



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON
MENCION EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN
TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**“Estudio e investigación de las Femto Celdas para aumentar la
cobertura y capacidad de las redes móviles”**

Previa la obtención del Título de

INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES

CON MENCION EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

ELABORADO POR:

LUIGGINA OÑATE MARTINEZ

DIRECTORA DEL PROYECTO

Ing. María Luzmila Ruilova Aguirre

GUAYAQUIL – ECUADOR

Marzo 2014



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta. LUIGGINA OÑATE MARTINEZ como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

Guayaquil, Marzo de 2014

Ing. María Luzmila Ruilova Aguirre
DIRECTORA

REVISADO POR

Ing. Marcos Montenegro Tamayo

Ing. Juan Carlos López Cañarte

Ing. Miguel Heras Sánchez
RESPONSABLE ACADÉMICO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, LUIGGINA OÑATE MARTINEZ

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Estudio e investigación de las Femto Celdas para aumentar la cobertura y capacidad de las redes móviles”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Guayaquil, Marzo de 2014

LA AUTORA

LUIGGINA OÑATE MARTINEZ



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, LUIGGINA OÑATE MARTINEZ

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del proyecto titulado: “Estudio e investigación de las Femto Celdas para aumentar la cobertura y capacidad de las redes móviles”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, Marzo de 2014

LA AUTORA

LUIGGINA OÑATE MARTINEZ

DEDICATORIA

A mis padres, Luis y Ginna, quienes con su cariño, enseñanzas, confianza y el apoyo incondicional, han hecho que me supere cada día y siga adelante en el transcurso de mi vida. También por velar por mi salud y educación. Y si se me presenta algún problema ellos estarán ahí dándome el apoyo y consejos para superarlo.

A mis hermanos, en especial Daniel y Javier, quienes siempre están a mi lado y son el motivo por seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Ante todo agradezco a Dios por estar conmigo en cada paso que doy y haberme guiado hasta el día de hoy.

A mis padres por darme la fortaleza y el apoyo constante e incondicional a lo largo de toda mi vida, necesario para seguir adelante y ser una mejor persona.

A los profesores que con dedicación y paciencia me brindaron sus conocimientos en el transcurso de mi carrera universitaria.

A los ingenieros con los cuales tuve la oportunidad de laborar junto a ellos durante mi tiempo de pasantías y brindándome de sus conocimientos y experiencias, quienes complementaron mis conocimientos teóricos a lo práctico.

A la familia Valencia Robles, Ing. Manuel Romero y al Ing. Juan Carlos Carriel, quienes con su comprensión y apoyo me dieron fuerzas para culminar este proyecto.

RESUMEN

En la actualidad, el aumento de la demanda de servicios móviles de banda ancha obliga a las operadoras a ofrecer a los usuarios una mayor cobertura, capacidad y calidad de los servicios acorde a los avances tecnológicos aumentando así sus márgenes de rentabilidad.

Para encarar este reto, las operadoras deben elegir la tecnología apropiada. Este trabajo de investigación busca describir, en cuatro capítulos, cómo la tecnología de las Femtoceldas o Small Cells puede ayudar a incrementar la cobertura y capacidad de las redes móviles en el Ecuador. El Capítulo 1 detalla las generalidades, antecedentes, justificación del tema, así como la metodología escogida: efecto-causa –hipótesis. El Capítulo 2 describe el marco teórico con los conceptos más importantes (frecuencia, celdas, redes) y las diferentes evoluciones, tecnologías y arquitecturas de las generaciones de redes móviles. El Capítulo 3 explica qué son las femtoceldas, sus beneficios, normas, especificaciones, referencias y arquitectura con las respectivas configuraciones. Finalmente, el Capítulo 4 menciona la aplicación de la femtoceldas en el país, y los requerimientos mínimos que se deben cumplir para la utilización de esta tecnología.

En resumen este trabajo sustenta los beneficios de trabajar con la tecnología Small Cells tanto para las operadoras como para los usuarios.

Palabras clave: (servicio móvil, small cells, femtoceldas, cobertura, capacidad, tecnología)

ABSTRACT

Nowadays, the increasing demand for mobile bandwidth services requires carriers to offer users greater coverage, capacity and quality to deal with the new services allowed by the technological advances in this area. The better they do this, the more they maximize their profits margins.

In order to face the challenge, operators should choose the appropriate technology. This research aims to describe how Femtocells or Small Cells technology can help to increase the coverage and capacity of the mobile network in Ecuador. This process is studied in four chapters. Chapter 1 presents the general ideas, background and rationale of the topic as well as the research methodology (effect-case-hypothesis). Chapter 2 deals with the theoretical framework for the core concepts (frequency, cells, and network) including the different evolutions, architectures, and technology of the mobile network generations. Chapter 3 broadly explains what femtocells are, their benefits, specifications, references and architecture with the respective settings. Finally, Chapter IV considers the application of small cells technology in the country and the minimum requirements that should be followed to achieve it.

To summarize, this research supports the benefits of working with femtocells technology for both the operators and end-users like cost reduction and network service improvement.

Key words: (mobile service, small cells, femtocells, coverage, capacity, technology)

INDICE GENERAL

CAPITULO I ASPECTOS GENERALES.....	15
1.1 Introducción.....	15
1.2 Antecedentes.....	16
1.3 Justificación.....	17
1.4 Definición del problema.....	17
1.5 Hipótesis.....	17
1.6 Objetivos.....	18
1.6.1 Objetivo General.....	18
1.6.2 Objetivos Específicos.....	18
CAPITULO II REDES MOVILES.....	19
2.1 GENERALIDADES DE LA TELEFONIA MOVIL.....	19
2.1.1 TERMINAL MOVIL.....	19
2.1.2 CELDAS.....	19
2.1.1 REUTILIZACION DE FRECUENCIAS.....	20
2.1.2 TIPOS DE CELDAS.....	20
2.1.3 HANDOVER O HANDOFF.....	22
2.1.4 CRONOLOGIA DE REDES MOVILES.....	23
2.2 PRIMERA GENERACIÓN (1G).....	24
2.2.1 SISTEMA TACS.....	24
2.2.2 SISTEMA AMPS.....	25
2.3 SEGUNDA GENERACIÓN (2G).....	25
2.3.1 CRONOLOGÍA GSM.....	25
2.3.2 ARQUITECTURA GSM.....	26
2.4 TERCERA GENERACION.....	29
2.4.1 UMTS.....	29
2.4.1.1 ARQUITECTURA UMTS.....	30
2.5 CUARTA GENERACION.....	33
2.5.1 LTE.....	33
2.5.1.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE.....	33

CAPITULO III FEMTOCELDAS	35
3.1 DEFINICIÓN	35
3.2 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS	35
3.3 BENEFICIOS	36
3.4 ESPECIFICACIONES DE LAS FEMTOCELDAS	37
3.5 CONVERGENCIA FIJO-MOVIL	37
3.6 ESTANDARIZACION	39
3.6.1 ESTANDARIZACIÓN POR EL 3GPP	39
3.6.1.1 ARQUITECTURA DE RED.....	40
3.6.1.2 ASPECTOS RADIOELECTRICOS	42
3.6.1.3 CONFIGURACIONES	42
3.6.2 NORMAS 3GPP2 CDMA FEMTOCELDAS.....	46
3.7 ARQUITECTURA DE RED FEMTOCELDA.....	47
3.7.1 ELEMENTOS COMUNES DE LA ARQUITECTURA DE RED FEMTOCELL	49
3.7.2 MAQUETAS PARA APOYAR LOS SERVICIOS DE CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS.....	52
3.7.3 INTERFUNCIONAMIENTO CON LAS REDES DE DATOS POR PAQUETES	55
3.7.4 RUPTURA LOCAL	55
3.7.5 SERVICIOS DE EMERGENCIA DE APOYO.....	56
3.8 PERSPECTIVAS DE LAS FEMTOCELDAS	57
3.9 LUGARES DE APLICACIÓN	59
3.10 PRINCIPALES PROVEEDORES DE FEMTOCELDAS A NIVEL MUNDIAL	63
CAPITULO IV APLICACIÓN DE LAS FEMTOCELDAS	65
4.1 PRINCIPALES OPERADORES EN EL PAÍS.....	65
4.2 PLAN NACIONAL DE BANDA ANCHA	66
4.3 BENEFICIOS PARA LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA FEMTOCELDAS EN EL PAIS	67
4.4 REQUERIMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACION DE UNA RED BASADA EN LA TECNOLOGIA FEMTOCELDA.....	69

CAPITULO V CONCLUSIONES	73
5.1 CONCLUSIONES.....	73
5.2 RECOMENDACIONES	74
GLOSARIO	75
BIBLIOGRAFÍA	77

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2. 1 Área geográfica a la que ha de prestarse servicio, cubierta con un grupo de celdas de menor tamaño</i>	20
<i>Figura 2. 2 Tipos de celdas y escenarios</i>	21
<i>Figura 2. 3 Diferentes tipos de cobertura celular en función del tráfico</i>	22
<i>Figura 2. 4 Proceso de transferencia de llamada</i>	22
<i>Figura 2. 5 Paso generacional de la telefonía celular</i>	24
<i>Figura 2. 6 Arquitectura básica GSM</i>	28
<i>Figura 2. 7 Arquitectura de red GSM agrupada por subsistemas</i>	28
<i>Figura 2. 8 Evolución de GSM hacia IMT-2000</i>	30
<i>Figura 2. 9 Arquitectura de red UMTS (Nivel General)</i>	31
<i>Figura 2. 10 Interfaces entre entidades del sistema UMTS</i>	31
<i>Figura 2. 11 Arquitectura del sistema UMTS</i>	32
<i>Figura 2. 12 Elementos de la Arquitectura UMTS</i>	33
<i>Figura 2. 13 Arquitectura de red LTE</i>	34
<i>Figura 3. 1 Modelo de una femtocelda</i>	35
<i>Figura 3. 2 Aplicación de la convergencia fijo-móvil en los diferentes tipos de convergencia</i>	38
<i>Figura 3. 3 Arquitectura de femtoceldas 3GPP</i>	40
<i>Figura 3. 4 Comparación entre el acceso al núcleo de red celular de una estación base convencional y una femtocelda</i>	40
<i>Figura 3. 5 Elementos de la arquitectura de red femtocelda</i>	41
<i>Figura 3. 6 Coexistencia de macroceldas y femtoceldas</i>	46
<i>Figura 3. 7 Componentes comunes de la arquitectura de red femtocelda</i>	50
<i>Figura 3. 8 FSM - Femtocell Service Manager</i>	52
<i>Figura 3. 9 Arquitectura de red femtocelda: Servicio de conmutación de circuito</i>	53
<i>Figura 3. 10 Modelo de red SIP/IMS</i>	54
<i>Figura 3. 11 Modelo de red Legado</i>	55
<i>Figura 3. 12 Ruptura Local</i>	56
<i>Figura 3. 13 Plataforma de servicio de una celda pequeña</i>	58
<i>Figura 3. 14 Componentes relacionados hacia una femtocelda</i>	59
<i>Figura 3. 15 Operación de una Femtocelda Residencial</i>	60
<i>Figura 3. 16 Lugares de aplicación</i>	62

<i>Figura 3. 17 Red de celdas pequeñas hacia una macrocelda</i>	62
<i>Figura 4. 1 Conexión de una femtocelda</i>	72

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2. 1 Cronología GSM</i>	25
<i>Tabla 3. 1 Especificaciones relacionadas con Femtoceldas 3GPP2 y sus referencias</i> .	47
<i>Tabla 3. 2 Principales proveedores de Femtoceldas Residenciales (nivel mundial)</i>	64
<i>Tabla 3. 3 Principales proveedores de Femtoceldas Empresariales (nivel mundial)</i>	64
<i>Tabla 4. 1 Valores de Atenuación</i>	71

CAPITULO I ASPECTOS GENERALES

El aumento de la demanda de servicios móviles de banda ancha obliga a las operadoras a ofrecer a los usuarios una mayor cobertura, capacidad y calidad para soportar los nuevos servicios que los avances tecnológicos en esta área permite y aumentando sus márgenes de rentabilidad. Para encarar estos nuevos retos las operadoras deben elegir la tecnología apropiada y entre esas opciones está la que corresponde a las Femto celdas o Small Cell, las cuales son pequeñas estaciones base, alrededor del tamaño de un libro, desplegables en ambientes residenciales, oficinas o áreas con gran afluencia de público, tales como aeropuertos, centros comerciales, estadios, entre otros, y permiten aumentar la cobertura de las redes móviles mediante una conexión existente de banda ancha. Ofrecen a los usuarios una cobertura y velocidad de transmisión de datos y video con una mejor calidad, utilizando sus mismos dispositivos móviles.

Con esta tecnología sólo se necesita conectar la estación y el cliente podrá seguidamente con su teléfono acceder a atractivos servicios móviles mediante su servicio de telefonía móvil. De esta manera disfrutarán de una amplia variedad de nuevos servicios con su operadora, en una sola cuenta y con su conexión usual.

Este trabajo presenta un estudio de la tecnología de las Femto celdas o Small Cell, para determinar la factibilidad de que puedan ser utilizadas por las operadoras locales para aumentar la cobertura, capacidad y calidad de las redes móviles y de esta manera presentar una posible solución a la poca cobertura y baja calidad del servicio celular en determinadas localizaciones del país.

1.1 Introducción

Los avances tecnológicos producidos en el área de la electrónica y las telecomunicaciones permiten disponer de los elementos necesarios para mejorar la eficiencia con que se ejecutan determinadas actividades del sector productivo en las que la información es uno de los factores más importantes.

En este trabajo de investigación se pretende exponer la tecnología de las Femto celdas, que consisten en pequeñas estaciones base que podrían instalarse en zonas de baja

cobertura debido a la poca rentabilidad que esas áreas ofrecen a las operadoras móviles para la inversión en la instalación de redes de banda ancha. En el Ecuador las grandes ciudades poseen una cobertura celular casi total, sin embargo hay áreas en que se dificulta la recepción y además en determinadas ocasiones en que se produce una gran afluencia de público para asistir a determinados espectáculos o actividades, la pérdida de cobertura aumenta significativamente por falta de capacidad de las celdas celulares correspondientes.

Este problema se incrementa en zonas del país que no han sido atendidas hasta la actualidad y que podrían ser beneficiadas con una tecnología como la que se describe en este proyecto y ser al mismo tiempo rentables para las compañías operadoras.

En nuestro país se ha declarado a las TIC's (Tecnologías de la Información y Comunicación) como un elemento esencial para el desarrollo productivo, lo cual permitiría mejorar los aspectos económicos y sociales de los habitantes de esas áreas actualmente desatendidas y esto solo puede obtenerse mediante un servicio de calidad similar al de las principales ciudades ecuatorianas. La satisfacción del cliente se mide especialmente por factores tales como la cobertura y la calidad de la señal recibida. La tecnología de las Femto celdas permitiría brindar una cobertura total con poca inversión y bajos costos operativos.

1.2 Antecedentes

Pese al crecimiento de las operadoras celulares en el Ecuador, la calidad de servicio que se brinda en determinadas áreas del país y en ubicaciones de gran densidad de tráfico no satisface a los usuarios. La presentación de problemas de falta de cobertura, baja calidad del servicio, pérdidas de llamada, entre otros, son inconvenientes que se presentan a menudo.

Por eso surge la motivación para realizar este trabajo de investigación y presentar una propuesta para la utilización de Femto celdas, considerando que esta tecnología permitirá superar los problemas indicados.

1.3 Justificación

Las femtoceldas frente a los usuarios posee ventajas entre las cuales está la mejora de cobertura dentro de las viviendas-edificios, lo cual es uno de los mayores problemas que encuentra la tecnología 3G puesto que cuando se utilizan con frecuencias altas (como por ejemplo en Ecuador), la señal tiene que ser muy cercana para que atraviese las paredes y salve las interferencias propias de una casa, oficina, edificio, etc., factores que añaden ruido a su señal, bajando su calidad. Además permite menor consumo de batería en los móviles: cuanto mejor sea la cobertura, y menos cambios de estación base en servicio sufra el teléfono móvil, más durará su batería. Es una tecnología que no implica el uso de un teléfono específico.

En cuanto a las operadoras, la utilización de las femtoceldas tiene como ventajas la reducción de la carga-tráfico de sus macro celdas (estaciones base tradicionales), lo que mejoraría la calidad del servicio (velocidad en datos y calidad en voz) al reducirse el número de usuarios dependientes de cada antena, especialmente en zonas de alta densidad de uso (centro de las ciudades, zonas de oficinas. etc.). Evita la necesidad de seguir ampliando el número de estaciones base a pesar de seguir creciendo el número de usuarios de esa red u operadora. Mejora de la calidad entregada dentro de los edificios, lo que significa mejor experiencia para los usuarios de esa marca.

1.4 Definición del problema

La falta de cobertura de las redes celulares en el interior de los edificios, centros comerciales, hogares u oficinas y la creciente demanda de conexiones de mayor capacidad y velocidad por parte de los usuarios, es actualmente limitada por factores de cobertura y calidad de dichas redes celulares.

1.5 Hipótesis

La implementación de la tecnología de las Femto celdas por parte de las operadoras del servicio celular en nuestro país permitiría brindar una mejor cobertura y calidad para los usuarios de este tipo de servicio sin mayores costos de inversión en la instalación y bajos costos de operación.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Realizar un estudio que permita la presentación de una propuesta para la implementación de la tecnología de las Femto-celdas por parte de las operadoras del servicio celular en el Ecuador para aumentar cobertura y capacidad de la red.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Explicar los conceptos de redes 2G y 3G
- Desarrollar un estudio acerca de la cobertura y calidad del servicio celular en nuestro país e identificar las principales dificultades en las redes de banda ancha móvil.
- Presentar las características de las Femto celdas
- Elaborar una propuesta para la implementación de esta tecnología en el Ecuador

CAPITULO II REDES MOVILES

2.1 GENERALIDADES DE LA TELEFONIA MOVIL

2.1.1 TERMINAL MOVIL

El terminal móvil es el que los usuarios utilizan para establecer comunicación. Es un dispositivo que permite la transmisión y recepción de voz y de datos, los cuales están conectados a una red. El terminal al ser encendido se comunica periódicamente a la estación base más cercana, es decir a la que le da cobertura en el área donde se encuentra. De esta manera, cuando el usuario quiera comunicarse, el terminal se conecta directamente con la estación base que da cobertura a ese sector, y de esa manera si el usuario con el terminal se encuentra en movimiento se va enganchando con la estación base del sector que se encuentre.

2.1.2 CELDAS

Referente a lo que menciona Figueroa (2008), una celda es el área de cobertura donde se desea prestar un servicio. En cuanto a la forma y tamaño de ellas va a depender de ciertos parámetros tales como potencia de transmisión, ambiente de propagación y ganancia de la antena.

El conjunto de varias celdas se denomina red de celdas, las cuales poseen su propia estación base. Este conjunto de celdas son usadas para cubrir un área más grande para tener mayor cobertura que el de una.

En la figura 2.1 se muestra un esquema del área geográfica a la que ha de prestarse servicio, cubierta con un grupo de celdas de menor tamaño.

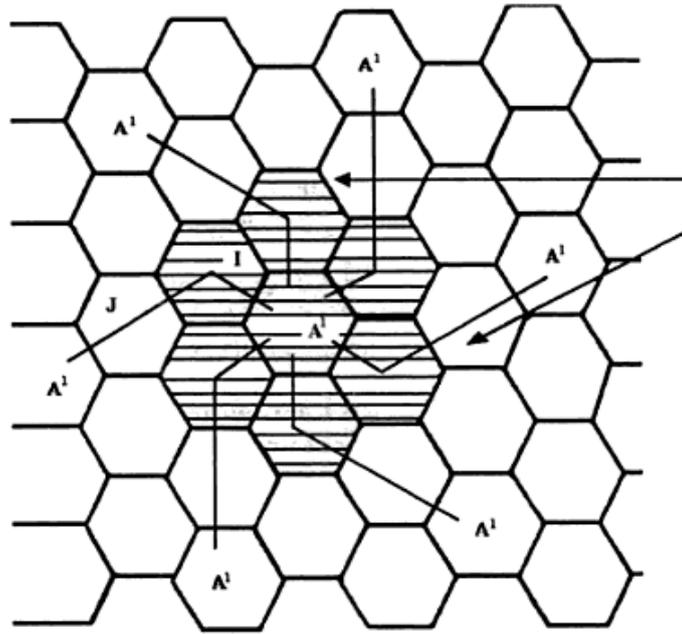


Figura 2. 1 Área geográfica a la que ha de prestarse servicio, cubierta con un grupo de celdas de menor tamaño

Fuente: (Munoz Rodriguez, 2002)

2.1.1 REUTILIZACION DE FRECUENCIAS

Dependiendo de las tecnologías y de las condiciones de propagación, las frecuencias que se usan en una celda podrán o no usarse en las celdas vecinas. El término de reuso de frecuencias quiere decir que para cubrir diferentes aéreas separadas se puede usar la misma frecuencia portadora de una celda con el fin de aumentar la capacidad de las redes móviles, pero eso sí, debe tener una distancia considerablemente suficiente para que no haya interferencia co-canal o que sea mínima.

2.1.2 TIPOS DE CELDAS

Existen distintos tipos de celdas debido al tamaño de la población, al tráfico de voz y/o datos. Por eso el tamaño de celdas va variando dependiendo del área de cobertura. Entre los cuales están las megaceldas, macroceldas, microceldas, picoceldas.

- Megaceldas: estas celdas son de amplia cobertura, donde el tráfico es demasiado poco y ocasional. Su rango de cobertura es mayor a 35km.

- Macroceldas: estas celdas son para áreas con población dispersa, ambientes urbanos pocos densos.
- Microceldas: estas celdas abarcan un área intensa, un ambiente densamente poblado.
- Picoceldas: estas celdas se usan en ambientes urbanos intensos.

Los diferentes tipos de celdas y los diferentes escenarios en los que se aplica cada tipo de celdas se puede apreciar en la figura 2.2

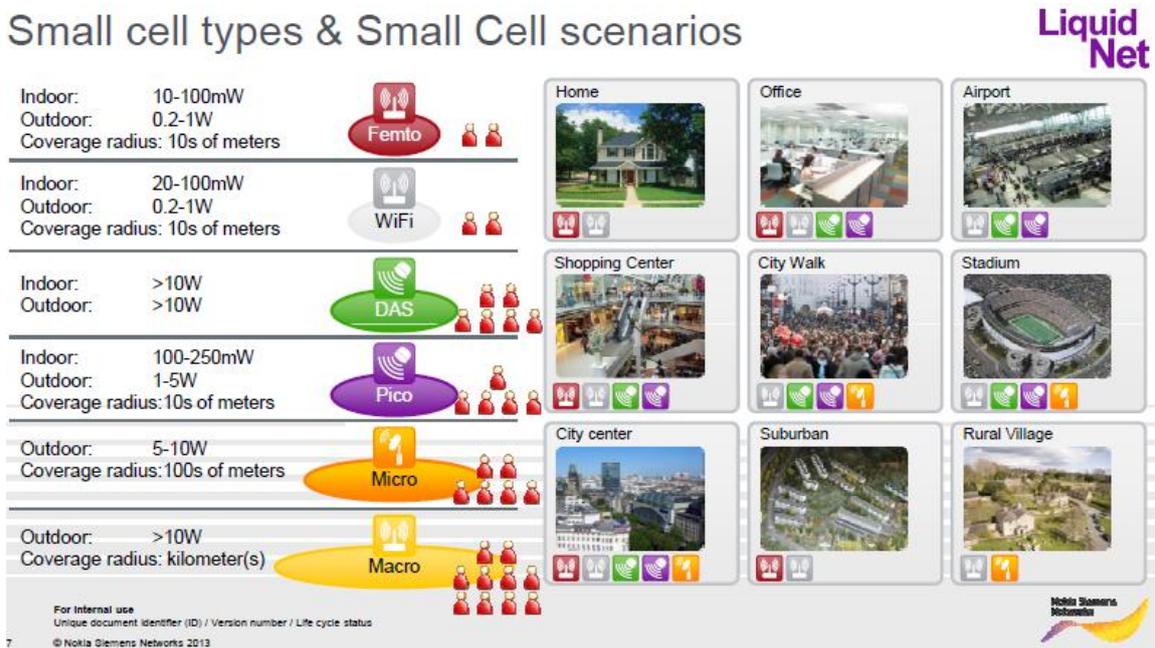


Figura 2. 2 Tipos de celdas y escenarios

Fuente: (Taípe Echeverría, 2013)

Los diferentes tipos de cobertura celular en función del tráfico se pueden apreciar en la figura 2.3.

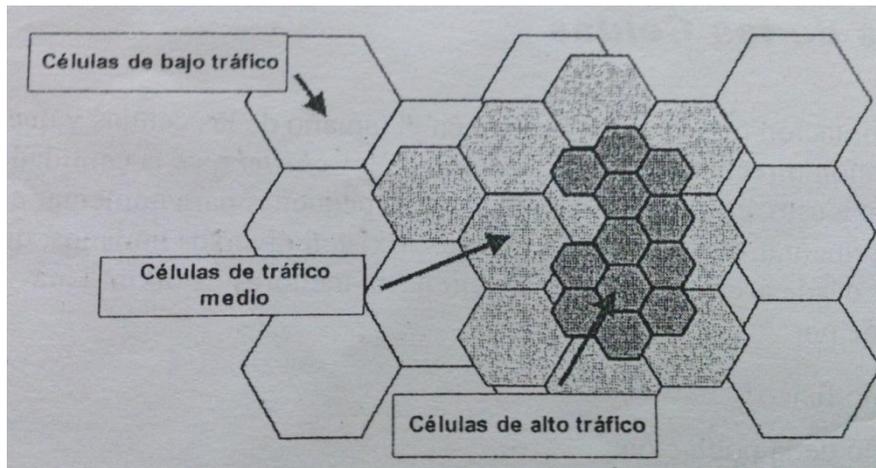


Figura 2. 3 Diferentes tipos de cobertura celular en función del tráfico

Fuente: (Figuroa de la Cruz, 2008)

2.1.3 HANDOVER O HANDOFF

El termino *handover* es cuando el usuario se encuentra en el área de cobertura de una celda y este comienza a estar en movimiento y al pasar del área de cobertura de dicha celda se engancha a la siguiente para seguir conectado, el terminal siempre va a permanecer en una sola celda, sino que al desplazarse necesariamente necesita cambiarse de celda.

En el texto de Figuroa (2008) comenta que *handover* o *handoff* es el método en que dos radiobases intercambian la asistencia de servicios a un cliente, por ejemplo cuando en una llamada el equipo móvil se va fuera del alcance y la recepción es débil, la célula pide un *handover* (Figuroa de la Cruz, 2008). Este proceso de transferencia de llamada se muestra en la figura 2.4.

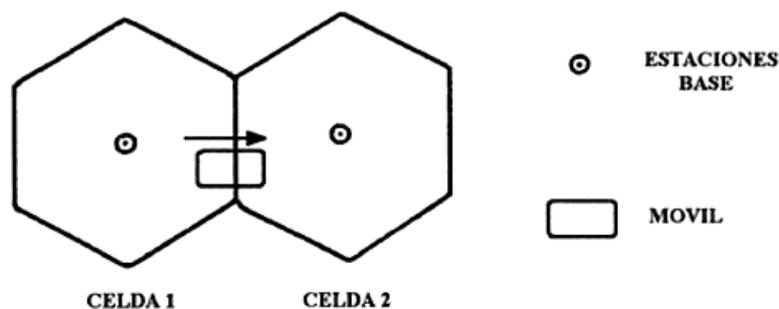


Figura 2. 4 Proceso de transferencia de llamada

Fuente: (Munoz Rodriguez, 2002)

2.1.4 CRONOLOGIA DE REDES MOVILES

Desde que empezó a desarrollarse la telefonía celular, han aparecido diversos sistemas gracias a la evolución tecnológica que hoy en día se vive. Para llegar a este gran avance, se debe tomar en cuenta cómo ha ido evolucionando este sistema inalámbrico.

Según el texto de Figueroa de la Cruz (2008), menciona que el principio de las comunicaciones inalámbricas sucedió cuando Marconi logro transmitir su voz a través del Océano Atlántico en 1901. Desde ese momento se ha experimentado un gran crecimiento, que al transcurso del tiempo surgieron varios acontecimientos que han sido mejorados, incrementados y evolucionados.

Sería conveniente detallar algunas características de los diversos sistemas que han surgido durante el desarrollo de las redes móviles. Los servicios de radio móvil se han usado durante aproximadamente 80 años, cuando el Departamento de Policía de Detroit empezó a usar radios en sus patrullas, utilizando una banda de frecuencia de 2 MHz.

Después de varias investigaciones en 1946, *Bell Telephone Labs* inaugura el primer sistema móvil para el público en St. Luis, cuyo nombre fue *Mobile Telephone Service – MTS*. Este servicio era muy limitado, debido al número de canales y el ancho de banda que eran demasiado reducidos. En 1970, la compañía AT&T diseña y prueba un sistema que hace un uso más eficiente del espectro de frecuencia útil. El Comité Federal de Comunicaciones (FCC) otorga en el año 1975 a la compañía AT&T la primera licencia para operar un servicio de radio celular en la ciudad de Chicago: el sistema AMPS, que sus siglas en español significa Servicio Avanzado de Telefonía Móvil.

En un principio surgieron sistemas donde cada país lanzó su propio sistema, incluso en algunos casos hasta más de uno. Con diversos sistemas aparecieron diferentes problemas, como la potencial demanda de servicios móviles fue mayor que la capacidad esperada y sobretodo un problema era que estos no brindaba una compatibilidad para los usuarios debido a las diferentes formas de operación. Con esto, los nuevos sistemas deben cumplir requisitos establecidos y ser compatibles entre sí.

Para tener un conocimiento de las comunicaciones móviles celulares se requiere instruirse sobre la evolución que han tenido desde el nacimiento de la primera generación (1G) pasando por la segunda y tercera generación hasta llegar a la cuarta generación (4G) que hoy en día se habla. En la figura 2.5 se puede observar el paso generacional de la telefonía celular.

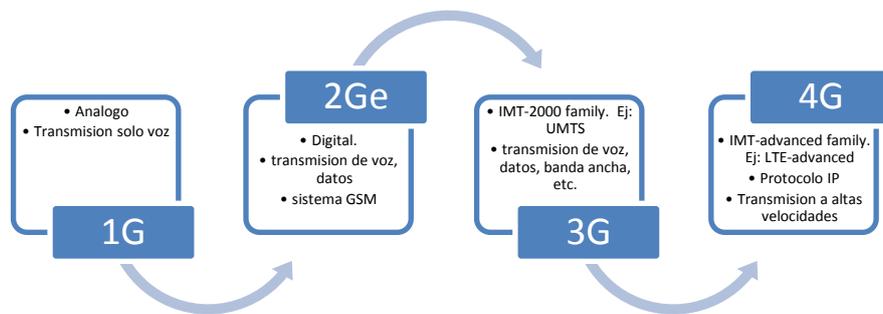


Figura 2. 5 Paso generacional de la telefonía celular

Fuente: (Agusti, Bernardo, Casadewall, Ferrus, Perez, & Sallent, 2010)

2.2 PRIMERA GENERACIÓN (1G)

La primera generación de los sistemas de comunicación apareció alrededor de los años 80, para ese entonces ya existían varias redes de radios móviles, pero estas no eran sistemas celulares, estas se basaban básicamente en una sola antena con el número limitado de canales que había disponibles que intentaban dar servicio a todos sus abonados.

En esta generación se empleó técnicas analógicas de transmisión, con sus servicios limitados. Un sistema que apareció fue el NMT-450, basado en una especificación que realizaron conjuntamente las administraciones telefónicas nórdicas. Funciona en la banda de 450 MHz. Posteriormente en Estados Unidos y Reino Unido aparecieron las normas TACS y AMPS, muy similares entre ellas, funcionaban en la banda de 900 MHz. También NMT tuvo otra variante NMT-900 que usaba la banda de 900 MHz.

2.2.1 SISTEMA TACS

TACS es un sistema celular analógico de lo que se denomina primera generación, similar al AMPS norteamericano (Sedin Escalona, 2004).

Este sistema tiende exclusivamente a la transmisión de voz, cuya única función era conceder la movilidad al sistema telefónico tradicional.

2.2.2 SISTEMA AMPS

AMPS es un sistema de telefonía móvil de lo que se denomina primera generación. Este sistema divide el espacio geográfico en una red de celdas o simplemente celdas.

2.3 SEGUNDA GENERACIÓN (2G)

A partir del grupo de sistemas que evolucionaron hacia el empleo de técnicas digitales para realizar transmisiones, surge el nombre de segunda generación. Las redes de la segunda generación presentan mucha mayor capacidad con respecto a la primera.

2.3.1 CRONOLOGÍA GSM

Según Sedin (2004) la cronología del desarrollo GSM se puede esquematizar de la siguiente manera detallada en la tabla 2.1:

1982	Surgimiento del GSM
1986	Creación del núcleo permanente del grupo GSM en Paris
1987	Se definen las técnicas de radiotransmisión
1989	Gsm se convierte en comité técnico del ETSI
1990	Estándar GSM 900 fase 1 concluye. Estándar DCS 1800 aparece a petición de Renio Unido para las futuras redes PCN
1991	Comienza a funcionar los sistemas GSM. Concluye el sistema DCS 1800
1992	A nivel mundial arrancan operaciones de los operadores europeos

Tabla 2. 1 Cronología GSM

Fuente: (Sedin Escalona, 2004)

A criterio de Figueroa de la Cruz (2008) en esta generación es donde se logró dividir un canal de frecuencia para ser utilizado simultáneamente por varios usuarios, debido a técnicas digitales de división por tiempo o por código.

2.3.2 ARQUITECTURA GSM

La arquitectura del sistema GSM está organizada en subsistemas, componentes e interfaces, el sistema tiene tres subsistemas: la estación móvil, el estación base y de conmutación, todos estos subsistemas intercambian datos mediante interfaces.

Sedin (2008) menciona que entre las interfaces más representativas del sistema GSM esta:

- Interfaz A o interfaz de línea
- Interfaz Abis (transparente al operador)
- Interfaz Um o interfaz radio

La estación móvil se comunica con el subsistema de estación base mediante el interfaz llamado radio y este con el sistema de conmutación mediante el denominado interfaz línea.

La estación móvil (MS – *Mobile Station*) en otras palabras es el terminal que usa un usuario. El MS debe poseer una tarjeta SIM, la cual con ella se identifica y se asocia a que usuario pertenece. La tarjeta SIM es el módulo de identificación del abonado.

Entre el subsistema de estaciones bases (BSS – *Base Station Subsystem*) se encuentra un controlador de estaciones bases (BSC – *Base Station Controller*) y un transceptor de estaciones bases (BTS – *Base Transceiver Station*).

La BTS posee antenas que da cobertura a lo que se conoce como celda, entre las funciones se tiene al procesamiento de señales a la interfaz aérea, búsqueda de estaciones móviles.

El BSC es en el cual se ejecuta la supervisión, control de las BTS, el cual también ejerce la gestión de canales de radio, la gestión de traspaso, corrección de errores.

En la Tabla 2.2 se detallan las funciones de BSC y BTS.

Función	Responsable
Gestión de los canales de radio	BSC
Gestión de los canales de red fija	BSC
Gestión del traspaso	BSC
Medidas de trafico	BSC
Autenticación	BSC
Registro de localización y actualización de la localización	BSC
Salto de frecuencia	BSC/BTS
Encriptado y desencriptado	BSC/BTS
Paging (búsqueda)	BSC/BTS
Codificación y decodificación del canal	BTS
Adaptación de velocidad	BTS
Medida de señal en enlace ascendente	BTS

Tabla 2.1 Funciones de BSC y BTS

Fuente: (Sedin Escalona, 2004)

El subsistema de conmutación de red (NSS – *Network Switching Subsystem*) se basa en la gestión de las comunicaciones entre usuarios. El NSS está conformado por varias entidades:

- MSC.- Centro de conmutación de servicios móviles
- VLR.- Registro de localización de visitantes
- HLR.- Registro de localización de origen
- EIR.- registro de Identidad del Equipo
- AUC.- Centro de autenticación
- GMSC.- Gateway MSC

En la figura 2.6 se muestra la Arquitectura básica GSM.

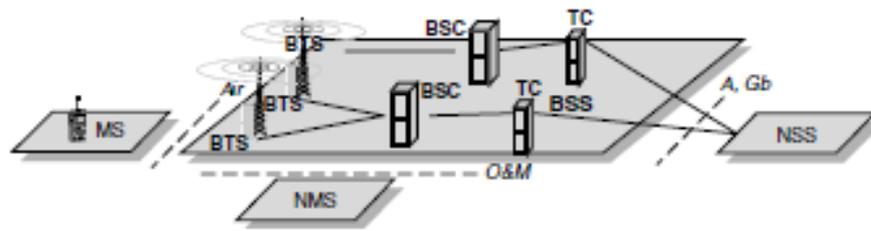


Figura 2. 6 Arquitectura básica GSM

John.Wiley.Sons (2005)

La Arquitectura de red GSM agrupada por subsistemas se puede observar en la figura 2.7.

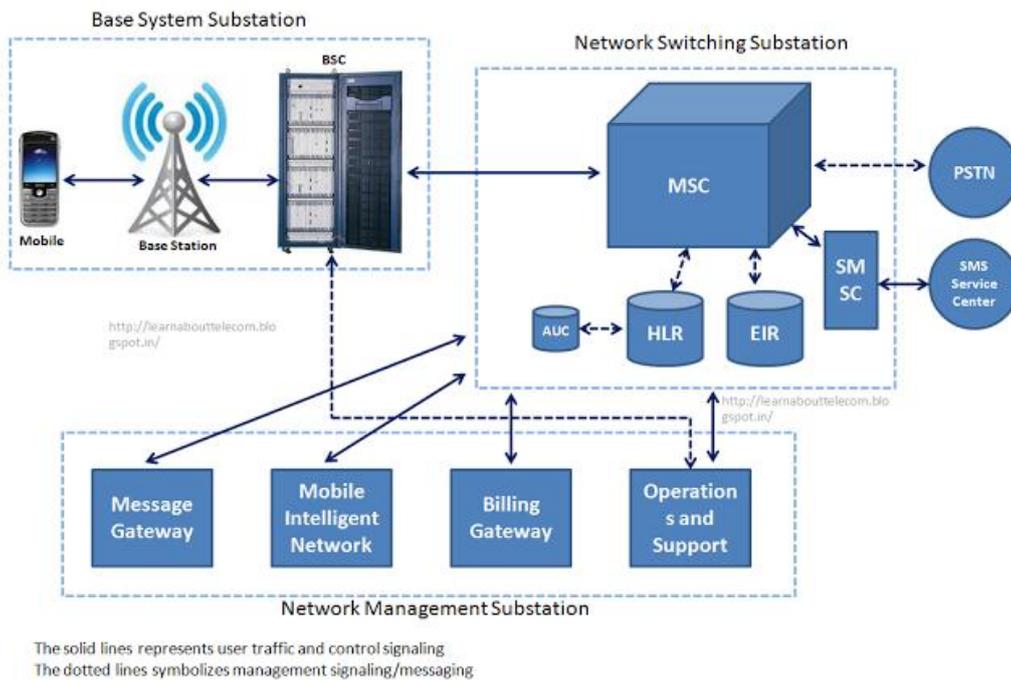


Figura 2. 7 Arquitectura de red GSM agrupada por subsistemas

Fuente: (Telecom Basics for Non-Techies.)

2.4 TERCERA GENERACION

Para las generaciones antes de la tercera, su fin principal es de dar soporte a comunicaciones de voz mayormente, pero también en transmitir datos con una baja velocidad. La demanda de usuarios a lo largo del tiempo va aumentando, por ende la transmisión de voz y datos. Es por esto una de las principales razones que conllevó a crear esta tercera generación para aumentar la capacidad y velocidad de transmisión de datos.

2.4.1 UMTS

El Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal conocido más por sus siglas en inglés UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), es un estándar europeo que surgió para ofrecer servicios multimedia y permitir navegar por Internet con una velocidad teórica máxima de 2Mbps, que permite crear una amplia gama de servicios.

IMT- 2000

Referente a lo que se menciona en la página de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), la IMT-2000 surgió a mediados de la década 1980 para proporcionar especificaciones técnicas para los sistemas de tercera generación. IMT-2000 tuvo la colaboración de varias entidades tales como UIT-R, UIT-T, 3GPP, 3GPP, UWCC, entre otras.

Este sistema prevé una plataforma para la distribución de servicios fijos, móviles, de voz, datos, Internet y multimedia convergentes.

Entre las visiones de este sistema es proporcionar itinerancia mundial. IMT-2000 proporcionará mayores tasas de transmisión: una velocidad mínima de 2 Mbps para los usuarios fijos o en movimiento, y 384 kbps en un vehículo en movimiento. También se encuentra la utilización más eficiente del espectro disponible y la flexibilidad para permitir la introducción de nuevos servicios y tecnologías. Esta evolución de GSM hacia IMT-2000 se detalla gráficamente en la figura 2.8.

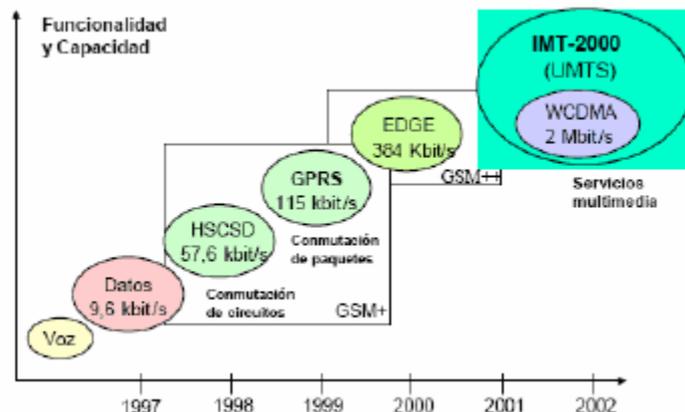


Figura 2. 8 Evolución de GSM hacia IMT-2000

Fuente: (Universidad de Castilla - La Mancha. Departamento de Sistemas Informaticos.)

En la tabla 2.3 se muestran los rangos de utilización del sistema UMTS

RANGOS DE UTILIZACION DEL SISTEMA UMTS	
Velocidad	Movilidad de aplicación
De 144 a 384 kbps en entornos rurales De 384 a 512 Kbps en entornos urbanos 2000 Kbps en edificios o zonas de negocios	500 km/h transportes de alta velocidad 120 km/h transporte por carretera 10 km/h entornos locales de negocio

Tabla 2.2 Rangos de Utilización del sistema UMTS

Fuente: (Tecnico en Telecomunicaciones, 2005)

2.4.1.1 ARQUITECTURA UMTS

UMTS manifiesta una arquitectura en la que posee tres elementos principalmente, el equipo de usuario (UE – *User Equipement*), Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS (UTRAN – *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) y la red central (CN – *Core Network*). Esta arquitectura de red UMTS se presenta en la figura 2.9.

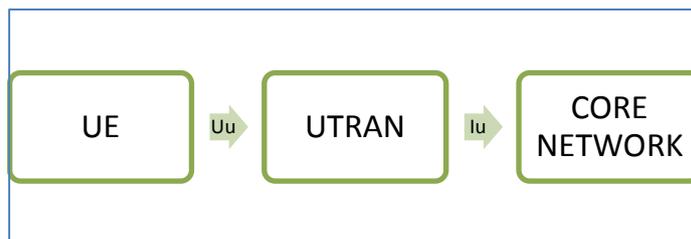


Figura 2. 9 Arquitectura de red UMTS (Nivel General)

Fuente: (Willey & Sons, UMTS - The Fundamentals, 2003)

Sedin (2008) menciona que entre las interfaces más representativas del sistema UMTS esta:

- Uu.- interfaz entre el Nodob y el usuario
- Iub.- interfaz entre el Nodob y la RNC
- Iur.- interfaz entre las RNCs
- Iu.- interfaz entre RNC y la Red Central

En la figura 2.10 se pueden apreciar las interfaces entre entidades del sistema UMTS

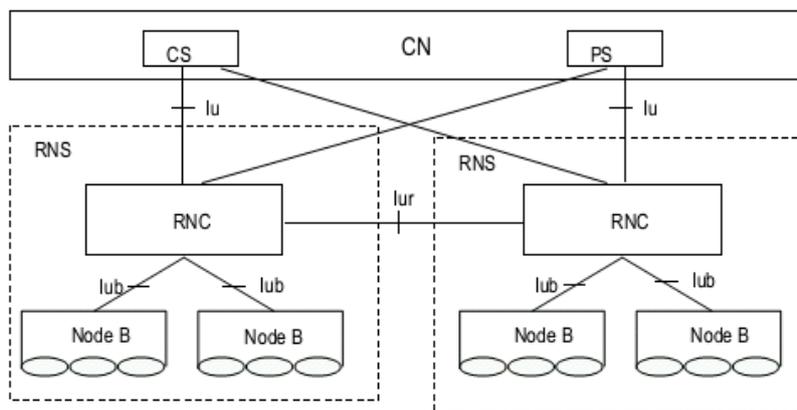


Figura 2. 10 Interfaces entre entidades del sistema UMTS

Fuente: (Willey & Sons, UMTS - The Fundamentals, 2003)

Y la arquitectura del sistema UMTS se presenta en la figura 2.11.

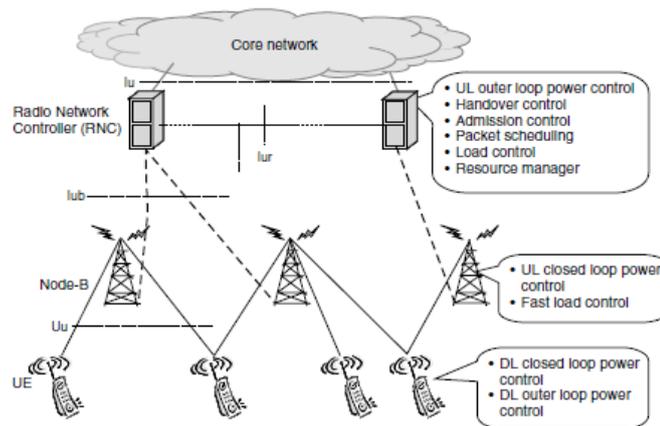


Figure 2.8 UMTS system architecture

Figura 2. 11 Arquitectura del sistema UMTS

Fuente: (Wiley Sons, 2005)

En base a Figueroa (2008), el equipo de usuario (UE), también llamado el terminal, es el equipo que el usuario trae consigo para lograr la comunicación con una estación base en cualquier momento y en el lugar donde exista cobertura. El móvil debe estar preparado para soportar el estándar y protocolos. Y por ende, el móvil lleva la tarjeta USIM, la cual es la identidad del usuario y posee algoritmos de autenticación y encriptación.

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

El RNC controla a uno o varios Nodos B. El RNC se conecta con el MSC mediante la interfaz IuCS o con un SGNS mediante la interfaz IuPs.

El Nodo B es igual al BTS de GSM, solo que en UMTS se lo denomina Nodo B. El Nodo B puede dar servicio a una o más células. Entre las funciones que ejecuta el Nodo B se tiene la implementación lógica de operación y mantenimiento, transmisión de los mensajes de información del sistema.

La CN establece múltiples comunicaciones entre los sistemas de conmutación y encaminamiento. En base a lo que comenta Wiley (2004), el núcleo de red también incluye bases de datos que se usan para la gestión de la movilidad, la gestión de usuarios y la facturación. Los elementos de la arquitectura UMTS se muestran de una manera detallada en la figura 2.12.

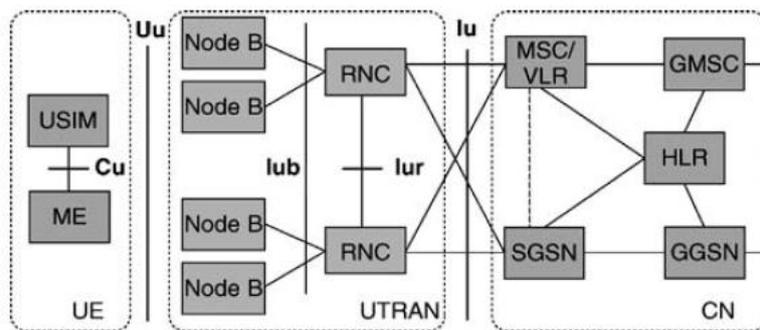


Figura 2. 12 Elementos de la Arquitectura UMTS

Fuente: (Wiley & Sons, WCDMA FOR UMTS, 2004)

2.5 CUARTA GENERACION

Esta generación aparece por los servicios multimedia que necesitan mayor velocidad que va hasta los 10Mbps. La cuarta generación complementará a la tercera generación, no a sustituirla. Debido al crecimiento de la demanda de servicios de datos y aplicaciones con mayor capacidad se vio la necesidad de proceder a crear esta nueva generación denominada 4G.

2.5.1 LTE

La 3GPP diseñó este sistema con el fin de aumentar las capacidades que brindaban los sistemas anteriores. LTE es el primer sistema que brinda sus servicios basados en el protocolo IP.

2.5.1.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE

El sistema LTE está constituido por tres elementos principales: el equipo de usuario, la red de acceso evolucionada (E-UTRAN) y la red troncal (EPC - *Evolved Packet Core*).

Como ya se sabe el equipo usuario es el dispositivo por el cual el usuario accede a los diferentes servicios que ofrece el proveedor de servicio. La interfaz por el cual se conectará es la de radio.

Referente a lo que menciona Sesia y otros (2009), la red de acceso está constituida por el eNB (*evolved NodeB*), el cual es un elemento de red que constituye la estación base de la E-UTRAN. Entre las funciones que ejecutan los eNBs se encuentra la gestión de recursos de radio, conectividad con la red troncal EPC y seguridad en la interfaz radio.

La red troncal tiene como responsabilidad brindar un servicio de conectividad IP para permitir el acceso a las distintas redes externas y plataformas de servicios como IMS (*IP Multimedia Subsystem*). Esta red troncal posee entidades como el MME (*Mobility Management Entity*), el S-GW (*Serving Gateway*) y el P-GW (*Packet Data Network Gateway*), además de estas entidades también se encuentran el HSS (*Home Subscriber Server*) y el PCRF (*Policy Control and Charging Rules Function*). La arquitectura de red LTE se muestra en la figura 2.13.

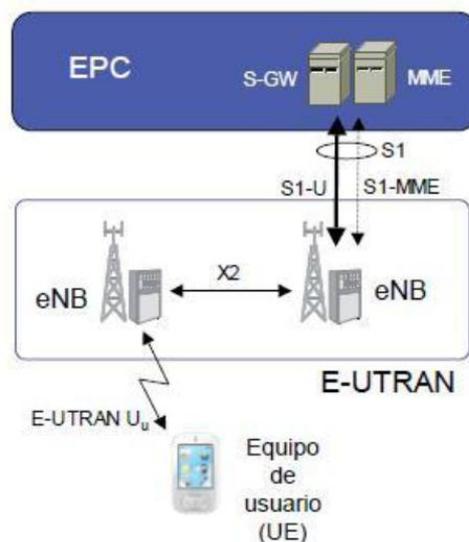


Figura 2. 13 Arquitectura de red LTE

Fuente: (Agusti, Bernardo, Casadewall, Ferrus, Perez, & Sallent, 2010)

CAPITULO III FEMTOCELDAS

3.1 DEFINICIÓN

Una femtocelda se puede asociar a un router en la apariencia física, tal cual se aprecia en la figura 3.1. Es un punto de acceso inalámbrico de baja potencia y permite controlar la conexión de los dispositivos móviles con la red del operador a través conexiones de banda ancha, mejorando el servicio de voz y datos dentro de una cobertura máxima de radio de unos 10 metros aproximadamente.



Figura 3. 1 Modelo de una femtocelda

Fuente: (Huawei Technologies Co., 2008)

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

3.2 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

Las femtoceldas son dispositivos de baja potencia de transmisión, el cual permite una reducción de las interferencias, y también gracias a que la distancia entre este dispositivo y el usuario es mínima en comparación a que se conecte con una macro celda, este hace que el terminal de usuario reciba una mayor potencia.

Esta tecnología debido a que tiene bajo número de usuarios permite que ellos gocen de una mejor y mayor calidad de servicio

Según Núñez (2011), posee las siguientes características:

- Enlace estándar vía radio de 2G o 3G, y próximamente LTE.
- Cambio automático entre macro celda y femtocelda.
- Direccionamiento de voz y datos por el enlace de banda ancha.
- Número máximo de equipos móviles con enlace simultáneo: diseño típico 2÷4
- Para domicilios, 8÷16 para empresas podría llegar hasta 32.

3.3 BENEFICIOS

El beneficio principal de este dispositivo es el aumento en la cobertura y capacidad de las redes, por lo que al realizar la transmisión de voz y/o datos, utilización de servicios multimedia a una alta velocidad. Esto genera una mejora a la calidad de la señal y reduce el tráfico en la macroceldas de una población densa.

Entre los beneficios que una femtocelda posee, Huidobro (2009) menciona que «Esta tecnología permite la fácil sustitución de la telefonía fija por la móvil y produce un ahorro de costes para los operadores». Esta reducción de costos beneficia tanto a los proveedores como a los usuarios.

Con la aplicación de las femtoceldas acabaría la necesidad de instalar nuevas macroceldas que tiene un precio más elevado que instalar una femtocelda. Y para los usuarios, tendría un menor pago en sus facturas por lo que los servicios de voz y datos utilizando esta tecnología tendría una tarifa más barata que la usual.

Otro beneficio que señala Huidobro (2009) es el hecho de la adaptación de red IP, por el empaquetamiento de la voz en el canal de banda ancha para poder transmitir las llamadas de voz sobre una red IP.

Por otra parte otro bien de las femtoceldas según Roca (2012), un aumento de duración de energía en los terminales de usuario.

3.4 ESPECIFICACIONES DE LAS FEMTOCELDAS

Es importante y necesario que como en toda nueva tecnología, que exista la compatibilidad con las tecnologías ya existentes, por lo cual las femtoceldas aparte de soportar la tecnología 3G, sino que también soportan:

- Estándares 3GPP con acceso WCDMA
- Estándares 3GPP con soporte para LTE
- 3GPP2's con soporte para cdma2000, cdma20001x, HRPD, 1x EV-DO and UMB.
- Wimax

Según su tipo de hardware y estándar se puede clasificar las femtoceldas en tres clases:

Clase 1: Este modo es el más común y por ende es el primer tipo de Femtocelda creado. Aquí en esta clase de femtocelda actúa de un modo similar al Wi-Fi, tiene una potencia de 20 dBm y es capaz de soportar hasta 8 dispositivos simultáneos.

Clase 2: En este tipo de femtocelda tiene una potencia superior a los 24 dBm y soporta hasta 16 dispositivos simultáneos.

Clase 3: Las femtoceldas en este tercer modo es la de mayor potencia y capacidad, soporta más de 16 usuarios simultáneos y puede usarse como punto de libre acceso

3.5 CONVERGENCIA FIJO-MOVIL

En la actualidad, el concepto de convergencia fijo-móvil es muy mencionado en el ámbito de las telecomunicaciones, este tipo de convergencia se entiende por la fusión de redes inalámbricas y fijas, y debido a que esta convergencia ofrece una capacidad de ofrecer múltiples servicios en que el usuario pueda acceder cuando y donde desee utilizando un teléfono dual por lo que esta convergencia esta combinando la telefonía móvil con una red local.

Partiendo de ese punto, es donde vendría bien el uso de las femtoceldas, por lo que son estaciones bases en que se conecta directamente a una conexión de banda ancha y esto hace que el teléfono o terminal que posee el usuario no necesariamente debe ser dual, ya que por el mismo terminal que posee pueda conectarse tanto en interiores como en exteriores.

Las tecnologías posibles a usarse en la convergencia fijo-móvil son múltiples y eso si depende mucho del operador que esté usando. Estas pueden ser tecnologías 3G, xDSL y FTTx complementadas por soluciones inalámbricas, por satélite o alguna evolución de las anteriores.

Además, esta convergencia fijo-móvil favorece tanto al proveedor de servicio y al usuario en la forma que el proveedor le ofrece todo servicio de información y comunicación de una manera integral por medio de una sola factura.

En la figura 3.2 se puede apreciar la aplicación de la convergencia fijo-móvil en los diferentes tipos de convergencia

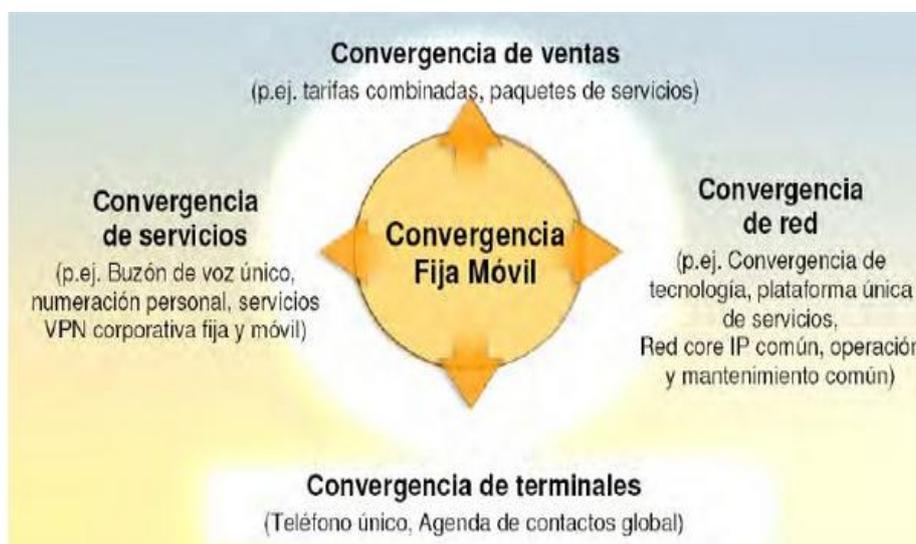


Figura 3. 2 Aplicación de la convergencia fijo-móvil en los diferentes tipos de convergencia

Fuente: (Echauri Estrada, 2010)

3.6 ESTANDARIZACION

La estandarización es un punto muy importante en cuanto a la creación de cualquier tecnología. Los que se encargan de estandarizar la tecnología de las femtoceldas son los siguientes:

- 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*)
- 3GPP2 (*3rd Generation Partnership Project 2*)
- WIMAX FORUM
- BROADBAND FORUM

3GPP publicó el primer estándar de la tecnología de las femtoceldas el 7 abril 2009. El estándar actual de las femtoceldas cubre 4 áreas principales: la arquitectura de red, radio y interferencias, gestión de las femtoceldas, seguridad.

En la 3GPP2 da a notar la publicación de las especificaciones generales para femtoceldas CDMA2000 el 23 marzo 2010. Estas especificaciones describen todo referente a los aspectos de una arquitectura de femtocelda basada en SIP/IMS para el despliegue altamente escalable de femtoceldas que pueden proporcionar servicios tales como de voz, multimedia y servicios de datos para dispositivos móviles.

En la estandarización femtocelda del WIMAX Forum detalla todo requerimiento para femtoceldas Wimax, los cuales ya están incluidos en el IEEE802.16m.

3.6.1 ESTANDARIZACIÓN POR EL 3GPP

La tecnología de las femtoceldas surgió una novedad a finales de 2007 y a principios 2008, en la cual muestra soluciones en la que se puede aprovechar todos los nuevos servicios en los sistemas móviles que aparecen tales como sistema UMTS. Es necesario para todo surgimiento de cualquier tecnología un proceso de estandarización para conseguir la aceptación de los proveedores y en sí de los usuarios.

3.6.1.1 ARQUITECTURA DE RED

En cuanto a la arquitectura, los conceptos vienen siendo los mismos. Una femtocelda es una extensión de la infraestructura de la red móvil. La estación móvil del usuario todavía se conecta a la red del operador por la interfaz aérea mediante la estación base. Tanto en el sistema UMTS y LTE, la estación base llamadas Nodo B y eNodo B, respectivamente, pues en las femtoceldas en 3GPP se llaman Home Nodo B y Home eNodoB respectivamente, o HNB y HeNB. En la figura 3.3 se muestra la arquitectura de las femtoceldas según 3GPP.

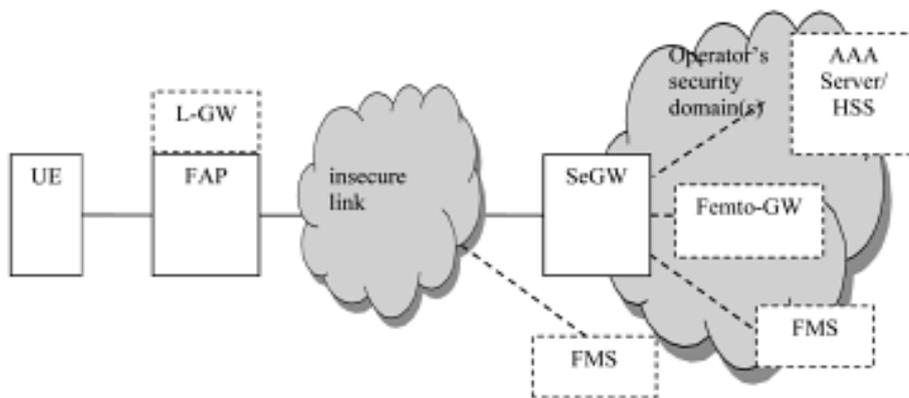


Figura 3. 3 Arquitectura de femtoceldas 3GPP

Fuente: (Wong, 2013)

Se Puede observar en la figura 3.4 una pequeña comparación entre el acceso al núcleo de red celular de una estación base convencional y el acceso al núcleo de red celular de una femtocelda.

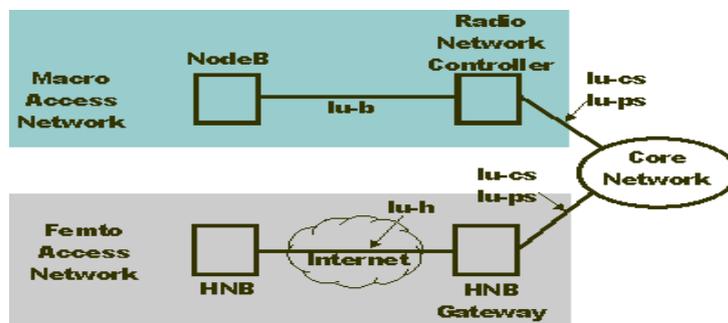


Figura 3. 4 Comparación entre el acceso al núcleo de red celular de una estación base convencional y una femtocelda

Fuente: (Wong, 2013)

La arquitectura de acceso a red de una femtocelda se define por elementos nuevos, se puede observar en la figura 3.5.

- Home Node B (HNB)
- HNB Gateway (HNB-GW)
- Home Node B Management System (HMS)

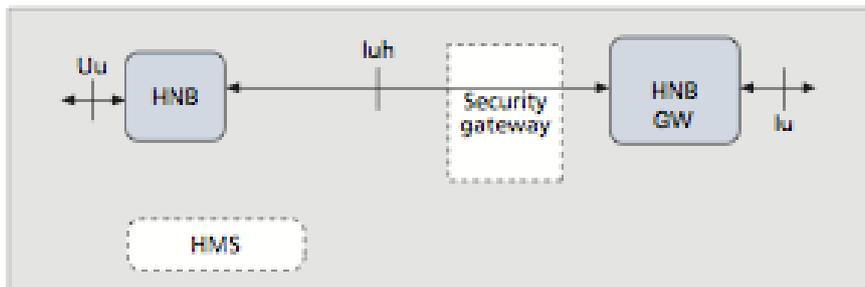


Figura 3. 5 Elementos de la arquitectura de red femtocelda

Fuente: (Morales Cespedes, 2010)

El HNB o Home Node B se refiere al punto de acceso femtocelda. El HNB incorpora características de un Nodo B estándar. El equipo local del usuario se comporta como un nodo a través de la interfaz aérea (interfaz Uu) y esta se conecta a la red móvil a través de la red IP mediante la interfaz Iuh. El encargado de este traspaso es el HNB.

La interfaz Iu-h es la que brinda el enlace para que se conecte el HNB con HNB-GW. Esta posee el HNBAP, protocolo de de aplicación HNB, que ejerce funciones de gestión entre estos dos elementos, HNB y HNB-GW, como el registro de los puntos de acceso.

El HNB-GW o Home NodeB Gateway es la interfaz de punto de acceso femtocelda. Este elemento es el que se encarga de concentrar un número grande de HNBs en una interfaz IuCS/PS para introducir la información en el núcleo central de la red IP. Entre las funciones esta de proporcionar autenticación y certificación para datos desde y hacia HNBs autorizados.

El sistema de gestión de esta red es el HMS o Home Node B Management System, como su nombre lo indica es el encargado de gestionar los recursos de los HNBs.

Es importante mencionar la aparición de dos nuevos protocolos:

- HNB Application Protocol o HNBAP
- RANAP User Adaptation o RUA

El protocolo HNBAP brinda un control específico para la evolución de las femtoceldas dentro de la red de los operadores.

El protocolo RUA es un pequeño ajuste que concede a RANAP poder transportar mensajes e información de señalización por medio del protocolo SCTP antes que pase por la interfaz Iu, donde esta usa protocolos que son más complejos, que por ser así no son recomendables para el uso de femtoceldas.

3.6.1.2 ASPECTOS RADIOELECTRICOS

Es preciso recalcar que se debe realizar un estándar de modo que cualquier entidad que se encuentre interesada en la fabricación de estos dispositivos tenga la capacidad de solventar los siguientes problemas radioeléctricos:

- Manejo de interferencias. Por lo que la tecnología femtocelda convive conectada con varios dispositivos, macro celdas, otras femtoceldas que es importante el manejo y control de interferencias entre ellos para su buen funcionamiento.
- Aspectos Regulatorios. En este punto se refiere que debe cumplir con las leyes y regulaciones del país, por lo que una femtocelda en si es una estación base pequeña que transmite su señal en el espectro adquirido por el operador.
- Instalación. En cuanto la instalación de este dispositivo se anhela en que los propios usuarios sean los encargados, tengan la capacidad de instalarlos, para así tenga la facilidad de colocarlos en el sitio que deseen y poder también mover a otro sitio.

3.6.1.3 CONFIGURACIONES

En un sistema femtocelda al momento de desplegar uno de ello, se encuentran diferentes tipos de configuraciones, donde primero se debe definir las propiedades que definen cada canal.

Acceso abierto o Grupo cerrado

En este punto se determina si una femtocelda se comporta de modo público o privado. Para escenarios con acceso abierto, el HNB puede ofrecer servicio a cualquier terminal cercano, en cambio para grupos cerrados, como lo indica el servicio es limitado a un cierto número cerrado de usuarios, los cuales deberán pertenecer a ese grupo determinado

Canal dedicado o Canal compartido

Aquí el punto de acceso de una femtocelda puede operar en un canal separado o compartido con el resto de la red móvil cercana, el termino canal se refiere a canales de frecuencia.

Potencia máxima de transmisión fija o adaptativa

Una de las propiedades que la definen es en cuanto a su potencia máxima de transmisión que puede ser fija o adaptativa. La femtocelda puede tener fijada su potencia máxima de transmisión, pero en casos en que el control de la potencia sea adaptivo es cuando se necesita que sea sensible a las interferencias creadas por otras redes, de manera que su potencia de transmisión pueda ajustarse para minimizar los efectos nocivos de otras redes cercanas.

Partiendo de las propiedades antes mencionadas, según la 3GPP para una red basada en femtoceldas precisa las siguientes posibles configuraciones:

- Configuración A. Grupo cerrado, canal dedicado, potencia de transmisión fija
- Configuración B. Grupo cerrado, canal dedicado, potencia de transmisión adaptativa
- Configuración C. Grupo cerrado, canal compartido, potencia de transmisión adaptativa
- Configuración D. Canal compartido parcial
- Configuración E. Acceso abierto, canal dedicado o compartido

Configuración A. Grupo cerrado, canal dedicado, potencia de transmisión fija

Este tipo de configuración posee un acceso controlado al HNB por un acuerdo entre el HNB y el operador de la red. Por consiguiente, el acceso a la femtocelda es restringido a un cierto número limitado de usuarios, y además en cuanto al canal utilizado en esta configuración se debe recalcar que dicho canal no esté compartido con la macrocelda del operador. Para la parte de la potencia de transmisión, el operador es el encargado de fijar dicha potencia de una forma óptima, de esta manera poder eliminar o reducir las interferencias que se encuentran entre la macrocelda y el HNB.

Configuración B. Grupo cerrado, canal dedicado, potencia de transmisión adaptativa

En esta configuración es similar a la anterior, configuración A, por lo que posee las mismas características de ser un grupo cerrado y canal dedicado, lo único que cambia es en la parte de la potencia transmisión que en este caso es adaptativa. La potencia transmitida por la femtocelda es capaz de variar la radiación emitida con el objetivo de optimizar las interferencias que se encuentren en el sistema. Esta potencia de transmisión tendrá límites fijos, una potencia máxima y una mínima.

Configuración C. Grupo cerrado, canal compartido, potencia de transmisión adaptativa

En este caso de configuración, solo posee una característica igual a las configuraciones A y B, que es que tiene el acceso restringido a la femtocelda para un número determinado de usuarios. En cuanto al canal que usa la femtocelda, será un canal compartido con una macrocelda, debido a que si se relaciona en cuanto a las interferencias en el peor de los casos. Por consiguiente, se recurriría a ajustar la potencia radiada con el fin de reducir todo efecto de interferencias que se presente porque en este caso cuenta con un sistema de potencia de transmisión adaptativa.

Configuración D. Canal compartido parcial

La configuración D es una solución para el caso de las femtoceldas que operan en grupos con acceso restringido, aunque también es aplicable al sistema de grupo abiertos,

con el fin de restringir el dominio del HNB en una macrocelda, ayudando a un mayor control de movilidad en ella.

El HNB ejecuta su trabajo en frecuencias compartidas con la red macro, pero si esta red tiene disponible un mayor ancho de banda, y se encuentra interferencias, esta puede dejar libre frecuencias en las cuales se encuentren operando los HNB's y de esta manera usar solo la parte que este limpia. Se podría mencionar que esta configuración es una solución híbrida entre el canal compartido y el canal dedicado.

Configuración E. Acceso abierto, canal dedicado o compartido

En esta última configuración es considerada la configuración más libre, por lo que posee un acceso no restringido para los usuarios, pudiendo ser en un canal tanto dedicado como compartido con otra red.

Interacción entre macro y femtoceldas

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

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

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

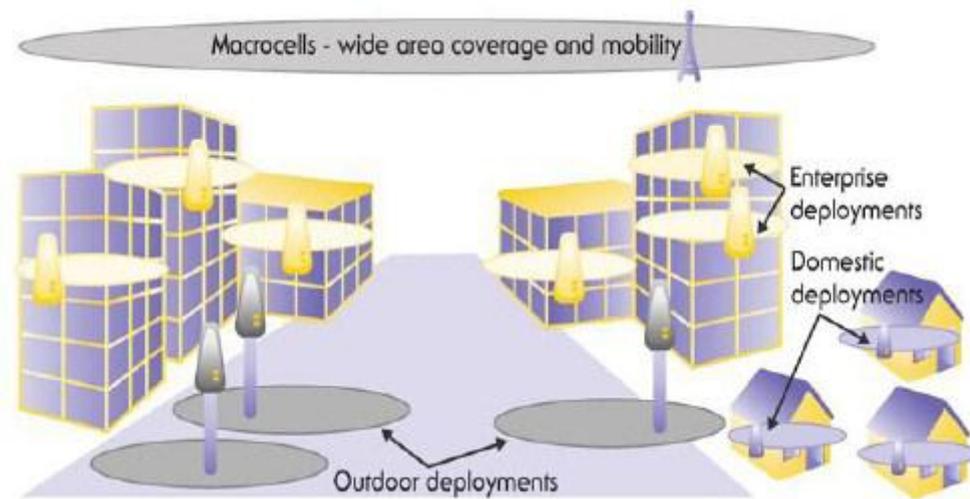


Figura 3. 6 Coexistencia de macroceldas y femtoceldas

Fuente: (Small Cell Forum , 2007-2014)

3.6.2 NORMAS 3GPP2 CDMA FEMTOCELDAS

El CDMA2000 Femtocelda arquitectura estándar incluye los siguientes aspectos:

- Basada en IMS SIP / Arquitectura Servicios de circuitos 1x
- Arquitectura de datos de paquetes
- Marco de seguridad
- Las mejoras en los dispositivos móviles para que sean más conscientes de femto
- Fundamentos de los servicios femtozona (Acceso IP local y el acceso remoto IP)
- Arquitectura de gestión Femtocelda

A continuación se muestra la tabla 3.1 las especificaciones relacionadas con Femtoceldas 3GPP2 y sus referencias.

Especificación	Referencia
Área Estándar	3GPP2 Referencia
Requisitos del sistema para los sistemas de células Femto	S.R0126-0 v1.0
Interoperabilidad Especificación (IOS) piezas (incluye	A.P0024

soporte IP Local Access, hand-in/out, etc)	
Piezas Servicio de Datos por Paquetes <ul style="list-style-type: none"> • Aspectos del servicio de datos de paquetes de 1x y EV-DO • Servicio de voz heredado 1x basada en IMS SIP / • El contenido del objeto de gestión básicos 	X.P0059
Gestión Femto Objetos	X.R00xx NUEVO
Red de Referencia Modelo	S.R0135
OAM & P para cdma2000	S.S0028-E
Marco de Seguridad	S.S0132
Mejoras en la interfaz de aire para los futuros dispositivos móviles-femto conscientes <ul style="list-style-type: none"> • EV-DO - • Mejora 1x - • Selección del sistema mejorada (ESS, alias PUZL) - 	C.P0024-C C.P0005-E C.P0016-D

Tabla 3. 1 Especificaciones relacionadas con Femtoceldas 3GPP2 y sus referencias

Fuente: (Airvana, 2010)

3.7 ARQUITECTURA DE RED FEMTOCELDA

Toda arquitectura de red de cualquier tecnología se necesita que responda a las necesidades de seguridad tanto como para los operadores como para los usuarios, debido a que ambos son los que requieren un buen servicio. A parte de darle a los usuarios los dispositivos con *plug and play*, que quiere decir que puedan instalarlos y usarlos sin la necesidad de preocuparse por la configuración, cosa que el dispositivo está en la capacidad de configurarse solo al momento de ser conectado, es importante asegurar los servicios críticos tales como la llamada de emergencia debe ser tan fiable y precisa como de una línea fija.

En cuanto la arquitectura de red de femtoceldas debe tener una compatibilidad con los siguientes requisitos clave:

- Paridad de servicio
- Continuidad de la llamada
- Seguridad
- Auto-instalación y gestión operativa simple
- Escalabilidad

Paridad de Servicio.

Esto de paridad se trata en que las femtoceldas brinden los mismos servicios de voz y datos de banda ancha que las macroceldas están ofreciendo a los usuarios móviles. Por ende contiene servicios de conmutación de circuitos, como numerosas funciones de voz y mensajes de texto, como el desvío de llamadas, identificador de llamadas, correo de voz y llamadas de emergencia.

Continuidad de la llamada.

Este requisito es fundamental debido a que cuando el usuario origina una llamada y comienza a desplazarse y salga de la cobertura de alguna celda se transfiera a la siguiente para no perder la llamada y esta continúe. Por esto la red femtocelda debe tener una conectividad necesaria con la red de las macroceldas o de otra femtocelda para que cuando el usuario se encuentre en movimiento dentro o fuera de la cobertura de femtocelda para así que la llamada siga en continuidad hasta que el usuario decida terminar la llamada.

Seguridad.

Como en toda red debe poseer mecanismos de seguridad, las capacidades de seguridad de las femtoceldas deben contar con apoyo para proteger contra las amenazas que se originan a través de Internet o a través de la manipulación de la misma red de femtocelda. La arquitectura de red Femtocelda brinda una seguridad de acceso de red y la autenticación de femtoceldas y los procedimientos de autorización para la protección contra el fraude.

Auto-Instalación y Gestión Operativa simple.

En este punto entra el concepto de plug and play, por lo que los usuarios están en la capacidad de instalar las femtoceldas. Por lo tanto, la arquitectura de red de femtoceldas debe ser compatible con un procedimiento de instalación extremadamente simple con la configuración automática de la femtocelda y la gestión operativa automatizada con "cero contacto" por el usuario final.

Escalabilidad.

La arquitectura de una red de femtocelda debe tener una escalabilidad por lo que estas redes llegan a tener varios puntos de acceso que le permiten crecer en redes grandes, al mismo tiempo manteniendo la fiabilidad y facilidad de gestión.

3.7.1 ELEMENTOS COMUNES DE LA ARQUITECTURA DE RED FEMTOCELL

Entre los elementos comunes de la arquitectura de red de femtocelda se encuentra:

- Punto de acceso femtocelda (FAP – Femtocell Access Point)
- Puerta de enlace de seguridad (SEGW – Security Gaateway)
- Sistema de gestión de femtoceldas (FMS – Femtocell Management System)

En la figura 3.7 se muestra tres elementos de red que son comunes a cualquier arquitectura de red de femtoceldas.

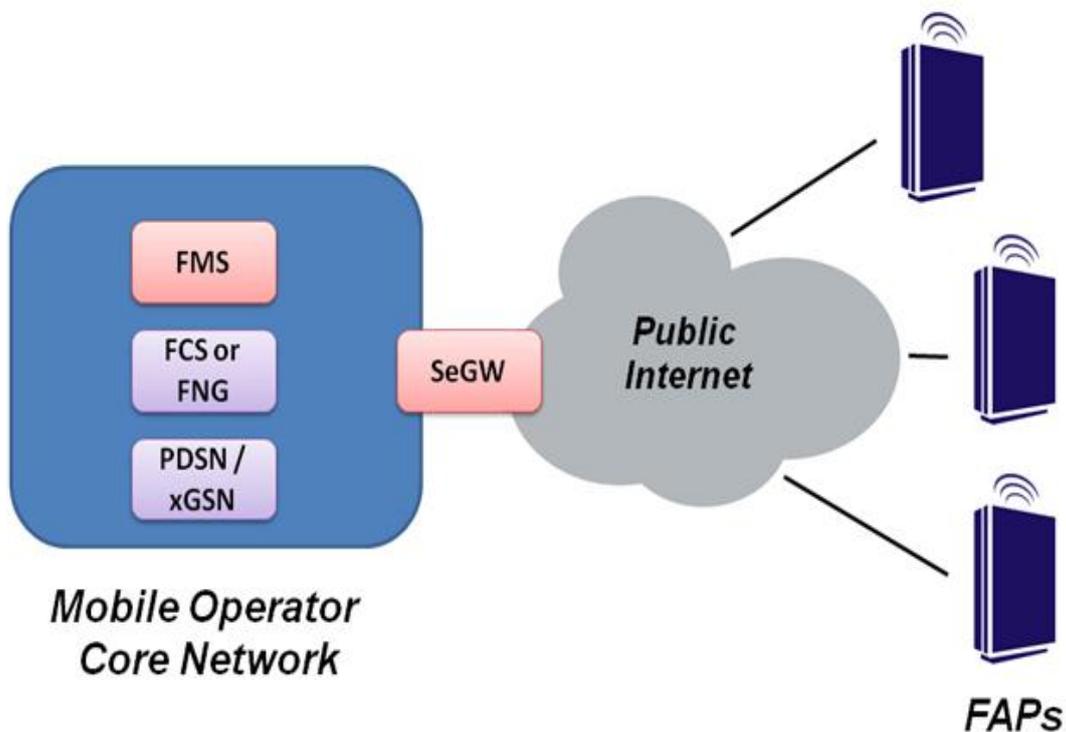


Figura 3. 7 Componentes comunes de la arquitectura de red femtocelda

Fuente: (Airvana, 2010)

- **Punto de acceso femtocelda (FAP – Femtocell Access Point)**

El FAP es el nodo primario en una red de femtoceldas, en otras palabras es el dispositivo que se instala donde el usuario desee sea para uso residencial o empresa. El FAP en si es la pequeña estación base que implementa tales funciones y se conecta a la red del operador a través de un túnel seguro a través de Internet.

Un FAP posee múltiples maneras en que se puede introducir en una de las instalaciones del usuario. Una de esas es cuando un FAP es independiente, el cual puede ser conectado directamente al router casa. En algunas aplicaciones, el FAP incluye un enrutador integrado, que es útil en la priorización de tráfico de voz FAP sobre otro tráfico de Internet en la red doméstica. Además, un FAP puede poseer un adaptador de terminal analógico para conectar un teléfono de línea fija.

- **Puerta de enlace de seguridad (SEGW – Security Gateway)**

Este elemento de las femtoceldas, el SEGW, es el encargado de asegurar la conexión a internet entre los usuarios y la red central del operador de la red móvil. Para esto el SEGW usa protocolos estándar de seguridad en Internet, tales como IPSec y IKEv2 para autenticar y autorizar las femtoceldas y proporcionar soporte de cifrado para todo el tráfico de señalización y de usuario.

Las puertas de enlace de seguridad de las femtoceldas son similares a las puertas VPN tradicionales. Estas puertas de enlace se encargan de cumplir con los requisitos de carrier como escalabilidad, alta disponibilidad y gestión de redes.

- **Sistema de gestión de femtoceldas (FMS – Femtocell Management System)**

Este elemento se encuentra en la red del operador y tiene un papel muy crítico por lo que debe asegurar la escalabilidad de la red de femtoceldas donde se encuentra millones dispositivos conectados a ellas. Este sistema de gestión de femtoceldas está basado en la norma de femtocelda TR-069 integral que apoya la gestión eficiente de un gran número de femtoceldas.

El servicio de gestión femtocelda (FSM – Femtocell Service Manager) está conformado por dos elementos principales, los cuales son la aplicación de administrador de dispositivos y la aplicación de planificador de una red automática. El administrador de dispositivos ejerce funciones como configuración remota, el diagnóstico a distancia, gestión de fallos, actualización de software, la recopilación de datos de rendimiento y la autenticación de dispositivos. En cuanto al planificador de la red automática añade algoritmos de planificación de RF, configuración de RF y una interfaz en dirección norte hasta sistemas de soporte de operaciones (OSS).

Se puede observar en la figura 3.8 los dos elementos del FSM, el administrador de dispositivos y el planificador de red automática.

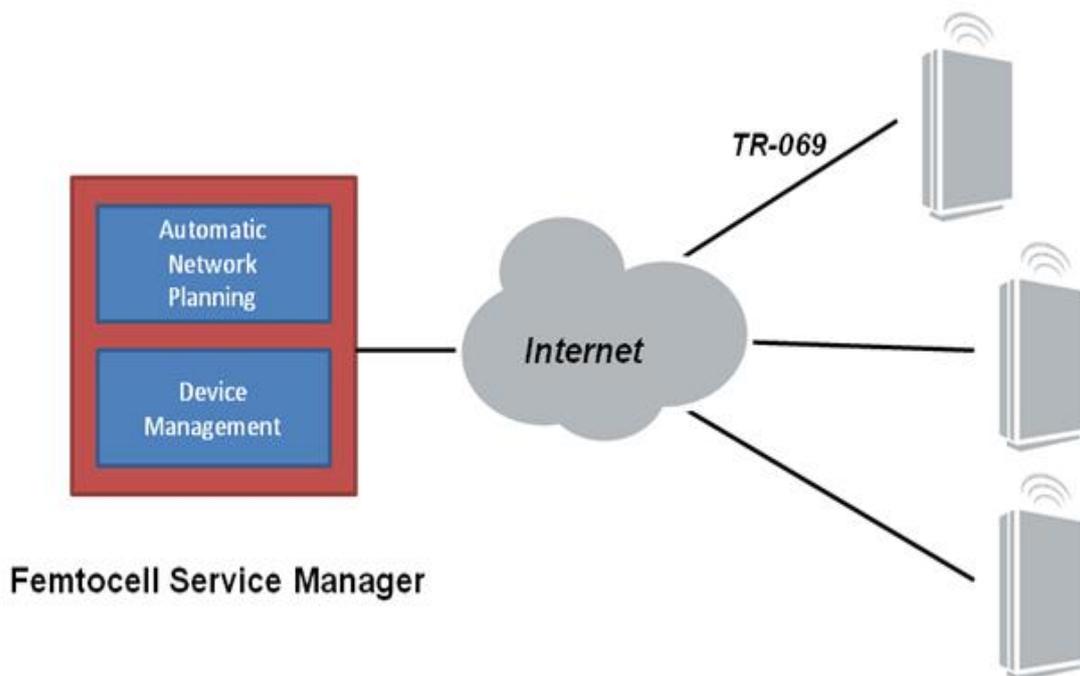


Figura 3. 8 FSM - Femtocell Service Manager

Fuente: (Airvana, 2010)

FCS o FNG

El FCS o FNG permite que suceda la conexión a la red central del operador. Está de más mencionar que esto es necesario para el buen funcionamiento y servicio integral de las femtoceldas. Este elemento permite que la configuración básica llamada se comunique con el MSC y la PSTN del núcleo del operador.

PDSN / xGSN

Básicamente, el PDSN / xGSN ejerce la función de permitir a los usuarios reciban todo servicio de paquetes de datos sobre el núcleo de red del operador.

3.7.2 MAQUETAS PARA APOYAR LOS SERVICIOS DE CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS

En forma general, las femtoceldas poseen dos modelos diferentes para los servicios de conmutación de circuitos. Como se puede apreciar en la figura 3.9.

- Modelo de SIP / IMS.

- Modelo de legado.

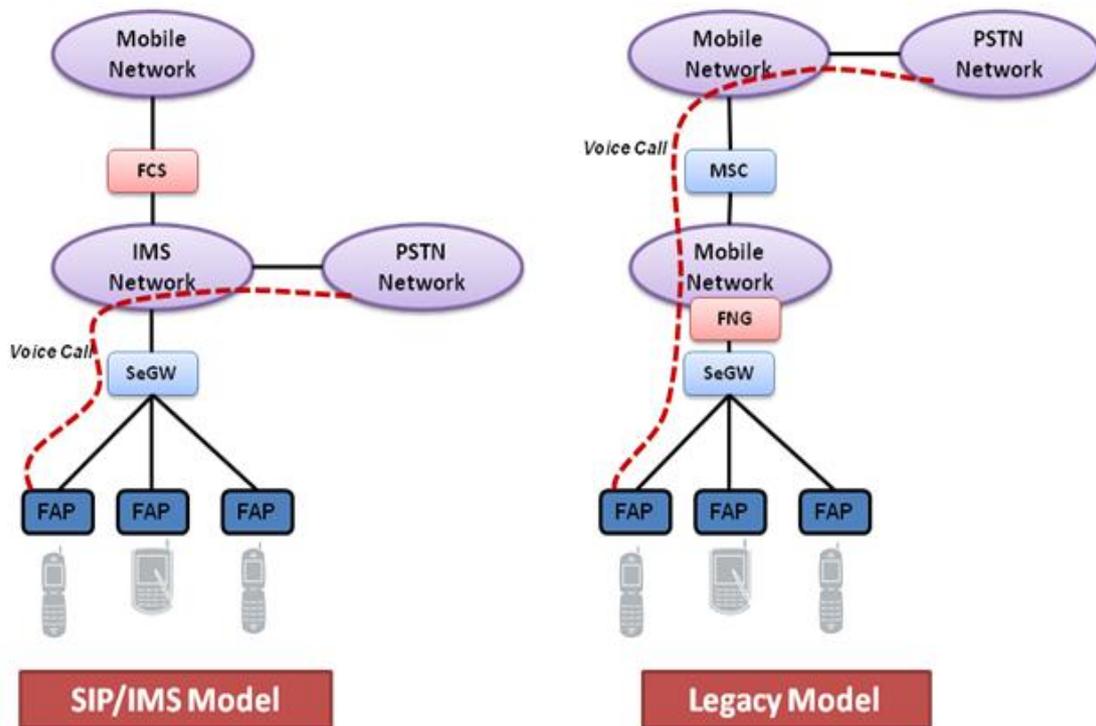


Figura 3. 9 Arquitectura de red femtocelda: Servicio de conmutación de circuito

Fuente: (Airvana, 2010)

Modelo de SIP / IMS

En este modelo de servicio de conmutación de circuitos, las femtoceldas se conectan a una nueva red central del operador móvil que se basa en la arquitectura SIP / IMS , haciendo que las femtoceldas tomen un comportamiento de un cliente SIP/ IMS por la conversión de la conmutación de circuitos 3G de señalización para la señalización SIP / IMS , y mediante el transporte de tráfico de voz sobre el RTP como se define en las normas IETF.

Entre los principales componentes en la arquitectura SIP / IMS se encuentran los siguientes:

- Punto de Acceso Femtocell con Cliente SIP / IMS
- SIP / IMS Core Network

- Femtocell Convergence Server (FCS)

El FCS ejerce transferencias de apoyo entre femtoceldas y macroceldas, bases de datos de suscriptor como HLR y proporciona los servicios complementarios necesarios para la paridad de funciones.

La red SIP / IMS brinda el control de llamadas y encaminamiento medios de comunicación, mientras que la red central legado se utiliza para recuperar los datos de abonado almacenados en la red y para apoyar transferencias a / desde la red macrocélula, que utiliza exclusivamente la red central legada.

El modelo de red SIP/IMS se muestra en la figura 3.10.

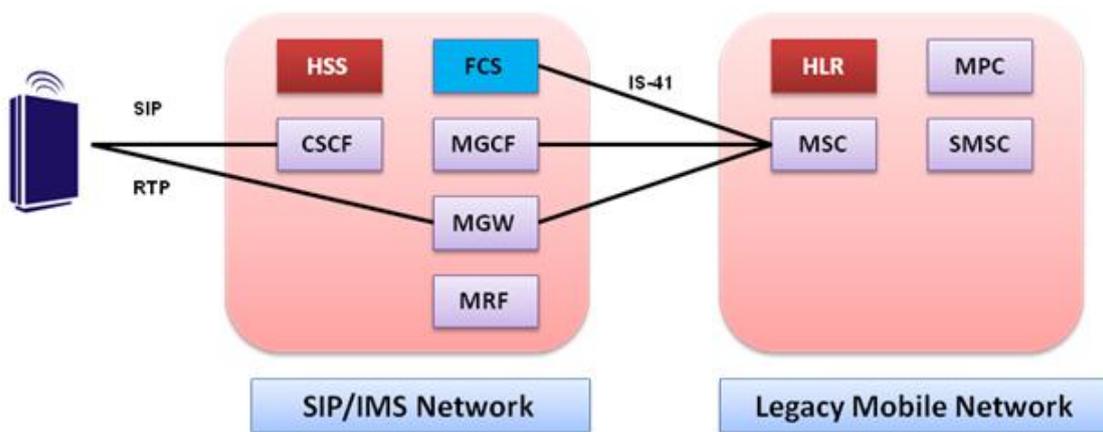


Figura 3. 10 Modelo de red SIP/IMS

Fuente: (Airvana, 2010)

Modelo de Legado para femtoceldas

En este modelo de legado, las femtoceldas se conectan directamente a la red central del operador móvil, se conecta al MSC. Los principales componentes del modelo de red legado son:

- Punto de Acceso Femtocell (FAP)
- Femtocell Red Gateway (FNG)
- Security Gateway (SEGW)

El FNG es el encargado de conectar la femtocelda con el MSC a través de la interfaz Iu en la red de núcleo legado.

La arquitectura de red de legado es más fácil de implementar cuando una red SIP / IMS no está ya en su lugar, por lo que permite que el operador vuelva a usar la red de núcleo móvil existente. El uso de la red de núcleo existente implica un nivel total de compatibilidad con muchas características de servicio y evita la necesidad de replicar estas características en una nueva red de SIP / IMS.

A continuación se muestra en la figura 3.11 el modelo de red Legado de femtoceldas.

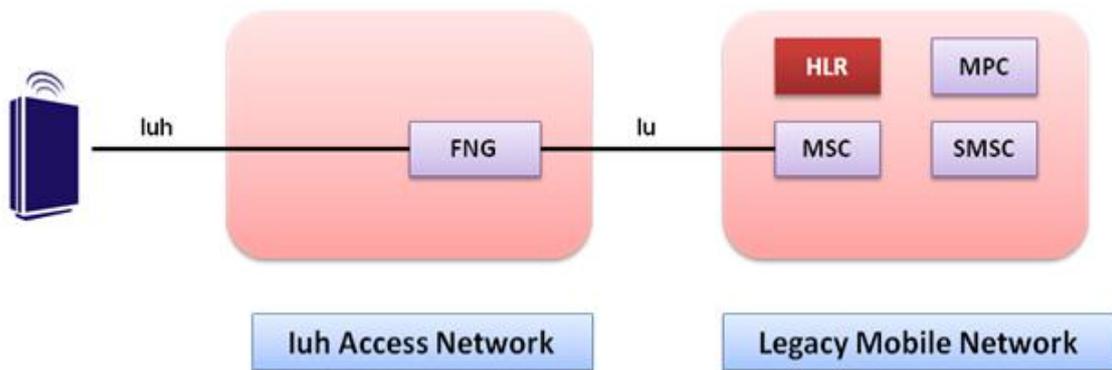


Figura 3. 11 Modelo de red Legado

Fuente: (Airvana, 2010)

3.7.3 INTERFUNCIONAMIENTO CON LAS REDES DE DATOS POR PAQUETES

En cuanto a la red de datos por paquetes, las femtoceldas se conectan por medio de elementos de la red de paquetes de datos ya existentes, los cuales son el SGSN/GGSN's en UMTS y de PDSN en CDMA, según los estándares 3GPP y 3GPP2.

3.7.4 RUPTURA LOCAL

El término de ruptura local es una característica que presentan las femtoceldas, la que permite a un usuario poder conectar sus dispositivos móviles a la red femtocelda, que

puede ser doméstica o de la oficina local, sin atravesar la red central móvil del operador.

En cuanto al tráfico destinado al internet global, hace lo mismo, la ruptura local pasa por la red central del operador, de esta manera reduce la carga de la red.

En la figura 3.12 se muestra de una manera conceptual el termino de ruptura local.

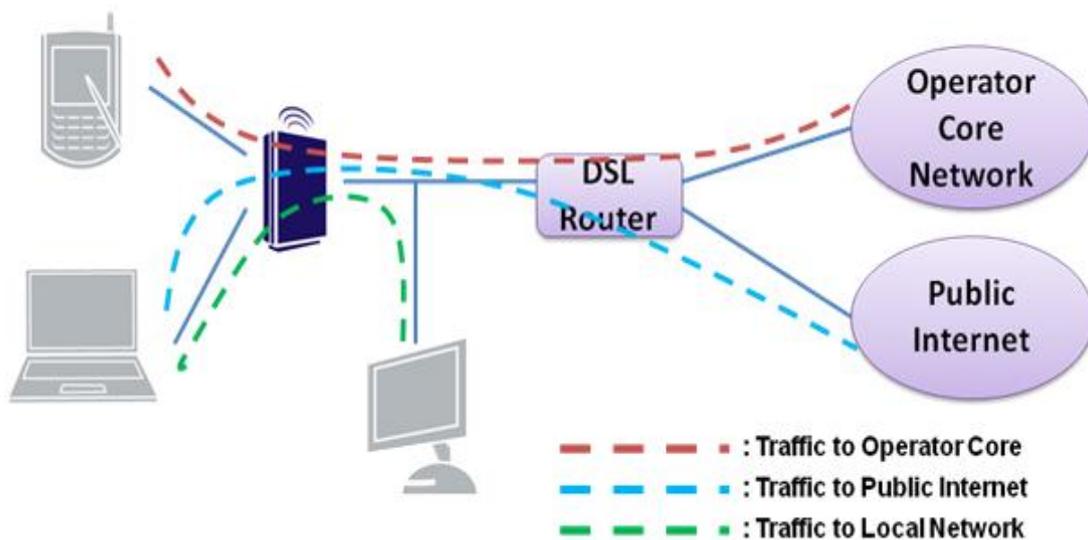


Figura 3. 12 Ruptura Local

Fuente: (Airvana, 2010)

Los beneficios que se pueden potenciar de esto desde el punto de vista del usuario es el acceso a todo dispositivo que se encuentre conectados al punto de acceso y a los contenidos multimedia, sobretodo mejora el rendimiento de los datos con un acceso directo a Internet. Y viendo los beneficios para el operador móvil les permite evitar las costosas actualizaciones de capacidad básica de paquetes de datos por medio de la descarga de web Internet / streaming y tráfico VPN corporativa

3.7.5 SERVICIOS DE EMERGENCIA DE APOYO

Este servicio de emergencia de apoyo que ofrece esta tecnología de femtoceldas, es uno de los requisitos más importantes. Por lo que en caso de alguna emergencia, el usuario pueda realizar una llamada de emergencia sea desde un dispositivo móvil o fijo pero

este conectado desde la red de femtoceldas para así que una seguridad pública se dirija a la ubicación exacta de donde ocurra.

En América del Norte, se ha convertido en un requisito obligatorio para los dispositivos móviles poseer este servicio, otros países están tratando de adoptar este servicio.

Las femtoceldas tienen esa ventaja de apoyar a servicios de emergencia por lo que facilita información crítica a la red principal del operador de telefonía móvil, como la ubicación de donde se el usuario realizando la llamada, de este modo se identifica la seguridad publica más cercana y un número de devolución de llamada para llamar al usuario en caso de una desconexión.

3.8 PERSPECTIVAS DE LAS FEMTOCELDAS

El futuro de la aplicación de esta tecnología de las femtoceldas dará una solución de mejoramiento en cuanto a la cobertura y calidad de servicio móvil como ya se ha mencionado.

Las femtoceldas serán más acogidas en lugares de baja cobertura o en una área de una alta densidad de usuarios, sin embargo esta tecnología ofrece una variedad de beneficios para los nuevos servicios y nuevas aplicaciones en redes móviles, aparte se puede mencionar servicios que están vinculados con la domótica, donde el usuario pueda tener una convergencia entre los servicios de todo dispositivo que se encuentre instalada este dispositivo, con esto se refiere que la femtocelda tendrá la capacidad de interactuar con la televisión, cocina, sistema de seguridad, ordenadores personales, gestión energética.

Estas femtoceldas, dispositivos de baja potencia, son nodos que ha demostrado ser soluciones de una manera económica para brindar cobertura en interiores de hogares, oficinas, edificios o zonas públicas e incluso en zonas rurales en que la cobertura móvil no sea optima, estas permiten tener un costo menor de instalación, operación y mantenimiento de los puntos de accesos, entre el operador y los usuarios.

En la figura 3.13, trata de la plataforma de servicio de las femtoceldas ofrece a los usuarios en el lugar que se encuentre



Figura 3. 13 Plataforma de servicio de una celda pequeña

Fuente: (NEC Corporation, 1994-2014)

En cuanto la figura 3.14, muestra todos los componentes que pueden estar involucrados en la prestación de servicio de una femtocelda. Por lo que estos dispositivos con acceso a servicio de datos pueden tener acceso a las femtoceldas, la cual en esta se encuentra el punto de la red del operador móvil.

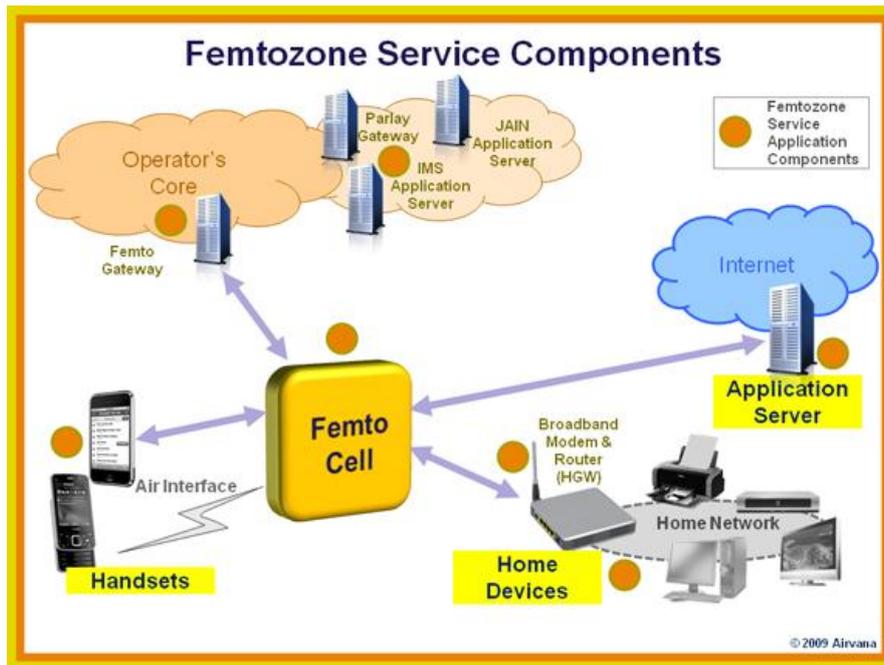


Figura 3. 14 Componentes relacionados hacia una femtocelda

Fuente: (Airvana, 2010)

3.9 LUGARES DE APLICACIÓN

Las femtoceldas ofrecen una mayor cobertura de una manera significativa en hogares, oficinas, edificios, espacios públicos. Por lo que daría una mejor calidad de voz y datos, una mejora en velocidades de descarga y carga de datos en dichas zonas en que se aplique el dispositivo.

En cuanto a la aplicación de las femtoceldas en zonas residenciales, se puede decir que aplicar este dispositivo es conveniente por lo que es un área en donde no cesa crecer el número de conexiones de datos tal como el incremento en descargas de música, juegos, videos, entre otras aplicaciones de servicios multimedia que necesitan una red capaz de gestionarlos con un ancho de banda y cobertura suficiente y óptima. Para así el usuario goce de los servicios brindados y no tenga ni una queja alguna.

Hoy en día hay una gran mayoría de células pequeñas a nivel residencial, las cuales brindan una cobertura y calidad de servicio de voz excelente y una rápida conexión de datos para todo dispositivo inteligente que se encuentre en el hogar.

En cuanto la instalación del punto de acceso consiste en conectar a la red eléctrica y a la red móvil. Estas femtoceldas tienen la ventaja de que se configuran automáticamente, la exploración para determinar la mejor frecuencia y el nivel de potencia a utilizar, actualización del software, todo esto es posible de una manera fácil por lo que cuenta con la característica plug and play.

En la figura 3.15 se muestra como opera una femtocelda en una zona residencial.

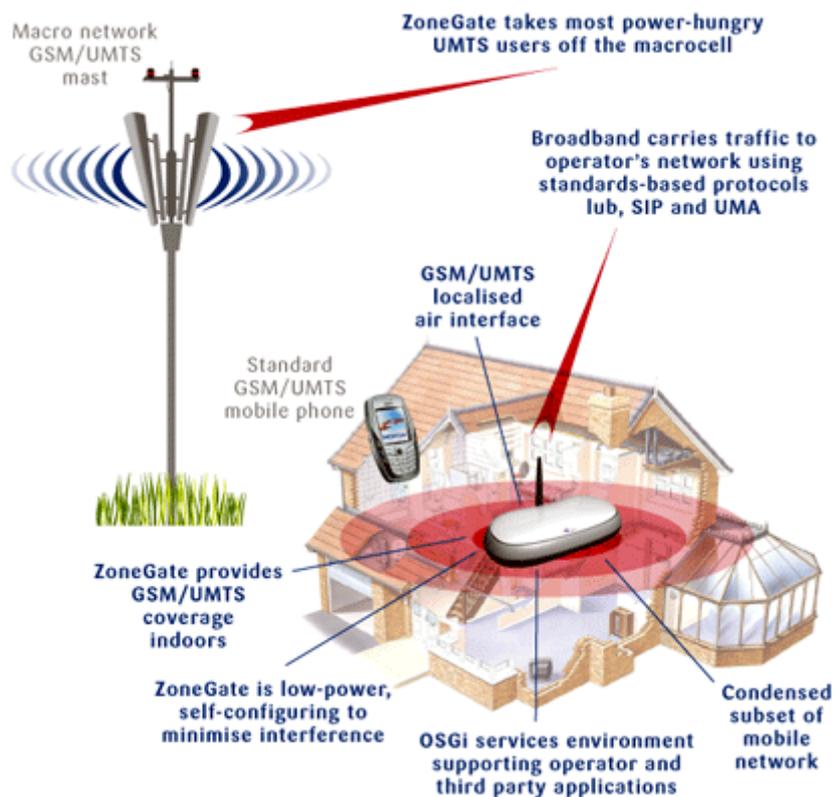


Figura 3. 15 Operación de una Femtocelda Residencial

Fuente: (Chambers, ThinkSmallCell, 2012)

Las femtoceldas han tenido también por aplicarse en empresas, las cuales generan un buen ingreso hacia los operadores de redes móviles, por lo que económicamente justifica la implementación y venta de estos equipos. Con la aplicación de las femtoceldas, las empresas les podrán ayudar a utilizar sus recursos existentes y ampliar sus visiones de negocio.

Las femtoceldas brindan soluciones empresariales que puede ayudar a optimizar el tráfico en edificios de oficinas y obtener nuevos servicios tales como una red de empresas de auto-organización, tecnologías para IP-PBX, la conexión de teléfonos móviles a la centralita de la compañía, poder intercambiar de una manera automática la información disponible y presente en tiempo real con todas las personas que se encuentren en la compañía.

Estas celdas pequeñas en ambientes urbanos donde hay una densidad de usuarios, estas brindan una alta capacidad y velocidad de datos para complementar con la cobertura que ofrece las macroceldas del área. Poseen una manera rentable en zonas urbanas con una fuerte demanda por lo que estas ofrecen un alto nivel de rendimiento de datos, con un menor costo que una macroceldas

Estas pueden ser ubicadas en postes de luz, colocadas en un lado de los edificios, en el interior de estadios, centros comerciales, centros de transporte y entre otros entornos públicos. Como se viene diciendo, dan una solución a los problemas de cobertura y calidad de servicio entregando velocidades altas de datos y mayor capacidad.

La aplicación de las femtoceldas en zonas rurales remotas tales como aldeas, pueblos pequeños o en zonas industriales, surge como una solución viable y rentable a las macroceldas tradicionales debido que estas celdas pequeñas son de un bajo costo y fácil implementación.

Su costo aproximadamente vendría a equivaler un 80% menor que una estación base de tamaño tradicional. De esta manera se evita visitas costosas a los sitios, también permite que estas celdas operen con un bajo consumo de energía, por lo que no es necesario de un generador de diesel o eléctrico, bancos de baterías, mientras que una macrocelda si lo necesita.

En la figura 3.16 se puede mostrar los lugares de aplicación de las femtoceldas.

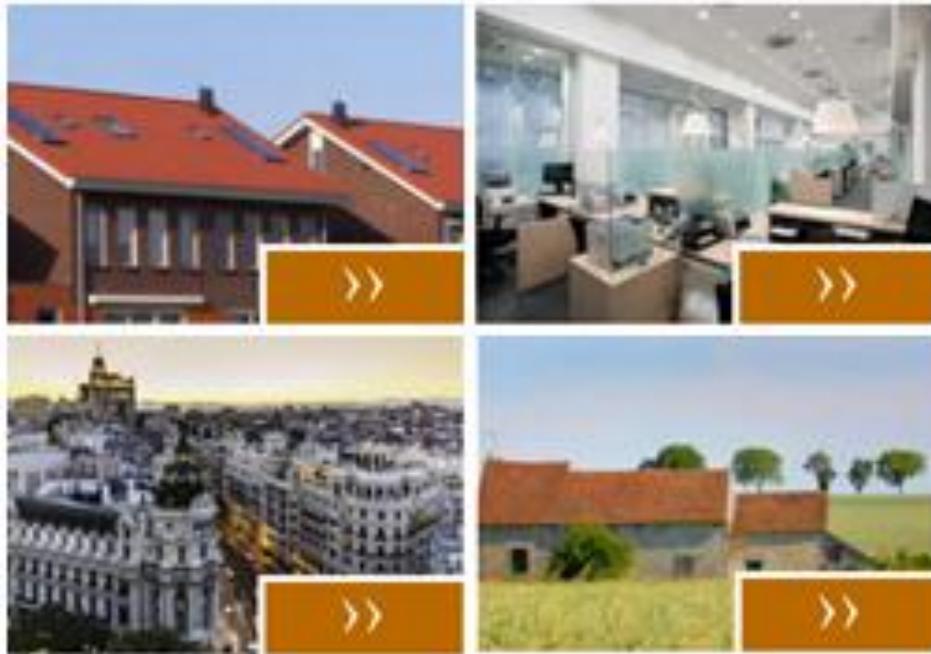


Figura 3. 16 Lugares de aplicación

Fuente: (Chambers, ThinkSmallCell, 2012)

En la figura 3.17 demuestra cómo es la red de una femtocelda desde el lugar de implementación hacia una macrocelda.

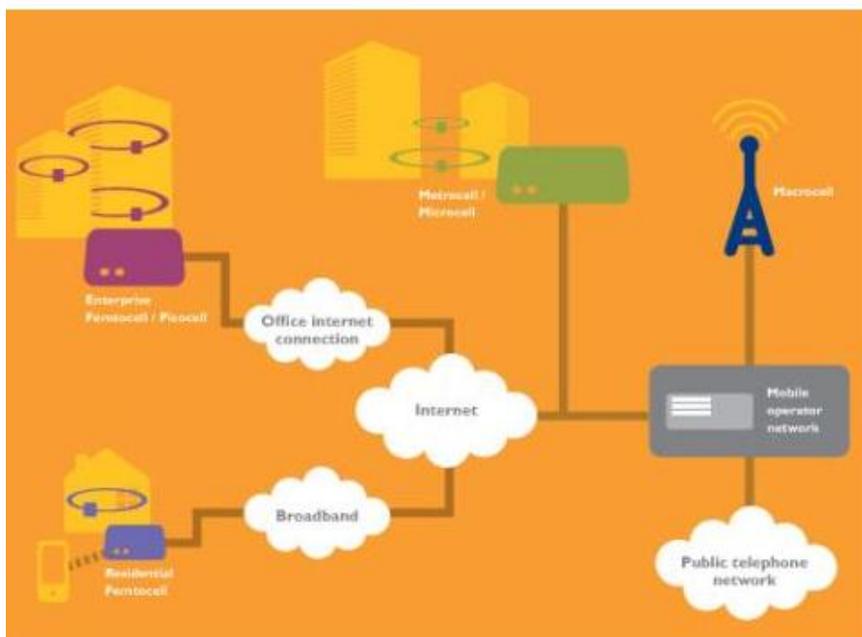


Figura 3. 17 Red de celdas pequeñas hacia una macrocelda

Fuente: (Airvana, 2010)

3.10 PRINCIPALES PROVEEDORES DE FEMTOCELDAS A NIVEL MUNDIAL

A continuación, en la tabla 3.2 se puede ver algunos de los principales proveedores de femtoceldas residenciales a nivel mundial.

Red	País	Marca	Proveedor Femtocelda
AT & T	EE.UU.	3G Microcell	ip.access / Cisco
China Mobile	China	H-Zone	
China Unicom	China	3G Inn	Huawei
Cosmote	Grecia	Perfect Signal	Huawei
KDDI	Japón	au Femtocell	Airvana
Megafon	Rusia	Sure Signal	Huawei
MTS	Rusia	Sure Reception	NEC / Ubiquisys
Moldtelecom	Moldovia	Femtocell Unite	Huawei
Mosaico	Wisconsin, EE.UU.	Homecell	Ubiquisys / NSN
NTT DoCoMo	Japón	My Area	Mitsubishi
Optimus	Portugal	Sinal On	Huawei
Optus (Sí)	Australia	Homezone	Alcatel-Lucent
SFR	Francia	Home 3G	Ubiquisys
Softbank	Japón	Femtocell	Ubiquisys
Sprint	EE.UU.	Airave	Airvana / Taqua (Airwalk, Samsung)
Telefónica	España	Mi Cobertura Movil	Huawei / Alcatel-Lucent
Verizon	EE.UU.	Network Extender	Samsung
Vodafone	Checo	Private 3G Zone	Alcatel-

			Lucent
Vodafone	Grecia	Full Sima	Huawei
Vodafone	Hungría	Mini Bazis	Alcatel-Lucent
Vodafone	Irlanda	Sure Signal	Alcatel-Lucent
Vodafone	Italia	Booster Privati	Alcatel-Lucent
Vodafone	Países Bajos	SignaalPlus	Alcatel-Lucent
Vodafone	Nueva Zelandia	Sure Signal	Alcatel-Lucent
Vodafone	Portugal	Sinal Max	Alcatel- Lucent
Vodafone	España	Voz y Datos Premium	Huawei
Vodafone	Reino Unido	Sure Signal	Alcatel-Lucent

Tabla 3. 2 Principales proveedores de Femtoceldas Residenciales (nivel mundial)

Fuente: (Chambers, ThinkSmallCell, 2010)

Unos de los proveedores de femtoceldas empresariales a nivel mundial tal como detalla en la tabla 3.3.

Red	País	Marca	Proveedor Femtocelda
Network Norway	Noruega	Full Dekning	Ubiquisys/NEC
Orange	Rumania	Extra Signal	Huawei

Tabla 3. 3 Principales proveedores de Femtoceldas Empresariales (nivel mundial)

Fuente: (Chambers, ThinkSmallCell, 2010)

CAPITULO IV APLICACIÓN DE LAS FEMTOCELIDAS

4.1 PRINCIPALES OPERADORES EN EL PAÍS

En el Ecuador, actualmente cuenta con tres operadores principales que ofrecen un servicio móvil avanzado, los cuales permiten la transmisión, emisión y recepción de señales de voz y datos. De los tres operadores se encuentra Conecel SA, más conocido por su nombre comercial Claro; Telefónica, antes Otecel SA, nombre comercial Movistar; y por ultimo CNT EP.

En el país las telecomunicaciones se desarrollaron en el año 1972 con el surgimiento del Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones (IETEL). IETEL llega a ser una empresa estatal llamada Empresa Estatal de Telecomunicaciones (EMETEL) con la aprobación y reformas de la Ley Especial de Telecomunicaciones en 1992.

En 1995, el gobierno descentralizó las funciones del órgano regulador de telecomunicaciones en entes de administración, regulación y control del uso de frecuencia, las cuales fueron el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), Secretaria Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) y Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL). En ese mismo año, debido a la privatización de los servicios de telecomunicación la empresa estatal EMETEL pasa a ser sociedad anónima EMETEL SA.

En 1997, EMETEL S.A. tuvo una división en donde surgieron dos empresas, la cuales eran de telefonía fija, ANDINATEL S.A. y PACIFICTEL S.A. pero en el año 2008 tuvieron la necesidad de fusionarse ambas empresas para crear la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) y dos años después paso a ser una empresa pública llamada CNT EP.

En cuanto a los servicios de telefonía móvil fueron concesionados en el año 1993 a dos empresas. Una de ellas, Conecel SA, cuyo su primer nombre comercial fue Porta y actualmente es Claro; y la otra empresa fue Otecel S.A., conocida primeramente como Celular Power, luego como Bellsouth y finalmente su nombre comercial en la

actualidad como Movistar. En el 2004 cambia su razón social por Telefónica por lo que Telefónica Móvil de España adquiere esta empresa.

Hasta el 2003, en Ecuador se mantenía con estas dos operadoras móviles, por lo que apareció la compañía de Telecomunicaciones Móviles del Ecuador (Telecsa), una tercera operadora que las empresas Andinatel y Pacifitel crean. Su nombre comercial fue denominado como Alegro PCS, la cual se convirtió en diciembre del mismo año como la tercera operadora móvil en el país. Finalmente en el 2010, CNT EP absorbe a Alegro y pasa a ser una empresa estatal

4.2 PLAN NACIONAL DE BANDA ANCHA

Según el Ministerio de Telecomunicaciones del Ecuador, consta con un plan nacional de banda ancha en el cual busca adaptar nuevas maneras para generar condiciones del buen uso del espectro radioeléctrico, de esta manera lograr la satisfacción de los servicios móviles.

Entre los objetivos de este plan se encuentra el de dar un impulso al despliegue de redes y servicios a nivel nacional; poder mejorar la calidad de vida de los ecuatorianos a través del uso, introducción y apropiación de nuevas tecnologías y comunicación; y reducir los precios para el acceso al servicio de banda ancha.

Dentro de este plan se encuentran estrategias en las cuales se deben basar las operadoras móviles para la creación de nuevos servicios que ayuden a mejorar la calidad de banda ancha, se mencionan tres estrategias las cuales son las siguientes:

Estrategia 1

En la primera estrategia menciona hacer un diseño de políticas para garantizar y fomentar una sólida y sana competencia entre los operadores móviles y establecer de una manera obligatoria el uso compartido de la infraestructura física de las redes de telecomunicaciones.

Estrategia 2

Esta segunda estrategia busca otorgar títulos habilitantes convergentes y sobretodo estimular el reajuste de los precios de los servicios de banda ancha para que los usuarios tengan un acceso a ellos con un costo aceptable.

Estrategia 3

En esta última estrategia requieren promover el despliegue de la infraestructura de banda ancha, especialmente en zonas que aún no se haya dado una buena atención o no se haya atendido.

4.3 BENEFICIOS PARA LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA FEMTOCELDAS EN EL PAIS

En estos tiempos, las personas demandan ya no solo servicios de voz, por lo que ahora existe una mayor demanda de servicios de datos, ya que como el tiempo ha ido avanzando y seguirá evolucionando en cuanto a las telecomunicaciones, los servicios de datos constan con más aplicaciones tales como la mensajería instantánea, redes sociales, video llamadas, videoconferencia, entre otras aplicaciones.

Esto lleva a que el servicio que deben ofrecer los operadores de redes móviles, debe dar una cobertura máxima en todo lugar y con una calidad excelente para que el usuario pueda estar conectado. Pero hay inconvenientes que hacen que no lleguen a un nivel de excelencia, uno de ellos que se puede mencionar es cuando existe un nivel alto de carga-tráfico en alguna estación base tradicional, la calidad de servicio que brinda ella bajaría y esto ocasiona también una pérdida de cobertura.

Los operadores brindan una cobertura casi total en las grandes ciudades del país, pero aun así existen sitios en que la cobertura de la estación base tradicional no abarca lo suficiente debido a que existen zonas en la que la recepción de la señal no sea tan buena por algún factor externo o como ya se mencionó por la densidad de tráfico, esto produce

la falta de cobertura, una baja calidad en el servicio, mala recepción, pérdidas de llamadas, entre otros inconvenientes. Una solución para estos casos sería implementar las estaciones bases pequeñas que se ha tratado en este trabajo, llamadas femtoceldas, con la aplicación de las cuales ayudaría a brindar una cobertura total con una baja inversión, bajo costo operativo y gran rapidez para la transmisión de voz y datos, en comparación con las macro celdas. En cuanto al incremento del uso de servicios de datos a través de la red móvil hace que los operadores se inclinen al uso de las femtoceldas.

La implementación de las femtoceldas en el país favorecería en cuanto al aspecto económico y de calidad de servicio y cobertura para la satisfacción tanto del usuario como del operador móvil. La aplicación de estas estaciones base no solo mejora la calidad de servicio, sino también permite desviar el tráfico de las macro celdas, para que ellas ofrezcan también un servicio más eficiente.

Los puntos que se desea conseguir con la instalación de estas femtoceldas se pueden resumir en cuanto mejorará la cobertura en áreas donde las macroceldas existentes no poseen buenos niveles de señal, que con ello mejora y optimiza el diseño de la red móvil. Tendrá más canales disponibles para los usuarios, más de los que posee la macro celda.

La femtocelda es un producto que beneficiaría a tanto los operadores móviles y a los usuarios del país, debido a que esta tecnología podría ofrecer servicios empaquetados a una tarifa favorable tanto para hogares, oficinas entre otros, por lo que su implementación es fácil y con costo bajo.

Al aplicarlas además de brindar una alta calidad de servicio de voz y datos, amplían el alcance de las redes móviles hacia el interior de ambientes residenciales, oficinas, edificios gubernamentales, hospitales, ambientes donde haya la concurrencia del público como centros comerciales, aeropuertos, centros educativos, entre otros, donde la infraestructura del sitio no permite la penetración correcta de la señal de las redes móviles tradicionales.

4.4 REQUERIMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACION DE UNA RED BASADA EN LA TECNOLOGIA FEMTOCELDA

Como ya se viene indicando sobre esta tecnología de femtocelda, la cual es un punto de acceso para servicios de voz y datos conectados a un canal de banda ancha que se encuentra en el interior de una localidad sea un hogar, oficina, edificio para dar cobertura a tal área, donde los usuarios puedan gozar de los beneficios que tienen con su operador ya contratado, que les ofrece esos servicios con condiciones ventajosas de una manera técnica como económica.

Para la implementación se debe cumplir requerimientos o pasos para su aplicación como seleccionar el sitio de la nueva celda haciendo un estudio del lugar para así escoger la femtocelda adecuada y poder mejorar la cobertura y servicio en aquella zona.

Para poder seleccionar el área en donde aplicar una femtocelda se debe basar en criterios de selección del sitio basándose en factores tales como la determinación de la necesidad de la nueva celda, determinar los requerimientos de cobertura, realizar una predicción sobre las características de propagación y sobre todo una inspección al sitio.

En cuanto a la determinación de la necesidad de aplicar una nueva celda, en este caso una femtocelda, básicamente la necesidad es de proveer mayor cobertura en las áreas donde la señal es débil o prácticamente nula dentro de la cobertura de un sistema ya existente. En la cual una solución rápida, eficiente y no costosa es la aplicación de una femtocelda.

Otro punto es la determinación de las prioridades de cobertura, en ocasiones el operador móvil da mayor prioridad a ciertos sitios dentro de alguna zona y en otro menos; estos requerimientos deben ser analizados en cuanto cual sea el tráfico generado y la movilidad del abonado en el lugar de instalación de la femtocelda, para así poder establecer el área exacta de cobertura de dicha femtocelda a implementar.

Realizar una predicción de las características de propagación es muy conveniente por lo que con esto se puede elaborar el diseño de la nueva celda realizando una estimación de

cobertura para así poder ubicar el dispositivo en un lugar donde abarque el área a cubrir teniendo en cuenta varios factores de atenuación que se puede presentar.

Uno de los métodos en los cuales se predice las características de propagación en el interior para determinadas edificaciones, se deberá recoger información acerca de la estructura, materiales de construcción y ambiente de aquella edificación en la cual se vaya instalar la nueva celda.

Referente al tipo de material que una edificación este construida, estos son diferentes por lo tanto la atenuación de la señal varía, ya que algunas edificaciones tienen pisos o paredes más reforzadas que otros. En edificaciones como aeropuertos, la mayor parte de sus paredes son de concreto reforzado o ladrillo, y otras están hechas de planchas de yeso, vidrio o madera.

En centros comerciales tienen su estructura con hormigón armado muy sólido para sus paredes exteriores y techos, lo que hace que la señal de propagación se atenúe de una manera considerable en el interior de él, y en estos casos la aplicación de las femtoceldas es muy necesaria para optimizar la cobertura por lo que es un lugar muy concurrido por los usuarios.

En áreas de parqueo suele tener una mala cobertura por lo que la mayoría de parqueaderos son subterráneos y sus paredes son de concreto. Y así entre otras instalaciones como centros educativos, hogares, centro de convenciones, oficinas o edificios de varias oficinas, los materiales de construcción que son usados para su estructura tienden afectar a la recepción de la señal en el interior haciendo que la señal se atenúe.

Entre los factores de atenuación en edificaciones comunes se puede ver la tabla 4.1, la cual muestra los valores de atenuación de la señal que fueron basadas en los resultados de prueba según Bolaños. Donde F es el valor de atenuación del piso y W la atenuación en paredes.

TIPO DE EDIFICACION	F	W
Aeropuerto	10	2.0
Centro de conferencias	-	3.7
Casino	-	3.0
Hotel (paredes de ladrillo)	8	6.1
Edificio de departamentos (paredes de bloque)	8	5.2
Oficinas	12	2.5
Hospital	16	5.1
Garaje (centro comercial)	30	2.0
Centro Comercial	20	3.0

Tabla 4. 1 Valores de Atenuación

Fuente: (Bolaños Rivadeneira, 1999)

Para calcular los niveles de interferencia y atenuación de la señal se deberá medir la intensidad de la señal celular con un equipo de medición, un analizador de espectro, se coloca la antena en la ubicación donde se instalará el equipo, y de esta manera se obtiene los valores de nivel de señal celular necesario para confirmar que la aplicación de una femtocelda será la mejor solución dentro de aquella edificación.

Luego de determinar todos los requerimientos para la instalación de la femtocelda, se procede a realizar un *Site survey*. Una vez que se haya determinado la ubicación de la femtocelda, se debe proceder a determinar la capacidad de tráfico para calcular la potencia de salida de la femtocelda.

Por último, para la conexión de una femtocelda en el interior del sitio donde se la vaya implementar es de la siguiente manera, debe tener una conexión Ethernet que le permite conectarse con un equipo con un módem ADSL, SDSL, de cable, fibra óptica, etc., además cuenta con una antena la cual le permite interactuar con la interfaz de aire para así comunicarse con la red móvil.

En la figura 4.1 se muestra la conexión de una femtocelda.

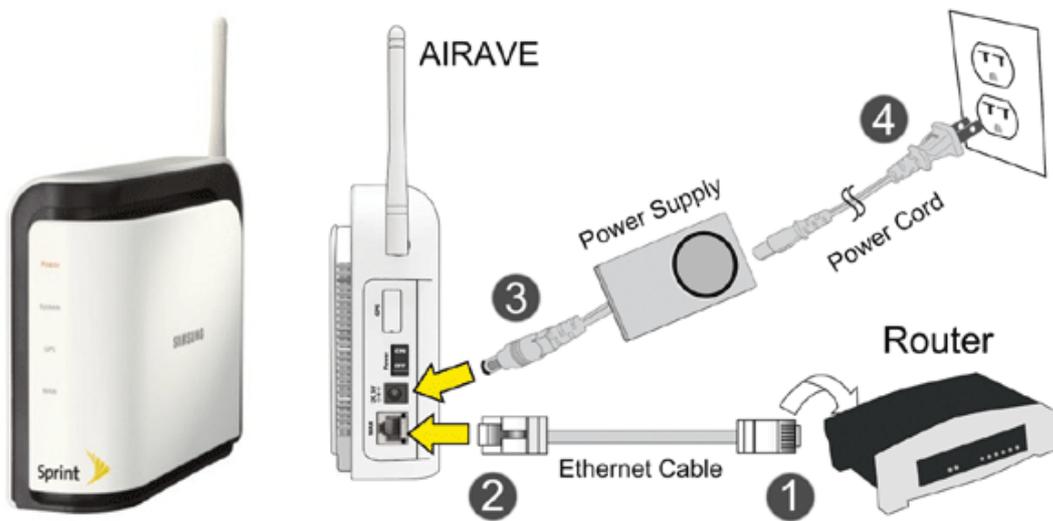


Figura 4. 1 Conexión de una femtocelda

Fuente: (Ramos Pascual, 2009)

CAPITULO V CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES

A lo largo de la investigación realizada sobre estas estaciones bases pequeñas denominadas femtoceldas se ha descubierto los beneficios que favorecen al mejoramiento de cobertura y calidad de servicio en zonas determinadas. Actualmente es de mucha importancia una especial atención a la calidad de servicio tanto para voz como para datos y sobretodo la reducción de costos de operación.

Estas celdas pequeñas que permiten brindar un servicio óptimo, cubrir una mayor cobertura en lugares que por distintos factores la señal sea nula o escasa, de este modo, ofrecen una alternativa favorable para las nuevas arquitecturas de las redes móviles.

Las femtoceldas representan una vía relativamente económica en que con su baja potencia de transmisión ayuda al mejoramiento del servicio de la red móvil de los operadores aumentando la capacidad y calidad en el tráfico de datos.

Después del transcurso llevado a cabo en este estudio sobre las femtoceldas, es posible tener ya un mayor conocimiento acerca de sus características, potencia requerida, el uso y manejo de estas estaciones bases pequeñas en los diferentes sitios en los que se pueda aplicar tales como en hogares, oficinas, edificios, centros comerciales, estadios, entre otras zonas. Además mejora la transmisión y recepción de la calidad del servicio por parte de los usuarios, de tal modo que aquellos usuarios utilicen femtocelda privada como de los que no, pero gracias a estas no tendría saturación al usar una pública.

Entre el objetivo a conseguir con este estudio, nos centramos en ver la forma en que esta tecnología de las femtoceldas permita ver las ventajas que ofrecen para que las operadoras del servicio móvil en el país puedan mejorar y aumentar su cobertura y capacidad en su red.

De esta manera se puede cumplir el propósito de esta investigación, presentando esta tecnología que beneficiaría y optimizaría las dificultades que existen en las redes móviles del país de una manera favorable técnicamente y económicamente.

5.2 RECOMENDACIONES

Una de las recomendaciones que se debe tomar en cuenta, es en el momento en que se vaya implementar por lo que es necesario saber las características técnicas de la femtocelda que se vaya a usar, por lo que debe cumplir con todo requerimiento del usuario y el de la operadora móvil.

Las operadoras móviles que vayan a implementar esta tecnología en sus servicios que brindan a los usuarios, deben basarse en el plan que el Ministerio de Telecomunicaciones propone, también cumplir los requerimientos que les establece las entidades reguladoras y de control.

Las operadoras móviles deberían prestar más atención en los lugares que no tienen tanta cobertura, y haya una cantidad significativa de usuarios o de tráfico de datos, de esta manera poner en práctica las femtoceldas.

Otro punto importante de recalcar es que deberán hacer un análisis tarifario para la prestación de este servicio, para de esta manera se beneficie los usuarios y operadores móviles.

GLOSARIO

2G	Second Generation
3G	Third Generation
4G	Fourth Generation
3GPP	3G Partnership Project
3GPP2	3G Partnership Project 2
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ANSI	American National Standards Institute
AP	Access Point
AUC	Authentication Center
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Control Network
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
eNB	Evolved NodeB
EIR	Equipment Identity Register
EPC	Evolved Packet Core
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FAP	Femtocell AP
FCC	Federal Communications Commission
FCS	Femtocell Convergence Server
FMS	Femtocell Management System
FSM	Femtocell Service Manager
GMSC	Gateway MSC
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HLR	Home Location Register
HNB	Home Node B
HNB-GW	HNB Gateway

HMS	Home Node B Management System
HSS	Home Subscriber Server
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETEL	Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Services Switching Centre
MTS	Mobile Telephone Service
NMT	Nordic Mobile Telephone
NSS	Network Switching Subsystem
RNC	Radio Network Control
RNS	Radio Network System
S-GW	Serving Gateway
SEGW	Security Gateway
SIM Card	Subscriber Identity Module
TACS	Total Access Communications Systems Phone Service
TICs	Tecnologías de la Información y Comunicación
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	UMTS SIM Card
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
WCDMA	Wide-Code Division Multiple Access
WI-FI	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

BIBLIOGRAFÍA

Agusti, R., Bernardo, F., Casadewall, F., Ferrus, R., Perez, J., & Sallent, O. (2010). *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Moviles*. Barcelona: Fundacion Vodafone Espana.

Airvana. (2010). *Femtocell Network Architecture*.

Bolaños Rivadeneira, M. (1999). *Diseño de microceldas en una red de telefonía celular y aplicación para un edificio*.

Chambers, D. (2010). *ThinkSmallCell*. Obtenido de www.thinksmallcell.com

Chambers, D. (2012). *ThinkSmallCell*. Obtenido de www.thinksmallcell.com

Echauri Estrada, D. (2010). *La evolución Convergencia Fijo-móvil (FMC)*.

Figuerola de la Cruz, M. (2008). *Introducción a los Sistemas de Telefonía Celular*. Buenos Aires: Hispano Americana S.A.

Huawei Technologies Co., L. (2008). USER GUIDE UAP3801. www.huawei.com.

Huidobro, J. M. (2009). Femtoceldas, una solución del futuro. *Antena de Telecomunicación*, 69-70.

ITU. (s.f.). Obtenido de <http://www.itu.int>

Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información. (s.f.). Obtenido de <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/plan-nacional-de-desarrollo-de-banda-ancha/>

Morales Cespedes, M. (2010). *Gestión de Interferencias en Sistemas Femtoceldas*.

Munoz Rodriguez, D. (2002). *Sistemas inalámbricos de comunicación personal*. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, SA.

NEC Corporation. (1994-2014). Obtenido de www.nec.com

Nunez, J. L. (2007). *Euskadi+innova*. Obtenido de www.euskadinnova.net/documentos/1640.aspx

Ocana, S. (2005). *www.mailxmail.com*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/getPdf.cfm?q=7/telefon%C3%ADa-celular-movil-funcionamiento-generaciones-24457-completo.pdf>

Ramos Pascual, F. (2009). *Conectronica. Tecnologia y Elementos de Conexion y conectividad*. Obtenido de <http://www.conectronica.com/Redes-Wireless/Femtoceldas.html>

Roca Rojas, R. A. (2012). *Evaluacion de las características y ventajas que ofrecen las femtoceldas dentro de una red multiservicios 3G de telefonía móvil*. Sangolqui.

Sedin Escalona, A. (2004). *Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles*. McGraw-Hill.

Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2009). *LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*. Wiley.

Small Cell Forum . (2007-2014). Obtenido de www.smallcellforum.org

Taipe Echeverria, D. (2013). *Small Cell Solution*. Nokia Siemens Networks.

Tecnico en Telecomunicaciones (Vol. Tomo 3). (2005). Cultural SA.

Telecom Basics for Non-Techies. Obtenido de <http://learnabouttelecom.blogspot.com/2012/06/gsm-core-network-diagram.html>

Universidad de Castilla - La Mancha. Departamento de Sistemas Informaticos. (s.f.).

Obtenido de [www.info-](http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Comunicacion/Moviles_3_generacion/html/vias/1.htm)

[ab.uclm.es/labelec/Solar/Comunicacion/Moviles_3_generacion/html/vias/1.htm](http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Comunicacion/Moviles_3_generacion/html/vias/1.htm)

Wiley Sons, J. (2005). *End to End Quality of Service over Cellular Networks*.

Willey, J., & Sons. (2003). *UMTS - The Fundamentals*.

Willey, J., & Sons. (2004). *WCDMA FOR UMTS* (Vol. Third Edition). (H. Holma, & A. Toskala, Edits.)

Wong, M. (2013). *Femtocells: Secure Comunication and Networking*. Dinamarca: River Publishers.

