

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



ACCESO CELULAR EN ZONAS RURALES (CENTRO POBLADO  
LIMBANI) CON FEMTOCELDAS

## **INFORME DE SUFICIENCIA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR:**

**AMELIA RITA ESCOBAR CCORA**

**PROMOCIÓN  
2006-II**

**LIMA-PERÚ  
2010**

**ACCESO CELULAR EN ZONAS RURALES  
(CENTRO POBLADO LIMBANI) CON FEMTOCELDAS**

Agradezco a mi familia, a mi madre  
por el amor y la confianza entregada.

A mis hermanas, compañeras de la vida.

A mis amigos por los momentos compartidos en la Universidad

## **SUMARIO**

En el Capítulo I se describe la problemática del presente informe, conjuntamente se detalla el equipamiento que se requiere para la instalación de una Estación Base así como los montos de CAPEX y OPEX necesarios para brindar cobertura con estos equipos.

En el Capítulo II se describe el marco teórico que permitirá desarrollar el planteamiento de la metodología de solución del problema, se detalla la el estándar GSM así como su arquitectura, definiciones de Estaciones Bases y la diferencia entre cobertura urbana y rural entre otros puntos.

En el Capítulo III se describe y se plantea el uso de femtoceldas como solución para brindar cobertura en zonas rurales, aplicable en centros poblados dispersos geográficamente y no siendo recomendable el uso de macroceldas.

En el Capítulo IV se muestra la estimación de costos y los tiempos de ejecución en la instalación de la femtocelda.

Por último se detalla una serie de conclusiones y recomendaciones a la que se llegan de este informe.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	2
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Objetivo del trabajo .....	2
1.3 Evaluación del problema .....	2
1.4 Cobertura Celular, equipamientos necesarios .....	3
1.4.1 Torre .....	3
1.4.2 Sala para equipos .....	4
1.4.3 Sistema de Aclimatación .....	5
1.4.4 Terreno de estación .....	6
1.4.5 Energía Eléctrica .....	6
1.4.6 Equipamiento .....	8
1.4.7 Antenas .....	9
1.5 Costo promedio de una Estación Base GSM y Microcelda .....	9
<b>CAPITULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b> .....	13
2.1 Generaciones de servicios móviles .....	13
2.2 Características principales: Digitalización y compresión de voz .....	13
2.3 GSM (GLOBAL SYSTEM MOBILE) 2G .....	14
2.4 Arquitectura de red GSM .....	16
2.5 Sistema de Conmutación .....	17
2.6 Sistema de Radio .....	17
2.7 Sistema de Soporte y Operación .....	17
2.8 Descripción de los nodos principales de la red .....	18
2.8.1 MS: Estación Móvil .....	18
2.8.2 BTS: Estación Base .....	19
2.8.3 BSC: Controlador de Estaciones Base .....	19
2.8.4 MSC: Centro de Conmutación Móvil .....	20
2.8.5 HLR: Registro de Localización de estaciones móviles .....	20
2.8.6 VLR: Registro de Localización de estaciones móviles Visitantes .....	21
2.8.7 AuC: Centro de Autenticación; y EIR: Registro de Identificación del Equipo .....	21

2.8.8	OMC: Centro de Operación y Mantenimiento.....	22
2.8.9	NMC: Centro de Administración de Redes.....	22
2.9	Planificación Celular.....	22
2.9.1	Célula o celda .....	22
2.9.2	Cobertura.....	23
2.9.3	Planificación radio.....	24
2.9.4	Tamaño de las celdas.....	25
2.9.5	Escenario de cobertura.....	26
<b>CAPITULO III</b>		
<b>METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....</b>		
3.1	Femtoceldas .....	29
3.2	Ventajas del uso de Femtocelda.....	30
3.3	Femtocelda Huawei BTS3900E .....	30
3.4	Implementación de la Solución.....	31
3.5	Procesos de puesta en servicio.....	33
3.5.1	Búsqueda.....	33
3.5.2	Saneamiento.....	33
3.5.3	Obras Civiles.....	33
3.5.4	Instalación de equipos RF (Radio Frecuencia).....	33
3.5.5	Puesta en Servicio .....	33
<b>CAPITULO IV</b>		
<b>ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....</b>		
4.1	Tiempo de Ejecución de la Obra .....	34
4.2	Costos de Implementación.....	34
4.3	Participación en el Proyecto.....	37
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		
<b>38</b>		
<b>ANEXO A</b>		
<b>ESPECIFICACIONES ANTENA COMBA .....</b>		
<b>40</b>		
<b>ANEXO B</b>		
<b>BROUCHER INSTALACIÓN DE FEMTOCELDA HUAWEI.....</b>		
<b>42</b>		
<b>ANEXO C</b>		
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>		
<b>48</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		
<b>50</b>		

## INTRODUCCIÓN

Los fabricantes de equipos celulares han desarrollado diferentes alternativas en el mercado: microceldas, macroceldas, femtoceldas, repetidores celulares, estaciones bases satelitales, etc. Depende de las compañías operadoras evaluar donde utilizar este tipo de equipamiento para conseguir los mayores beneficios para sus respectivas empresas o cuando estas tienen compromisos con el gobierno, ya sea por el MTC o por el CANON Minero.

El trabajo a desarrollar pretende determinar si un conjunto de femtoceldas es el equipamiento más adecuado para brindar cobertura al centro poblado Limbani, provincia de Sandia departamento de Puno, en la banda de 800MHz con tecnología GSM; para lo cual se realizara comparativos con los costos de estaciones base así como con microceldas, ya que el monto del CAPEX varía según el equipo a usar.

Para el primer capítulo se da un panorama del estado actual del servicio celular, tomando en cuenta las dos principales operadoras en el País. Se analiza la problemática de la falta de cobertura en las zonas rurales a pesar del esfuerzo del gobierno en impulsar las telecomunicaciones en estas zonas (FITEL). Se mencionan los principales equipamientos para la instalación de una estación base y también se realiza el comparativo de CAPEX y OPEX entre estación base y microcelda, determinándose que los montos son muy elevados para la cobertura de las zonas rurales.

En el segundo capítulo se desarrolla la teoría de la tecnología GSM, una descripción de los diferentes equipamientos para brindar cobertura, lo cual revelará los puntos débiles a apuntar ya que hay una gran diferencia en los costos por equipos dependiendo del área que se desea cubrir.

El tercer y cuarto capítulo propone la solución a los problemas vistos en el capítulo dos, proponiendo como alternativa la instalación de femtoceldas en las zonas con poca densidad de población, se sabe que el retorno de inversión será muy lento, pero el CAPEX empleado será mínimo comparado con una BTS o microcelda. Se realiza la estimación de CAPEX empleado así como el tiempo a ejecutar la obra (tiempo mínimo comparado con una estación base).

## **CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En este capítulo se realiza el planteamiento de ingeniería del problema, para ello primero se describe el problema y luego se expone el objetivo del trabajo, también se evalúa el problema.

### **1.1 Descripción del problema**

Necesidad de cobertura celular en el centro Poblado Limbani, Provincia de Sandia, Departamento de Puno.

Los costos elevados de la instalación de una Estación Base, hace imposible brindar cobertura a zonas como Limbani por no contar con un número considerable de habitantes y por tener los centros poblados contiguos muy dispersos.

### **1.2 Objetivo del trabajo**

Brindar una alternativa de solución con la implementación de femtoceldas en zonas con poca densidad poblacional, realizando estimación de costos y demostrando la gran diferencia de costos de CAPEX de una Estación Base o Microcelda.

### **1.3 Evaluación del problema**

En el Perú los operadores tienen cubierta mayormente las zonas urbanas del País. Brindan cobertura principalmente a las capitales de ciudades importantes, que representan mayor rentabilidad y el retorno de la inversión se produce en menor tiempo.

La Tabla 1.1 muestra la cobertura brindada por los principales Operadores de Telefonía Móvil en el Perú.

**Tabla 1.1** Cuadro de Cobertura por Distrito (Fuente: OSIPTEL)

<b>OPERADOR CELULAR</b>	<b>COBERTURA DE DISTRITOS</b>
<b>Telefónica Móviles</b>	1345
<b>Claro</b>	1396

Las Operadoras están obligadas por el Estado Peruano a brindar cobertura a zonas rurales por los conceptos de CANON Minero o por Compromisos con el MTC (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones), para este tipo de escenarios se plantea como solución la instalación de femtoceldas, cuyo CAPEX es menor comparado con la instalación de una Estación Base o Microcelda.

En la Figura 1.1 se muestra una estación rural, la cual cubre a más de un centro

poblado, si los centros poblados contiguos no están dispersos, el proyecto de instalación de una EB se puede considerar, pero no es el caso del centro poblado Limbani.



**Figura 1.1** Torre en Zona Rural (Fuente: Empresa Telefónica Móviles)

#### **1.4 Cobertura Celular, equipamientos necesarios**

La tecnología más apropiada es aquella que permite una máxima cobertura con un mínimo de estaciones base, manteniendo los parámetros de calidad exigidos por las necesidades de los usuarios.

La tendencia en cuanto a cobertura de la red es permitir al usuario acceso a los servicios en cualquier lugar, ya sea local, regional, nacional e incluso mundial, lo que exige acuerdos de interconexión entre diferentes operadoras para extender el servicio a otras áreas de influencia diferentes a las áreas donde cada red ha sido diseñada.

A continuación se detalla algunos componentes en la instalación de una Estación Base y también se realiza un comparativo del CAPEX que representa.

##### **1.4.1 Torre**

Existen distintos tipos de torres para celulares, entre los más comunes se encuentran:

- Auto soportadas
- Mástiles arriostrados
- Mono postes

En la torre se instalará la luz de balizaje, descansos, cable de vida, canastilla para antenas como se muestra en la Figura 1.2.



**Figura 1.2** Torre en Zona Urbana (Fuente: Empresa Telefónica Móviles)

#### **1.4.2 Sala para equipos**

Pueden tener un área de 7 m<sup>2</sup>, reservando un espacio para futuras ampliaciones de acuerdo a datos de fabricante de equipos instalados y/o nuevo equipamiento, la instalación de los equipos es siguiendo las normas recomendadas del fabricante.

La sala para equipos debe ser acústico; contar con vigas para sostener escalerillas, ventana pasamuros, y con las instalaciones eléctricas necesarias, tablero de distribución, iluminación adecuada (680 lux a nivel de piso), tomacorrientes, por lo general un tomacorriente doble por pared; también se está usando material alternativo al convencional como es el drywall (nombre común por su origen americano que significa muro seco, porque los materiales que lo conforman no requieren mezclas húmedas), para la construcción de sala de equipos.



**Figura 1.3** Sala para equipos (Fuente: Empresa Telefónica Móviles)

#### **1.4.3 Sistema de Aclimatación**

Los equipos instalados en una sala de un sistema de telefonía móvil celular (estación base celular, equipo de transporte, rectificador, baterías) necesitan una temperatura adecuada para su normal funcionamiento, por lo general 25° C. Además estos equipos disipan calor, principalmente los amplificadores de potencia de la estación base celular, por lo que se hace necesario el uso de equipos de aire acondicionado para lograr la temperatura de funcionamiento óptima. Según los equipos instalados, la disipación de calor puede llegar a 10000 BTU/H, siendo necesario instalar dos equipos de aire acondicionado de 16000 BTU/H.



**Figura 1.4** Equipos de Aire Acondicionado tipo Mochila (Fuente: Ibidem)

#### 1.4.4 Terreno de estación

Se necesita un terreno donde se colocará la torre y la sala de equipo, los que deben estar saneados con la licencia de funcionamiento y el cerco perimétrico del terreno.

#### 1.4.5 Energía Eléctrica

En esta sección se desarrollan los siguientes tópicos: Energía AC, Energía DC, Rectificador, Banco de baterías, Sistema de protección eléctrico

##### a. Energía AC

Se necesita una potencia de 20 KW (en promedio) en tarifa MT3 (media tensión trifásica), esta tarifa es la más adecuada para el tipo de carga de las estaciones base celular que casi no cuenta con potencia reactiva, esto incluye transformador de media a baja tensión, transformix (transformador para medidor de corriente), y postes en caso ser necesario.



**Figura 1.5** Entrada de energía AC Transformador y transformix (Fuente: Ibídem)

##### b. Energía DC

Se requiere de un rectificador y de un banco de baterías para una carga de equipos de 200Amps aproximadamente, tomando en cuenta los datos del fabricante de la estación base celular y equipo de transporte.

##### c. Rectificador

La carga del rectificador es la carga de los equipos cuya capacidad se determina de los datos del fabricante, más la corriente durante la carga de baterías que según datos de fabricantes debe ser el 10% de la capacidad nominal del banco.

##### d. Banco de baterías

Debe ser de tracción y de libre mantenimiento (baterías de tracción son baterías que pueden soportar varias descargas profundas hasta 20% de su capacidad nominal unas 100 veces sin perder su capacidad) para que pueda soportar los cortes de fluido eléctrico, un banco de 1500 Ah brinda una autonomía de 6 h aproximadamente.

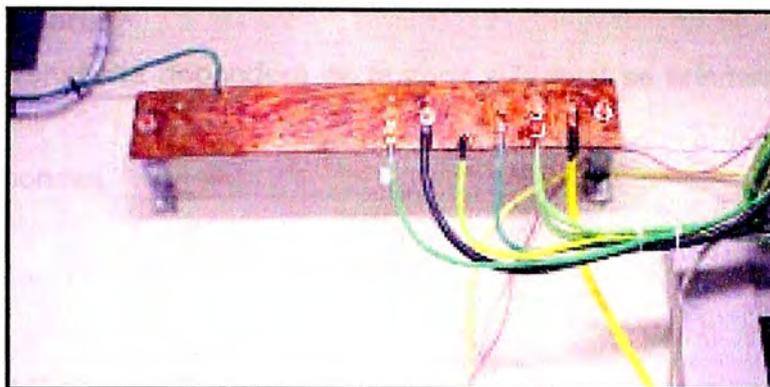


**Figura 1.6** Rectificador Ibérica y Banco de baterías (Fuente: Ibídem)

#### **e. Sistema de protección eléctrico**

Una estación de telecomunicaciones debe contar con un sistema de protección eléctrico para proteger a los equipos de ruido y darles mayor tiempo de vida, además de protegerlos contra sobrevoltajes; las fluctuaciones en los niveles de voltaje pueden deberse a variaciones propias del origen de la fuente de energía, a variaciones inducidas por arranques de motores y/o compresores; es el caso de aires acondicionados o a factores externos como puede ser la caída de un poste de la línea de acometida por causas externas y/o causas atmosféricas, el sistema de protección eléctrico está conformado por Sistema de pararrayos, sistema de tierra, supresores de pico, los cuales se detallan a continuación:

- **Sistema Pararrayos:** El más usado es el captador tetrapuntal que da un cono de protección de 45° con bajada de cable de cobre desnudo 1/0 al sistema de tierra.
- **Sistema de tierra:** Se recomienda tener un sistema de 5 ohmios, para lo cual se usa por lo general un sistema de mallas y sistema de platinas de tierra conectadas a está para conexión de tierra de equipos, aterramiento de cables coaxiales (Figura 1.7)
- **Supresores de Pico:** Los sistemas de protección contra picos protegen a los equipos de las altas tensiones producidas por rayos, variaciones en la energía comercial AC, etc. Se colocan a la entrada de la energía comercial AC y luego se van distribuyendo hacia la entrada del distribuidor de energía y la toma de energía AC del rectificador. El dimensionamiento de la capacidad de supresores de picos viene dado por la capacidad de la tolerancia de picos del rectificador que es un dato del fabricante. Por lo menos debe considerar el de primera protección.



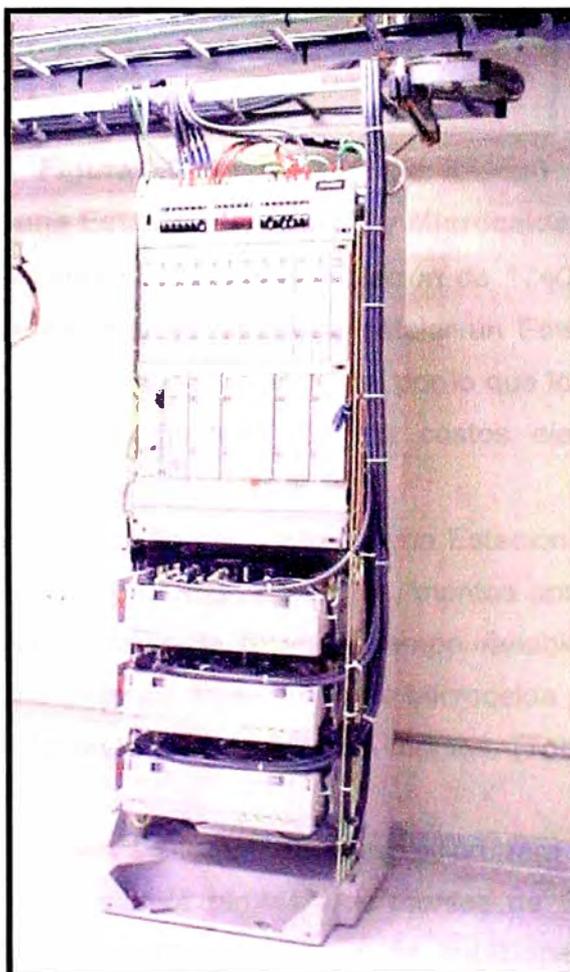
**Figura 1.7** Platina de Tierra sala equipos (Fuente: Ibídem)

#### **1.4.6 Equipamiento**

Los tópicos a desarrollar en esta sección son: Estación Base Celular; Medio de transporte

##### **a. Estación Base Celular**

En la Figura 1.8 se muestra un equipo Metrocell 800 CDMA1XRTT marca Nortel. Existe la posibilidad de usar equipos para exteriores pero no son muy robustos para zonas rurales, este tipo de equipos es más usado en edificios donde no se puede construir una sala equipos.



**Figura 1.8** BTS Metrocell (Fuente: Ibídem)

## **b. Medio de transporte**

El medio de transporte dependerá de la zona a la cual se brindará cobertura, estos pueden ser:

- Enlace de Microondas
- Fibra Óptica
- Enlace Satelital

### **1.4.7 Antenas**

En la Figura 1.9 se muestra un arreglo de antenas duales para una estación de tres sectores. Esta configuración es la más usada dentro de la red para instalación de Estaciones Celulares.



**Figura 1.9** Antenas (Fuente: Ibídem)

## **1.5 Costo promedio de una Estación Base GSM y Microcelda**

El centro poblado de Limbani, tiene una población de 1740 personas, lo cual no lo hace económicamente rentable si se decidiera instalar un Estación Base por los altos montos de CAPEX y OPEX. La causa fundamental por lo que los operadores no brinden cobertura en centros poblados rurales, son los costos elevados que requiere la instalación de una Estación Base o una Microcelda.

El retorno de inversión promedio del costo de una Estación Base Urbana es de 2-5 años de (990K S/. de CAPEX y 98K S/. de OPEX, montos aproximados) mientras que para una zona rural es en promedio de 10 años (tiempo variable). Se realiza un análisis de CAPEX y OPEX de una Estación Base y de una Microcelda para brindar cobertura al Centro Poblado Limbani llegando a los siguientes montos. (Tabla 1.2, 1.3, 1.4 y Figura 1.10)

En el capítulo III se planteara alternativas de solución para que se brinde cobertura celular a la zona rural. Se detallará también los montos de CAPEX y OPEX que se requiere utilizando como alternativas las femtoceldas, estaciones bases de menor radio de cobertura perfecta para dar cobertura a zonas dispersas.

**TABLA 1.2 CAPEX y OPEX de Estación Base (Fuente: Empresa Telefónica Móviles)**

INVERSIONES	DESCRIPCIÓN	MONTO S/.
	ACOMETIDA ELECTRICA (220 VAC / 20 KW)	230,741
	OBRAS CIVILES (cerco de malla , loza, tableros, sistema tierra, instalaciones eléctricas)	212,117
	TORRE DE 30 METROS AUTOSOPORTADA	115,371
	CAMINO DE ACCESO	32,963
	ESTUDIO DE P. CERO y SANEAMIENTO LEGAL	65,926
	RF EQUIPO OUTDOOR (Suministro y Servicios)	197,778
	INTERCONEXION (Suministro y Servicios)	138,445
	<b>TOTAL INVERSIONES –INCLUYE IGV (SOLES)</b>	<b>993,340</b>
GASTOS	DESCRIPCIÓN	MONTO S/.
	ARRENDAMIENTO DE ENLACE	71,200
	CONSUMO DE ENERGIA	11,867
	GASTOS DE MANTENIMIENTO	9,889
	ALQUILER ESPACIOS	7,911
<b>TOTAL GASTOS ANUALES-INCLUYE IGV (SOLES)</b>	<b>100,867</b>	

**TABLA 1.3 CAPEX y OPEX de Microcelda (Fuente: Empresa Telefónica Móviles)**

INVERSIONES	DESCRIPCIÓN	MONTO S/.
	EQUIPO RX/TX OUTDOOR	82,408
	TORRE AUTOSOPORTADA 20m	75,815
	ACOMETIDA ELECTRICA MAX 1 KM	108,778
	OBRAS CIVILES ( loza, tableros, sistema tierra)	112,074
	ESTUDIO DE PUNTO CERO ( Búsqueda, Saneamiento, diseño y sup)	65,926
	INTERCONEXION (Suministro y Servicios Satelitales)	138,445
	<b>TOTAL INVERSIONES –INCLUYE IGV (SOLES)</b>	<b>583,445</b>
GASTOS	DESCRIPCIÓN	MONTO S/.
	ARRENDAMIENTO DE ENLACE	71,200
	CONSUMO DE ENERGIA	6,593
	GASTOS DE MANTENIMIENTO	3,956
	ALQUILER ESPACIOS	31,644
	<b>TOTAL GASTOS ANUALES-INCLUYE IGV (SOLES)</b>	<b>113,393</b>

**TABLA 1.4 Cobertura Proyectada con Microcelda (Fuente: Empresa Telefónica Móviles)**

UBIGEO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	CENTRO POBLADO	LONGITUD	LATITUD	TOT_POB
2112030001	PUNO	SANDIA	LIMBANI	LIMBANI	-69.69384	-14.1485	1740
2112030033	PUNO	SANDIA	LIMBANI	JAPASO	-69.68637	-14.12519	7
2112030034	PUNO	SANDIA	LIMBANI	AYLLU ASILLO	-69.6924	-14.14274	10
2112030035	PUNO	SANDIA	LIMBANI	AYLLU ORURO	-69.6913	-14.15645	341
							<b>2098</b>

### MICROCELDA LIMBANI

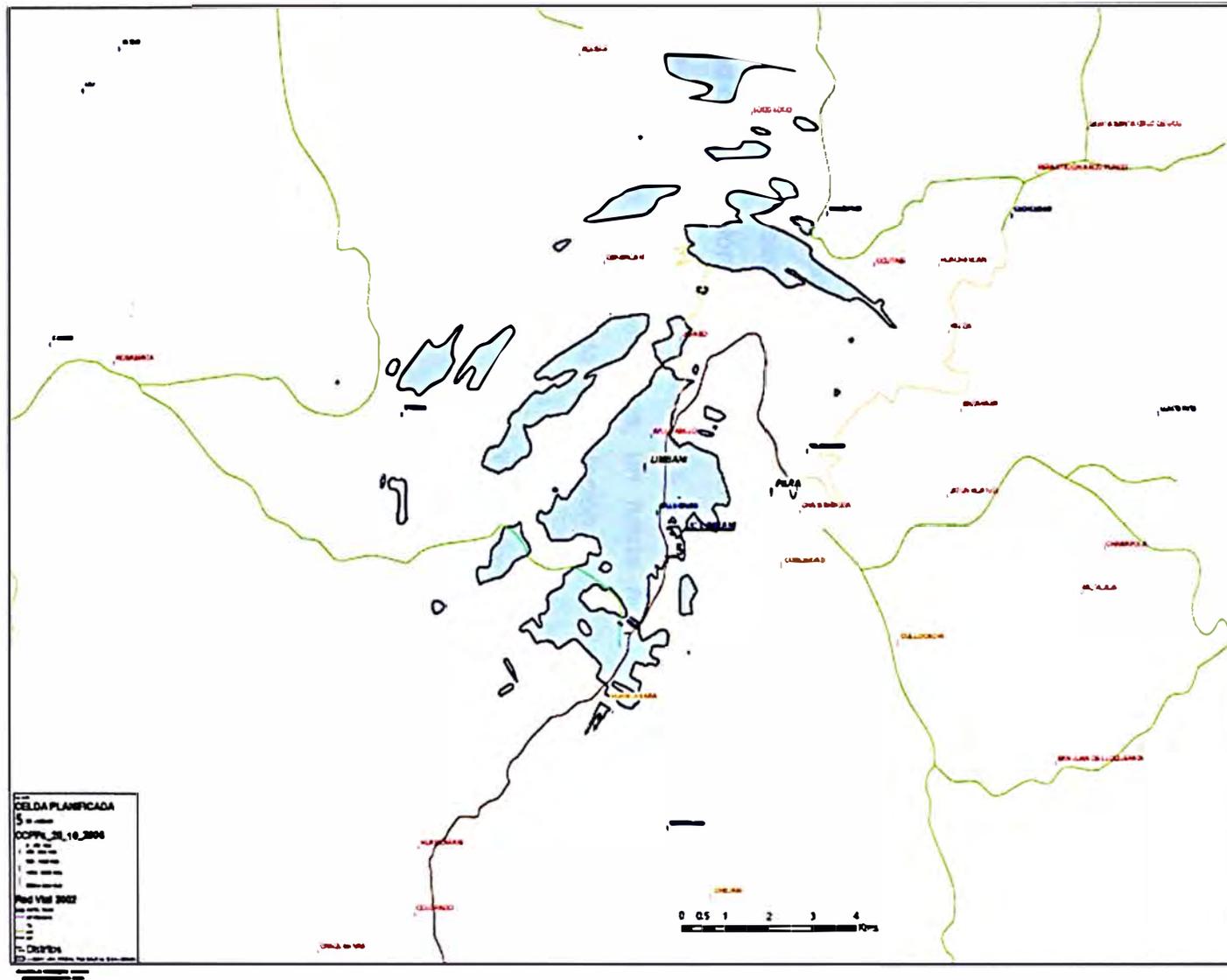


Figura 1.10 Cobertura Proyectada (Fuente: Empresa Telefónica Móviles)

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

En este capítulo se exponen las bases teóricas conceptuales más importantes para la comprensión del sistema descrito en el presente informe.

### **2.1 Generaciones de servicios móviles**

Es conocido que los servicios móviles han evolucionado en generaciones, en cada una de ellas resulta plenamente reconocible un conjunto de características que las definen.

La primera generación fue la de los servicios analógicos, únicamente transmisión de voz con calidad de servicio aceptable, un bajo nivel de estandarización y una baja velocidad de transmisión usando conmutación de circuitos.

La segunda generación es la de los servicios digitales; teniendo además de voz digital, servicio de mensajes cortos, un fuerte nivel de estandarización y una baja velocidad de transmisión usando conmutación de circuitos.

La tercera generación es la de los servicios multimedia, ofrece servicios de voz y datos con una alta calidad de servicio (QoS), existe un fuerte nivel de estandarización y una alta velocidad de transmisión usando conmutación de paquetes (IP).

GSM está dentro de las tecnologías de segunda generación; dentro de la línea de evolución de GSM se tiene: GPRS que es una tecnología de generación 2.5, es decir, representa un estado de transición entre la segunda y tercera generación; y por otro lado UMTS que es una tecnología de tercera generación.

### **2.2 Características principales: Digitalización y compresión de voz**

La 2G (Segunda Generación) principalmente se diferencia de la primera generación por las siguientes características:

- Telefonía digital.
- Utiliza la conmutación de circuitos con tasas de 9.6 kbps.
- Servicios de voz e introducción de servicios de datos básicos.
- Existencia de estandarización internacional. Se garantiza la compatibilidad entre los sistemas de países distintos permitiendo a los abonados usar sus propias terminales en aquellos países que hayan adoptado el mismo estándar digital y que hayan estipulado un acuerdo con su proveedor de servicios.
- Ampliación de cobertura regional a través del roaming transnacional. El roaming no está

limitado a las áreas cubiertas por un cierto sistema; las llamadas pueden ser tasadas y tratadas usando el mismo número personal también cuando un abonado se traslada de un país a otro. Este uso es limitado solo a los países con el mismo estándar digital.

- La calidad aumenta considerablemente gracias a la mejora en el control de los recursos de radio (potencia variable, ya sea en el MS o en el BTS), también gracias a la codificación, el interlineado y el salto de frecuencia, las estaciones móviles están en grado de ofrecer una mejor calidad, aún en condiciones de propagación variable.

- Mayor capacidad: Con la técnica de acceso TDMA el usuario utiliza todo el ancho de banda del canal de frecuencia asignado para él, lo que permite incrementar la oferta del servicio a un número mayor de clientes. Las señales digitales desarrollan mejor el espectro de radio, permitiendo el tener celdas también con pequeños diámetros (de cientos de metros). De este modo el sistema puede servir en un área determinada, a un número elevado de abonados.

- Los costos de estos sistemas para los operadores son relativamente bajos. De hecho en un sistema digital el número limitado de radiocanales, permite el uso de un número inferior de receptores de radio para BTS, con el consiguiente ahorro de dinero en términos de espacio, aparatos y tiempo de instalación.

- El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados que soportan velocidades de información más altas para voz, pero son limitados en comunicaciones de datos. La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación.

- Las potentes técnicas de autenticación y código secreto para todos los datos de señalización y conversación permiten un acceso protegido a la red para una parte de los usuarios garantizando un elevado grado de confidencialidad y seguridad en el acceso a los sistemas.

- En los Estados Unidos y otros países se le conoce a 2G como PCS.

- Esta generación ha significado el primer acercamiento entre la telefonía móvil e informática.

Los sistemas de 2G en realidad nacen como respuesta a la saturación del espectro reservado para las comunicaciones celulares de 1G, ya que introduce nuevas bandas de frecuencia. En general la tecnología TDMA logra multiplicar por tres el número de usuarios que podían atenderse con la tecnología FDMA y CDMA multiplica por 5 éste número.

### **2.3 GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)**

En los comienzos de los años ochenta, muchos países en Europa habían desarrollado su propio sistema de telefonía celular analógica que impedía la interoperabilidad más allá de las fronteras de cada país. En 1982, el CEPT (Conferencia

Europea de Administración de correos y Telecomunicaciones) estableció un grupo de trabajo para desarrollar un sistema paneuropeo al que se denominó GSM. Luego en el período entre 1982 y 1985 se decidió si el sistema debía ser digital o analógico, y tras numerosas discusiones se decidió implantar un sistema basado en tecnología digital. Posteriormente se debió elegir entre una solución de banda ancha o banda estrecha. Por la cual en 1987 se efectuaron pruebas de campo en las que diferentes fabricantes propusieron soluciones diversas. Finalmente se eligió la solución de banda estrecha TDMA.

La propuesta fue desarrollar un nuevo sistema inalámbrico móvil con las siguientes características: itinerancia (roaming) internacional, soporte para la introducción de nuevos servicios, eficiencia espectral y compatibilidad con la ISDN. En 1989, el ETSI (Instituto Europeo de Normas para las Telecomunicaciones) asumió la responsabilidad del desarrollo de GSM, denominando al proyecto como Sistema Global de Telecomunicaciones Móviles.

GSM es un sistema de conmutación de circuitos, diseñado originalmente para voz, al que posteriormente se le adicionaron algunos servicios de datos: servicio de mensajes cortos y un servicio de datos GSM. Actualmente GSM es la referencia mundial para redes de radio móviles.

La tecnología GSM ha evolucionado para ser utilizada en una gran variedad de sistemas y frecuencias (400 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz) incluyendo los sistemas de Servicios de Comunicación Personal (PCS) en Norte América y la Red de Comunicación Personal (PCN) a través del mundo.

Cuando se está comunicándose en un sistema GSM, los usuarios pueden operar sobre el mismo radiocanal simultáneamente compartiendo las ranuras de tiempo (time slots). El sistema permite que 8 estaciones móviles compartan el ancho de banda de una onda portadora para voz y datos de 200 kHz. Para operar en modo dúplex, la voz es conducida sobre dos ondas portadoras de banda ancha de 200 kHz.

El sistema tiene muchos tipos de canales de control que portan información del sistema y coordinan el acceso tal como lo hacen los canales de control en los sistemas analógicos. Los canales de control GSM tienen muchas más capacidades de los canales de control analógicos tales como mensajes broadcast de paging, modo extendido de espera y otros. Debido a que los canales de control usan solo una porción (uno o más slots) del ancho de banda, éstos típicamente co-existen sobre un mismo radiocanal con otros time-slots que son usados para enviar información de voz.

Una portadora GSM transmite a una tasa de 270 kbps, pero un solo radiocanal digital GSM o time slot es capaz de transferir solo 1/8 del total, cerca de 33 kbps de información.

La tasa máxima de transmisión de voz y datos es de 9.6 kbps.

Los intervalos de tiempo son divididos dentro de frames con 8 time slots sobre dos diferentes radiofrecuencias. Una es para transmitir del teléfono móvil y otra para recibir a la estación móvil. Durante una conversación de voz, un time slot es dedicado para transmisión, otro para recepción y los seis restantes permanecen en espera. La MS usa algunos de los time slots en espera para medir la fuerza de la señal para prepararse para el handover.

En la banda de los 850 MHz, los canales digitales GSM se transmiten sobre una frecuencia y reciben sobre otra, 45 MHz más alta, pero no al mismo tiempo. En la banda de los 1900 MHz, la diferencia entre las frecuencias de transmisión y recepción es de 80 MHz.

## 2.4 Arquitectura de red GSM

Las especificaciones del estándar GSM definen los requerimientos para las funciones e interfaces en detalle, pero no el direccionamiento del hardware, con lo que se busca limitar lo menos posible a los diseñadores, y hacer posible que los operadores de redes adquieran sus equipos de distintos fabricantes.

La red GSM está dividida en tres sistemas principales:

- Sistema de Conmutación (SS).
- Sistema de Estaciones Bases (BSS).
- Sistema de Soporte y Operación (OSS).

Estos tres sistemas principales se interconectan para formar una red básica GSM como se muestra en el siguiente diagrama:

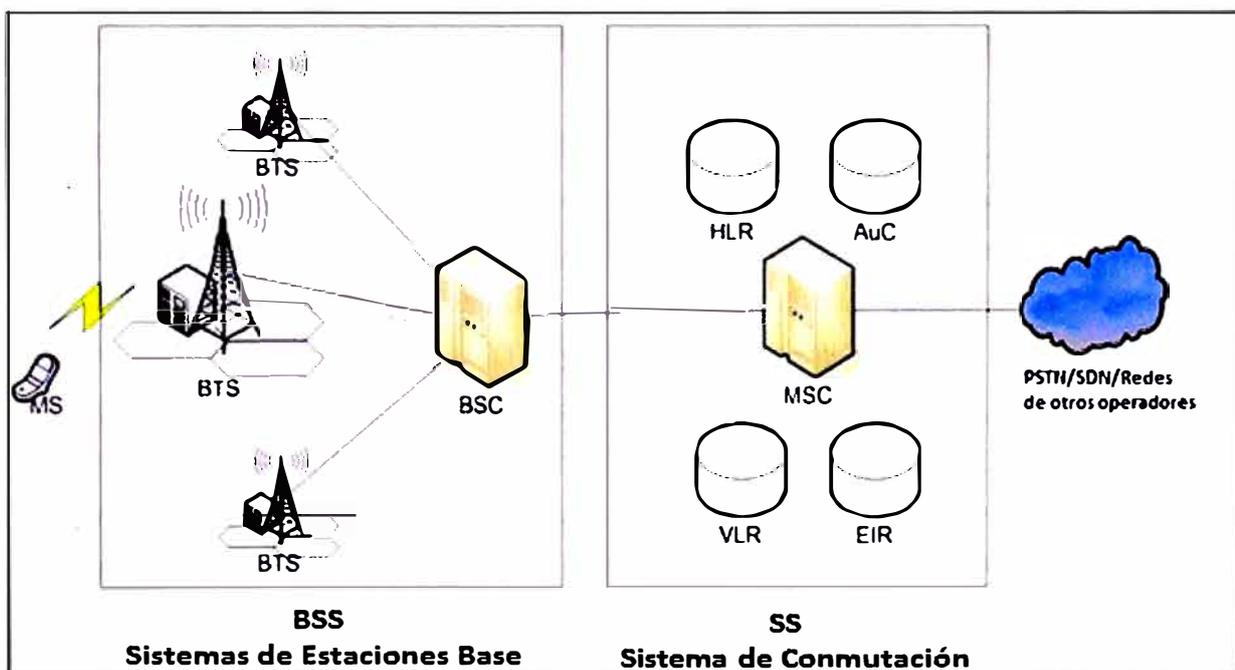


Figura 2.1 Arquitectura GSM (Fuente: Curso GSM INICTEL)

## **2.5 Sistema de Conmutación**

El Sistema Conmutación (SS) incluye las funciones básicas de conmutación del GSM, así como las bases de datos necesarias para los datos de usuario y la gestión de la movilidad. La función principal del SS es gestionar las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicación. Dentro del SS, la función básica de conmutación se realiza en la MSC (Mobile services Switching Center), cuya misión principal es coordinar el establecimiento de llamadas desde y hacia usuarios GSM.

La MSC tiene interfaces con la BSS de un lado (a través de la cual está en contacto con los usuarios GSM), y con las redes exteriores por otro. El SS también necesita conectarse con redes externas para hacer uso de su capacidad de transportar datos de usuario o señalización entre entidades GSM. En particular, el SS hace uso de una red soporte de señalización, al menos en parte externa al GSM, siguiendo los protocolos del Sistema de Señalización por Canal Común UIT-T Nº 7 (generalmente referida como la red SS7); esta red de señalización permite interoperatividad entre entidades del SS dentro de una o varias redes GSM.

## **2.6 Sistema de Radio**

En términos generales, el Subsistema de radio, Subsistema de Estaciones de Base o BSS agrupa las máquinas específicas a los aspectos de radio y celulares del GSM. El BSS está en contacto directo con las estaciones móviles a través del interfaz radio. Como tal, incluye los elementos a cargo de la transmisión y recepción del trayecto radio y la gestión del mismo. Por otro lado, el BSS está en contacto con las centrales de conmutación del SS. La función del BSS se puede resumir como la conexión entre estaciones móviles y el SS y, por tanto, la conexión entre un usuario móvil con otro usuario de telecomunicaciones.

El BSS incluye dos tipos de elementos: la Estación de Base (BTS, Base Transceiver Station), en contacto con las estaciones móviles a través del interfaz radio, y el Controlador de Estaciones de Base (BSC, Base Station Controller), este último en contacto con las centrales de conmutación del SS. La división funcional es básicamente entre un equipo de transmisión, la BTS, y un equipo de gestión, el BSC.

Una BTS contiene dispositivos de transmisión y recepción, incluyendo las antenas, y también el procesado de señal necesario para el interfaz de radio. El interfaz radio del GSM utiliza una combinación de Acceso Múltiple por División en Frecuencia (FDMA) y Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA), con combinación de Salto en Frecuencia (FH, Frequency Hopping).

## **2.7 Sistema de Soporte y Operación**

El Sistema de Soporte y Operación está representado normalmente en un Centro de

Operación y Mantenimiento (OMC: Operation and maintenance Center). Este sistema está conectado a todos los equipos de los sistemas SS y hasta los BSC en el sistema BSS.

Es una unidad funcional que permite monitorear la red y controlar el Sistema completo. El propósito del OSS es ofrecer al operador contar con un soporte centralizado, regional o local, de acuerdo al diseño específico de la red.

Una importante función del OSS es proveer al operador, una visión general de la red y soportar diferentes actividades de mantenimiento de diferentes grupos de personas de operación y mantenimiento.

## **2.8 Descripción de los nodos principales de la red**

En esta sección se desarrollan los siguientes tópicos:

- MS: Estación Móvil
- BTS: Estación Base
- BSC: Controlador de Estaciones Base
- MSC: Centro de Conmutación Móvil
- HLR: Registro de Localización de estaciones móviles
- VLR: Registro de Localización de estaciones móviles Visitantes
- AuC: Centro de Autenticación; y EIR: Registro de Identificación del Equipo
- OMC: Centro de Operación y Mantenimiento
- NMC: Centro de Administración de Redes

### **2.8.1 MS: Estación Móvil**

Está formada por el Mobile Equipment (el terminal GSM) y por el Subscriber Identity Module (SIM), una tarjeta dotada de memoria y microprocesador, que permite identificar al abonado independientemente del terminal usado. Es el equipamiento empleado por el suscriptor para comunicarse a través de la red móvil. Asimismo la MS tiene la capacidad de variar la potencia de emisión de la señal sobre el canal radio de forma dinámica en 18 niveles, con el fin de poder mantener en cada momento la potencia de transmisión óptima, limitando así las interferencias co-canal inducidas sobre las celdas adyacentes.

El aumento o la disminución de la potencia de la señal transmitida, le llega a la MS desde la BSS que monitorea constantemente la calidad de comunicación.

Las dos técnicas: control dinámico de potencia y transmisión discontinua, permite optimizar el uso de la energía de las baterías reduciendo los consumos del terminal y prolongando la duración de la carga, lo que se traduce en una mayor vida útil de las mismas al disminuir las recargas.

La tarjeta SIM contiene la International Mobile Subscriber Identity (IMSI), usada para identificar al abonado en cualquier sistema GSM, los procedimientos de criptografía que garantizan la confidencialidad de la información del usuario, otros datos como por

ejemplo memorias alfanuméricas del teléfono y memorias para mensajes de texto (SMS) y finalmente una contraseña para impedir el uso no autorizado de dicha tarjeta y para el acceso a posteriores funciones.

### 2.8.2 BTS: Estación Base

La función principal de la BTS (Base Transceiver Station) es proporcionar un número de canales de radio en su respectiva zona de servicio. Este elemento está en contacto con las estaciones móviles a través del interfaz radio, la cual controla.

El sistema consiste en una red de radio-células contiguas (con cobertura sobrepuesta para asegurar el handover) para cubrir una determinada área de servicio. Cada célula tiene una BTS. Ésta Contiene dispositivos de transmisión y recepción, incluyendo las antenas y también el procesado de señal necesario para el interfaz de radio.

Cada estación base puede dividir el área geográfica a la cual dará servicio en sectores, donde cada sector tendrá su propio hardware y software asociado. Lo anterior permitirá controlar en forma más eficiente los parámetros de radio y con ello la calidad de las comunicaciones y el servicio.

Las antenas puede ser omnidireccionales o direccionales (en este caso se divide la BTS en sectores, con diferentes grupos de frecuencias). El estándar GSM contempla que un transceptor proporciona 8 canales digitales (time slot) en el enlace de radio. Un grupo de BTS es controlado por un BSC.



**Figura 2.2** Estación Base Celular (Fuente: Empresa MOVISTAR)

### 2.8.3 BSC: Controlador de Estaciones Base

La BSC (Base Station Controller) es la encargada de proveer todas las funciones de control y enlaces físicos entre el MSC y las BTS. Administra todas las funciones de radio de la red. Es un conmutador de alta capacidad que provee una serie de funciones como el handover, datos de configuración de celdas y control de los niveles de potencia (RF) de

los transceptores de las estaciones bases. Un número de BSC son servidos por un MSC.

- **Handover:** El BSC tiene como función primaria el mantenimiento de las llamadas. Desde el momento en que el usuario es móvil, éste puede desplazarse cambiando de sector; el procedimiento por el que la llamada se mantiene en estas condiciones sin que se produzcan interrupciones importantes se conoce con el nombre de "handover". Durante una llamada, la estación móvil está continuamente monitoreando a una serie de estaciones base así como informando a la BSC de la calidad de la señal con que está trabajando. Esto permite a la BSC tomar la decisión de cuando iniciar un handover y a qué sector.

- **Control de Potencia:** La BSC controla a su vez la potencia de trabajo de la estación móvil para minimizar la interferencia producida a otros usuarios y aumentar la duración de la batería de los equipos terminales.



**Figura 2.3** BSC (Fuente: INICTEL)

#### **2.8.4 MSC: Centro de Conmutación Móvil**

Centro de Conmutación Móvil, responsable del establecimiento, enrutamiento y terminación de cualquier llamada, es la interfaz con otras redes, control de los servicios complementarios y del handover entre MSCs, así como la generación de información necesaria para la medición y registro de tráfico. También actúa de interfaz entre la red móvil y la red pública.

#### **2.8.5 HLR: Registro de Localización de estaciones móviles**

La HLR (Home Location Register) es la base de datos centralizada de una red. Contiene y administra principalmente información de estado de cada estación móvil definida en el sistema (tipo de suscripción, servicios complementarios, etc.), así como

información sobre las posibles áreas visitadas, a efecto de enrutar llamadas destinadas al mismo (terminadas en el móvil).

La información almacenada contiene por cada estación móvil:

- Identidad.
- Servicios Suplementarios.
- Información de su ubicación
- Información de Autenticación.

### 2.8.6 VLR: Registro de Localización de estaciones móviles Visitantes

Registro de Localización de estaciones móviles Visitantes, es la base de datos que contiene información temporal de las estaciones móviles visitantes y que son requeridos por el MSC para darles servicio.

El VLR siempre viene integrado con el MSC, y existirá uno por cada MSC. Contiene principalmente información de estado de todas las estaciones móviles que en un momento dado están registrados dentro de la zona de servicio de un MSC; información que ha sido requerida y obtenida a partir de los datos contenidos en el HLR.

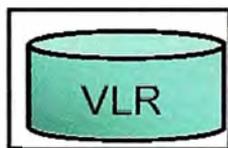


Figura 2.4 Registro de Localización (Fuente: Ibídem)

### 2.8.7 AuC: Centro de Autenticación; y EIR: Registro de Identificación del Equipo

Son elementos de la red del SS que se ocupan de los aspectos relacionados con la seguridad. El AuC se ocupa de la información de seguridad de identidad del abonado junto con el VLR. El EIR se ocupa de la información de seguridad del equipo móvil (hardware) junto con el VLR. En la Figura 2.5 se puede apreciar todos los elementos que componen el SS.

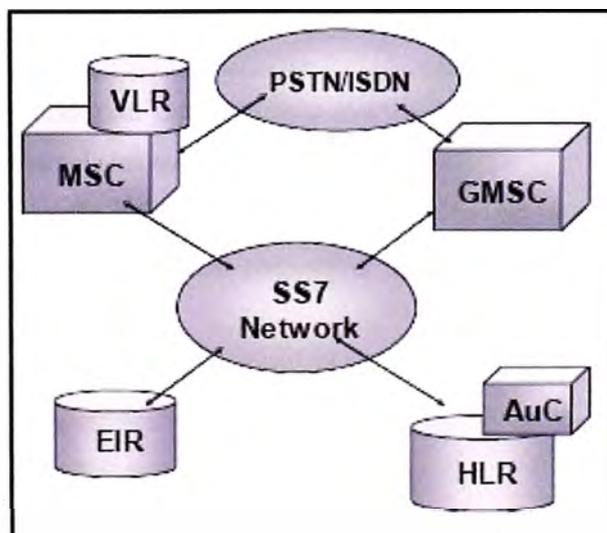


Figura 2.5 Sistema SS (Fuente: Ibídem)

### 2.8.8 OMC: Centro de Operación y Mantenimiento

El OMC (Operation and Maintenance Center) es un centro de monitoreo computarizado que se conecta a otras componentes de la red como los MSC y los BSC por enlaces de datos. Tiene las siguientes funciones:

- Acceso remoto a todos los elementos que componen el network GSM (BSS, MSC, VLR, HLR, EIR y AUC).
- Gestión de las alarmas y del estado del sistema con posibilidad de efectuar varios tipos de test para analizar las prestaciones y verificar el correcto funcionamiento del mismo.
- Supervisión del flujo de tráfico a través de las centrales e introducción de eventuales cambiantes del flujo mismo.
- Visualización de la configuración del network con posibilidad de cambiarla por control remoto.
- Administración de los abonados y posibilidad de poder conocer su posición dentro del área de cobertura.

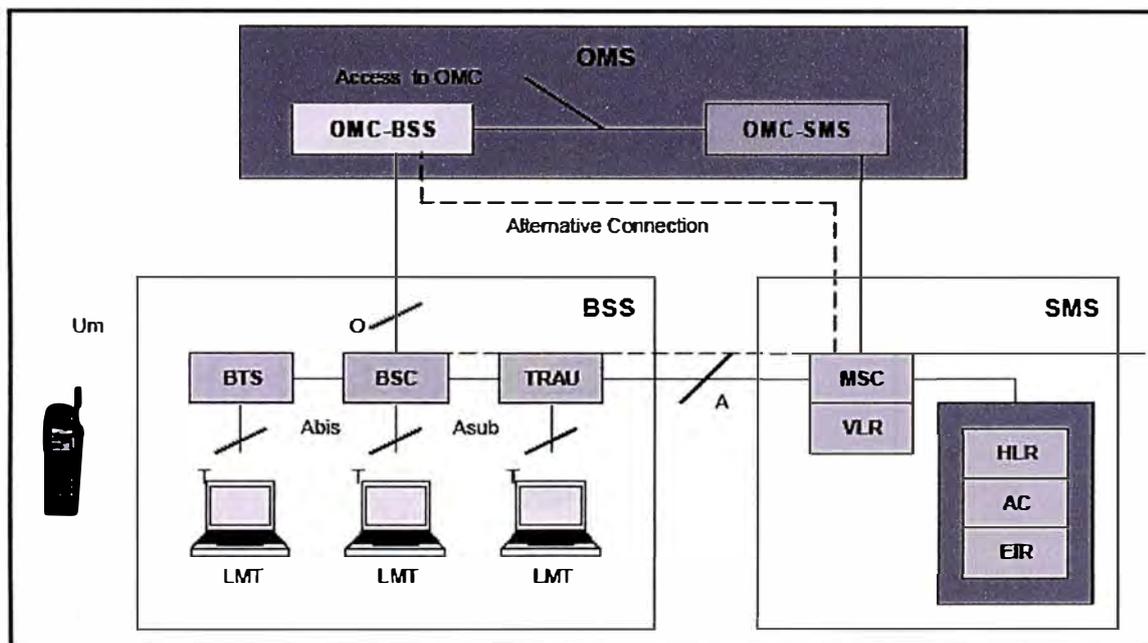


Figura 2.6 Centro de Operación y Mantenimiento (Fuente: Ibídem)

### 2.8.9 NMC: Centro de Administración de Redes

Es el control centralizado de la red. Se encarga de administrar con visión de largo plazo los recursos de la red. Solo se requerirá un NMC por cada red, y tendrá como controles subordinados los OMC.

## 2.9 Planificación Celular

En esta sección se desarrollan cinco tópicos: Célula o celda; Cobertura; Planificación radio; Tamaño de las celdas; Escenario de cobertura

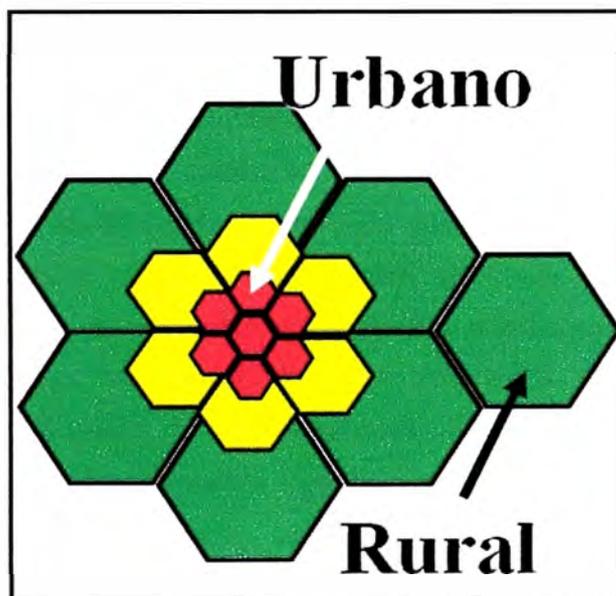
### 2.9.1 Célula o celda

Célula es cada una de las unidades básicas de cobertura en que se divide un sistema

celular. Cada célula contiene un transmisor el cual puede estar en el centro de la célula, si las antenas utilizan un modelo de radiación omnidireccional; o en un vértice de la misma, si las antenas tienen un diagrama directivo.

Además transmite un subconjunto del total de canales disponibles para la red celular a instalar. Cada célula tiene un número de radiocanales de frecuencia asignado, además de varios canales de tráfico, tendrá uno o más canales de señalización o control para la gestión de los recursos de radio y la movilidad de las estaciones móviles a ella conectados.

Las células son en teoría de forma hexagonal. La red se encuentra diseñada para que los tamaños de las células sean relativos al número de usuarios; por tanto, entre mayor número de usuarios, las células son más pequeñas y hay un mayor número de ellas para cubrir el área, como sería en las zonas urbanas; en las zonas rurales, las células son de mayor área y el número de ellas es menor.



**Figura 2.7** Estructura Celular (Fuente: Curso de GSM INICTEL)

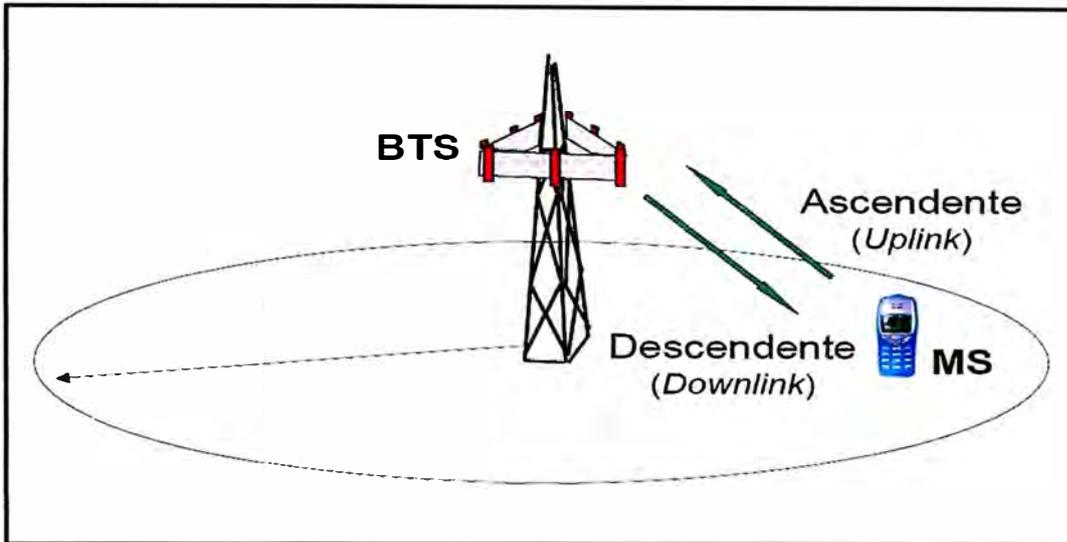
### 2.9.2 Cobertura

Se entiende por cobertura la zona desde la cual un terminal móvil puede comunicarse con las estaciones base y viceversa. La cobertura es el primer parámetro en que se piensa al diseñar una red de comunicaciones móviles: ¿en qué zonas se requiere dar servicio a las terminales móviles?

En primer lugar, la cobertura o el alcance de radio de una red es la composición del alcance de radio de la suma de todas sus estaciones base. A la hora de planificar una red, desde el punto de vista de la cobertura, el primer dato que se necesita saber es la zona que se desea cubrir, o zona de servicio.

Si se parte de esta única hipótesis, dado un área a cubrir, sería necesario un número de células tal que la suma de las áreas cubiertas por dichas células, a una altura

determinada  $h$  y transmitiendo a su máxima potencia, fuera igual al área a cubrir.



**Figura 2.8** Cobertura de una BTS (Fuente: Curso de GSM INICTEL)

### 2.9.3 Planificación radio

La planificación radio es una actividad fundamental en toda la red de telefonía móvil celular por su gran influencia en la consecución de los objetivos de cobertura, capacidad y calidad que el operador ha establecido, así como los de índole económico para optimizar las inversiones en la planta técnica, los gastos de alquiler de infraestructura y los cánones por la utilización de las frecuencias radioeléctricas.

La finalidad de un plan de red radio es definir las ubicaciones de estaciones base y establecer sus parámetros radioeléctricos: potencias, tipos y ganancias de antenas, frecuencias y su carga de tráfico. El plan debe cumplir dos objetivos básicos: asegurar la cobertura radioeléctrica de las áreas de interés y soportar los tráficos ofrecidos en las mismas, todo ello con coste mínimo tanto en recursos físicos como en espectro radioeléctrico utilizado. En consecuencia, en la preparación de un plan de red radio se debe prestar especial atención a:

- Elección cuidadosa de ubicaciones de estaciones base para cumplir los objetivos de cobertura.
- Adecuación del área de cobertura a la oferta de tráfico.
- Análisis de áreas especiales como centros comerciales, túneles, aparcamientos, estaciones, aeropuertos, entre otros.
- Dimensionamiento de frecuencias y su reutilización.
- Interconexión de estaciones base entre sí y con sus órganos de control y de éstos con la red fija.

El diseño de un sistema celular de cobertura para el acceso, es una actividad compleja, en la que han de tenerse en cuenta numerosos factores interdependientes, entre los que pueden destacarse los siguientes:

- Cobertura radioeléctrica.
- Limitación de las frecuencias.
- Movilidad de los usuarios.
- Distribución del tráfico.

La primera actividad que debe emprenderse en el proyecto de un sistema móvil celular es la denominada planificación celular, la cual debe comprender, al menos, las siguientes tareas:

- Desarrollo de un modelo de tráfico (tanto de voz como de otros servicios) y movilidad de los clientes, basado en pronósticos de la demanda en función del tipo de zona.
- Elección del tamaño y tipo de celdas en función de la distribución del tráfico.
- Diseño de la red o malla celular con los tipos de celdas establecidos y orientación de antenas.
- Elección de los sistemas radiantes y sus diagramas de radiación en el plano horizontal (omnidireccional/sectorizado) y en el plano vertical.
- Ajuste de las ubicaciones de estaciones base a los emplazamientos disponibles.
- Determinar de la cobertura básica y celdas mejores servidoras, incluidos la detección y tratamiento de puntos de cobertura dudosa y entornos especiales.
- Asignación de frecuencias a las estaciones base.
- Evaluación de la relación señal deseada/señal interferente para interferencias de la propia red. Reajustes necesarios, si en algunas celdas esta relación no es satisfactoria.
- Análisis y resolución de interferencias con otras redes móviles y otros sistemas de radiocomunicaciones.
- Determinación de los planos de interconexión y transmisión entre estaciones base y los controladores de estaciones y centros de conmutación.

La planificación celular parte de hipótesis sencillas y hace uso de un modelo geométrico simple, por lo que es un instrumento básicamente teórico que proporciona una información preliminar acerca del sistema celular en proyecto, permite sistematizar el diseño de la red, obtener una idea general de las prestaciones previsible en cuanto a cobertura y capacidad y comparar diferentes soluciones alternativas. El resultado de la planificación sirve de patrón o guía para el despliegue físico de la red sobre el terreno.

#### **2.9.4 Tamaño de las celdas**

Según su tamaño, pueden clasificarse las celdas de la siguiente manera:

- Grandes o Macroceldas. Radio de cobertura de 1.5 a 20 Km. Su aplicación fundamental es en carreteras y entornos rurales.
- Pequeñas o Miniceldas. Radios de cobertura de 0.7 a 1.5 Km. Su aplicación

fundamental es en áreas urbanas.

- Microceldas. Radios de cobertura de 0.3 a 0.7 Km. Usadas para cubrir zonas determinadas de ciudades con elevada densidad de tráfico y penetración en interiores de edificios.
- Picoceldas. Radios de cobertura de 30 a 200 m. Usadas para cobertura de lugares específicos como centros comerciales, aeropuertos y oficinas.
- Celdas Sombrilla o Paraguas. Celdas grandes que cubren lagunas entre otras más pequeñas.

En GSM, el diseño se centró, inicialmente, en celdas de tamaño medio, con un diámetro de pocos kilómetros (en torno a 5 km). Aunque el límite inferior es difícil de determinar, las celdas de más de un kilómetro de radio no deberían de ser un problema. Sin embargo, pueden comenzar a surgir problemas, con celdas de radio en torno a los 300 metros. El tamaño de las celdas en el otro extremo, es decir respecto al límite superior, debe cumplir la especificación GSM de 35 Km.

La realización del diseño de la red radio es función de la estrategia adoptada por cada operador según las zonas a las que se desea dar cobertura, calidad de la cobertura, congestión de llamadas y probabilidad de interrupción.

### **2.9.5 Escenario de cobertura**

Se desarrollan los siguientes tópicos: Diseño en Entornos Rurales, Diseño en Entornos Urbanos.

#### **a. Diseño en Entornos Rurales**

Al hablar de entornos rurales, se refiere a zonas con poca densidad de población. En estos casos, al ser muy baja la densidad de tráfico, el diseño viene determinado directamente por la cobertura que es necesario proporcionar. Las características de los sistemas celulares resultantes son las siguientes:

- **Sistema celular limitado por ruido.** En estos sistemas no hay problemas de capacidad, lo que hace que no sea preciso limitar la zona de cobertura de una estación base, ya que no va a tener problemas para poder cursar las llamadas generadas/destinadas por/a los usuarios de esa zona. La zona de influencia de una estación base rural, por tanto, vendrá limitada por la sensibilidad de los receptores utilizados.
- **Celdas de gran tamaño.** El radio medio de las celdas en este tipo de entornos es muy grande, tanto mayor cuanto mejores sean las condiciones de propagación.

El diseño final dependerá de los criterios de cobertura que se quieran cumplir. Así, puede haber diseños orientados a cobertura de poblaciones, otros orientados a cobertura continua en carreteras, y otros que buscan cubrir altos porcentajes de territorio. En el

primero de los casos, las estaciones base tenderán a situarse dentro de los núcleos de población, en el segundo, se encontraran próximas a los trazados de las carreteras, estando la distancia entre estaciones y la posición de las mismas determinada básicamente por la orografía del terreno, y en el tercer caso se tenderá a emplazar las BTS en lugares muy altos, siguiendo una idea semejante a la del diseño de estaciones radiodifusión.

Sea cual sea el tipo de diseño por el que se opte, normalmente las estaciones de zonas rurales tendrán en común las siguientes características:

- Emplazamientos dominantes, intentando maximizar el porcentaje de zona cubierta con línea de visión directa
- Celdas omnidireccionales, o bisectoriales.
- Pequeña inclinación mecánica y eléctrica en las antenas. No es preciso sacrificar cobertura para controlar la interferencia generada por una estación rural.

#### **b. Diseño en Entornos Urbanos**

Los condicionantes de cobertura en el diseño de la red radio de un núcleo urbano se traducen en el porcentaje de edificios a los que se pretende dar cobertura de interiores. Las pérdidas por penetración en los edificios son muy elevadas, y esto hace que, si se quiere dar una cobertura exhaustiva en interiores, la densidad de estaciones base resultante sea muy grande.

Por otra parte, al ser el tráfico muy elevado, y muy concentrado en zonas relativamente pequeñas, la reutilización de frecuencias resultante es muy alta. Como el número de estaciones base es muy grande, la distancia de reutilización debe ser muy pequeña, lo cual obliga a controlar cuidadosamente la radiación de las antenas para conseguir cubrir la zona deseada sin excesiva interferencia.

Los sistemas celulares en entornos urbanos, por tanto, tendrán las siguientes características comunes:

- Sistemas limitados por interferencia: debido al elevado número de estaciones base, y al alto número de TRX por sector, la reutilización de frecuencias es muy alta. Esto provoca que haya un nivel elevado de interferencia.
- Radio celular pequeño: debido a dos factores, la elevada densidad de estaciones necesarias para poder proporcionar la cobertura en interiores deseada, y la necesidad de proporcionar capacidad para absorber el tráfico generado en la ciudad.
- Emplazamientos poco dominantes, pero sin obstáculos próximos.
- Antenas situadas a poca altura sobre el edificio deseado.
- Celdas generalmente trisectoriales.
- Antenas con bastante inclinación mecánica y/o eléctrica. La finalidad es controlar la

radiación minimizando la interferencia generada por el sector en cuestión.

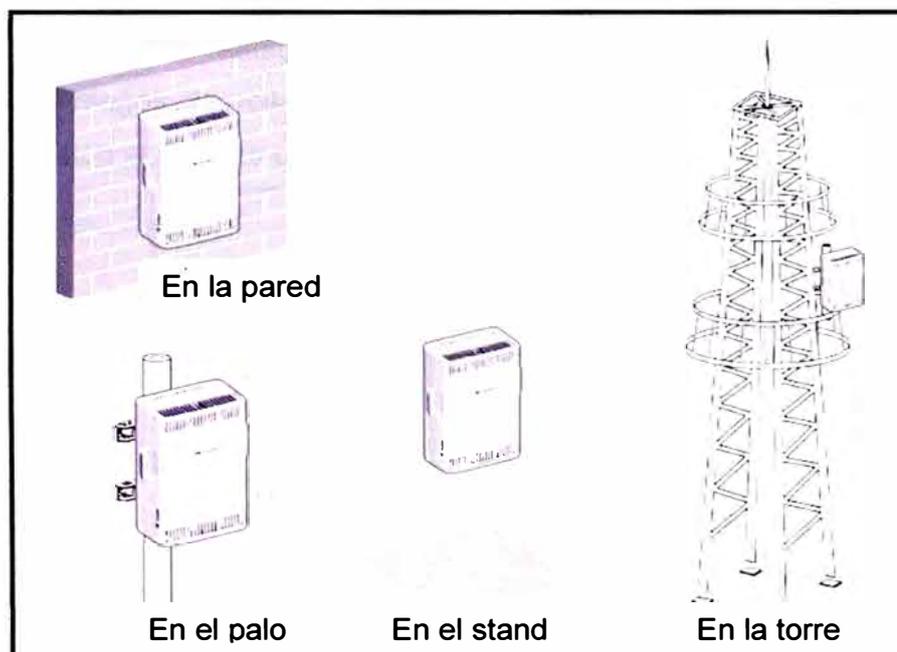
- Diversidad en recepción: suele utilizarse diversidad espacial o por polarización.

### CAPÍTULO III METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Para brindar cobertura a zonas rurales, se plantea como alternativa de solución utilizar equipos de menor costo que permitan reducir el CAPEX y poder hacer el proyecto viable. Por ese motivo se propone usar femtoceldas que tienen un menor costo comparado con las macroceldas \_Estaciones Base (BTS), se estima el costo de macrocelda en S/. 990,000 de CAPEX comparado con una femtocelda que tiene como costo aproximadamente S/. 140,000, teniendo presente que el radio de cobertura de una femtocelda es menor a las de las macroceldas, pero para este tipo de zona es altamente recomendable.

La diferencia fundamental entre una estación Base con la Femtocelda, es el radio de cobertura, capacidad de TRX, energía de consumo entre otros puntos.

- Estaciones Base en zonas urbanas: radio de cobertura promedio de 5 Km
- Femtoceldas: radio de cobertura de 150m



**FIGURA 3.1** Modo de instalación de Femtoceldas (Fuente: Huawei)

#### 3.1 Femtoceldas

Una femtocelda es una estación base en miniatura. Cuando el usuario está dentro de la cobertura de la femtocelda puede acceder a la red móvil. La ventaja es clara en aquellas zonas donde la cobertura de las celdas ordinarias es mala o insuficiente, por

ejemplo en zonas rurales.

Un enfoque para una femtocelda es utilizar la arquitectura de la estación base tradicional. En este caso, la femtocelda es una estación base, que se puede instalar en pared, en mástil, en racks o en la torre, como se muestra en la Figura 3.1.

### 3.2 Ventajas del uso de Femtocelda

Son las siguientes:

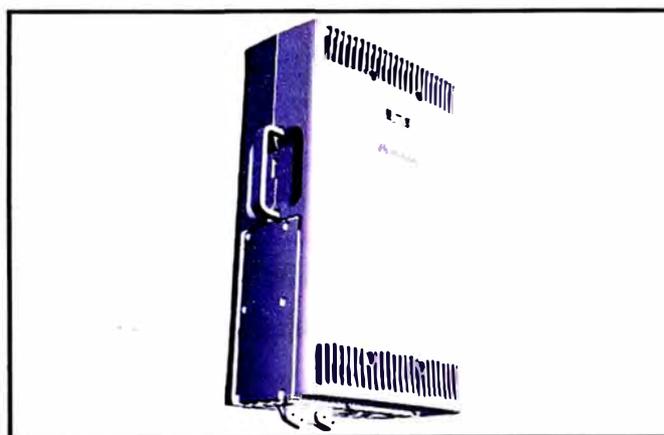
- Menor costo comparado las Estaciones Base.
- Facilidad en la instalación
- Menor consumo de energía eléctrica.
- Facilidad en la operación y mantenimiento.

### 3.3 Femtocelda Huawei BTS3900E

Las BTS3900E son de bajo consumo de energía y con adaptabilidad fuerte al ambiente y puede cumplir aplicaciones en las zonas rurales. El despliegue de la red siempre es complicado por los recursos de transmisión deficientes y el inestable suministro de energía.

Además de la reducción significativa en el consumo de energía, la BTS ahorra mucha energía y se aprovecha de la energía verde, como la energía luminosa, la energía eólica, y el metano que son abundantes en las zonas rurales.

La BTS3900E trabaja a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  en presencia de la radiación solar y  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$  en ausencia de radiación solar. Por otra parte, la BTS3900E soporta un amplio poder de AC, rangos de voltaje de 90 a 290V para satisfacer las necesidades de las zonas con tensión suministro de energía inestable.



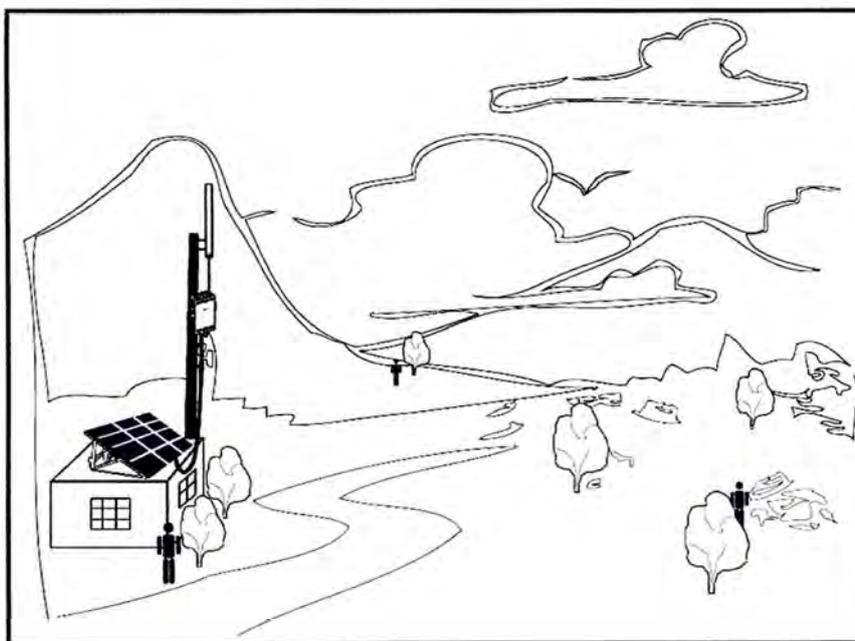
**Figura 3.2** BTS3900E (Fuente: Huawei)

Con un solo módulo, la BTS3900E ofrece la estructura simple y fácil instalación. Por lo tanto, los requisitos para las técnicas de instalación y las herramientas son bajos, y los ingenieros después de recibir entrenamiento simple están calificados para instalar el BTS. La BTS3900E puede tener importantes logros en las áreas rurales donde la demanda de una amplia cobertura no es muy alta (ver Figura 3.3). En la Tabla 3.1 se detallan algunas

características de la femtocelda:

**Tabla 3.1** Especificaciones Técnicas (Fuente:Huawei)

		Especificación		
<b>Banda</b>	Frecuencia de Banda	Banda RX(MHz)	Banda TX(MHz)	
	GSM850	824-849	869-894	
	GSM1900	1850-1910	1930-1990	
<b>Capacidad</b>	Cada módulo soporta 6 portadoras			
	Configuración típica O1 O6			
	Máxima configuración :S666 (tres módulos)			
<b>Potencia de Salida</b>	<b>900 MHz</b>	<b>1800 MHz</b>		
	1TRX: 30W/20W	1TRX: 26W/17W		
	2TRX:15W/10W	2TRX:13W/8.5W		
	3TRX:8W/5W	3TRX:7W/4.7W		
	4TRX:6W/4W	4TRX:5W/3.3W		
	5TRX:3W/2W	5TRX:2.5W/1.6W		
	6TRX:2.5W/1.6W	6TRX:2W/1.3W		



**Figura 3.3** Aplicación rural (Fuente: Huawei)

A continuación se detalla una arquitectura con enlace satelital para poder brindar cobertura a zonas rurales. Para llegar a brindar cobertura celular a esta zona, es necesario llegar con enlace satelital y para reducir el CAPEX se usará la femtocelda BT3900.

### 3.4 Implementación de la Solución

La Figura 3.4 muestra el diagrama de un enlace satelital, lo cual sería necesario para brindar cobertura a las zonas rurales como Limbani. La femtocelda BTS3900E se usará como punto de acceso celular.

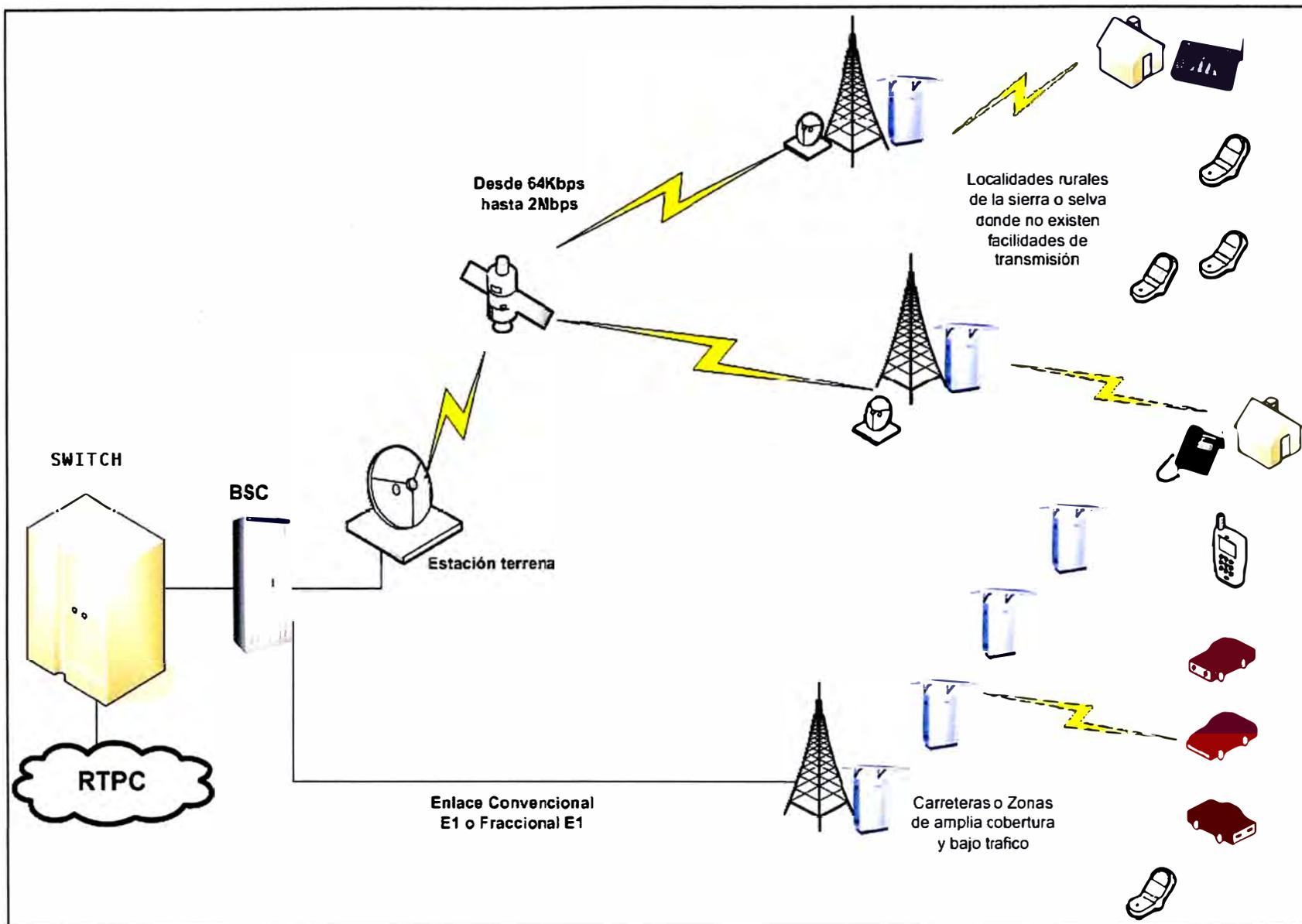


Figura 3.4 Diagrama de Red (Fuente: Empresa Telefónica Móviles)

### **3.5 Procesos de puesta en servicio**

Los tópicos a desarrollar son: Búsqueda, Saneamiento, Obras Civiles, Instalación de equipos RF (Radio Frecuencia), Puesta en Servicio.

#### **3.5.1 Búsqueda**

Es la primera etapa del proceso, su duración dependerá de la zona de búsqueda, para nuestro caso, la búsquedas en zonas rurales el principal factor es en tratar de no ubicarse en zonas arqueológicas, esto generalmente es muy complicado ya que en nuestro país es una zona netamente arqueológica.

#### **3.5.2 Saneamiento**

Es el proceso de negociación con el dueño del inmueble donde se instalara la obra, en las zonas rurales no hay tanta negativa como en las zonas urbanas por los reclamos de los vecinos por no querer cerca la presencia de las BTS.

#### **3.5.3 Obras Civiles**

Este proceso se refiere a la construcción ya sea de un mástiles sobre el techo de un inmueble, una torre o mimetización de las antenas de una estación base, por lo general estos trabajos no generan demoras, mucho menos en el caso de una femtocelda en la que se necesitan adecuaciones mínimas.

#### **3.5.4 Instalación de equipos RF (Radio Frecuencia)**

Se refiere a la instalación de los equipos de radio frecuencia (antenas, bastidores, cableados), generalmente no ofrecen demora.

#### **3.5.5 Puesta en Servicio**

Se refiere a la puesta en servicio de una estación base (comisionamiento-configuración de la BTS), su demora puede darse por la falta de recursos en la inscripción de esta BTS en los elementos de la red.

Después de culminado las obras se informa de esto al área comercial para la impulsación de nuevas líneas de tráfico y así generar el retorno de inversión.

## CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

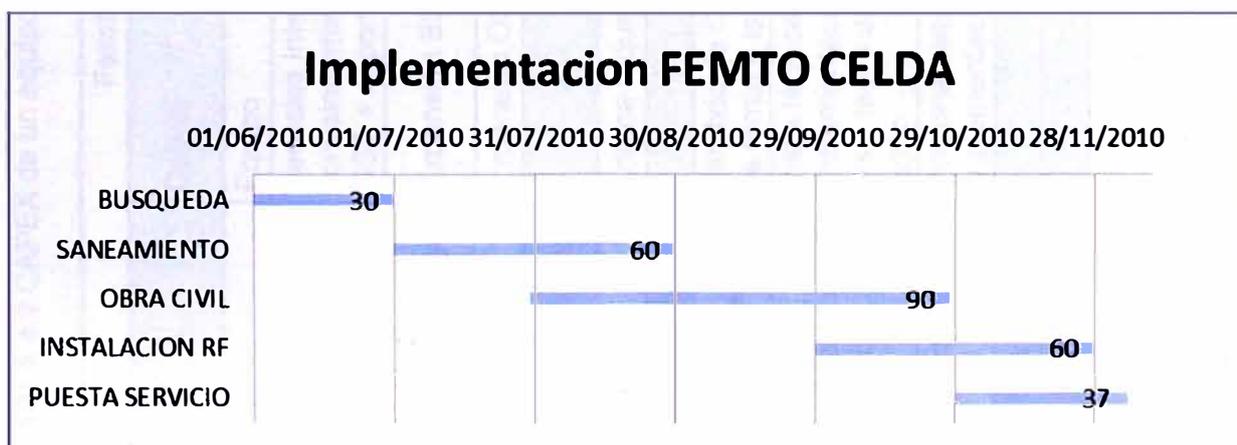
En el presente capítulo se tocan los temas involucrados al Tiempo de Ejecución de la Obra, Costos de Implementación

### 4.1 Tiempo de Ejecución de la Obra

El proceso de poner en servicio una femtocelda es el mismo que un BTS planificada, implica una serie de procesos como la búsqueda, saneamiento (asuntos legales), obras civiles (mínimas), instalación del equipo RF y la puesta en servicio. La Tabla 4.1 muestra los tiempos de ejecución y la Figura 4.1 el diagrama de gantt.

**Tabla 4.1** Tiempos de Ejecución (Fuente: Elaboración Propio)

Tareas	Inicio	Duración	Fin
BUSQUEDA	01/06/2010	30	01/07/2010
SANEAMIENTO	01/07/2010	60	30/08/2010
OBRA CIVIL	30/07/2010	90	29/10/2010
INSTALACION RF	29/09/2010	60	28/11/2010
PUESTA SERVICIO	29/10/2010	37	05/12/2010



**Figura 4.1** Diagrama de Gantt (Fuente: Elaboración Propio)

### 4.2 Costos de Implementación

Los costos para brindar cobertura al Pueblo de Limbani, se basa en el enlace Satelital, es la diferencia con las zonas urbanas en la que se utilizan enlaces de Microondas o de Fibra Optica. A continuación se detalla los montos estimados de CAPEX y OPEX (Tabla 4.2 y Tabla 4.3).

**TABLA 4.2 CAPEX de un equipo FEMTOCELDA 1TRX/2TRX (Fuente: Empresa Telefónica Móviles)**

<b>Femto Celda HUAWEI - Banda 850 y/o 1900</b>			
Descripción	Detalle	Outdoor	
		1 TRX	2TRX
FEMTO	Equipo	1,978	3,956
	Servicios Integración y comisionamiento femto, BSC, OSS + soporte	1,483	1,856
Participación femto BSC (Por TRX)	Expansión BSC	3,349	6,698
	Expansión OSS	636	1,272
<b>Sub TOTAL Equipo femto</b>		<b>7,446</b>	<b>13,782</b>
Antena y Cable	Antena requerida para femto	1,450	1,450
<b>Sub TOTAL Antena</b>		<b>1,450</b>	<b>1,450</b>
Suministros e Instalación	Tendido de Cable desde el punto de femto a la red de datos.	3,296	3,296
Replanteo, puesta en servicio y pruebas.	Visita técnica y diseño de la implementación, pruebas de drive test y de operatividad de la femto.	1,483	1,483
Viáticos: (2 personas por 4 días)	Personal requerido para la implementación	6,593	6,593
<b>Sub TOTAL Instalación</b>		<b>11,372</b>	<b>11,372</b>
<b>TOTAL S/.(Incluye IGV)</b>		<b>20,269</b>	<b>26,604</b>

**TABLA 4.3 CAPEX TOTAL (Fuente: Empresa Telefónica Móviles)**

**FEMTOCELDA**

<b>INVERSIONES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MONTO S/.</b>
	EQUIPO FEMTO (GAFICA ANTERIOR)	20,269
	PACK SATELITAL	19,778
	ACOMETIDA ELECTRICA MAX 1 KM	3,296
	CAMINO DE ACCESO (*)	0
	BUSQUEDA Y SANEAMIENTO	39,556
	INTERCONEXION (Suministro y Servicios IBS)	56,037
	<b>TOTAL INVERSIONES SOLES(INCLUYE IGV)</b>	<b>138,936</b>
<b>GASTOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MONTO S/.</b>
	ARRENDAMIENTO DE ENLACE SATELITAL	9,889
	CONSUMO DE ENERGIA	23,733
	GASTOS DE MANTENIMIENTO	9,889
	ALQUILER ESPACIOS (*)	0
	<b>TOTAL GASTOS ANUALES SOLES(INCLUYE IGV)</b>	<b>43,511</b>

(\*)En las zonas rurales las municipalidades son las que brindan las facilidades de espacios

### 4.3 Participación en el Proyecto:

En el año 2007, Telefónica Móviles brindó cobertura a 365 centros poblados por el concepto de CANON Minero, por compromisos con el MTC y por cobertura/ calidad. La gerencia de Desarrollo Provincia (Interfaz del área de Ventas e Ingeniería de la empresa), se encarga de incentivar la instalación de la señal celular en las zonas que aún siguen sin este importante servicio. La función principal desempeñada fue:

- Coordinación con el área de Planificación para simulaciones de cobertura mediante herramientas informáticas definiendo el punto cero óptimo para diversas coberturas de centros poblados, asegurando la máxima cantidad de centros poblados coberturados.
- Seguimiento para la obtención de licencias y permisos para la construcción y arrendamiento del sitio encontrado-punto de cero (etapa de Saneamiento)
- Seguimiento de las adecuaciones necesarias para la instalación de equipo RF por el área de infraestructura y RF.
- Verificación de la integración de la celda a red, en conjunto con las áreas de transmisión y operaciones.
- Evaluación económica, definiendo las oportunidades económicas que tienen los centros poblados (corredores económicos, estimación de ingresos considerando parámetros como el ARPU).

Coordinación con las autoridades de los pueblos que solicitan cobertura celular así como realizar gestiones para acelerar las instalaciones en estos pueblos.



**Figura 4.2** Participación en el Proyecto

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

1. Se presenta varias alternativas de solución para brindar cobertura, pero se tendrá que elegir la más adecuada dependiendo de la zona a cubrir.
2. Para el inicio de la planificación de un proyecto de cobertura, se deberá tener mapeado las zonas críticas (problemas sociales, burocracias municipales, restos arqueológicos, etc.), de esto dependerá el tiempo de puesta en servicio.
3. Para la búsqueda de punto cero, deberá ser posible un sitio de tal manera que tenga línea de vista con una BTS. En el caso de una femtocelda, ésta deberá instalarse en el centro de la ciudad para brindar cobertura.
4. La selección de los fabricantes de equipos, responde a las características y funcionalidades a implementarse.
5. Las femtoceldas por sus características (bajo CAPEX, y radio cobertura menor comparado con una macrocelda) es la recomendada para zonas de población dispersa.
6. La decisión final de la inversión en una localidad la debe realizar el área comercial quien es la que se encarga de conseguir los abonados.
7. La red GSM tiene mejor desempeño para servicios de voz, para servicios de datos se garantiza velocidades de transmisión bajas. Con el ingreso de la red UMTS se logrará una mejora de calidad de servicio para los usuarios de datos, con esto la red GSM todavía será una red en crecimiento por algún tiempo más.
8. La red GSM tiene las dos principales características que deben poseer los modernos sistemas de comunicación: hacer un uso eficiente del espectro electromagnético y ser económicamente atractiva.

### **Recomendaciones**

1. Se recomienda buscar el apoyo de las autoridades locales para que brinden facilidades en la instalación de la red de acceso.
2. Se recomienda tener un exceso en los costos estimados, ya que estos pueden variar según avanza la implementación de la red.

3. Otra posibilidad de cubrir centros poblados rurales sería con el uso de repetidores de bajo costo.
4. Con el uso de software de predicción, se puede llegar a predecir la cobertura que se tiene con las estaciones base.
5. Se recomienda realizar pruebas a fin de garantizar la cobertura de las áreas de interés.
6. Este informe se deja como base para futuro estudios de impacto social.

**ANEXO A**  
**ESPECIFICACIONES ANTENA COMBA**

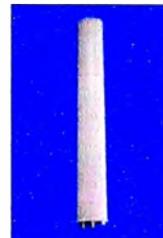
## Outdoor Directional Panel Antenna

ODP-065R18KV

# Comba

### Features and Product Description

- Wide-band design covers 1710-2170MHz
- Continuously adjustable Variable Electrical Tilt (VET).
- Beam-shaped feature Improves the coverage performance.

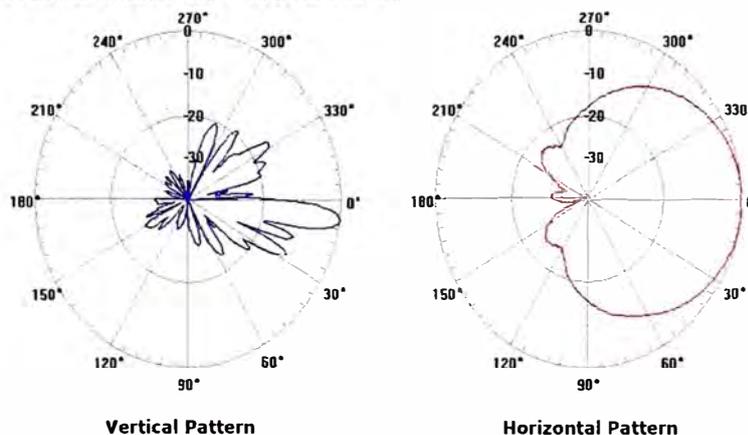


### Technical Specifications

Electrical				
Frequency Range	MHz	1710 - 1880	1850 - 1990	1920 - 2170
Gain	dBI	17.8	18.0	18.2
Polarization	deg	± 45		
Beamwidth	deg	6.5 (Vertical ), 65 (Horizontal)		
1st Upper Sidelobe Suppression	dB	> 18		
Front-To-Back Ratio	dB	> 30		
Cross-polar Discrimination	dB	> 18 (At boresight 0 deg), > 10 (At 60 deg)		
Variable Electrical Downtilt	deg	0 - 10		
VSWR		≤ 1.5:1		
Isolation Between Ports	dB	> 30		
3rd Order IM @ 2 x 43 dBm	dBc	≤ -150		
Maximum Power Per Port	W	500		
Impedance	Ω	50		
Lightning Protection		Direct Ground		
Mechanical				
Dimensions, H x W x D	mm	1310 x 173 x 81		
Weight	kg	10		
Radome Material and Color		UV Resistant PVC, Light Grey, RAL7035		
Mount (Kit)		SJA-B-14C		
Reflector Material		Aluminum		
Connector Type and Location		2 x 7/16 DIN-Female, Bottom		
Operational Temperature	°C	-55 to +70		
Operational Humidity	%	≤ 95		
Survival Wind Speed	km/h	200		
Shipping Dimensions, H x W x D	mm	1520 x 200 x 170		
Shipping Weight	kg	13		

### Antenna Patterns

Radiation patterns taken at 1880MHz with 7° electrical downtilt



**ANEXO B**  
**BROUCHER INSTALACIÓN DE FEMTOCELDA HUAWEI**



BTS3900B GSM  
V300R008

## Installation Guide

Issue: 01  
Part Number: 31504588  
Date: 2009-04-30

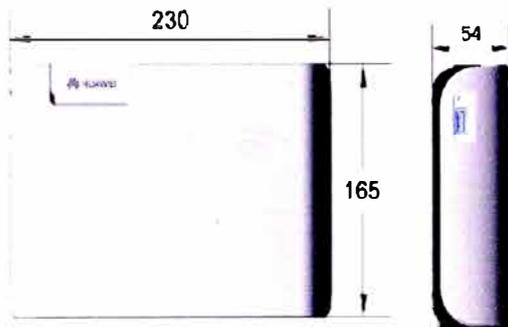
HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.



## Space Requirements (Unit: mm)

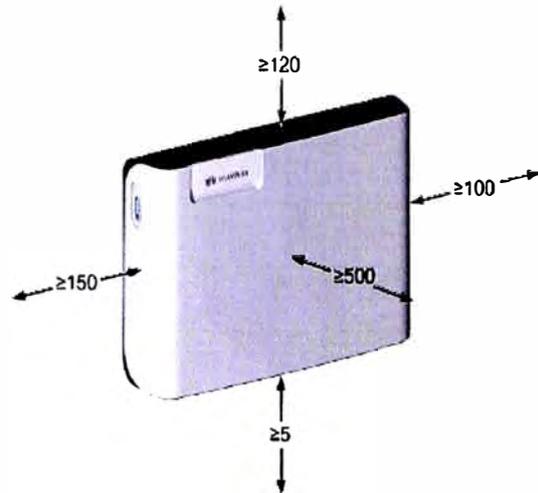
**a**

**Dimensions of the  
BTS3900B**



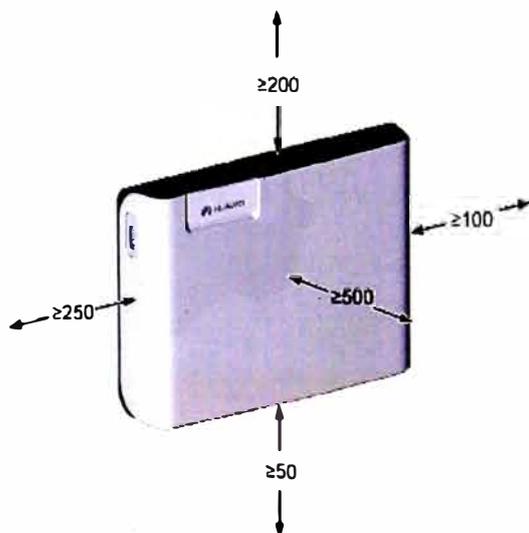
**b**

**Minimum Clearance  
Requirement**



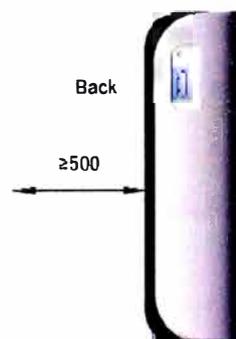
**c**

**Recommended Clearance  
Requirement**



**d**

**Clearance Requirement for the  
Back of the BTS3900B in  
Ceiling Installation Mode**



 **NOTE**

At least 500 mm should be reserved at the back of the BTS3900B in ceiling installation mode.

## Installation Modes

### a Installing the BTS3900B on a Wall (in Separated Mode)



### b Installing the BTS3900B on a Wall (in Integrated Mode)

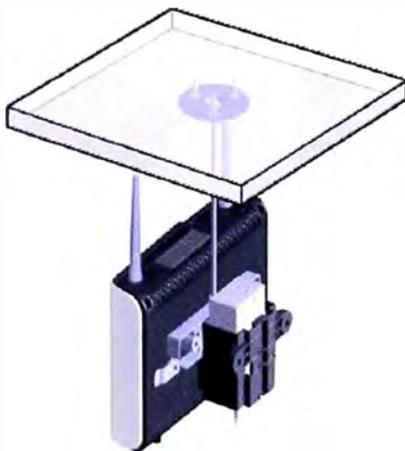


### c Installing the BTS3900B on the Ceiling

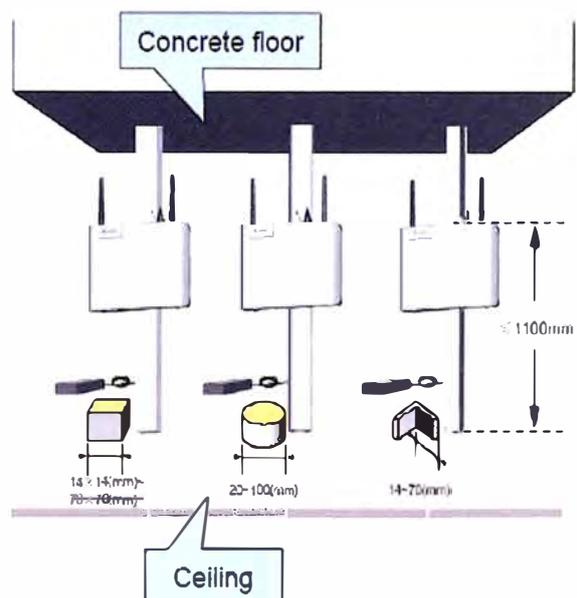


#### NOTE

If the BTS3900B is to be installed on the ceiling, the ceiling must be made of concrete.



### d Installing the BTS3900B Inside the Ceiling Void

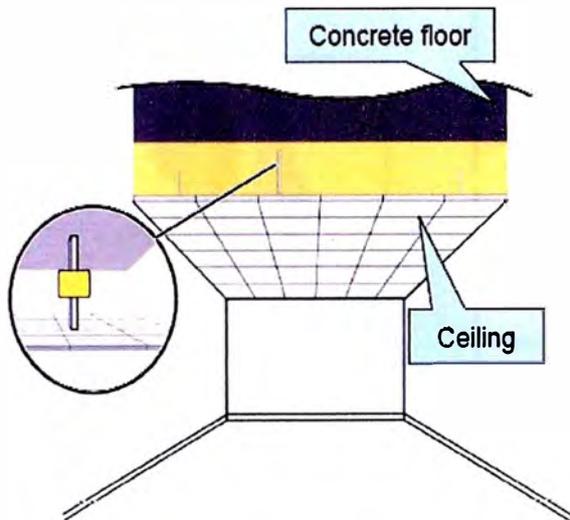


#### NOTE

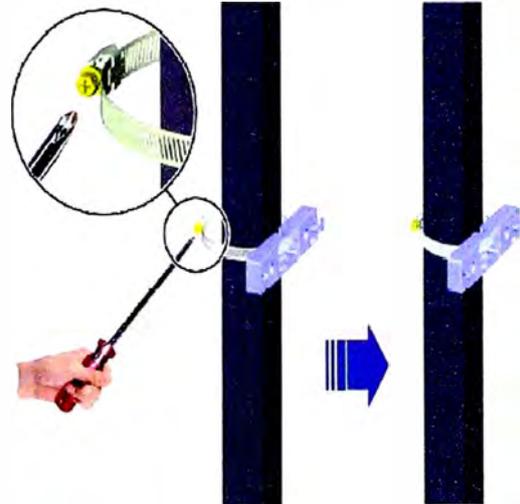
If the BTS3900B is to be installed inside the ceiling, it must be installed on the metal pole between the ceiling and the concrete floor. As shown in the above figure, the BTS3900B can be installed on a square pole, on a round pole, or on an angle steel. In this guide, the description of the BTS3900B installation is based on the installation on a square pole. The procedure for installing the BTS3900B on a round pole or on an angle steel is the same as that for installing the BTS3900B on a square pole.

## Installing the BTS3900B Inside the Ceiling Void

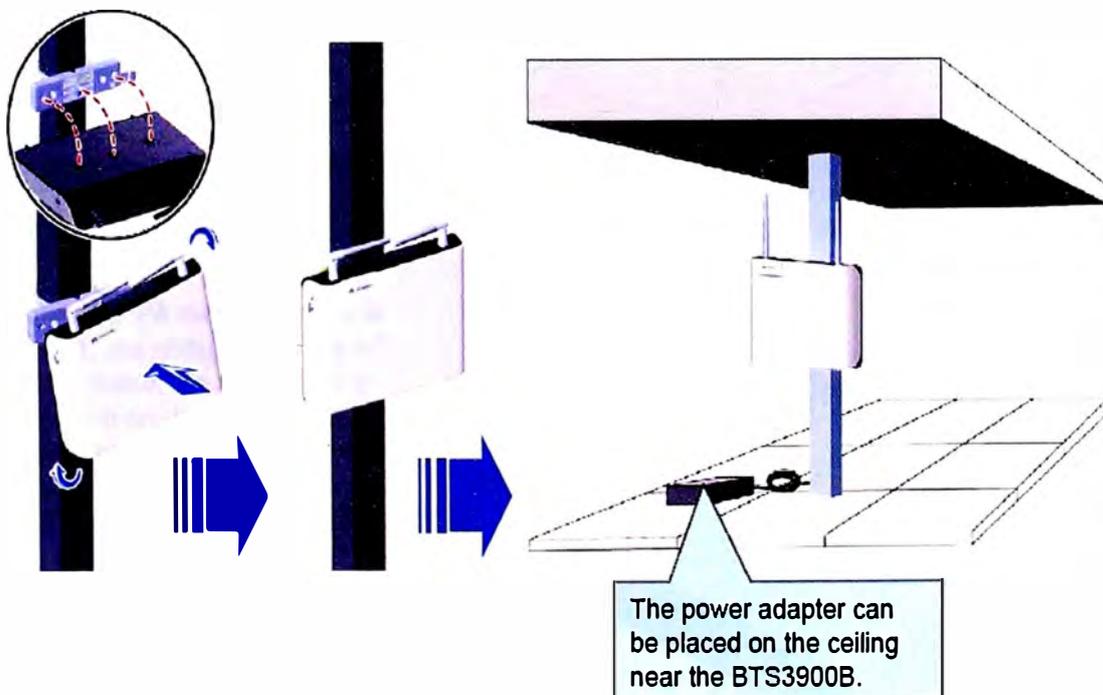
### a Determining the Installation Positions



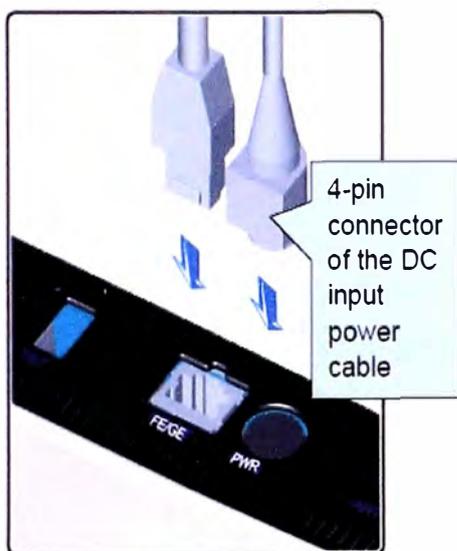
### b Installing the Mounting Piece for the BTS3900B



### c Installing the BTS3900B and Placing the Power Adapter



## Installing the Cables



Cable	Connector	Connect to ...
Straight-through cable	RJ45 connector	FE/GE port
	RJ45 connector	Transmission devices of the user
Power cable	PA connector (male)	Wiring bar for the AC input power cable
	C7 connector (female)	Power adapter
DC input power cable	4-pin connector	PWR port
	The other end is connected to the power adapter	

## Power on the BTS3900B

When the PA male connector is fixed to the wiring bar for the AC power cable, the BTS3900B is powered on. After the BTS3900B is powered on, check the status of the LEDs to decide whether the BTS3900B is properly powered on.



### NOTE

When checking the status of the LEDs, you should open the cover of the LEDs.



**ANEXO C**  
**GLOSARIO DE TÉRMINOS**

AUC	Centro de Autenticación.
AC:	Corriente Alterna
AMPS:	Sistema Telefónico Móvil Avanzado
BTS	Estación Base Celular
CEPT	Conferencia Europea de Administración de correos y Telecomunicaciones.
CDMA:	Acceso múltiple por división de código
DC:	Corriente directa
EIR	Registro de Identificación de Equipo.
Erlang:	Es una unidad adimensional utilizada en telefonía como una medida estadística del volumen de tráfico.
Full Rate	Este canal transporta información a una velocidad de 22.8 Kbps.
GSM	Global System for Mobile communications
GPRS	General packet radio service
GPS:	Sistema de posicionamiento global
Half Rate	Este canal transporta información a una velocidad de 1.4 Kbps.
HLR	Registro de Localización Local.
IMSI	Identificador único en el mundo para un usuario GSM.
MSC	Centro Móvil de Conmutación.
MT3:	Media Tensión 3
OMC	Centro de Operación y Mantenimiento.
PCS	Servicios de Comunicaciones Personal
PIN	Número personal de identificación
QoS	Calidad de Servicio
RF	Radio Frecuencia
ROAMING	Servicio que permite a un usuario de una operadora móvil, registrarse en otra operadora móvil de otro país manteniendo su mismo número y servicios.
SIM CARD	Es la tarjeta que conectada al teléfono móvil te da acceso a la cobertura. La tarjeta vamos.
TDMA	Acceso Múltiple por división de Tiempo.
UTMS	Tercera generación de telecomunicaciones basada en WCDMA-DS.
VLR	Registro de Localización de Visitantes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto Nacional de Estadística e Informática <http://www.inei.gob.pe>
2. OSIPTEL-Organismo Regulador <http://www.osiptel.gob.pe>
3. Curso de GSM en INICTEL <http://www.inictel-uni.edu.pe>
4. Femtoceldas Huawei <http://Huawei.com>
5. Post Grado INICTEL - Comunicaciones Móviles.
6. Fondo de Inversión en Telecomunicaciones <http://www.fitel.gob.pe/>
7. Evolución de los sistemas celulares, [www.mipunto.com](http://www.mipunto.com)
8. Empresa Telefónica Móviles [www.movistar.com.pe](http://www.movistar.com.pe)