos hallados para el entorno urbano, siendo este el de referencia.

El ejemplo a continuación se realiza para el sector 2, ya que es la que cubre directamente la nueva ciudad de Morococha; cabe mencionar que la altura final de la antena esta referenciada al nivel de la ciudad, y no del cerro, de esta manera se tiene lo siguiente:

- Para entornos urbanos:

$$L_{50(\text{urbano})} = 69.55 + 26.16 \times \log f_c - 13.82 \times \log h_b - a + (44.9 - 6.55 \times \log h_b) \log d \quad \dots (3.1)$$

Dónde:

f_c : Frecuencia en MHz

h_b : altura de la antena de la BTS

h_t : altura de la antena del terminal en metros

a : factor de corrección para la altura efectiva de la antena del terminal en función del tipo de área de servicio

d : distancia en Km

L : Atenuación

Para el cálculo de a , tenemos los siguientes escenarios:

Para ciudades pequeñas y medianas:

$$a = (1.1 \times \log f_c - 0.7) h_t - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ dB} \quad \dots (3.2)$$

Para ciudades grandes:

$$a = 8.29 \times (\log 1.54 h_t)^2 - 1.1 \text{ dB, Para } f_c < 300 \text{ Mhz} \quad \dots (3.3)$$

$$a = 3.2 \times (\log 11.75 h_t)^2 - 4.97 \text{ dB, Para } f_c > 300 \text{ Mhz} \quad \dots (3.4)$$

- Para entornos rurales:

$$L_{50(\text{rural})} = L_{50(\text{urbano})} - 4.78 (\log f_c)^2 + 18.33 \times \log f_c - 40.94 \text{ dB} \quad \dots (3.5)$$

En base a este modelo, podremos obtener la distancia máxima entre la BTS y el teléfono móvil de los usuarios, a comparación del modelo de Okamura, Hata incluye el factor de corrección para la antena del receptor que va desde 1m a los 10m, procedemos a realizar los cálculos en base a esta modelo de propagación:

Para el Uplink ($f_c: 825\text{MHz}$), para fines del ejemplo se propone esta frecuencia, antes de comenzar con los cálculos, en la tabla 3-8 se definen parámetros estándares que se esperan alcanzar para el desarrollo del proyecto, referidos a los valores típicos en transmisión y recepción.

TABLA 3-8: PARAMETROS PARA ENLACE UPLINK

Fuente: “Elaboración propia”

TRANSMISOR (MS)		RECEPTOR (BTS)	
Potencia Tx	15.7815 dBm	Sensibilidad	-120.2 dBm
Ganancia Antena	0 dBi	Ganancia de antena	15 dBi
		Pérdida de cables (70m)	10.5 dB
PIRE	12.7815 dBm	Pérdida de conectores	0 dB

A partir de la ecuación 3.1, se desarrolla lo siguiente:

$$L_{50(\text{urbano})} = 69.55 + 26.16 \times \log(825) - 13.82 \times \log 230 - a + (44.9 - 6.55 \times \log 230) \log 2$$

Donde:

$$a = (1.1 \times \log 825 - 0.7) 1.5 - (1.56 \times \log 825 - 0.8) \text{ dB}$$

El escenario es una ciudad pequeña, se obtiene a partir de la fórmula 3.2:

$$L_{50(\text{urbano})} = 122.052394 \text{ dB}$$

Reemplazando este valor para el entorno rural (fórmula 3.5), se obtiene:

$$L_{50(\text{rural})} = 118.375362 - 4.78(\log 825)^2 + 18.33 \times \log 825 - 40.94 \text{ dB}$$

$$L_{50(\text{rural})} = 93.914 \text{ dB}$$

Para hallar la potencia de recepción de la BTS, se define que:

$$P_{R_x} = P_{T_x} + G_{T_x} + G_{R_x} - L_{50(\text{rural})} - L_{\text{Cables}} \dots (3.6)$$

Reemplazando los valores de la tabla 3-3 en la fórmula 3.6, se obtiene:

$$P_{Rx} = -76.632 \text{ dB}$$

Dónde:

P_{Tx} : Potencia de transmisión

P_{Rx} : Potencia de recepción

G_{Tx} : Ganancia de la antena de transmisión

G_{Rx} : Ganancia de la antena de recepción

Dado que la potencia del receptor es - 76.632dBm y posee una sensibilidad de - 126.2dBm, podemos concluir en que el enlace es viable ya que está llegando con una potencia mayor al umbral mínimo del receptor. Además, esta cobertura de 1.5Km es ideal, con lo que la cobertura de la BTS puede llegar mucho más allá de 1.5Km con valores de calidad aceptables, como se ve más adelante.

Para el Downlink (f_c : 870MHz), para fines de ejemplo se propone esta frecuencia, antes de comenzar con los cálculos, en la tabla 3-9 se definen parámetros ideales que se esperan alcanzar para el desarrollo del proyecto, referidos a los valores típicos en transmisión y recepción.

TABLA 3-9: PARAMETROS PARA ENLACE DOWNLINK

Fuente: “Elaboración propia”

Potencia Tx	23.0206 dBm	Sensibilidad	-90 dBm
Ganancia Antena	15 dBi	Ganancia de antena	0 dBi
Atenuación del cable	1.5 dB	Pérdida de cables (70m)	0 dB
PIRE	20.5206 dBm		

A partir de la ecuación 3.1, se desarrolla lo siguiente:

$$L_{50(\text{urbano})} = 69.55 + 26.16 \times \log(870) - 13.82 \times \log 230 - a + (44.9 - 6.55 \times \log 230) \log 1.5 D$$

Dónde:

$$a = (1.1 \times \log 870 - 0.7) 1.5 - (1.56 \times \log 870 - 0.8) \text{ dB}$$

Luego, análogo al uplink a partir de la fórmula 3.2:

$$L_{50(\text{urbano})} = 118.97875 \text{ dB}$$

Reemplazando este valor para el entorno rural (fórmula 3.5), se obtiene:

$$L_{50(\text{rural})} = 118.97875 - 4.78(\log 870)^2 + 18.33 \times \log 870 - 40.94 \text{ dB}$$

$$L_{50(\text{rural})} = 90.617 \text{ dB}$$

Finalmente, analizamos si el nivel de sensibilidad es el adecuado para nuestro diseño, usando la fórmula 3.6 y reemplazando los valores de la tabla 3-9, se obtiene:

$$P_{Rx} = -54.096 \text{ dB}$$

Con este resultado, se confirma que la cobertura se dará sin problemas ya que se obtuvo un valor por encima del umbral mínimo de recepción en la antena de la BTS. Se realizó el mismo cálculo para los otros dos sectores, los resultados se pueden apreciar en la tabla 3-10 y 3-11, notando que la principal diferencia radica en la distancia de cobertura de cada sector. Este cálculo se realizó con una hoja de cálculos.

Recordemos los sectores 1 y 3 tienen como principal objetivo dar una cobertura a las demás localidades aledañas, así como ofrecer la máxima cobertura posible a la zona de la carretera central.

TABLA 3-10: POTENCIA DE RECEPCIÓN EN EL UPLINK BTS

Fuente: “Elaboración propia”

SECTOR	COBERTURA		L(URBANO)	L(RURAL)	PRx - Uplink
	(KM)				
1	10		142.623	114.485	-97.203
2	2		122.052	93.914	-76.632
3	10		142.624	114.485	-97.203

TABLA 3-11: POTENCIA DE RECEPCIÓN EN EL DOWNLINK MS

Fuente: “Elaboración propia”

SECTOR	COBERTURA		L(URBANO)	L(RURAL)	PRX - DOWNLOAD
	(KM)				
1	10		143.225	114.863	-78.343
2	2		122.654	94.292	-57.772
3	10		143.225	114.863	-78.343

Como se puede observar, en ambas situaciones se verifica el correcto establecimiento de las llamadas, debido a que todos los umbrales están por encima del mínimo requerido en ambos casos; sin embargo, la cobertura queda delimitada por la potencia de recepción en el Uplink, ya que es necesario si se produce handover.

3.4.2.4 Cálculo de radio propagación para las femtoceldas

Para este caso, usaremos el modelo Cost 231 Walfisch- Ikegami. El objetivo de este método es mejorar los cálculos que se obtienen haciendo uso del método anterior. Se aplicará este modelo para el escenario de micro celdas, en la que antena de la estación base, en nuestro caso la femtocelda, se sitúa por debajo de los tejados de los edificios, estando entonces determinada la propagación por la difracción y la dispersión alrededor de los edificios, los rayos principales se propagan en las calles de manera similar a como lo harían en grandes guías de onda.

El modelo COST-WI está restringido a frecuencias de 800 a 2000 MHz, y los resultados que se obtienen son aceptables cuando $h_b > h_t$, caso contrario, es recomendable usar otro modelo de propagación, sabiendo que en el diseño de la red, se cumplirá con esta condición, se procede a los cálculos.

La atenuación final, consta de tres términos:

$$L_b = L_0 + L_{rst} + L_{msd} \quad \dots(3.7)$$

Dónde:

- L_b : Atenuación final
- L_0 : Atenuación en espacio libre
- L_{rst} : Atenuación en espacio libre
- L_{msd} : Atenuación en espacio libre

Pérdida en espacio libre:

Formula obtenida del factor $20 \log(4\pi d / \lambda)$ de la ecuación de Friis, que convertido a decibeles (dB) se muestra a continuación:

$$L_0 = 32.46 + 20 \times \log(f_c) + 20 \times \log(d) \quad \dots(3.8)$$

Perdida por difracción y dispersión del techo a la calle (L_{rst}):

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \times \log(W) + 10 \times \log(f_c) + 20 \times \log(\Delta h_R) + L_{ori} \quad \dots(3.9)$$

Dónde:

- W : Ancho de la calle.
- h_R : 3m x N° de pisos, altura de los edificios

Δh_R : $h_R - h_t$, donde h_t es igual a 1.5m en promedio

L_{ori} :

$$= -10 + 0.357 \varphi \quad \text{Para: } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \quad \dots (3.10)$$

$$= 2.5 + 0.075 \varphi \quad \text{Para: } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \quad \dots (3.11)$$

$$= 4 - 0.114 (\varphi - 55) \quad \text{Para: } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \quad \dots (3.12)$$

Dónde: φ es el ángulo entre el rayo directo y el eje de la calle, como se puede apreciar en la figura 3-12.

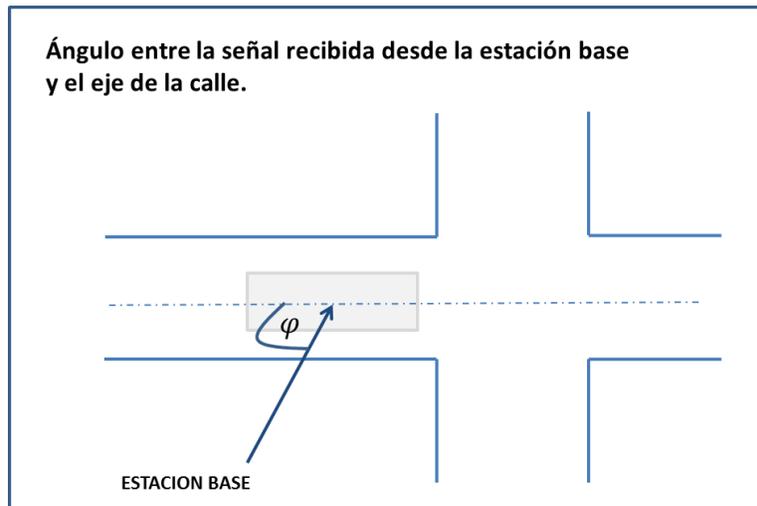


FIGURA 3-12: ANGULO ENTRE RAYO DIRECTO Y EL EJE HORIZONTAL A LA CALLE

Fuente: "Elaboración propia"

Pérdida por difracción multi-pantalla (L_{msd}):

$$L_{msd} = L_{bsh} - K_a + K_d \times \log(d) + K_f \times \log(f_c) - 9 \times \log(b) \quad \dots (3.13)$$

Dónde: **b** : Separación entre edificios en metros

L_{bsh} : Shadowing gain (atenuación), ocurre cuando la altura de la antena de la BTS es mayor a la altura de edificios.

$$L_{bsh} = -18 \times \log(b)(1 + \Delta h_B), \text{ donde } \Delta h_B = h_B - h_R$$

Si $\Delta h_B < 0$, entonces $L_{bsh} = 0$

K_a : Representa el incremento de pérdidas de propagación en caso en que las antenas de las femtoceldas (BTS) estén por debajo de los edificios adyacentes.

K_d y K_f : Ajustan la dependencia de la difracción en función de la distancia y la frecuencia.

$K_f = -4 + 0.7 [(f_c / 925) - 1]$, para ciudades medianas y centros suburbanos

$$\begin{aligned}
 K_a &= 54 & \Delta h_B > 0 \\
 &= 54 - 0.8 \Delta h_B & \Delta h_B < 0 \text{ y } d > 0.5 \\
 &= 54 - 1.6 \Delta h_B & \Delta h_B < 0 \text{ y } d < 0.5 \\
 K_d &= 18 & \Delta h_B > 0 \\
 &= 18 - 15 \times \Delta h_B / h_R & \Delta h_B < 0
 \end{aligned}$$

Para el caso de estudio, las femtoceldas estarán ubicadas en postes públicos y/o parte superior de edificaciones ubicadas estratégicamente, cada poste debe tener una altura promedio de 6 metros. Siguiendo el esquema que se aplica en otras ciudades del mundo, en especial ciudades de países europeos, donde al área cubierta por una femtocelda se le denomina “metro zonas”. En la figura 3-10, se puede apreciar como es la convergencia entre la macrocelda y las femtoceldas. Siendo esta la topología a seguir en el presente diseño.

Con la arquitectura GAN elegida (ver capítulo II), es necesario prever los equipos a usar, con esto un modelo de la red final es la que se presenta en la figura 3-13.

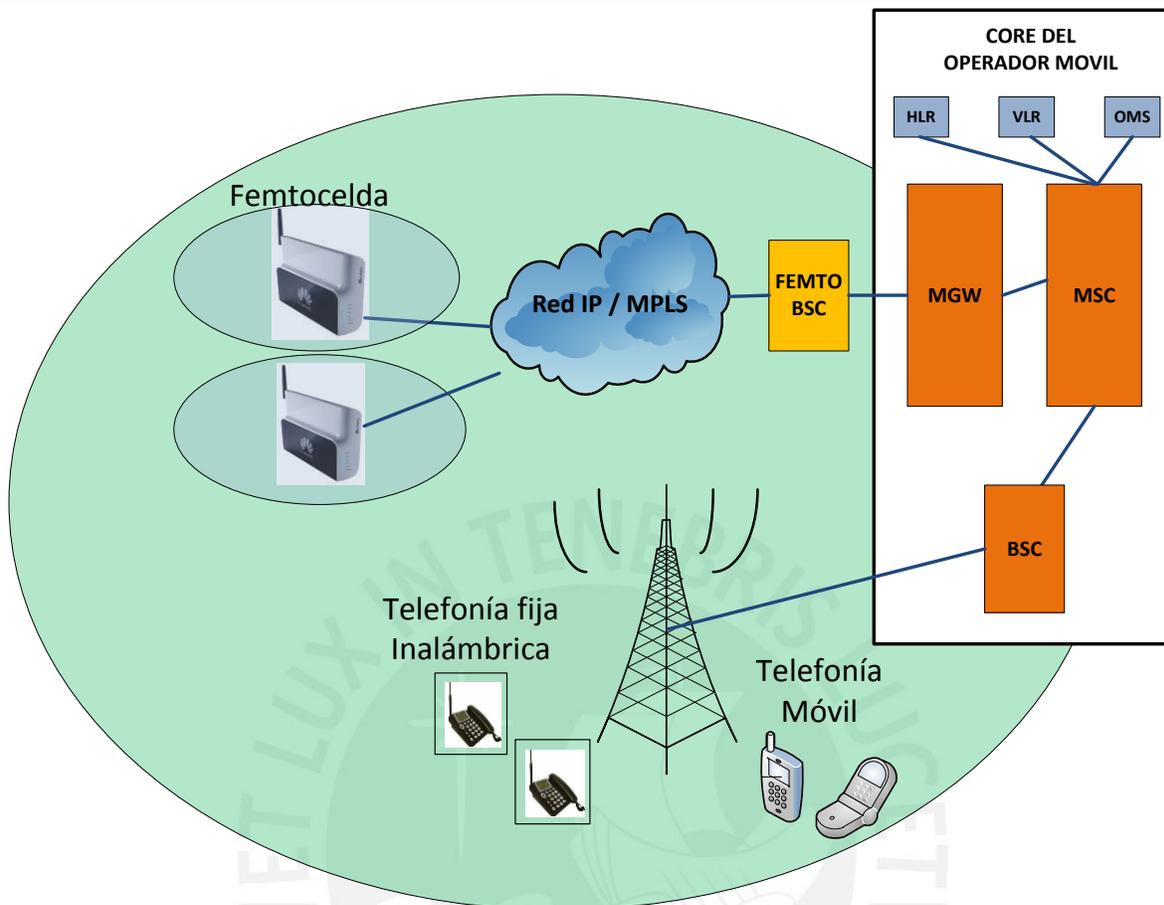


FIGURA 3-13: CONVERGENCIA ENTRE LA MACRO Y LA FEMTO CELDA

Fuente: "Elaboración propia"

Con este planteamiento previo, procedemos a realizar los cálculos de radio propagación de las femtoceldas, al igual que en el estudio de cobertura de la BTS, centramos nuestro análisis de potencia de recepción sobre la distancia máxima de cobertura deseada, se considera la atenuación producida por cables como nula,

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_b - L_{Cables} \dots (3.14)$$

Se ha utilizado una hoja de cálculo en el programa Office Excel, que se adjunta en los anexos para obtener los siguientes resultados, además se considera la altura de las antenas de las femtoceldas, como menores a la altura máxima de los edificios públicos de la nueva ciudad, que tienen un máximo de 3 pisos. Con ello se obtienen los siguientes valores, en base al modelo explicado:

Para el Uplink (f_c : 825MHz), antes de comenzar con los cálculos, en la tabla 3-4 se definen parámetros estándares acorde a las características técnicas de las femtoceldas y los mismos celulares.

TABLA 3-12: POTENCIA DE RECEPCIÓN EN EL UPLINK FEMTOCELDA

Fuente: "Elaboración propia"

TRANSMISOR (MS)		RECEPTOR FEMTOCELDA	
Potencia Tx	15.7815 dBm	Sensibilidad	-95 dBm
Ganancia Antena	0 dBi	Ganancia de antena	15 dBi
PIRE	12.7815 dBm	Pérdida de conectores	0 dB

$$h_R = 3 \times 3 = 9$$

$$L_{bsh} = 0, \text{ ya que: } \Delta h_B < 0$$

$$K_d = 18 - 15 (6-9) / 9 = 23 \quad \Delta h_B < 0$$

$$K_a = 54 - 1.6 (-3) = 54.192 \quad \Delta h_B < 0 \text{ y } d < 0.5$$

$$K_f = -4 + 0.7 [(825 / 925) - 1] = -4.076$$

$$L_{ori} = 2.5 + 0.075 (35) = 2.5, \text{ ya que } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ$$

$W=6$ metros, acorde a las calles características de la zona

$b = 8$ metros, considerando el inicio y fin, la parte media de los edificios

Con estos valores, procedemos a hallar las atenuaciones considerando las características particulares de nuestro caso de estudio, así, reemplazando en las fórmulas 3.8, 3.9 y 3.13; se obtiene lo siguiente:

$$L_{msd} = 0 - 54.192 + 23 \times \log(0.04) + (-4.076) \times \log(825) - 9 \times \log(8) = 2.025 \text{ dB}$$

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \times \log(6) + 10 \times \log(825) + 20 \times \log(9-1.5) + 2.5 = 24.484 \text{ dB}$$

$$L_0 = 32.46 + 20 \times \log(825) + 20 \times \log(0.04) = 62.820$$

Finalmente, a partir de la fórmula 3.7 se obtiene la atenuación total, donde:

$$L_b = 89.329 \text{ dB}$$

Con esto, procedemos a analizar la sensibilidad del equipo usando la fórmula 3.14, para ofrecer una cobertura exitosa:

$$P_{Rx} = 12.7812 + 15 + 0 - 89.29 - 0 = -61.548 \text{ dBm}$$

Como se observa. Se cumple con tener un nivel mayor a la sensibilidad que registra la femtocelda, con ello se garantiza la cobertura deseada de 40m.

Para el Downlink (f_c : 870MHz), al igual que en los casos anteriores, en la tabla 3-13 se definen parámetros conforme a las valores estándares de los equipos.

TABLA 3-13: POTENCIA DE RECEPCIÓN EN EL DOWNLINK FEMTOCELDA

Fuente: "Elaboración propia"

TRANSMISOR (FEMTOCELDA)		RECEPTOR (MS)	
Potencia Tx (200mW)	23 dBm	Sensibilidad	-90 dBm
Ganancia Antena	15 dBi	Ganancia de antena	0 dBi
PIRE	20.52 dBm		

Realizando la misma metodología de trabajo, se obtiene lo siguiente:

$$K_f = -4 + 0.7 [(870 / 925) - 1] = -4.042$$

Con este nuevo valor, procedemos a hallar las atenuaciones mediante las fórmulas 3.8, 3.9 y 3.13; considerando las características particulares de nuestro caso de estudio:

$$L_{msd} = 0 - 54.192 + 23 \times \log(0.04) + (-4.042) \times \log(870) - 9 \times \log(8) = 2.031 \text{ dB}$$

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \times \log(6) + 10 \times \log(870) + 20 \times \log(9 - 1.5) + 2.5 = 24.715 \text{ dB}$$

$$L_0 = 32.46 + 20 \times \log(870) + 20 \times \log(0.04) = 63.282$$

Finalmente mediante la fórmula 3.7, se obtiene la atenuación total, donde:

$$L_b = 90.028 \text{ dB}$$

Con esto, procedemos a analizar la sensibilidad del equipo, para ofrecer una cobertura exitosa mediante la fórmula 3.13:

$$P_{Rx} = 23 + 15 + 0 - 90.028 - 0 = -52.028 \text{ dBm}$$

Se garantiza la exitosa cobertura con el área deseada, es necesario resaltar, que al igual que el caso anterior, siempre la señal del Uplink es el que limita la cobertura, debido a que el MS está en continuo envío de información a través de los canales RACH, BCCH, entre otros, que fueron explicados en el capítulo II.

3.5 Equipamiento necesario

El equipamiento se va a dividir segmentando las coberturas de operación entre la femtocelda y la macrocelda.

3.5.1 Zona Femto

Los equipos a utilizar, poseen las siguientes características:

3.5.1.2 Controlador Femto

El equipo a utilizar será un controlador de la marca Alcatel Lucent (modelo 9365 BSR Gateway), sólo se requiere uno para la gestión de las femtoceldas, soportando la gestión de 64,000 femtoceldas, lo cual varía de acuerdo al modo de seguridad usado, los modos de atención al cliente, entre otros parámetros.

El controlador Alcatel Lucent modelo 9365 BSR Gateway, posee las siguientes características, que se indican a continuación:

- ✓ Estándar basado en interfaces de red lu over IP, para una fácil integración con el Core.
- ✓ Gestión con las femtoceldas mediante software.
- ✓ Arquitectura de redundancia activa o en espera sin un único punto de fallas.
- ✓ Soportar el modo de seguridad que recomienda la 3GPP y FemtoForum (Tunneling protocol).

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 (850 MHz – 1900 MHz), horarios de gestión, restringir acceso a usuarios, canales de radio, tipo de seguridad, etc.

La puerta de enlace BSR 9365 puede distribuir el tráfico al MSC y al SGSN. En la figura 3-14 se aprecia la Alcatel-Lucent 9365 Base Station Router Gateway, que posee las siguientes dimensiones: 89 mm (alto) x 442 mm (ancho) x 508 mm (profundidad). Posee un peso de 16 Kg.



FIGURA 3-14: CONTROLADOR ALCATEL LUCENT MODELO 9365 BSR GATEWAY

Fuente: "Alcatel Lucent" [LUC2011A]

3.5.1.3 Femtoceldas

Las femtoceldas que se van a utilizar, cuyos requerimientos son que opere en la banda de 850MHz o 1900Mhz, trabajen en modo ad-hoc de acceso. Es importante señalar que en el esquema del proyecto, las femtoceldas irán instaladas en los postes públicos como alumbrados públicos o semáforos, aprovechando así la alimentación eléctrica para los equipos. Además de poseer dispositivos de seguridad de sobretensión.

Para ello se va a utilizar, el modelo Alcatel Lucent la 9364 MC OD (figura 3-17), estas femtoceldas deben configurarse con el controlador a través del protocolo TR069, o manualmente, indicando la VPN a la que pertenecen y su respectiva dirección IP, identificador de la femtocelda, el número de TRX a usarse (1 TRX), tipo de encriptación de los datos, modo half rate / full rate, modo ad-hoc, potencia de radiación (mayor o menos alcance) entre otros (para mayor detalle, revisar el capítulo II).

En los anexos se adjunta la configuración general de la femtocelda; así como, la configuración general del Femto-Gateway.



FIGURA: 3-15 CAJA DE PROTECCION PARA EXTERIOR

Fuente: "Harish Vadada" [HAR2010]

En la figura 3-15, se puede apreciar el modelo de protector a usarse, empleados en otros sitios, como se observa en la figura 3-16, con ello se desea seguir estos ejemplos en la implementación del proyecto.

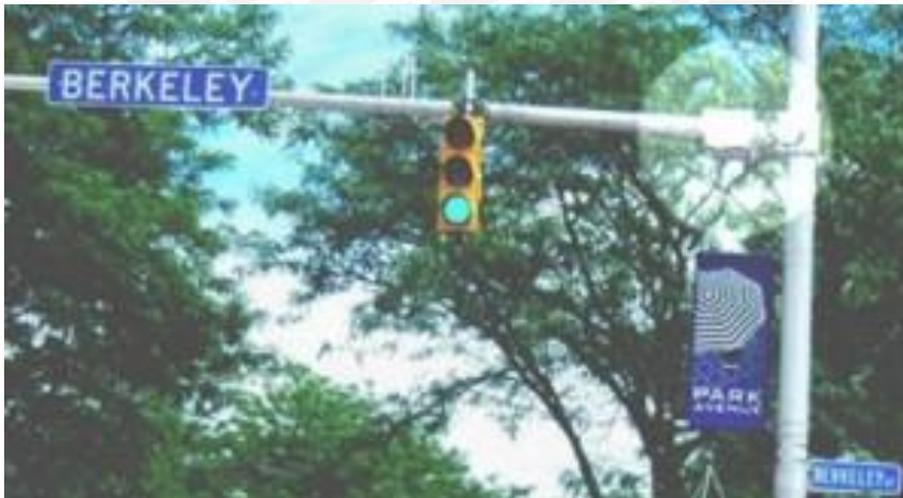


FIGURA: 3-16 CAJA DE PROTECCION USADO EN VIA PÚBLICA

Fuente: "Harish Vadada" [HAR2010]



FIGURA 3-17: ALCATEL LUCENT 9364 MC OD

Fuente: "Alcatel Lucent" [LUC2011B]

3.5.2 Zona Macro

Para la elección de las BTS se eligió la BTS Nokia UltraSite, por soportar tres modos de tecnología: GSM, EDGE y WCDMA. Esto permite una migración sin problemas a la tercera generación de servicios, en un futuro, en que se requieran de esos servicios en las localidades rurales. Como se mencionó en el acápite

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. Actualmente las dos operadoras principales de nuestro país, tienen desplegado infraestructura BTS en Morococha, por lo que el fin de su descripción en este documento es descriptivo y comparativo.



FIGURA 3-18 NOKIA BASE STATION ULTRASITE

Fuente: "Nokia Manual Uktop" [NOK2009]

De la misma forma, presentamos la torre triangular que se ha instalado, como los cables feeder a desplegarse en dicha BTS, que servirá para dar cobertura a la macrocelda. Esto lo podemos apreciar en la figura 3-19, se observa el emplazamiento instalado por TMo.

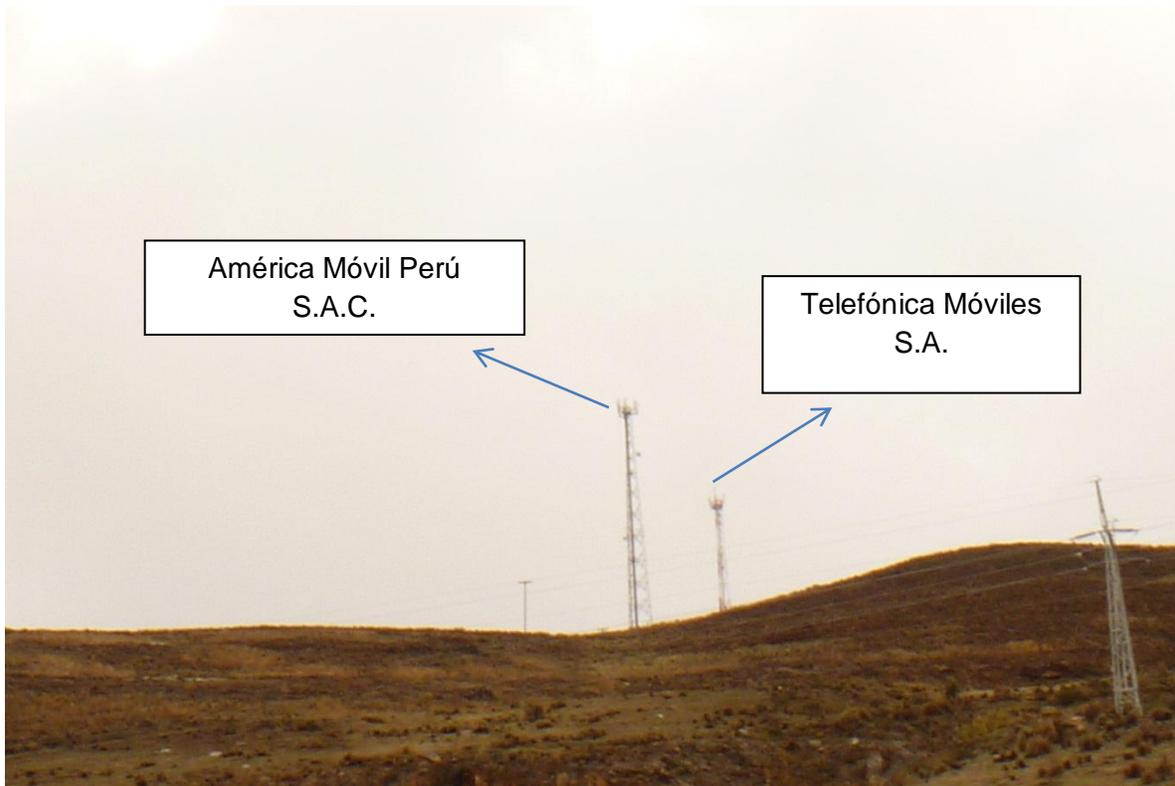


FIGURA 3-19 EMPLAZAMIENTO ESTACIONES BASE MOROCOCHA

Fuente: [Estudio de campo]

Capítulo 4

Costo del proyecto

En este capítulo se presenta una propuesta económica para la implementación del diseño que se plantea, analizando la factibilidad de llevar a cabo un proyecto en entornos rurales similares a la zona descrita, a partir de comparar las femtoceldas con otras tecnologías.

4.1 Comparación tecnológica/económica (sustitutos cercanos)

Dentro de las soluciones tecnológicas a emplearse para zonas de cobertura denominadas: pico celdas o áreas de cobertura pequeña en escala de edificios, existe un sustituto cercano a las femtoceldas, denominadas nano celdas; la empresa IP Access es el principal proveedor de equipos para esta escala. Sin embargo, en cuanto a capacidad, una femtocelda soporta mayor gestión de usuarios.

En la tabla 4-1, se desarrolla una tabla comparativa entre ambas tecnologías, analizando diversos aspectos, para finalmente justificar la elección de las femtoceldas. Dos de las principales razones de su elección es que la gran cantidad de fabricantes; así como, las normas de estandarización existentes y la homologación aceptada por parte del MTC en nuestro país.

Otro punto a favor, es que existen femtoceldas, con el firmware Libre (software libre), lo que conlleva a desarrollar aplicaciones a demandas específicas como: salud, seguridad, geo localización, entre otros. Además, el costo de transmisión en cuanto a capacidad, es bajo, frente a una interfaz E1 ya que su justificación va acorde al número de usuarios, alrededor de 30.

TABLA 4-1: TABLA COMPARATIVA TECNOLÓGICA/ECONÓMICA EN RELACION A SUSTITUTOS CERCANOS A LAS FEMTOCELDAS

Fuente: “Elaboración propia”

	FEMTO CELDA	NANO CELDA	PICO CELDA
ESTANDARIZACIÓN	3GPP	NO	3GPP
SOPORTA WIFI	SI	NO	NO
CAPACIDAD TRX	2-3	1	3-6
USUARIOS SIMULTÁNEOS (GESTIÓN)	10-14	14	60
RED MÓVIL	2G/3G	2G	2G
COSTO DE TRANSMISIÓN	Bajo (DSL)	Bajo (DSL)	Elevado (E1)
POTENCIA DE TRANSMISIÓN	Bajo	Bajo	Alto
HOMOLOGACIÓN PERÚ	SI	NO	SI
COSTO POR UNIDAD	\$ 300.00	\$ 500.00	\$ 1000.00

Debido a la masificación de los equipos, las femtoceldas, poseen un costo menor comparado a la pico celda. Además, el costo de transmisión es barato, vía DSL (para de cobre). [LUC2011B]

Por otro lado, se está impulsando, el uso de software libre en el Firmware de las femtoceldas, lo que permitiría crear aplicaciones para servicios concretos que se demanden.

4.2 Costo de inversión - CAPEX

Para la evaluación de inversión es necesario tomar en cuenta todos los requerimientos mencionados en este documento, resaltando que el backhaul tanto para la BTS y las femtoceldas es transparente en esta propuesta económica. Por otro lado, los gastos administrativos, licencias y/o permisos no se consideran, ya que se espera una cooperación entre las autoridades locales y la empresa privada, como se explica en el punto 3.5, llegando a acuerdos que beneficie a ambas partes. [MOV2012]

A continuación se presenta la tabla 4-2 donde se resume de una manera clara y concisa los costos de inversión a realizarse así como un promedio de los costos por operación y mantenimiento mensual, para luego ser analizados en el punto 4.2

TABLA 4-2: COSTO DE INVERSION DE CAPITAL / COSTO POR OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Fuente: “Elaboración propia”

CONCEPTO	ESTACIÓN BASE	CARACTERÍSTICAS	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO (USD) - TOTAL	O&M/MES
FEMTOCEL DAS	Equipo de radio	5 Equipos, 2 TRX x cada una en máxima potencia; 23 dBm Antena incorporada Cobertura de interiores o 500 m en exteriores	\$ 300.00	\$ 1,500.00	\$ 40.00*
	Controlador de estaciones base (Femto Gateway)	Para 600 femtoceldas (POR CADA UNA)	\$ 1,147.00	\$ 1,147.00	\$ 62.00
	Obra civil femtocelda	Energía, instalación modo-adhoc		\$ 500.00	\$ 15.00
MACROCEL DAS	Macrocela	8 TRx Sin antenas 30 dBm por canal 3 sectores Cobertura de hasta 30 km	\$ 26,600.00	\$ 26,600.00	\$ 2,500.00
	Sistema radiante	Antenas crosspol, para 3 sectores, con cableado de 7/8	\$ 2,000.00	\$ 60,000.00	\$ 65.00
	Obra civil Macrocela	Torre de 70 m Caseta pozo de tierra Saneamiento legal Pararrayos, etc.	\$ 120,000.00	\$ 120,000.00	\$ 1500
				\$ 209,747.00	\$ 4,182.00

- Se considera el aporte de la empresa privada.

4.3 Costo de operación - OPEX

En la tabla 4-3 se muestra un gasto anual por los costos de operación y mantenimiento, a continuación se muestra la tabla, que resume el gasto anual.

TABLA 4-3: COSTO POR OPERACIÓN Y MANITEMIENTO ANUAL

Fuente: "Elaboración propia"

AÑO	1	3	3	4
O&M/MES	\$ 4,232.00	\$ 4,232.00	\$ 4,232.00	\$ 4,232.00
TOTAL ANUAL	\$ 50,784.00	\$ 50,784.00	\$ 50,784.00	\$ 50,784.00

4.4 Evaluación económica

El cálculo del ARPU se obtuvo a partir de resultados obtenidos a través de la clasificación de riesgos elaborada por Apoyo & Asociados para Telefónica Móviles S.A. donde el ARPU mensual por cliente es de \$ 7.1, obteniendo un ARPU anual de \$.80.00. Con ello se armó el flujo de caja, y el respectivo análisis del VAN y TIR del proyecto, donde se puede ver la enorme rentabilidad del proyecto. Esto se da debido a la presencia de un solo operador, dado que el mercado actual es así, pero es importante señalar, que la presencia dos operadores hará que entren en una competencia que favorecerá al usuario final. [APO2011]

A continuación se presentan las tablas 4-4 y 4-5, donde se aprecia lo presentado.

TABLA 4-4: FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO

Fuente: "Elaboración propia"

AÑO	0	1	2	3	4
EGRESOS	\$ - 209,747.00				
DEPRECIACIÓN		\$ - 20,974.70	\$ - 20,974.70	\$ - 20,974.70	\$ - 20,974.70
O&M		\$ - 1,404.00	\$ - 1,404.00	\$ - 1,404.00	\$ - 1,404.00
INGRESOS		\$ 187,320.00	\$ 196,672.00	\$ 206,528.00	\$ 216,832.00
TOTAL	\$ - 209,747.00	\$ 164,941.30	\$ 174,293.30	\$ 184,149.30	\$ 194,453.30

TABLA 4-5: VAN Y TIR DEL PROYECTO

Fuente: “Elaboración propia”

VAN	S/. 222,597.78
TIR	63%

En la tabla 4-5, el VAN es positivo, lo cual significa que la inversión se recupera, con un TIR de 63%, este signo es un indicador de que el proyecto es muy rentable. Se estimó que la tasa de referencia es 10%, y la depreciación de los equipos de igual forma.

Finalmente, el proyecto va a tener una rentabilidad muy alta para un periodo de 4 años, con la presencia de un solo operador móvil. Es claro, que existirá una competencia de mercado que favorecerá la economía de la zona, en caso exista la presencia de dos operadores móviles.

4.5 Convenio Marco Público - Privado

La meta de este convenio involucra a la Municipalidad de Morococha y a la Empresa Operadora, en un concurso público donde se ofrece por parte de la Municipalidad:

- Que la Municipalidad Distrital de Morococha, de conformidad con la Constitución Política del Perú, es un órgano de gobierno local con autonomía política, económica y administrativa en los asuntos de su competencia. Por ello garantiza la seguridad, licencias de funcionamiento y/o permisos publicitarios dentro de su jurisdicción para el operador que convenga en acuerdo.
- Que la empresa operadora, se comprometa a instalar las femtoceldas necesarias, para garantizar la calidad y cobertura del servicio móvil en las zonas y edificios públicos de la ciudad como: colegios, puestos de salud, comisaría, entre otros. Con lo que se garantice un servicio libre de caídas durante el 100% del tiempo; salvo, fuerzas externas de orden mayor.

Dando cumplimiento a la recomendación de la ITU-T E.800, tomada por el OSIPTEL, donde se indica que el grado de satisfacción del usuario (poblador) se refleja en la percepción del usuario. Ahora bien, según señala la UIT, la servibilidad es el aspecto de calidad de servicio por lo general más afectado y se subdivide a su vez en tres aspectos: accesibilidad, retenibilidad e integridad del servicio.

- Que la empresa operadora, garantice el acceso y uso de Internet en los centros educativos del distrito de Morococha para su uso en los laboratorios de cómputo.

De esa forma se busca, promover el trabajo conjunto entre la empresa privada y el sector público, buscando el beneficio de ambas partes. La sociedad formada, está basada en la cooperación mutua, teniendo como fin, el bienestar y desarrollo de la población de Morococha.



Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

1. Mediante el presente trabajo de tesis, se comprobó que la calidad del servicio móvil en localidades rurales, o zonas accidentadas geográficamente, se puede mejorar sustancialmente utilizando femtoceldas. Como se analizó en el capítulo 4, las femtoceldas están homologadas para su uso por el MTC.

Si bien es cierto, soportan de 10 a 16 usuarios simultáneamente, mientras que una pico celda (2G) pueda soportar hasta 60 usuarios, el costo de transmisión al core del operador estaría alrededor de S/. 820.00 (ochocientos veinte nuevos soles) por femtocelda (se garantiza el 50% de una tasa de 2Mbps por ejemplo) para una conexión 3G, lo cual es un ahorro significativo, en relación al alquiler de una conexión E1, el cual fluctúa alrededor de S/. 3000.00 (Tres mil nuevos soles).

TABLA 5-1: BENEFICIOS DE USAR FEMTOCELDA

Fuente: "Elaboración propia"

	FEMTO CELDA
ESTANDARIZACIÓN	3GPP
SOPORTA WIFI	SI
CAPACIDAD TRX	2-3
USUARIOS SIMULTÁNEOS (GESTIÓN)	10-16
RED MÓVIL	2G/3G
COSTO DE TRANSMISIÓN	Bajo (DSL)
HOMOLOGACIÓN PERÚ	SI
AHORRO OPEX Y CAPEX	Significativo (S/. 2000)

2. Al trabajar de manera conjunta empresa / estado, mediante convenios donde se haga partícipes a ambos, con un rol evaluador y fiscalizador, se permite incentivar la inversión en infraestructura de telecomunicaciones por parte de los operadores. Se pudo comprobar, que al existir, incentivo por parte de la municipalidad hacia los pobladores para llevar a cabo proyectos con beneficios tangibles, la empresa privada está llana a cooperar.

La empresa Minera Chinalco, a la fecha ha invertido alrededor de \$ 50 000 000 (cincuenta millones de dólares), esto ha generado mayor actividad económica en la zona, sobre todo en el incremento de la oferta de servicios, como hospedaje, comida, transporte y telecomunicaciones.

3. El abaratamiento de los terminales móviles, permite a nuevos usuarios acceder a equipos con soporte de redes 3G, lo que involucra una oportunidad de negocio en nichos de mercados emergentes como Morococha. En mi visita de campo, pude observar que hay personas de nivel socio económico alto que poseen los denominados teléfonos inteligentes (Smart Phone).

Morocha es un punto de paso obligatorio entre Lima y ciudades de la sierra central y/o selva central. Por lo que la presencia de viajeros (comerciantes, turistas) con dispositivos de gama alta es notoria.

4. Se garantiza la mejora socio económica de los pobladores, al tener un adecuado servicio móvil, sin necesidad de desplazarse de un punto a otro para buscar la cobertura móvil deseada. El cual puede ser explotado para las actividades económicas de comercio y servicio que se realiza a diario.

Existen zonas grises o sin cobertura, sobre todo, en interiores, sea dentro de edificaciones o el automóvil, por lo cual, las femtoceldas se muestran como una alternativa de costo de inversión y operación bajo; y a su vez, flexible para cubrir zonas grises.

5.2 Recomendaciones

1. Se recomienda replicar esta propuesta en otras localidades, con geografía accidentada. Incentivando el trabajo conjunto entre empresa privada y/o municipalidades.

Bibliografía

- [ALC2007] J. M. BALLOT. 2007. *The IP Road to Mobile Network Evolution*. Alcatel-Lucent. Última Consulta: 12 de septiembre de 2011.
< http://www.alcatel-lucent.com/enrich/v1i12007/pdf/The_IP_Road_en.pdf>
- [APO2011] APOYO & ASOCIADOS. 2011. *Informe Anual Telefónica Móviles S.A.* Marzo, 2011. Última Consulta: 30 de abril de 2011.
<www.aai.com.pe>
- [CHA2008] CHAMBER DAVID. 2008. *Femtocell Primer*. Primera Edición. Lulu.com, editorial. Última Consulta: 09 de noviembre de 2010.
<www.google.com/books>
- [EXP2009] I. DEL CASTILLO Y J. MONTALVO. 2009. *Vodafone y Orange se reparten España para ahorrarse 300 millones de euros*. Madrid: Unidad Editorial Información Económica. Última consulta: 10 de agosto de 2010.
<<http://www.expansion.com/2009/01/18/empresas/telecomunicaciones/1232316669.html>>
- [FEM2011] FEMTO FORUM. 2011. *Femtozone: The best LTE can be* [Diapositivas]. Femto Forum Ltd. 2011. Última consulta: 24 de agosto de 2011.
<<http://www.slideshare.net/ccpu/the-best-that-lte-can-be>>
- [HAR2010] HARIS VADADA. 2010. *Strand mounted public access femtocell*. Artículo publicado en un Blog. Última consulta: 12 de abril de 2011.
<<http://www.telecom-cloud.net/tag/femtocells/>>
- [INE2011A] INEI. 2011. *Las tecnologías de información y comunicación en los hogares: Trimestre enero-febrero-marzo 2011*. Última consulta: 17 de agosto de 2011.
<<http://www.inei.gob.pe/web/BoletinFlotante.asp?file=12677.pdf>>
- [INE2011B] INEI. 2003. *Censo Nacional del 2007, Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Última consulta: 14 de agosto de 2011
<<http://desa.inei.gob.pe/censos2007/tabulados/?id=ResultadosCensales>>
- [INS2006] INSTITUTO DE ESTUDIOS PERUANOS (IEP). 2006. *Pobreza Digital: Las Perspectivas de América Latina y el Caribe*. Primer volumen. Lima: Instituto de Estudios Peruanos, Fondo de Desarrollo Editorial.
- [ITU2009] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). 2009. *Mobile Infrastructure Sharing*. Corporate Communication Division. Última consulta: 20 de diciembre de 2010.

- <<http://www.itu.int/en/about/Pages/overview.aspx>>
- [KIN2007] KINETO WIRELESS, Inc. 2007. *UMA: The 3GPP Standard for Femto-cell-to-Core Network Connectivit*. Milpitas, EEUU. Última Consulta: 15 de octubre de 2010.
<<http://www.femtoforum.org/femto/Files/File/Kineto%20Femtocell%20White%20Paper.pdf>>
- [LUC2010A] ALCATEL LUCENT, 2011. *9365 BSR Gateway, Hoja de datos*. Versión: BCR3.0. Última consulta: 20 de septiembre de 2011.
<http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/products/detail?LMSG_CABINET=Solution_Product_Catalog&LMSG_CONTENT_FILE=Products/Product_Detail_000575.xml#tabAnchor4>
- [LUC2011B] ALCATEL LUCENT, 2011. *Alcatel-Lucent 9364 Metro Cell Outdoor V2s, Hoja de datos*. Versión: BCR 2.4.1. Última consulta: 20 de septiembre de 2011.
<http://www.alcatel-lucent.com/wps/portal/products/detail?LMSG_CABINET=Solution_Product_Catalog&LMSG_CONTENT_FILE=Products/Product_Detail_000575.xml#tabAnchor4>
- [MEF2003] MEF PERU. *Pautas para la Identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública a nivel de perfil*. Documento del Sistema de Inversión Pública (SNIP). Lima: 2010
- [MIN2010] MINERA CHINALCO PERÚ S.A. 2010. *Presentación Proyecto Toromocho* [diapositivas]. Lima: Chinalco. Última consulta: 12 de diciembre de 2010.
<<http://www.canadaperu.org/Chinalco22.09.09.pdf>>
- [MON2010A] MONTES BAZALAR, LUIS. 2010. *Diapositivas del curso de Conmutación y Transmisión* [Diapositivas]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- [MON2010B] MONTES BAZALAR, LUIS. 2010. *Diapositivas del curso Proyecto en Telecomunicaciones* [Diapositivas]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- [MOV2012] MOVISTAR PERU. 2012. *Movistar Speedy Negocios Tarifas*. Tarifas publicadas en la página web. Última consulta: 15/01/2012.

- <<http://www.movistar.com.pe/negocios/internet/movistar-speedy-negocios/tarifas>>
- [MTC2004] MTC. 2004. Análisis de la demanda actual de Transporte. Plan Intermodal de Transportes del Perú - Ministerio de Transportes y Comunicaciones/OGPP. Lima. Última consulta: 20 de agosto del 2011.
<http://www.mtc.gob.pe/portal/logypro/plan_intermodal/Parte2/Capitulos/Cap_3_Analisis_de_la_Demanda_actual_de_Transporte.pdf>
- [MTC2010A] MTC. 2011. *Mapa de infraestructura*. Última consulta: 09 de febrero de 2011.
<<http://mtcgeo.mtc.gob.pe/website/telecom/viewer.htm>>
- [MTC2010B] MTC. 2011. *Canalización de bandas para servicios de telecomunicaciones*. Lima. Última consulta: 10 de octubre de 2010.
<<http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/concesion/mlegal/ntecnicas/canal.htm>>
- [NOK2009] NOKIA. 2009. *BTS Ultrasite*. Versión 1.5.
- [STA2010] STAKHOLDERS. 2010. *Más de 1000 paneles solares fueron vandalizados en el 2009*. Noticia publicada el 05 de febrero de 2010. Última consulta: 12 de agosto de 2010.
<http://www.stakeholders.com.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=2890&catid=44:electricidad&Itemid=126>
- [ZHA2010] ZHANG, JIE Y DE LA ROCHE, GUILLAUME. 2010. *Femtocells: technologies and deployment*. Primera edición. Inglaterra: Willay, Editorial.

Anexos

Anexo 1: Configuración equipos

Se adjunta consideraciones generales para la configuración de los equipos Alcatel Lucent.

Anexo 2: Encuestas realizadas

Se adjunta la metodología de las encuestas realizadas el día 10 de octubre de 2011, así como, las encuestas mismas.

Anexo 3: Resultados del trabajo de campo

Se adjunta información del trabajo de campo realizado el día 10 de octubre de 2011 en formato CSV.

Anexo 4: Fotografías del trabajo de campo

Se adjunta las mejores fotografías tomadas durante el trabajo de campo, realizado el 10 de octubre de 2011.

Anexo 5: Video

Se adjunta pruebas de llamadas realizadas durante el trabajo de campo, realizado el 10 de octubre de 2011.