



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE METRO CELDAS
PARA LA DESCONGESTIÓN DE REDES 3G**

Erwin Joao Pérez Solórzano

Asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE METRO CELDAS
PARA LA DESCONGESTIÓN DE REDES 3G**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ERWIN JOAO PÉREZ SOLÓRZANO

ASESORADO POR LA INGA. INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. José Antonio de León Escobar
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE METRO CELDAS PARA LA DESCONGESTIÓN DE REDES 3G

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 4 de noviembre 2013.



Erwin Joao Pérez Solórzano

Guatemala 29 de mayo de 2015

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE METRO CELDAS PARA LA DESCONGESTIÓN DE REDES 3G**, del señor **Erwin Joao Pérez Solórzano**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,


Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 39. 2015

Guatemala, 15 de JUNIO 2015.

Señor Director


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

Señor Director

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE METRO CELDAS PARA
LA DESCONGESTIÓN DE REDES 3G** del estudiante Erwin
Jose Pérez Solórzano, que cumple con los requisitos establecidos para
tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
CARIOSAMENTE Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



STO



REF. EIME 39. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; ERWIN JOAO PÉREZ SOLÓRZANO titulado: PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE METRO CELDAS PARA LA DESCONGESTIÓN DE REDES 3G, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 15 DE JULIO 2015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE METRO CELDAS PARA LA DESCONGESTIÓN DE REDES 3G**, presentado por el estudiante universitario: **Erwin Joao Pérez Solórzano**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, septiembre de 2015

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la sabiduría en los momentos justos y tomar las decisiones correctas.
- Mis padres** Erwin Pérez y Blanca Solórzano de Pérez, su amor será siempre mi inspiración.
- Mi novia** Gabriela Torres, por su apoyo incondicional y ser una inspiración en mi vida y su amor desinteresado, entre otras cosas.
- Mi tío** Victor García (q. e. p. d.), por sus valiosos consejos y ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
- Mis hermanos** Daniel y Nadia Pérez, por ser una inspiración y motivación para terminar mi carrera.
- Mi primo** Walter Juárez, por sus consejos y apoyo, influyendo directamente en el desarrollo de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por su valioso aporte a la sociedad para optar por una carrera universitaria.
Facultad de Ingeniería	Por proveerme de las herramientas y el conocimiento necesario para mi formación como profesional.
Mi amigo de la Facultad	Manuel Figueroa, por su amistad y apoyo incondicional influyendo directamente en mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XXV
OBJETIVOS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN.....	XXIX
1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES DE TERCERA GENERACIÓN	1
1.1. Evolución en el tiempo de las telecomunicaciones.....	1
1.2. Marco conceptual de la optimización en redes de telecomunicaciones	8
1.2.1. ¿Qué es la optimización?	8
1.2.2. Importancia de la optimización	8
1.2.3. Objetivo de la optimización	9
1.3. Análisis de campo en zonas de alto tráfico.....	10
1.3.1. El impacto de la congestión en una red 3G	11
1.3.2. Principales causas de congestión en una red 3G...	12
1.3.3. Proceso de optimización en redes 3G	14
1.4. Diferentes soluciones a problemas de congestión	14
1.4.1. Soluciones convencionales para la congestión	15
1.4.2. Soluciones no convencionales para la congestión	18
2. FUNDAMENTOS DE METRO CELDAS.....	27

2.1.	Conceptos de metro celdas.....	27
2.2.	Reseña histórica	27
2.3.	Componentes de una metro celda	28
2.4.	Despliegue de metro celdas.....	31
	2.4.1. Perspectiva del operador.....	31
	2.4.2. Perspectiva del usuario	33
2.5.	Técnicas de cobertura <i>indoor</i>	34
	2.5.1. Celdas <i>outdoor</i>	35
	2.5.2. Repetidores	37
	2.5.3. Sistema distribuido de antenas (DAS).....	39
	2.5.4. Radio bases para coberturas <i>indoor</i>	40
2.6.	Arquitectura de la red de acceso para metro celdas	41
	2.6.1. Interfaces de referencia de metro celdas	42
	2.6.2. Arquitectura IMS (subsistema multimedia IP) de metro celdas.....	44
2.7.	Arquitectura UMTS de metro celdas	45
	2.7.1. Protocolos de señalización para metro celdas UMTS	47
	2.7.2. Protocolos de comunicación de metro celdas	51
	2.7.3. Responsabilidades de dispositivos metro celdas UMTS	51
	2.7.4. Registro de la metro celda.....	52
	2.7.5. Punto de registro del usuario.....	54
	2.7.6. Generación de llamadas de usuario sobre lu-h.....	56
2.8.	Autoorganización de redes de metro celdas	61
2.9.	Zonas de metro celdas.....	62
3.	PROPUESTA DE APLICACIÓN DE METRO CELDAS EN ZONAS DE ALTO TRÁFICO	65

3.1.	Estadísticas antes de metro celdas	65
3.2.	Coberturas antes de metro celdas.....	71
3.3.	Uso de metro celdas en áreas de alto tráfico	77
3.4.	Estadísticas aplicando metro celdas	83
3.5.	Coberturas aplicando metro celdas	85
4.	ANÁLISIS DE SOLUCIÓN CONVENCIONAL CONTRA EL USO DE METRO CELDAS	89
4.1.	Comparación de estadísticas antes y después	89
4.2.	Comparación de coberturas antes y después	97
	CONCLUSIONES	107
	RECOMENDACIONES.....	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Congestión por potencia	13
2.	Dimensiones mínimas para torre de telefonía.....	16
3.	Antenas en azoteas.....	18
4.	Antena con papel tapiz de ladrillo	20
5.	Mimetización de antena omnidireccional.....	21
6.	Mimetización de torres de telefonía.....	21
7.	DAS para edificios.....	23
8.	DAS en postes municipales	24
9.	Convivencia red macro y femto.....	28
10.	Aplicaciones de Small Cells	29
11.	Cobertura <i>indoor</i> con celdas <i>outdoor</i>	36
12.	Aplicación de repetidor para cobertura <i>indoor</i>	38
13.	Interfaces de la red femto.....	43
14.	Arquitectura red IMS con femto celdas.	45
15.	Arquitectura UMTS con femto celdas.....	46
16.	Protocolos de señalización para una red femto	50
17.	Responsabilidades de dispositivos para las metro celdas	52
18.	Mensajería para registro de usuario.....	56
19.	Generación de llamadas sobre lu-h en una red de metro celdas.....	60
20.	Celda externa al centro comercial.....	66
21.	Tasa de transferencia promedio.....	67
22.	Usuarios conectados promedio.	68
23.	Rechazos en datos por congestión	69
24.	Sesiones de voz no establecidas	70

25.	Niveles de RSCP dentro de nivel 1 del parqueo.....	73
26.	Niveles de Ec/lo dentro de nivel 1 del parqueo.....	74
27.	Niveles de RSCP dentro de nivel 2 del parqueo.....	75
28.	Niveles de Ec/lo dentro de nivel 2 del parqueo.....	76
29.	Ambiente de pruebas en niveles de parqueo.....	78
30.	Simulación niveles de RSCP nivel 1 del parqueo	80
31.	Simulación niveles de RSCP nivel 2 del parqueo	81
32.	Simulación niveles de Ec/lo niveles 1 y 2 del parqueo	82
33.	Tasa de transferencia promedio con el uso de metro celdas.....	83
34.	Usuarios conectados promedio.....	84
35.	Niveles RSCP y Ec/lo dentro del nivel 1 de parqueo	85
36.	Niveles de RSCP y Ec/lo dentro del nivel 2 del parqueo	86
37.	Completación de llamadas voz de metro celdas.....	90
38.	Completación de llamadas datos de metro celdas.....	91
39.	Usuarios por servicio	93
40.	Porcentaje de caída de sesiones PS	95
41.	Porcentaje de caída de llamadas de voz (Cs)	96
42.	Comparación RSCP antes y después parqueo 1	98
43.	Comparación RSCP antes y después parqueo 2	99
44.	Comparación Ec/lo antes y después parqueo 1	101
45.	Comparación Ec/lo antes y después parqueo 2	103
46.	Calidad del CPICH.....	105

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
dB_i	Decibelio isotrópico
dB_m	Decibelio mili vatio
kHz	Kilohercio
km	Kilómetro
km/h	Kilómetro por hora
MHz	Megahercio
mW	Mili vatio
%	Porcentaje
W	Vatio

GLOSARIO

3G	Tercera generación de redes de telecomunicaciones celulares inalámbricas.
3GPP	Third Generation Partnership Project (Proyecto Asociación de Tercera Generación).
4G	Cuarta generación de redes de telecomunicaciones celulares inalámbricas.
AAL2	ATM Adaptation Layer 2 (Adaptación de ATM de la Capa 2). Circuito orientado a la conexión de tráfico síncrono. Su servicio es de baja prioridad y garantizado. Se utiliza en compresión de video.
AAL5	ATM Adaptation Layer 5 (Adaptación de ATM de la Capa 5). Es una etapa del servicio de la tecnología ATM donde la información del usuario se estructura y secciona de acuerdo al tipo de servicio.
AMPS	Advanced Mobile Phone System (sistema telefónico móvil avanzado). Sistema de telefonía móvil de primera generación.

ATM	Asynchronous Transfer Mode (Modo de Transferencia Asíncrona). Tecnología de telecomunicaciones desarrollada para hacer frente a la gran demanda de capacidad de transmisión para servicios y aplicaciones.
<i>Broadband</i>	Es un gran ancho de banda con la capacidad de transportar datos simultáneamente, múltiples señales y tipos de tráfico.
BSC	Base Station Controller (Controlador de Estaciones Base). Encargado de controlar las estaciones base de una red de telefonía celular.
BTS	Base Transceiver Station (Estaciones Base). Se usa para comunicar con una o más radios móviles o teléfonos celulares.
CAPEX	Capital Expenditures (Inversiones en Bienes Capitales). Es cuando un negocio invierte en la compra de un activo fijo o para añadir valor a un activo existente.
<i>Cell Breathing</i>	Respiración de la celda. Es un mecanismo que permite a las celdas sobrecargas para descargar el tráfico de abonados a las celdas vecinas cambiando el tamaño geográfico de su área de servicio.

<i>Churn rate</i>	Tasa de cancelación de clientes de un operador. Es la medición del número de abonados que cancelan sus suscripciones con el operador.
SCCP	Signalling Connection Control Part (parte de control de conexión). Este protocolo provee enrutamiento extendido, control de flujo, segmentación, conexión de orientación y las instalaciones de corrección de errores en el sistema de señalización 7.
<i>Plug and play</i>	(Enchufar y usar) conexión de un dispositivo informático sin necesidad de realizar configuraciones previas.
CPICH	Common Pilot Channel (Canal Piloto Común). En redes de tercera generación es un canal con potencia constante y secuencia de bits conocida.
Cs	Circuit switching (conmutación de circuitos). Es la metodología que se utiliza en una red de telecomunicaciones en los que dos nodos de la red establecen un canal dedicado de comunicación antes de que esta suceda.
DAS	Distributed Antenna Solution (solución de antenas distribuidas). Es la acción de conectar dos o más antenas a un mismo sector para ampliar la cobertura.

DL	DownLink (enlace de bajada). Es el enlace que se utiliza para hacer descargas de datos desde la red hacia la terminal del usuario final.
DSL	Digital Subscriber Line (línea de abonado digital). Es la tecnología que permite un acceso a internet a través de los cables de una red telefónica.
Ec/Io	<i>Receive energy per chip and Interference level</i> (relación entre la energía del chip y la interferencia). Es un indicador que muestra los niveles de interferencia que las celdas del propio nodo presentan.
RANAP	Radio Access Network Application Part (Protocolo de la Parte de Aplicación de la Red de Acceso). Es el protocolo utilizado en redes de tercera generación que permite la comunicación entre la red de acceso y la red principal o red core.
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution (tasas de transferencia mejoradas para la evolución global). Es tecnología de segunda generación en redes de telecomunicaciones que mejora las tasas de transferencia de datos.

Fb-Cs	Punto de referencia que existe entre la puerta de acceso de la red femto y la interfaz de conmutación de circuitos del operador para soportar aplicaciones en tiempo real como la voz y el video.
Fb-Ps	Interfaz que existe entre la puerta de acceso de la red femto y la interfaz de conmutación de paquetes, para soportar aplicaciones de datos como navegación, correos electrónicos, entre otros.
FAP	Femto Access Point (punto de acceso femto). Celdas de tamaño reducido que funcionan como pequeñas radio bases, es uno de los nombres con los que se conocen las femto celdas.
FAS	Femto Application Server (servidor de aplicaciones femto). Envía a la metro celda los parámetros de radio iniciales para su sintonización.
FGW	Femto Gateway (puerta de acceso femto). Equipo encargado de dar el acceso entre la red principal 3G y la red femto.
Fg	Interfaz encargada de la configuración de protocolos de señalización y la administración del tráfico de la puerta de acceso femto.
Fm	Interfaz encargada de la administración de todas las femto o metro celdas.

Fr	Interfaz encargada de dar el acceso hacia las bases de datos necesarias para el aprovisionamiento de los suscriptores.
Fs	Interfaz complementaria para la Fr, la combinación de ambas permite tener el acceso total a la base de datos de los abonados.
FTTH	<i>Fiber to the home</i> (fibra hasta el hogar).
GPRS	General Packet Radio Services (acceso general de paquetes de radio). Extensión del sistema global para las comunicaciones móviles para la transmisión de datos mediante conmutación de paquetes.
GPS	Global Position System (Sistema Global de Posicionamiento). Sistema que permite localizar a una persona u objeto en cualquier parte del mundo.
GSM	Global System for Mobile Communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles). Sistema estándar libre de regalías de telefonía móvil digital.
Hand over	Nombre que se le da al sistema utilizado en comunicaciones móviles para trasladar el servicio de una radio base a la otra cuando la calidad es insuficiente.

HSCSD	High-Speed Circuit-Switched Data (Conmutación de Circuitos de Datos de Alta Velocidad). Mejora que se realiza en la transmisión de datos en las redes GSM.
HNB	Home NodeB (NodoB para el Hogar). NodoB diseñado para estar dentro del hogar, posee menores dimensiones y con regulaciones en potencia radiada.
HSPA	High-Speed Packet Access (Paquetes de Acceso de Alta Velocidad). Tecnología complementaria para redes 3G diseñada para mejorar las tasas de transferencia.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica). Asociación mundial que se dedica a la estandarización de nuevas tecnologías.
IMS	IP Multimedia Subsystem (Subsistema Multimedia IP). Conjunto de especificaciones para soportar telefonía y servicios multimedia por medio de IP.
IP	Internet Protocol (protocolo de internet). Protocolo utilizado para transmisión de datos a través de distintas redes físicas previamente enlazadas.

IPsec	Internet Protocol Security (Protocolo de Seguridad de Internet). Conjunto de protocolos utilizado para asegurar la comunicación sobre IP cifrando cada paquete en un flujo de datos.
ISDN	Integrated Service Digital Network (Red Digital de Servicios Integrados). Evolución de redes digitales y facilita conexiones extremo a extremo para proporcionar una amplia gama de servicios.
Iu-Cs	Interfaz de comunicación entre la red núcleo y la de conmutación de circuitos.
Iu-h	Interfaz entre las metro celdas, su puerta de acceso.
Iu-Ps	Interfaz de comunicación entre la red de núcleo y la conmutación de paquetes.
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
LTE	Long Term Evolution (Evolución a Largo Plazo). Evolución de las redes 3G basada en la mejora significativa de las tasas de transferencia para transmisión de datos.
M3UA	MTP3 User Adaptation Protocol (Protocolo MTP-3 Adaptado al Usuario).Transporta los mensajes de los usuarios hacia el destino, pero no cumple las funciones del MTP-3.

MAC	Media Access Control (Control de Acceso al Medio). Conjunto de protocolos con los cuales varios dispositivos comparten un medio de transmisión.
MSC	Mobile Switching Center (Centro de Conmutación de Servicios Móviles). Elemento de las redes de comunicaciones móviles que tiene como función interconectar usuarios de la red fija con la red móvil o usuarios de la red móvil entre sí.
MTP3b	Message Transfer Part (Parte de Transferencia de Mensajes). Componente del sistema de señalización 7 utilizado en las redes de telefonía pública, encargado del transporte no duplicado, fiable y de la secuencia de mensajes del sistema de señalización 7 entre dispositivos.
MNO	Mobile Network Operator (Red de Operador Movil). Red móvil administrada por un operador de servicios.
OPEX	Operating Expense (Costo Operativo). Costo permanente para el funcionamiento de un producto, sistema o negocio.
SSCOP	Service Specific Connection Oriented Protocol (Protocolo de Servicio Especifico Orientado a Conexión). Proporciona entrega fiable de paquetes ordenados o desordenados a través de una conexión de completa de dos vías.

RAB	Radio Access Bearer (Portadora de Acceso al Radio). Provee un segmento de conexión utilizando la red de acceso inalámbrica.
PoE	Power over Ethernet (Alimentación Eléctrica Sobre Ethernet). Permite que un dispositivo de infraestructura pueda recibir alimentación eléctrica por medio del mismo cable de conexión de red.
HNABP	Home NodeB Application Protocol (Protocolo de Aplicación para nodos del Hogar). Este protocolo se encuentra sobre la interfaz lu-h y se encarga de los procesos de registro de usuarios.
RUA	RANAP User Adaptation (RANAP Adaptado al Usuario). Protocolo encargado de la comunicación entre las metro celdas y su puerta de acceso.
Ps	Packet switching (Conmutación de Paquetes). Método de comunicación de redes que agrupa los datos a transmitir sin importar el contenido.
PSTN	Public Switching Telephone Network (Red Telefónica Pública Conmutada). Red de conmutación de circuitos tradicional optimizada para comunicaciones de voz en tiempo real.

RLC	Radio Link Control (RLC). Se encarga de proveer a los usuarios acceso a los canales de radio y comunicarse con la red móvil que le prestará servicios.
RRC	Radio Resource Control (Control de Recursos de Radio). Se encarga de las funciones de establecimiento de conexión, liberación y difusión de la información del sistema.
RBS	Abreviatura que se le da a las radio bases encargadas del acceso hacia la red móvil.
RF	Radio Frecuencia.
RNC	Radio Network Controller (Controlador de la Red de Radio). Elemento de la red de acceso de la tecnología de tercera generación responsable del manejo de los nodosB que se conectan a ella.
RSCP	Received Signal Code Power (Energía Recibida de la Señal de Código). Indicador que muestra el nivel de señal que se tiene en un área determinada de cobertura.
RTP	Real-time Transport Protocol (Protocolo de Transporte en Tiempo Real). Es utilizado para la transmisión de información en tiempo real.

SCCF-NNI	Service-specific Coordination Function Network to Network Interface (Función de Coordinación de Servicios Específicos de la Interfaz Red a Red). Protocolo que ofrece los servicios de control de flujo, estado y gestión del enlace utilizado para la comunicación.
SCCP	Signaling Connection Control Part (Parte de Control de la Conexión de Señalización). Se considera que es una ampliación del protocolo MTP.
SIP	Session Initiation Protocol (Protocolo de Inicio de Sesiones). Se encarga de la gestión de las sesiones interactivas que establece un usuario donde intervienen elementos multimedia como video, voz, juegos en línea y otros.
Small Cells	Pequeñas Celdas. Son pequeñas radio bases que permiten al operador estar más cerca de los usuarios debido a su gran flexibilidad en el despliegue.
SMS	<i>Short message service</i> (servicio de mensajes cortos). Servicio para el cliente final de mensajería de texto diseñado originalmente para redes GSM.
SS7	Signaling System 7 (Sistema de Señalización 7). Grupo de protocolos de señalización telefónica con el propósito de establecimiento y finalización de llamadas.

SSCOP	Service-Specific Connection Oriented Protocol (Protocolo Orientado a la Conexión de Servicios Específicos). Se encarga de la retransmisión de paquetes erróneos, secuenciamiento de paquetes y de la medición periódica del enlace.
SCTP	Stream Control Transmission Protocol (Protocolo de Transmisión de Control de Corriente). Alternativa a los protocolos de transmisión como TCP y UDP pues provee confiabilidad y control de flujo, es un protocolo orientado al mensaje.
TACS	Total Access Communication System (Sistema de Comunicación de Acceso Total). Variante obsoleta del sistema telefónico móvil avanzado.
TDMA	Time Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo). Técnica de transmisión de señales digitales con el fin de aprovechar al máximo el medio de transmisión.
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmisión). Protocolo fundamental de internet para crear conexiones entre usuarios.
UDP	User Datagram Protocol (Protocolo de Datagramas de Usuario). Protocolo basado en el transporte de datagramas, permite el envío de datagramas sin que se haya establecido previamente una conexión.

UE	User Equipment (usuario del equipo). Abreviatura con la que se conoce a los usuarios finales de una red móvil.
UL	UpLink (enlace ascendente). Enlace utilizado para que el usuario pueda subir datos a la red.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles). Es la tecnología utilizada por los móviles de tercera generación creada para brindar servicios multimedia y una velocidad elevada de acceso a internet.
Uu	Interfaz de aire, Interfaz lógica que obedece a estándares 3GPP para estaciones base de área local.
VIP	Very Important People (personas de gran importancia). Clientes muy importantes para la empresa por su influencia directa en los ingresos de la misma.
VLR	Visitor Location Register (Registro de Localización de Visitantes). Base de datos que contiene información de los usuarios itinerantes dentro de una red móvil, su función principal es reducir al mínimo las consultas hacia el HLR.

WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha). Tecnología de acceso móvil de redes de tercera generación, permite mayor eficiencia espectral y proporciona tipos de servicios en el acceso por radio.
Wifi	Wireless fidelity (fidelidad inalámbrica). Mecanismo de conexión inalámbrica de dispositivos electrónicos.
WiMax	Worldwide interoperability for Microwave access (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas). Tecnología de última milla que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación pretende dar a conocer la solución de metro celdas como una propuesta para la descongestión de redes de tercera generación o 3G.

El primer capítulo narra la historia de las telecomunicaciones, describe la evolución de los sistemas de comunicación inalámbrica hasta llegar a las redes celulares que se conocen hoy en día, explica además los conceptos de optimización y congestión así como las diferentes soluciones convencionales y no convencionales que se implementan en la actualidad para reducir la congestión en redes de telefonía celular.

La segunda parte de este trabajo se enfoca en los fundamentos de las metro celdas, explica las características principales de los equipos, los conceptos básicos, el despliegue comercial, las técnicas de cobertura y la arquitectura de red necesaria para el correcto funcionamiento de las pequeñas celdas.

El tercer apartado es la propuesta de la utilización de las metro celdas en zonas de alto tráfico, es decir que, describe el escenario de prueba, presenta las estadísticas y coberturas antes y durante el funcionamiento de los equipos.

Por último en el presente trabajo se realiza el análisis de las estadísticas y los principales indicadores de cobertura y calidad de la red dentro del área donde se realizó la prueba para la propuesta de la utilización de las metro celdas.

OBJETIVOS

General

Presentar una propuesta de utilización de metro celdas para la descongestión de redes 3G.

Específicos

1. Presentar una introducción a las redes de telecomunicaciones de tercera generación.
2. Presentar los fundamentos de las metro celdas.
3. Proponer la aplicación de metro celdas en zonas de alto tráfico.
4. Análisis de solución convencional contra el uso de las metro celdas.

INTRODUCCIÓN

La congestión de redes 3G se presenta debido a la alta utilización de recursos a nivel de los nodos B de una red comercial, al tener este problema, el operador no puede ofrecer servicios de calidad hacia sus usuarios finales, por lo que, debe encontrarse una solución a dicha problemática para no causar mala percepción con sus abonados.

El inconveniente de la congestión tiene como principal característica la afectación directa al usuario final de un operador, impactando así, directamente el número de suscriptores y por ende, también las ganancias de la empresa. Para la problemática de congestión se plantea la propuesta de utilizar metro celdas para capturar tráfico que antes no se tenía en la red, el mayor ofensor de la red es la alta demanda de servicios en zonas de alto tráfico de usuarios.

Las metro celdas son equipos cuyo funcionamiento es idéntico al de una radio base o nodo B común y corriente con limitantes de capacidad, pero muchas ventajas para la instalación en espacios donde las soluciones convencionales no son factibles.

1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES DE TERCERA GENERACIÓN

1.1. Evolución en el tiempo de las telecomunicaciones

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) define el término “telecomunicación” como “Toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos”.

Esta definición, dada en un congreso celebrado en Madrid en 1932, queda hoy en día un poco corta teniendo en cuenta el extraordinario avance que, desde entonces, se ha producido en las tecnologías electrónicas, informáticas y audiovisuales tan estrechamente relacionadas con las telecomunicaciones. De acuerdo con ella, la telecomunicación iría ligada al electromagnetismo y por lo tanto habría que esperar al siglo XIX, cuando empiezan a conocerse y explicarse los fenómenos eléctricos para señalar el comienzo de las telecomunicaciones propiamente dichas.

Las comunicaciones móviles y de uso privado son, quizás, el más claro ejemplo de lo que el hombre desea en la órbita de las telecomunicaciones: comunicarse con sus semejantes, directamente allá donde se encuentren y cuando le sea preciso y conveniente. Las comunicaciones vía radio permiten como ningún otro medio, superar distancias y sobre todo recorridos no preestablecidos.

Durante la Segunda Guerra Mundial, se vivió un insólito crecimiento en las tecnologías de radio, esto permitió al fin la aparición de los primeros sistemas de comunicaciones móviles, de tipo cerrado, empleados principalmente las utilizaban como servicios de seguridad ciudadana (policía, bomberos, y otros).

Desde entonces hasta hoy en día se ha producido una evolución impresionante basada en tres ejes ortogonales en una primera visión:

- Extensión cualitativa y cuantitativa, de usuarios
- Crecimiento, en tipo y cobertura, de los servicios suministrados
- Evolución tecnológica en equipos y sistemas

La primera generación de la telefonía celular se considera que inició entre 1975 y 1985, en donde el mayor avance fue el concepto de la red celular móvil propuesta por los laboratorios Bell (en la década de los 70). La red celular se logró diferenciar de las antiguas redes de comunicación móvil por su sistema de colocación de celdas las cuales permitían reutilizar las frecuencias y por lo tanto mejorar en gran medida la capacidad del sistema.

Un sistema común en las redes de primera generación era el AMPS (Advanced Mobile Phone System), sistema utilizado en la banda de los 800 MHz del sistema de transmisión celular analógico y se aplicó ampliamente en Norte América, Sur América y algunos países del Pacífico. Otra tecnología típica de la primera generación fue la TACS (Total Access Communication System) que fue una tecnología muy utilizada Gran Bretaña, Japón y algunos países de Asia y operaba en la banda de los 900 MHz. Las principales características que diferenciaron esta generación fueron la reutilización de frecuencias y la modulación análoga adoptada para señales de voz y proporcionar al usuario un canal analógico cada 30 KHz.

A pesar de estas ventajas para las tecnologías de la primera generación, las desventajas que presentaban eran evidentes como:

- Baja utilización del espectro de frecuencia.
- Tipos de servicios limitados.
- Servicios de datos de baja velocidad.
- Alta vulnerabilidad a la malversación de números e interceptaciones y baja confidencialidad.
- Equipo de alto costo.
- Equipo de gran volumen y peso.

Para solucionar estos problemas que eran característicos de sistemas analógicos fue necesario que emergieran los sistemas de comunicación digitales, con los cuales viene la evolución hacia las redes de segunda generación.

En 1980, fue cuando se desarrolló por primera vez el GSM (Global System for Mobile Communication) o 2G (segunda generación). Después de numerosas discusiones entre 1982-1985 se decide que la mejor opción es construir un sistema digital y una solución TDMA (Time Division Multiple Access) de banda estrecha, se decidió que el sistema de modulación fuera el Gaussiano de desplazamiento mínimo, los fundamentos técnicos estuvieron listos en 1987 y en 1990, la primera especificación técnica fue producida, para que en 1991, aparezca el primer sistema de operador en el mercado celular con Radiolinja en Finlandia, dicho sistema para el 2005 ya superaba los mil millones de usuarios.

Características como las llamadas prepago y el *roaming* internacional aumentaron la popularidad del sistema GSM. Como era de esperarse, esto condujo al desarrollo de terminales más pequeñas y ligeras con mejores características. Con este sistema se desarrollaron muchos servicios además de las llamadas de voz, entre estos están los SMS (*short message service*), el buzón de voz y las llamadas en espera, los mensajes cortos fueron un suceso fenomenal ya que se alcanzaron los 15 billones de SMS mensuales para el 2000. Algunas de las grandes ventajas del GSM eran, la alta calidad de voz digital y alternativas de bajo costo para hacer llamadas, como la mensajería de texto.

La gran ventaja que se presentó para el operador era la facilidad de desplegar equipos de diferentes proveedores, ya que los estándares abiertos permitían una fácil interoperabilidad.

Los sistemas de GSM podían operar en varias frecuencias de radio y las más utilizadas son 900 o 1 800 MHz. En Estados Unidos y Canadá se opera a 850 o 1 900 MHz. La frecuencia para el enlace ascendente en la banda de los 900 MHz esta entre 935 y 960 MHz y la frecuencia del enlace descendente entre los 890 y 915 MHz, por lo tanto, se logra obtener en el enlace ascendente como en el descendente un ancho de banda de 25 MHz, banda que está subdividida en 124 portadoras siendo cada una de 200 KHz que a su vez contiene 8 canales de voz.

Tras el éxito de la red GSM, se inició con el desarrollo de mejoras para lograr servicios de mayor calidad, con esto nace lo que se le conoce como 2,5G (generación 2,5), dicha tecnología es una designación que en general incluye todas las mejoras avanzadas para las redes 2G.

En general, un sistema 2,5G GSM incluye al menos una de las siguientes tecnologías:

- High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD)
- General Packet Radio Services (GPRS)
- Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE)

Uno de los mayores problemas que se presentaron para GSM eran sus bajas tasas de transferencia en el aire las cuales apenas alcanzaban los 9,6 Kbps. Para mejorar las tasas de transferencia se desarrolló HSCSD, esta tecnología permitía que, en lugar de utilizar una sola ranura de tiempo, una estación móvil pudiera utilizar varios intervalos de tiempo para realizar la conexión de datos. En las implementaciones comerciales actuales, el máximo puede ser de 4 ranuras de tiempo.

La mayor dificultad de emplear el HSCSD es el manejo de los escasos recursos de radio, ya que asigna los intervalos de tiempo utilizados, incluso cuando no se está transmitiendo. Esta característica también lo hace ideal para aplicaciones en tiempo real que permite únicamente pequeños retrasos. El inconveniente era que los usuarios de gama alta, quienes serían los que utilizarían los servicios, seguramente los utilizarían en áreas congestionadas por lo que el servicio sería inútil. Debido a esto, los fabricantes de terminales, no se interesaron en la implementación de HSCSD y pasaron directamente a la fabricación de teléfonos GPRS.

Con GPRS se logró alcanzar tasas de transferencia de hasta 115 Kbps, este era el máximo valor teórico alcanzable en condiciones de radio óptimas, utilizando 8 ranuras de tiempo para el enlace descendente. Lo que hace aún más importante a esta tecnología es que se basa en la conmutación de paquetes y no de circuitos, con esto no es necesario asignar recursos constantemente, únicamente se hace cuando se desea enviar algo dadas estas características, no es ideal para aplicaciones en tiempo real, la asignación de recursos se basa en contienda; por lo tanto, no garantiza un retardo máximo absoluto, y lo convierte en ideal para aplicaciones en tiempo no real como el correo electrónico y la navegación por internet.

El primer lanzamiento comercial de GPRS se llevó a cabo en el 2001, la implementación de la nueva tecnología era mucho más costosa que una de HSCSD ya que la red necesitaba nuevos componentes así como modificar los existentes, pero fue visto como un paso necesario hacia una mejor capacidad de datos para los usuarios.

La tercera generación de comunicaciones móviles (3G) fue propuesta por primera vez en 1985, y fue renombrada como IMT-2000 en 1996, aunque su comercialización fue alrededor del 2000, esta tecnología trabajaba con alrededor de 2 000 MHz y entregaba altas tasas de velocidad llegando hasta los 2 000 Kbps. Los sistemas de comunicación 3G son sistemas que puede proveer diversidad de servicios multimedia de alta calidad además de implementar una cobertura global sin fisuras.

Los sistemas 3G se desarrollaron con el fin de lograr una alta eficiencia en el uso del espectro de radioeléctrico además de estandarizar la banda de frecuencias para lograr una cobertura mundial y sin problemas, otro de los objetivos planteados fue la fácil transición de 2G hacia 3G logrando una compatibilidad entre ambos sistemas. Una de las grandes ventajas fue, el poder proveer al usuario con servicios multimedia con rangos de tasas de transferencia en distintos ambientes tales como:

- Ambiente en automóvil: 144 Kbps
- Ambiente caminando: 384 Kbps
- Ambiente de interiores: 2 Mbps

Los cuatro pilares para la implementación de las redes 3G fueron:

- Capacidad de movilizarse globalmente: con esta tecnología los usuarios pueden mover el sistema completo incluso en el mundo entero y podrían ser provistos de servicios de alta calidad con diferentes velocidades en distintos estados de movimiento.
- Provisión de diversidad de servicios: se logró la implementación de servicios de voz, datos en distintas velocidades, video activo y servicios multimedia.
- Capacidad para adaptarse a distintos ambientes: se logró establecer conexión con la red pública existente o PSTN (Public Switched Telephone Network) así como a la red integrada de servicios digitales o ISDN (Integrated Service Digital Network), sistemas de comunicación terrestres y comunicaciones satelitales para proveer cobertura sin fisuras.

- Sistema con capacidad suficiente: se logró establecer un sistema con una poderosa capacidad de manejar múltiples usuarios así como también se logró una alta seguridad y calidad del servicio.

1.2. Marco conceptual de la optimización en redes de telecomunicaciones

Las redes de telecomunicaciones están planeadas para capturar la mayor de cantidad de usuarios posible, por esa razón es de gran importancia que la red ofrezca siempre el máximo desempeño para brindar a los abonados la mejor experiencia en sus servicios, para lograr este objetivo muchas veces es necesario optimizar la red, ya sea con cambios físicos o lógicos.

1.2.1. ¿Qué es la optimización?

La optimización es el proceso de aprovechar de la mejor manera los recursos disponibles con el fin de lograr el máximo rendimiento de un determinado sistema. En redes 3G se refiere al proceso de modificaciones de los equipos instalados, que son necesarios para asegurar la mejor experiencia en los servicios de voz y datos de los usuarios finales.

1.2.2. Importancia de la optimización

La optimización empezó a ser importante para la sociedad tras las primeras dos guerras mundiales, ya que fue necesario el ahorrar ciertos recursos del país para emplearlos en la guerra, es hasta la Segunda Guerra Mundial en donde un matemático estadounidense le da nacimiento a la forma actual de la optimización.

La optimización se ha vuelto de vital importancia desde las industrias dedicadas a la ganadería hasta las que se dedican a las altas tecnologías, como las empresas de telecomunicaciones; en la ganadería es muy importante el poder aprovechar al máximo todo lo que las vacas ofrecen, desde la piel para zapatos hasta los huesos para la creación de gelatina; en el caso de la tecnología, la optimización se centra en la reducción de costos para obtener la máxima utilidad posible, en telecomunicaciones puede traducirse en menos equipos para mayor cobertura o bien equipos menos costosos con la misma capacidad.

En resumen para los operadores de redes 3G es de gran importancia el poder ejecutar las soluciones para solventar problemas de cobertura y capacidad pero con la minimización de costos, para así asegurar clientes felices con costos mínimos.

1.2.3. Objetivo de la optimización

El fin de la optimización en el ámbito de las redes de tercera generación es garantizar los servicios de un operador en un área determinada, pero debe realizarse aprovechando los recursos disponibles para conseguir el máximo rendimiento de los equipos y minimizar los costos de producción para la red.

Con la optimización de los equipos en la red se asegura que la empresa contará con los servicios ofrecidos a los clientes, la capacidad para los mismos y además el costo mínimo de producción, ayudando con esto al más grande objetivo de cualquier negocio como lo son las altas utilidades.

1.3. Análisis de campo en zonas de alto tráfico

Antes de realizar un análisis de campo, es necesario mencionar que el mayor problema que puede afectar a una red 3G es la “congestión”, esta se puede presentar en la red debido a la demanda de servicios de los usuarios finales.

La congestión de la red puede verse en varios aspectos, tales como: señalización, interfaces de comunicación, potencia, códigos, entre otros. Todos estos son problemas que hacen se vea afectado el acceso a los servicios que presta un operador, el fenómeno se da cuando una celda es incapaz de manejar todo el tráfico que presentan los subscriptores bajo su cobertura, esto, ya que los recursos que maneja no son suficientes para cumplir con todo el volumen de tráfico que se está demandando.

Tras la problemática de congestión en una red, llegan de manera indirecta inconvenientes como: elegir la solución acorde al área para eliminar la congestión, permisos para implementar la solución y tiempo de ejecución. Estos son tres de los principales ofensores al buen funcionamiento de la red ya que con la urbanización de las ciudades, cada vez se complica más el obtener un lugar donde instalar una solución convencional para solventar problemas de capacidad y aquí es donde aparecen las soluciones alternativas como descarga de red por wifi, Small Cells y sistemas de antenas distribuidas.

1.3.1. El impacto de la congestión en una red 3G

En una red 3G el impacto de la congestión recae directamente en la calidad de servicios que se le ofrece a un usuario, esto se presenta cuando una radio base se encuentra con todos sus recursos presentando alta ocupación, por lo que si un usuario desea acceso a la red, esta se le negará por falta de disponibilidad.

Debido a la forma de operar de una red 3G los términos de cobertura y capacidad deben de ir de la mano para lograr un buen desempeño, esta es una de las principales diferencias en cuanto a la red GSM ya que en esta la calidad no es algo que dependa del número de conexiones que pueda soportar una portadora. En UMTS, la calidad si se ve afectada ya que condiciona directamente la capacidad que pueda tener determinado enlace, esto ya que el ruido de fondo viene determinado por las transmisiones simultaneas que pueda tener la portadora servidora.

En temas de planificación, los ítems de capacidad y cobertura para redes 3G deben hacerse de manera conjunta, ya que una de las características es que al aumentar la carga de usuarios en el sistema, la cobertura se verá reducida, este es un comportamiento típico del sistema UMTS y es conocido como *cell breathing* (respiración de la celda).

1.3.2. Principales causas de congestión en una red 3G

Existen muchas causas para la congestión en una red 3G, en la parte de acceso, los mayores ofensores son: la congestión por potencia, la cual se da por la presencia de muchos usuarios en el área de cobertura de determinada radio base o celda, y la congestión debido a una mala cobertura.

Para determinar si se cuenta con un problema de congestión por mala cobertura es necesario realizar un recorrido de prueba o *drive test*, en este recorrido se pueden evaluar varios indicadores los cuales deben de cumplir con los niveles establecidos para brindar una cobertura adecuada.

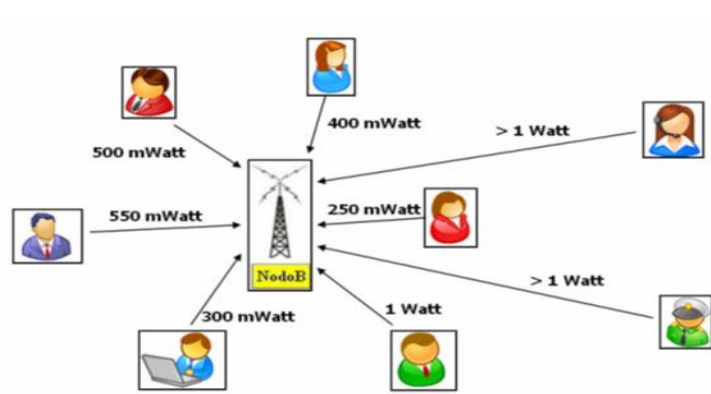
- RSCP – Received Signal Code Power, el nivel de RSCP indica que tanta señal se tiene en el área de determinada cobertura, para evaluar los niveles se tienen los siguientes rangos:
 - Bueno: $RSCP \geq -88$ dBm
 - Aceptable: -95 dBm $\leq RSCP < -88$ dBm
 - Malo: $RSCP < -95$ dBm

- Ec/Io – relación entre la energía recibida por chip y el nivel de interferencia, este parámetro indica básicamente el nivel de calidad que ofrece la cobertura, pudiendo obtener buenos niveles de RSCP pero si la calidad es mala, los servicios de igual forma se ven afectados. Los niveles para determinar que la calidad es buena son:
 - Bueno: $Ec/Io \geq -8$ dB
 - Aceptable: -14 dB $\leq Ec/Io \leq -8$
 - Malo: $Ec/Io < -14$ dB

Para comprender la congestión por potencia es necesario entender que una radio base es capaz de atender hasta 6 sectores o celdas para distintas coberturas, además saber que cada sector tiene capacidad de hasta 20 W de potencia para entregar a los usuarios y cada terminal es capaz de consumir una porción de dicha potencia, por lo anterior mencionado es fácil de comprender que al tener demasiados dispositivos bajo una misma cobertura, la potencia del sector que sirve a dichos dispositivos se verá reducida hasta el punto en que no pueda prestar más los servicios ofrecidos, la potencia consumida por un terminal está en función a la distancia entre la radio base y los usuarios.

En la figura 1 se puede observar de manera gráfica lo anterior descrito, se observa como cada dispositivo es responsable de consumir cierta potencia la cual se encuentra ligada directamente a la distancia que separa al usuario de la radio base.

Figura 1. **Congestión por potencia**



Fuente: VALENCIA, Josue. *Calidad de servicio (QoS) de la red UMTS*.

<http://es.scribd.com/doc/100554393/Calidad-de-Servicio-QoS-de-La-Red-UMTS>. Consulta: 28 de marzo de 2014.

1.3.3. Proceso de optimización en redes 3G

La optimización en las redes 3G es la etapa posterior a la implementación de las distintas soluciones para temas de cobertura y capacidad, durante esta fase se realizan pruebas, mediciones y cambios en los parámetros de las antenas para poder lograr el óptimo rendimiento de la red móvil.

Ajustar *tilts* eléctricos y mecánicos son acciones que pueden ayudar a mejorar el desempeño del sector, luego de realizar los cambios en todos los parámetros es recomendable hacer un recorrido de *drive test*, con estas mediciones se puede determinar el impacto de los ajustes realizados en la instalación tanto en la calidad como en los niveles de cobertura, comparándolos con las mediciones previas en el área deseada.

1.4. Diferentes soluciones a problemas de congestión

Los problemas de congestión son tan diversos y cada vez más comunes en las redes móviles de banda ancha que, sumado a la creciente urbanización de las ciudades, se vuelven uno de los más serios dolores de cabeza de un operador, ya que al reducirse los espacios para poder instalar las soluciones convencionales como torres elevadas los problemas de congestión se vuelven recurrentes, además temas de coberturas en interiores aparecen con lo que los clientes insatisfechos aumentan y obligan a las compañías a utilizar todo su ingenio para solucionar estos dos grandes ofensores de la red.

1.4.1. Soluciones convencionales para la congestión

Tras validar que existe congestión en una o varias radio bases, se procede a identificar qué tipo de solución es la que se puede implementar en la zona que se tiene con inconvenientes por saturación de los recursos de la red.

Para resolver los inconvenientes por congestión, los operadores cuentan con varias opciones para cubrir las necesidades de capacidad y cobertura en el área afectada, estas opciones son para instalar radio bases en lugares estratégicos que deben cumplir con los requerimientos tanto de infraestructura como de altura para el aprovechamiento de los recursos de radio.

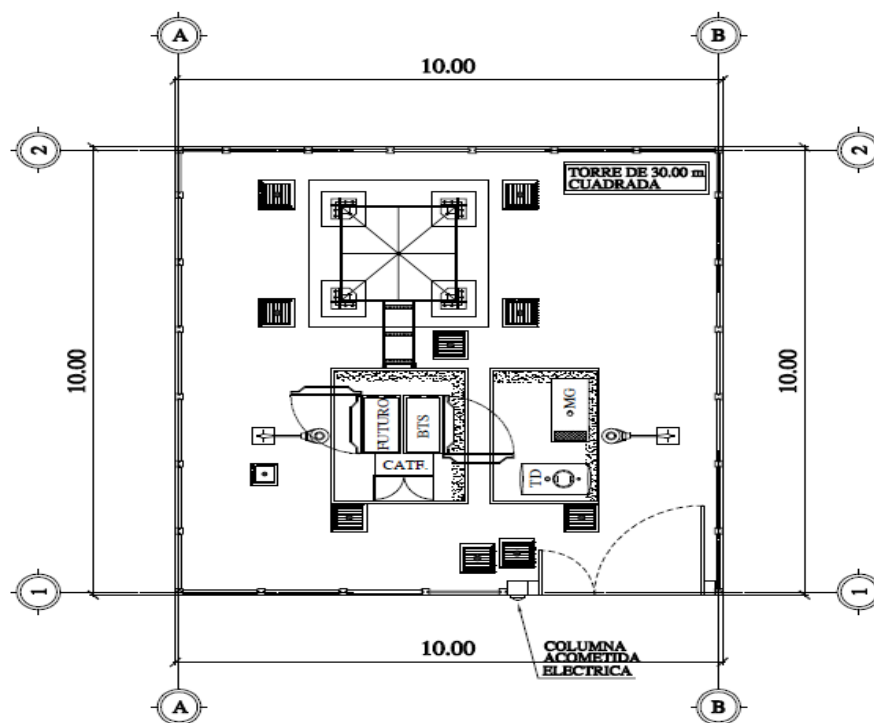
Algunas de las soluciones de implementación más comunes para atacar la problemática de la congestión son:

- Torres de telefonía: estas torres son las soluciones más comunes para solventar problemas tanto de cobertura como de capacidad, una de las ventajas más significativas es jugar con la altura a la que se pueden instalar las antenas, además de contar con el espacio suficiente para poder instalar los equipos necesarios que aseguren el buen funcionamiento del sitio, por otro lado, una de sus principales desventajas es su alta demanda de espacio para funcionar adecuadamente, además de la contaminación visual que causan sobre todo en áreas residenciales.

Estas torres se han vuelto cada vez menos prácticas debido al constante crecimiento de las grandes ciudades, esto ya que cada vez aumentan más los edificios y las zonas residenciales en las cuales ya sea por espacio o por estética no es posible la instalación de una torre, que además de requerir un área extensa para poder anclarla debidamente a la tierra firme, también se elevará hasta una altura en la cual no sea agradable a la vista.

En la figura 2 se pueden observar las dimensiones mínimas que requiere la instalación de una torre de telefonía tradicional así como la distribución de los equipos en el sitio.

Figura 2. **Dimensiones mínimas para torre de telefonía**



Fuente: elaboración propia, plano de distribución para instalación de BTS.

- Estructuras en azoteas: se opta por poder aprovechar las azoteas que poseen los edificios altos dentro de las áreas urbanas, la instalación se lleva a cabo en las estructuras altas que cumplan con los requerimientos de radio frecuencia para el correcto despliegue de la cobertura y capacidad que el sitio pueda ofrecer.

Estas soluciones presentan una gran ventaja, y es que, se puede contar con el área suficiente para instalar los equipos necesarios para que funcione la BTS de manera correcta, además se puede lograr la altura requerida agregando mástiles logrando así cumplir con los objetivos de cobertura o capacidad, por otro lado las desventajas que se tienen son significativas ya que pueden afectar directamente al tiempo para colocar en producción comercial la BTS, por mencionar algunas, se puede hablar de los permisos de construcción por parte de las administraciones de los edificios, las acometidas que pueda poseer el edificio para ingresar fibra óptica y energía comercial, además del acuerdo legal que debe existir entre operador y propietario.

En la figura 3 se puede observar una estructura sobre una la azotea de una construcción.

Figura 3. **Antenas en azoteas**



Fuente: *Medellín desde la azotea*. <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=255741>.

Consulta: 9 de abril de 2014.

1.4.2. Soluciones no convencionales para la congestión

Debido al crecimiento acelerado que presenta el mundo de las telecomunicaciones y la telefonía celular, es cada vez más necesario el poder desarrollar métodos que garanticen la calidad de los servicios que pueda ofrecer un determinado operador a sus usuarios finales. Por este motivo es que se busca a toda costa el aprovechar al máximo los recursos de radio y así lograr el mejor desempeño que puede ofrecer una red inalámbrica.

Una de las mayores problemáticas a las que se enfrentan hoy en día los operadores, es que, por la urbanización que se expande cada vez más, se ha vuelto muy complicado el instalar una solución convencional para satisfacer las demandas de capacidad y cobertura que se dan tanto en áreas dentro de construcciones así como fuera de ellas.

Los permisos de construcción, los edificios altos, centros comerciales con alta concentración de personas, son algunos de los inconvenientes que se pueden presentar para el diseño de la red a nivel de radio. Los permisos de construcción son temas que se vuelven de vital importancia, ya que no son fáciles de conseguir e impactan directamente en el tiempo en que se puede implementar una solución y con esto se ve directamente afectado el retorno monetario de la empresa, los edificios altos se vuelven complicados ya que proporcionar los servicios para los inquilinos no es tan sencillo, debido a las altas pérdidas de señal que se tienen al transmitir desde una RBS externa a la edificación.

Para poder llevar a cabo los despliegues de radio bases a fin de satisfacer a los usuarios y vencer los problemas de permisos de construcción, que son los mayores ofensores para implementar soluciones de redes móviles, los operadores han utilizado todo el ingenio para poder camuflar o mimetizar los equipos a instalar, esto para afectar lo menos posible la estética de las construcciones en las cuales es necesario instalar radio bases y facilitar un poco el poder conseguir los permisos para implementar.

A continuación se enumeran algunas de las soluciones no convencionales para atacar la problemática de congestión.

- Mimetización de equipos: este tema se ha vuelto de gran importancia ya que uno de las principales inquietudes de los propietarios del lugar donde se elige instalar equipos, es la estética a la propiedad y los espacios que se utilizarán para construir. Por esto se ha optado por “disfrazar” los equipos, logrando darle apariencia de artículos que comúnmente pueden encontrarse en azoteas, jardines o en interiores de centros comerciales por mencionar algunos.

El camuflaje de los equipos puede hacerse en cualquier tipo de construcción, desde torres de telefonía pasando por instalaciones en azoteas hasta equipos dentro de edificios, los trabajos para mimetizar antenas pueden ir desde pintar las antenas de un color específico, hasta construir carcasas que tengan la apariencia de artículos que se encuentren comúnmente en las áreas donde se planea colocar las antenas y la radio base.

En las figuras 4, 5 y 6 que se muestran a continuación se puede observar los distintos tipos de mimetización para ocultar un poco los equipos de radio.

Figura 4. **Antena con papel tapiz de ladrillo**



Fuente: *Antena parabólica camuflada*. <http://tec.nologia.com/2008/06/16/antena-parabolica-camuflada/>. Consulta: 8 de abril de 2014.

Figura 5. **Mimetización de antena omnidireccional**



Fuente: *Antenas de telefonía móvil camufladas*. <http://radiaciones.wordpress.com/2012/08/>.
Consulta: 8 de abril de 2014.

Figura 6. **Mimetización de torres de telefonía**



Fuente: *Electrosensibilidad*. <http://mi-estrella-de-mar.blogspot.com/2010/09/electrosensibilidad-15-consejos-para.html>. Consulta: 8 de abril de 2014.

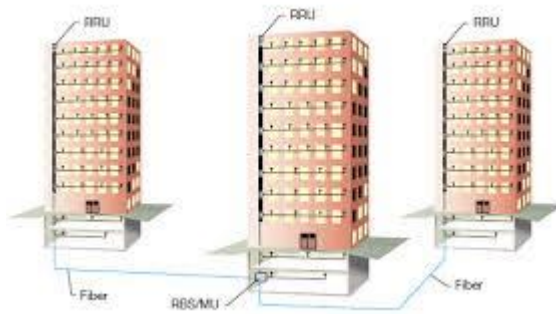
- Solución de antenas distribuidas: este tipo de solución es conocido por sus siglas en inglés como DAS (Distributed Antenna Solution), es utilizada para poder extender la cobertura de un mismo sector instalando más de una antena para dicho sector, con esto se logra que la cobertura de una misma celda pueda estar incluso en lugares geográficos distintos o bien en diferentes niveles de un edificio, como por ejemplo en el caso de los DAS para coberturas dentro de construcciones.

Para soluciones de coberturas dentro de los edificios, el objetivo es poder asegurar la disponibilidad y capacidad de los servicios ofrecidos dentro de las instalaciones de la construcción, esto surge debido a que, los niveles más altos de los edificios tienden a tener alta interferencia porque se logra encontrar más de una servidora activa, a este fenómeno se le conoce como: “polución de pilotos”, este es un problema que provoca que las terminales al escuchar a varias servidoras no encuentren a quien elegir para poder hablar y la consecuencia de esto es que no pueda conectarse correctamente a la red con lo que provoca fallas en los servicios, principalmente fallas en conexión e imposibilidad de hacer una llamada de voz o de iniciar una sesión de datos.

Los sótanos son otro problema que puede encontrarse dentro de grandes edificios, para estos se utiliza también la solución DAS ya que en estos lugares que por tan solo ver el nombre, se entiende que son construcciones que se encuentran por debajo del nivel del suelo, el inconveniente que se puede observar es que hay una falta de señal total por lo que el dispositivo a utilizar nunca podrá realizar una conexión a la red y por ende nunca podrá hacer uso de los servicios ofrecidos por el operador.

En la figura 7 se muestra una solución DAS común que se puede realizar en edificios altos.

Figura 7. **DAS para edificios**



Fuente: *Flexible DAS equipment*. <http://www.telecom-cloud.net/extending-coverage-distributed-antenna-systems/>. Consulta: 13 de abril de 2014.

Las soluciones DAS también pueden ser implementadas en coberturas exteriores como por ejemplo en carreteras, en estas se trata de aprovechar estructuras públicas, como por ejemplo vallas o postes municipales, abajo una imagen para mostrar la instalación en postes municipales con luminarias.

Figura 8. **DAS en postes municipales**



Fuente: *Denuncia proliferación de antenas de telefonía celular en Cartagena.*

<http://www.rcnradio.com/noticias/denuncia-proliferacion-de-antenas-de-telefonía-celular-en-cartagena-118118>. Consulta: 13 de abril de 2014.

- Pequeñas celdas: estos equipos funcionan como una radio base normal, con la diferencia de que sus dimensiones físicas se reducen considerablemente, además que su capacidad de atender usuarios es menor a la de una radio base normal, esto suena comprensible ya que no están diseñadas para cubrir grandes distancias, al contrario su función es poder ofrecer servicio en lugares como las carreteras, donde no es crítica la capacidad más si lo es la cobertura o bien en lugares donde no existe señal alguna para atender suscriptores.

Es de mencionar que estos equipos se han vuelto muy populares ya que con la creciente evolución de la tecnología, son cada vez más sencillos de instalar y configurar, además de que demandan menos espacio físico, con estas dos características reducen grandemente el tiempo de instalación, lo cual es un gran alivio en cualquier proyecto, ya que, significa que el retorno monetario para la empresa se verá más rápido.

2. FUNDAMENTOS DE METRO CELDAS

2.1. Conceptos de metro celdas

Las metro celdas son radio bases de menores dimensiones y capacidades, son pequeños puntos de acceso a las redes celulares que conectan dispositivos estándar a las redes de los operadores utilizando conexiones DSL, conexiones de banda ancha por cable o bien tecnologías inalámbricas de última milla.

Las metro celdas están diseñadas para solventar temas de capacidad y cobertura, debido a sus pequeñas dimensiones son poco invasivas en su instalación, además cuentan con la ventaja que únicamente necesitan de un enlace de internet para poder funcionar e integrarse a la red del operador.

2.2. Reseña histórica

Los inicios de las “estaciones base domésticas (*home base station*)” fueron desarrollados por Bell Labs de Alcatel-Lucent, esto cerca de 1999, a pesar de esto los primeros que se conocen por lanzar una estación base doméstica basada en la tecnología UMTS fue Motorola en 2002. De cualquier forma se sabe que hasta el 2005 es que empieza a ganar aceptación el término de *home base station*, al siguiente año fue adoptado el término de femto celdas. Dos mil siete, fue clave ya que se logra la fundación del Femto Foro que fue fundado para promover la estandarización y despliegue de femto celdas a nivel mundial.

En el 2008, se incluyeron al Femto Foro más de 100 empresas de hardware y software de telecomunicaciones, operadores móviles y proveedores de contenidos, también se logra la introducción de los primeros nodos B de casa o Home NodeB (HNB) y Home eNodeB (HeNB) al reléase 8 del 3GPP, esto ya que se había convertido en la corriente principal de la tecnología de acceso inalámbrico.

2.3. Componentes de una metro celda

Una metro celda posee la misma funcionalidad que una radio base normal (en el caso de UMTS un nodo B), en cuanto a la apariencia física es muy similar a un *acces point* de wifi, en la figura 9 se puede observar de forma simple como interactúan la red macro con una red de *small cells*, se ve claramente que no necesitan de los componentes comunes de la red core, como las RNC o BSC en el caso de GSM, solamente necesitan una conexión de datos DSL o cable a internet por medio de la cual hace la conexión hasta internet.

Figura 9. Convivencia red macro y femto



Fuente: *Femtocelda*. <http://wikitel.info/wiki/Femtocelda>. Consulta: 20 de mayo de 2014.

Dentro de la gama del mundo de las *small cells* se tienen distintos estilos que varían sus nombres según su diseño y el objetivo para el cual fueron creadas, en la figura 10 se pueden observar los distintos tipos, así como también los escenarios para los cuales fueron creadas.

Figura 10. **Aplicaciones de *small cells***



Fuente: *Small Cell definition*. <http://www.smallcellforum.org/aboutsmallcells-small-cells-what-is-a-small-cell>. Consulta: 20 de mayo de 2014.

A pesar de que una metro celda pueda tener una apariencia externa muy similar a la de un *access point* de wifi lo cierto es que por dentro son totalmente distintas ya que un *access point* contiene tecnologías como IEEE 802.11b, 802.11g y 802.11n, mientras que las metro celdas implementan tecnologías como GSM/GPRS/EDGE, UMTS/HSPA/LTE, por esto es que las metro celdas pueden brindar servicios de voz y datos y un *access point* únicamente servicios de datos.

Para la elaboración de este documento se utilizó una metro celda que adicionalmente a todos los beneficios que conlleva en cuanto a la rápida instalación y despliegue, cuenta con las especificaciones técnicas necesarias para lograr el desempeño requerido.

Las metro celdas poseen arquitecturas IP que proveen acceso seguro a través de una conexión Ethernet, con lo cual se logran reducciones considerables en gastos de capital o CAPEX, así como también en gastos de operación u OPEX, ya que requieren de un mantenimiento mínimo. Otra característica es la capacidad de su conexión *plug and play*, así como también su habilidad de optimización para lograr el máximo desempeño del equipo.

A continuación se enumeran algunas de las características de las metro celdas:

- Unidad pequeña y ligera, resistente a condiciones al aire libre, montable fácilmente en paredes o postes.
- Capacidad de hasta 32 usuarios simultáneos.
- Potencia de transmisión de 250 mW.
- Rango de celdas de hasta 2 km y usuarios que viajan a velocidades de hasta 120 km/h.
- Mejora en la calidad de servicio por medio de dos antenas externas para la diversidad de espacio.
- Ubicación del equipo por medio de GPS.
- Bloqueo de equipo por medio de GPS evitando la transmisión del equipo para que no se conecte en lugares no deseados por el operador.
- Consumo típico de 20 W y máximo de 25 W.
- Alimentación por medio de Power Over Ethernet (PoE+).
- Opera en las bandas 1900/850 MHz tanto en UMTS como en GSM.

2.4. Despliegue de metro celdas

La instalación de las metro celdas puede ser muy sencillo comparado con una solución convencional, el tiempo de implementación se ve muy reducido pues las obras civiles que se requieren para instalar son menos que en una torre de telefonía por ejemplo, otro factor es lo poco invasivas lo cual para un cliente corporativo o soluciones de interiores es una gran ventaja, ya que no debe de ocuparse demasiado espacio físico para su funcionamiento.

2.4.1. Perspectiva del operador

Desde el punto de vista de los operadores la función que cumplen las metro celdas son de gran importancia, ya que, con la capacidad de poder realizar una descarga de la red macro hasta en un 80 % se puede lograr la disminución de sitios macro, lo cual se ve reflejado de gran manera en la reducción de gastos de capital en las redes de acceso y en los gastos de *backhaul*.

Otro beneficio desde la perspectiva del operador es la facilidad para la adquisición de sitios, lo cual es un problema muy significativo en el despliegue de las redes macro 3G/4G, adicional a esto la planificación y la visita a los lugares en donde se planea instalar macro celdas se convierte en un proceso mucho más sencillo y debido a sus pequeñas dimensiones también se logra una disminución los pagos de rentas por el uso de emplazamientos.

Dos de los aspectos más importantes en los cuales el despliegue de las metro celdas se vuelve de gran importancia para un operador de servicios de telecomunicaciones, son los temas de la calidad y la capacidad que pueden ofrecer a sus usuarios finales, la capacidad de la red aumenta ya que se logrará captar tráfico que antes no se tenía, por temas de falta de cobertura o bien por congestión en las celdas macro. La calidad es otro tema crítico pues un cliente que no está satisfecho con el servicio que le ofrece su operador es un cliente potencial para cambiar de compañía, esto es algo que le puede llegar a costar millones de dólares al día a dicho operador y que con el uso de metro celdas se puede eliminar.

En resumen, el despliegue de las metro celdas pueden ser de gran beneficio para un operador, ya que se aumenta la capacidad de la red macro y también se logra mejorar la calidad de servicio al lograr cobertura en donde antes era deficiente, con esto se logra reducir considerablemente el *churn rate* o tasa de cancelación de clientes que pueda sufrir una compañía debido a la mala calidad de los servicios ofrecidos o bien por la falta de cobertura y capacidad de una red en determinada área geográfica.

Hasta ahora únicamente se ha hablado de los beneficios que las metro celdas pueden darle a una compañía, el despliegue de estos equipos puede llegar a ser también muy perjudicial si no se hace la planeación adecuada, uno de los principales inconvenientes puede ser la interferencia que se hace mucho más aleatoria y por ende más difícil de controlar. El uso del mismo espectro de frecuencia para la red macro y metro puede provocar grandes inconvenientes con los temas de interferencia entre las dos capas, por otro lado, dedicarle una porción diferente de espectro a la solución metro recae en la contratación de dicho espectro, lo cual es muy costoso además de lo complicado para encontrar una banda de operación.

En redes UMTS el control de la interferencia es un tema crítico pues es un sistema muy sensible a los ruidos tanto externos como internos, con el despliegue de una nueva capa en la red de acceso este tema se vuelve aún más sensible pues la planeación de los sitios debe de ser aún más cuidadosa pues la finalidad de los equipos metro no es competir con una red macro, al contrario, el uso de metro celdas busca convivir y a la vez ser un complemento a la red macro para poder aumentar la capacidad y mejorar la experiencia del abonado a la red.

2.4.2. Perspectiva del usuario

Además de ser una solución para el operador, el despliegue de las metro celdas también es un beneficio para el abonado pues logra solventar problemas de pobre cobertura o bien cuando no existe nada de ella, gracias al despliegue de estos equipos el usuario puede contar con servicios de voz, video y datos de alta velocidad donde antes no se contaba con buena experiencia para el usuario final.

Asegurar la calidad de la experiencia del usuario no es el único beneficio que esta solución puede ofrecer, pues con un gran despliegue de metro celdas se puede lograr la activación de servicios de valor agregado en los equipos, como por ejemplo: la creación de zonas metro a las cuales se pueden asociar planes específicos y paquetes de servicios relacionados a su área de cobertura. También pueden ser utilizadas para conectar todos los dispositivos de un mismo lugar hacia un servidor y actuar así como puerta de enlace hacia internet.

Las metro celdas también el ofrecen al usuario un ahorro energético que se ve reflejado en la duración de la batería del abonado, esto se debe a que estos equipos tienen una distancia mucho más corta entre la terminal y las metro celdas, con esto se logra que la transmisión en el enlace ascendente se vea disminuida considerablemente, lo cual se verá reflejado en ahorro de energía para el usuario, quien lo percibirá en la prolongación del tiempo de duración de la batería de su terminal.

2.5. Técnicas de cobertura *indoor*

La cobertura dentro de las construcciones habitables como edificios de oficinas, centros comerciales oficinas de clientes VIP, entre otros. En el pasado no eran tan importantes y críticas para los operadores como lo son hoy en día, esto es porque años atrás con las redes GSM la demanda era únicamente los servicios de voz, hoy en día la creciente demanda de servicios de datos en las redes UMTS hace que los operadores se preocupen más por ofrecer no solo cobertura si no también calidad dentro de los edificios, para poder garantizar la buena experiencia de los servicios ofrecidos.

La mayor parte del consumo de los servicios de datos se lleva a cabo dentro de los edificios, pues los usuarios pasan más tiempo dentro de sus oficinas o en sus hogares y no tanto en las calles públicas, por esto es que los operadores deben de acudir a distintas técnicas para lograr una buena cobertura dentro de las edificaciones.

2.5.1. Celdas *outdoor*

Una de las técnicas más comunes para poder ofrecer cobertura dentro de un edificio, es el dedicar una de las celdas instaladas en una torre convencional cercana al edificio que se necesita cubrir, esto se logra apuntando la antena del sector hacia el edificio de interés, otro ejemplo es cuando se tiene una RBS instalada en área rural y esta es la encargada de lograr dar cobertura dentro de las viviendas y estructuras habitables en los pueblos cercanos.

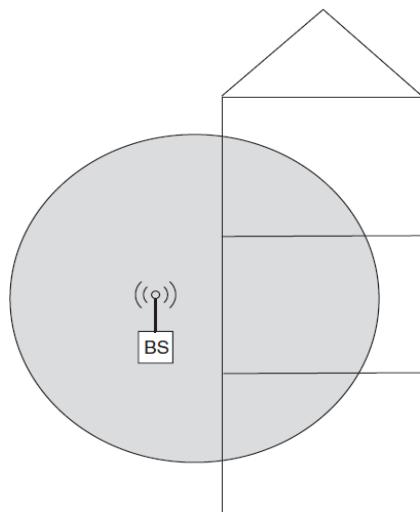
La técnica de utilizar una celda en el exterior para poder lograr la cobertura dentro de los edificios o viviendas, presenta dos escenarios principales considerados por los operadores, los cuales se describen a continuación:

- **Áreas rurales:** en ambientes rurales, las RBS se instalan en torres altas y radiando a su máxima potencia, ya que el objetivo es lograr un radio de cobertura amplio, el problema en estos ambientes es que la instalación de los equipos está planeada para garantizar las llamadas de voz al aire libre, por eso existen lugares donde es necesario salir de las viviendas para poder establecer una llamada. Los operadores buscan solventar el inconveniente añadiendo más celdas, con esto surge el tema del alto costo del mantenimiento y la instalación de las RBS por lo que, se añaden donde la densidad de usuarios es mayor, con esto se descuidan áreas en donde se deja sin o con una mínima cobertura.

- **Áreas urbanas:** en ambientes urbanos, el problema es similar a las áreas rurales, la diferencia es la alta demanda de usuarios y servicios, esto hace que el operador busque soluciones más eficientes para solventar los temas de cobertura y capacidad, esto lo hacen añadiendo más celdas cada una de ellas cubriendo áreas más pequeñas. Los operadores deben de instalar más RBS radiando a menos potencia, pero esto solo mejora la cobertura a nivel de las calles, pues dentro de los edificios a pesar de que mejora no se vuelve una solución óptima, ya que las pérdidas que ocasionan los muros y divisiones dentro de una edificación son variables que inevitablemente afectan los patrones de radiación.

La figura 11 muestra cómo la cobertura proporcionada por una radio base externa a un edificio resulta no ser una solución óptima, en cuanto a condiciones de radio para ofrecer la mejor experiencia en los servicios que un operador brinda a sus usuarios.

Figura 11. **Cobertura *indoor* con celdas *outdoor***



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Paint.

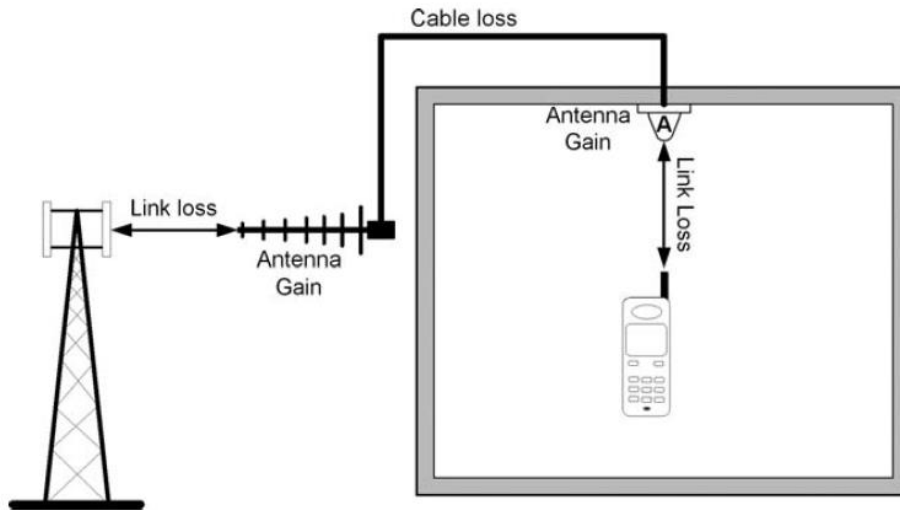
2.5.2. Repetidores

Un repetidor de RF cumple con las funciones de un amplificador de señal, esto pues su funcionalidad es captar con una antena receptora todas las frecuencias que se encuentran en el aire, para después filtrar las que interesa únicamente. Al tener filtradas las señales que llevan la información que se desea transmitir (en este caso los servicios a ofrecer), la señal ingresa a un módulo amplificador que logra reconstruir la señal para tener niveles óptimos de cobertura donde antes se carecía.

Para coberturas *indoor* resulta ser una opción muy útil pues debido a las pérdidas que se presentan por las paredes de una construcción, se observa en muchas ocasiones una escasa o nula señal dentro de un edificio, al utilizar un repetidor combinado modelos de antenas, para interiores se puede ampliar la cobertura de una radio base externa concentrando la señal en las áreas que se tienen como objetivo dentro del edificio.

En la figura 12 se ilustra el funcionamiento básico de un repetidor y cómo se utiliza para soluciones *indoor*.

Figura 12. **Aplicación de repetidor para cobertura *indoor***



Fuente: TOLSTRUP, Morten. *Indoor radio planning: a practical guide for GSM, DCS, UMTS and HSPA*. p. 202.

Para lograr esto se cuenta con dos tipos de repetidores:

- Repetidores pasivos, estos se encargan de amplificar la señal en una determinada banda de frecuencias sin importarle su origen.
- Repetidores activos son los que logran manipular señales antes de retransmitirla en las áreas de interés.

La principal ventaja que presentan los repetidores activos frente a los pasivos, es que, tienen la capacidad de decodificar y reconstruir la señal antes de retransmitirla, además poseen la capacidad de utilizar distintos canales para transmisión y recepción con lo mejoran considerablemente el rendimiento, pues logran aumentar las velocidades de los servicios reduciendo las interferencias que crean los repetidores pasivos al no poder discriminar ciertas frecuencias.

2.5.3. Sistema distribuido de antenas (DAS)

Un sistema distribuido de antenas tiene como objetivo el sustituir una antena de alta ganancia por múltiples antenas, inyectándoles menor potencia con el fin de cubrir la misma área, la división de potencias se hace por medio de elementos pasivos, otra ventaja es que se puede ubicar el equipo central en un área determinada y hacer derivaciones para instalar antenas en distintos niveles de un edificio, logrando así cubrir con una sola celda varios pisos de una torre en el caso de una cobertura *indoor*.

En el caso de los sistemas distribuidos de antenas se tienen los escenarios del DAS activo y el DAS pasivo, ambos sistemas pueden ser utilizados tanto para *indoor* como para coberturas *outdoor*.

- DAS activo: utiliza una unidad maestra (MU) que se puede conectar a una radio base o a un repetidor, esta unidad actúa como el cerebro del sistema pues distribuye la señal vía fibra óptica hacia las unidades de expansión, controlando las entregas y niveles de señal gracias a sus amplificadores y controladores internos. Adicional a la MU los sistemas activos utilizan también las llamadas unidades remotas (RU), la cual se conecta a la MU por medio de fibra y se instala cerca de la antena para poder minimizar las pérdidas del cable coaxial, que es el que finalmente se conecta hacia la antena.

- DAS pasivo: esta solución necesita de cables coaxiales, *splitters*, combinadores, atenuadores y otros componentes que son totalmente pasivos, para poder realizar la distribución de potencias en el número de antenas que se tienen planeadas para lograr la cobertura de determinada área, finalmente tras la combinación de todos estos elementos se hace la conexión directa hacia la radio base para poder alimentar a las antenas.

2.5.4. Radio bases para coberturas *indoor*

Tras explicar varias de las técnicas que se utilizan para las coberturas *indoor* se puede observar que todas son adaptaciones de radio bases, diseñadas para ambientes externos y que de algún modo se logra adecuarlas para poder dar servicio también en ambientes internos, hoy en día se cuenta con soluciones en las cuales hay pequeñas radio bases, diseñadas para dar servicio en ambientes internos, pues sus reducidas dimensiones y variados diseños logran cumplir con los temas de estética y funcionalidad que pueden satisfacer, tanto al cliente como al operador para brindar un buen servicio, con esto nace la familia de las metro celdas.

Las metro celdas son pequeñas radio bases que tienen como finalidad solventar temas de cobertura y capacidad, están diseñadas de una manera compacta y discreta a fin de poder instalarse en lugares como postes de luz, a un lado de los edificios, interior de estadios, centros comerciales y en un sinnúmero de lugares públicos, con esto se logra reducir la distancia entre terminal y radio base logrando entregar al usuario altas velocidades en servicios de datos, además de la capacidad extra que se le añade a la celda macro, en otras palabras, el uso de las metro celdas es una solución eficaz a los problemas de la creciente demanda de datos en las redes de telecomunicaciones.

Las metro celdas son equipos que son instalados y administrados por el operador que las posee, existen tres características que definen a una metro celda.

- Opera en espectro licenciado, lo que permite que se puedan planificar de manera más precisa debido a la gestión y el diseño que se puede manejar tanto de las interferencias como de los radios de cobertura, esto es muy importante en ambientes de alto tráfico.
- Tamaño reducido es una de las características que le permiten instalarse de manera más sencilla y que sean estéticamente adecuadas para pasar inadvertidas, tienen las dimensiones aproximadas de una tableta o de una computadora portátil.
- Baja potencia y alta capacidad son equipos que transmiten en 250 mW y que poseen la capacidad de una macrocelda, pues logran captar hasta 32 sesiones simultáneas de voz y datos, además las tasas de transferencia fácilmente alcanzan sus picos tanto en 3G como en 4G, lo hacen en distancias mucho más cortas que las de una macrocelda, 100 metros aproximadamente.

2.6. Arquitectura de la red de acceso para metro celdas

Para lograr la correcta administración de las metro celdas se debe contar con la infraestructura necesaria, además de los equipos correctos, pues el fin de agregar esta solución a una red viva es poder contribuir a temas de descongestión, por esto es que no tendría sentido el agregarla más carga a nivel de señalización a las centrales existente y por ello las metro celdas cuentan con equipos dedicados a cubrir las funcionalidades que estas ofrecen, así como también el manejo y control de las mismas.

La red que se dedica al manejo de las pequeñas celdas se le conoce como la Red Femto o Femto Core.

2.6.1. Interfaces de referencia de metro celdas

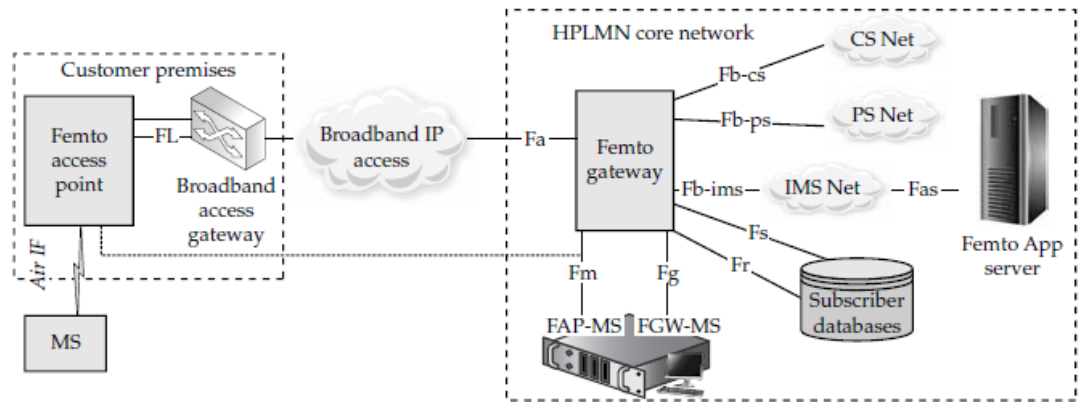
La red femto puede ser utilizada con todas las redes de tecnología inalámbrica, desde el WCDMA hasta WiMax incluyendo también redes LTE, cumple con los estándares de la industria de telecomunicaciones incluyendo el 3GPP, 3GPP2 y el foro de *broadband*.

A los equipos que son administrados por el Femto Core se les conoce también como Femto Access Point (FAP).

Los FAP son equipos de hardware conectados con los respectivos permisos de las interfaces de aire que manejan los operadores, los terminales de los usuarios finales ven a las metro celdas como una RBS normal, es decir para la terminal y el usuario final es totalmente transparente el manejo de los servicios ofrecidos por un operador.

En la figura 13 se observa un diagrama de las interfaces que actúan en una red Femto convencional.

Figura 13. Interfaces de la red femto



Fuente: BOCUZZI, Joseph; RUGGIERO, Michael. *FemtoCells design & application*. p. 96.

El Femto Gateway (FGW) realiza conversiones de protocolos, también se encarga de las conversiones de los canales (voz, video, entre otros) en algunos casos. Otra función es actuar como un *gateway* de seguridad para proteger al operador móvil o sus siglas en inglés (MNO) de los ataques provenientes de alguna otra red de banda ancha, referencia a Fa en figura 13, el FGW puede interactuar con diferentes segmentos de una MNO que se definen previamente como puntos de referencia.

Fb-cs es la referencia que se tiene entre el FGW y la interfaz Cs del operador para soportar aplicaciones en tiempo real como video y voz. Fb-Ps cumple la misma función, pero enfocada en la parte del intercambio de paquetes para ruteo de aplicaciones como SMS o *e-mail*.

La base de datos de los usuarios se utiliza para guardar toda la información necesaria para el aprovisionamiento de los suscriptores, que es necesaria para poder ofrecer los servicios de la red, información como la identidad del FAP y las configuraciones necesarias para aprovisionar el FAP. El FGW obtiene acceso a la base de datos de los suscriptores vía las interfaces Fs y Fr.

Las interfaces Fg y Fm son las que se encargan de soportar el sistema para la administración de Femto. El protocolo de aprovisionamiento trabaja sobre la red IP entre el FAP y su sistema de gestión.

Fg es la interfaz que se encarga de la administración del FGW, entre sus funciones están, configuración de protocolos de señalización, configuraciones para administración de tráfico, aprovisionamiento de códec, proceso de fallas y alarmas. El sistema de gestión del FGW puede implementar la interfaz Fg y podría ser habilitada para el manejo de múltiples dispositivos del FGW.

2.6.2. Arquitectura IMS (subsistema multimedia IP) de metro celdas

La arquitectura femto basada en IMS sirve para soportar los beneficios de una red IMS que incluye una excelente escalabilidad e infraestructura para crear servicios avanzados. En la arquitectura IMS es clave donde se coloca el agente de usuario SIP (Protocolo de Inicio de Sesiones). En la figura 14 se muestra una arquitectura IMS para con un agente de usuario ubicado en el femto access point, con esto logra comunicarse con el FAP utilizando la interfaz de aire normal, es decir como una radio base macro. Para lograr establecer una comunicación el agente SIP que se ubica en el FAP registra y coloca todas las

sesiones SIP que son utilizadas para servicios en nombre de la red IMS, a través de la puerta de enlace de las femto celdas.

Figura 14. **Arquitectura red IMS con Femto celdas**



Fuente: BOCUZZI, Joseph; RUGGIERO, Michael. *FemtoCells design & application*. p. 98.

La comunicación entre el FAP y el Femto *gateway* se puede observar fácilmente que puede utilizar una red pública IP de banda ancha, como ejemplo DSL o FTTH (Fiber to The Home). Conectándose de esa manera la Femto se vuelve parte de una red pública por lo que es necesario algún protocolo de seguridad y es donde entra a funcionar el IPsec que se encarga de encapsular toda la señalización de SIP.

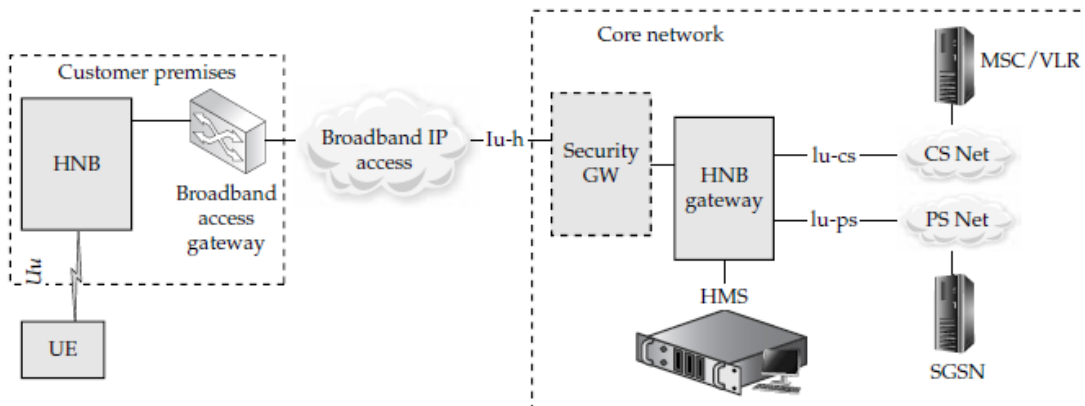
2.7. **Arquitectura UMTS de metro celdas**

UMTS es la tercera generación de las redes de acceso móvil, debido a la popularidad y el amplio despliegue que logra este tipo de red es de la primera tecnología inalámbrica que se estandariza para las Femto celdas. En el 2009 se logra definir la estructura para los estándares 3GPP para una arquitectura UMTS Home Node B (HNB).

El núcleo de la red femto es el encargado de manejar toda la señalización para establecer comunicación, sin embargo, deberá interconectarse con el núcleo de la red UMTS pues es este quien tiene toda la información de los abonados para establecer políticas de acceso, así también el control de planes y tarificación lo hace la red UMTS.

En la figura 15 se observa lo que es a muy alto nivel una red Femto UMTS la cual está de acuerdo a una arquitectura estándar establecida en el Femto Foro mundial.

Figura 15. **Arquitectura UMTS con Femto celdas**



Fuente: BOCUZZI, Joseph; RUGGIERO, Michael. *FemtoCells design & application*. p. 114.

El dispositivo móvil o también conocido como Usuario del Equipo o sus siglas (UE) es quien interactúa con una metro celda por medio de las interfaces de aire. La metro celda es un equipo que se encontrara instalado muy cerca del UE, esta no es más que la disminución de una radio base, no solo en dimensiones sino también en capacidad pues su función es lograr mejorar cobertura en donde una macro celda no es capaz de llegar eficientemente.

La interfaz de aire entre la metro y el usuario es definida por un punto de referencia Uu. Las interfaces de la metro celda hacia la red del operador sobre una red de banda ancha deberá de viajar por una interface hacia una puerta de enlace de banda ancha.

El núcleo de la red del operador obtendrá el acceso hacia las metro celdas por medio de una red de acceso de banda ancha hasta el punto de referencia de la lu-h.

En el punto de referencia de la lu-h, un proveedor de servicios móviles utiliza una puerta de acceso de seguridad para poder proteger su red *core* (núcleo de red) contra ataques. En la parte confiable de la puerta de acceso de seguridad o *security gateway* es donde se encuentra alojada la metro celda, el *security gateway* de las metro celdas es responsable de interactuar con la red *core* del operador por medio de la interface lu, esto mediante las lu-Cs o *circuit switched* para el tráfico de voz y la lu-Ps o *packet switched* para el tráfico de paquetes.

2.7.1. Protocolos de señalización para metro celdas UMTS

Los protocolos de señalización que se utilizan para una red macro UMTS son los mismos que utiliza una red Femto, esto porque el UE reconoce a las metro celdas como un nodo B normal. En la capa física se encuentra la interfaz de radio frecuencia (RF). Para acceder a la interfaz RF se utilizan protocolos de capas superiores, esto se hace por medio de la Media Access Control (MAC). Por encima de la MAC los usuarios utilizan el Radio Link Control (RLC) para poder acceder a los distintos canales de radio y así comunicarse con la red móvil que le prestará servicios.

El RLC se encarga de que los mensajes lleguen sin errores por medio de distintos métodos, también controla los acuses de recibido, el número de secuencia y las retransmisiones de los mensajes.

El Radio Resource Control (RRC) o control de recursos de radio, es el encargado de administrar todos los recursos de RF que se le asignan a un suscriptor cuando este los necesita para un determinado servicio, es el que se encarga de la liberación y establecimiento de los canales de radio incluyendo la señalización y al portador, otra de sus funciones es el control de la movilidad, esto lo realiza por medio de mediciones y reportes para lograr la ubicación del UE, con esta información logra determinar si es necesario entregar al usuario a otra celda, actualizaciones para enrutamientos además de la selección de la celda a quien se le entregará el suscriptor.

El Protocolo de Acceso de Aplicaciones de Radio o por sus siglas en inglés (RANAP) es responsable del control del Portador de Acceso al Radio (RAB), el RAB son los canales que están destinados para el manejo del tráfico tanto de voz como de datos, el control RANAP RAB es el encargado de toda la mensajería de señalización para el establecimiento, liberación y modificación de las sesiones. El protocolo RANAP adaptado al usuario (RUA) fue diseñado para establecer comunicación entre una metro celda y la puerta de acceso de la red femto. El protocolo RUA es estrictamente utilizado entre la puerta de enlace y la metro celda, por esto, no se afecta la funcionalidad de la red UMTS.

El Protocolo de Aplicación para nodos del hogar (home nodeB o HNB) que se denomina por sus siglas en inglés HNBAP, es un protocolo que funciona tanto para *home cells* o bien metro celdas, es el encargado de lograr que una metro celda se pueda registrar en la puerta de enlace Femto, es decir que este protocolo se encarga de que el usuario pueda registrarse en una red Femto.

Tanto el RUA como el HNBAP son protocolos que funcionan sobre el estándar de Stream Control Transmission Protocol (SCTP), esto asegura la entrega de la mensajería entre el UE y la puerta de enlace femto.

En la capa IP lo que se utiliza es el IPsec para propósitos de seguridad pues la comunicación entre UE y la puerta de enlace son por medio de una red IP no confiable. La capa física y 2 de banda ancha va a depender del tipo de conexión que esté utilizando el suscriptor puede ser una fibra óptica hasta el Hogar o (FTTH), cable o DSL.

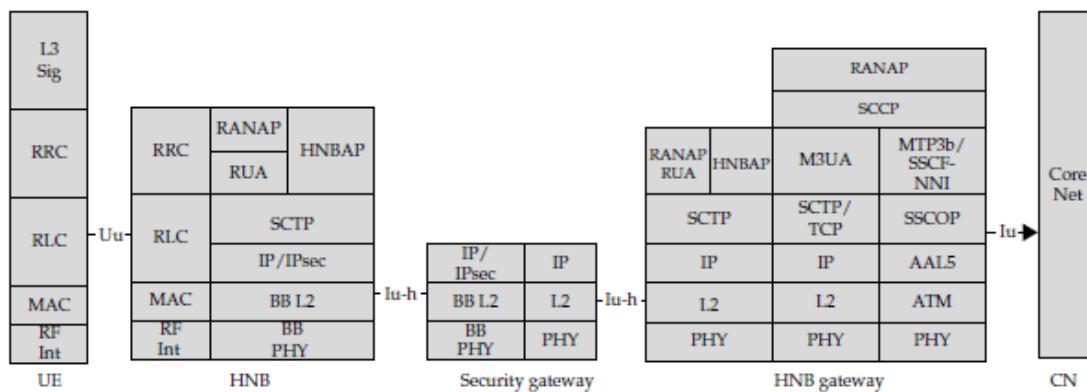
La puerta de enlace es responsable directo de la interfaz con la metro celda desde el lado del acceso de banda ancha a través de una puerta de enlace de seguridad, por otro lado la interfaz lu es la que maneja los servicios entre el núcleo de red de un proveedor y la puerta de enlace de la metro celda. La lu puede estar basada en redes IP o bien una red ATM convencional. Ambas opciones están en capas superiores donde la puerta de enlace de la metro celda utiliza el protocolo RANAP para el control de los canales de control de tráfico. RANAP utiliza servicios del protocolo de señalización SS7 Signaling Connection Control Part (SCCP), es utilizado para ruteo, control de flujo, y corrección de los errores de mensajes RANAP.

Debajo, la capa SCCP es donde las opciones de IP y ATM divergen. IP use servicios del protocolo de Transferencia de Mensajes Parte 3 de Adaptación de usuario (M3UA) para transportar mensajería sobre SCTP IP. M3UA en general es usado para la transferencia entre SS7, también incluye mensajería RANAP, ISDN y parte de usuarios telefónicos (TUP). Sobre ATM SCCP utiliza servicios de la capa 3, Transferencia de Parte de Mensajes de Banda Ancha o (MTP3b), dichas funciones como el MTP3 con algunos cambios para la interface de una subred ATM.

MTP3b utiliza Servicios Específicos de Funciones de Coordinación Orientados al Protocolo (SCCF-NNI) y Servicios Específicos de Conexión Orientados al Protocolo (SSCOP) para establecer y liberar los canales de control. SSCOP es similar al SCTP y TCP en como desempeñan la función de transportar protocolos. SSCOP fue diseñado específicamente para redes que están basadas en ATM y usualmente utilizan servicios de adaptación de ATM de la capa 5 (AAL5) para enviar y recibir paquetes SSCOP.

En la figura 16, una muestra del control de los protocolos utilizados por metro celdas.

Figura 16. **Protocolos de señalización para una red Femto**



Fuente: BOCUZZI, Joseph; RUGGIERO, Michael. *FemtoCells design & application*. p. 115.

2.7.2. Protocolos de comunicación de metro celdas

Los protocolos de comunicación utilizados por las metro celdas son los mismos que utiliza un UE cuando se habla con un nodo macro o una radio base normal. Para aplicaciones como por ejemplo la voz se utiliza la codificación de los mensajes para poder transmitirlos, las rutas que utilizan las transmisiones codificadas están dentro de la interfaz de acceso de banda ancha.

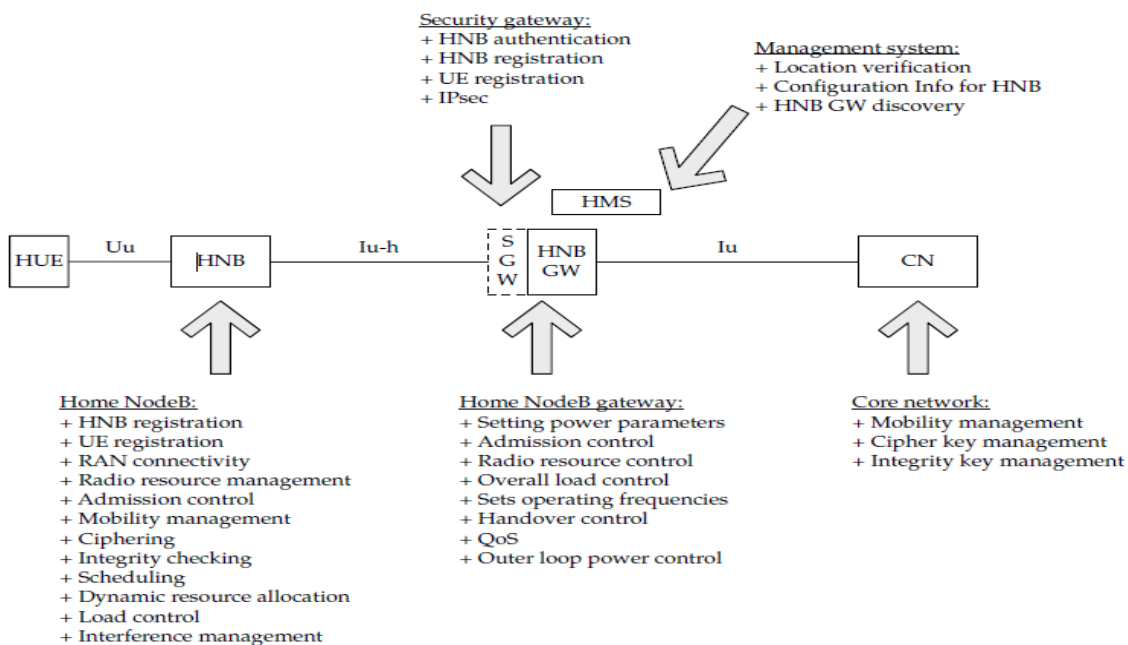
Para transmisión en tiempo real desde la metro celda hasta su puerta de enlace se utiliza UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario) por medio de RTP (Protocolo de Transporte en Tiempo Real) o por RTCP (RTP Control de Protocolo). En IP se utiliza el protocolo IPsec a fin de aumentar la seguridad de la red, algunos operadores no lo utilizan pues su alta demanda de recursos representa una parte importante de la red. La comunicación entre la puerta de enlace de la metro celda hacia la red del operador se hace mediante la interfaz lu que puede implementarse en una red IP o ATM. Para IP en capas inferiores siguen utilizándose RTP/RTCP. En ATM para capa inferior se utiliza (AAL2), es la adaptación para la transmisión en tiempo real de alta calidad para ATM.

2.7.3. Responsabilidades de dispositivos metro celdas UMTS

Es de vital importancia entender qué función cumple cada dispositivo o elemento que compone la red femto, ya que, la manera en que interactúa con la red principal de un operador debe de ser totalmente invisible para el usuario final, para ello debe de haber una total armonía que permita la movilidad del UE entre una red y la otra logrando que la continuidad de la llamada de voz o datos no sufra ningún tipo de pérdida y se pierda por falta de interacción entre las dos redes.

Para poder comprender las responsabilidades de los distintos elementos de la red de metro celdas UMTS se muestra un resumen detallado de cada equipo en la figura 17, donde se pueden ver los distintos dispositivos y sus funciones.

Figura 17. **Responsabilidades de dispositivos para las metro celdas**



Fuente: BOCUZZI, Joseph; RUGGIERO, Michael. *FemtoCells design & application*. p. 118.

2.7.4. Registro de la metro celda

Para que una red UMTS pueda enterarse de la existencia de una metro celda, necesita primero registrarse ella misma, por ello es que el procedimiento de registro sucede cada vez que una de ellas se enciende.

El procedimiento de registro de una metro celda es:

- Tras el encendido la metro celda, esta atraviesa una iniciación con parámetros de fábrica, después está lista para atravesar por el proceso exitoso de registro, para eso deberá utilizar las configuraciones que se obtienen del sistema de gestión.
- La metro celda inicia con el establecimiento de un túnel IPsec de seguridad hasta la puerta de enlace de seguridad.
- Después que se logró establecer el túnel IPsec, la metro celda establece una sesión SCTP hacia un puerto que la puerta de enlace se mantiene escuchando.
- Después de establecer la sesión SCTP, envía un mensaje para la solicitud del registro, en el mensaje está incluida su ubicación que se puede obtener de un sistema GPS o bien de la red macro.
- La puerta de enlace de las metro celdas es quien procesa la información y determina si permite que la metro celda pueda estar operativa, esto lo hace con base en su ubicación y también sus niveles de interferencia. Después que toda la información fue procesada y aceptada, la puerta de enlace envía un mensaje de aprobación hacia la metro. Al llegar a este punto, la metro celda se encuentra totalmente registrada en la red.

2.7.5. Punto de registro del usuario

Para que un usuario pueda registrarse, es necesario que la metro celda haya completado el proceso de registro, esto permite que puedan registrarse uno o más usuarios en la misma metro celda. Cuando un UE se mueve o enciende la terminal tratará de registrarse por sus propios medios.

A continuación se describe el proceso de registro de un usuario.

En el paso número 1 cuando un usuario se mueve acercándose hacia una metro celda, el UE inicia a comunicarse con la metro celda para establecer una conexión RRC con la metro. Una vez el canal RRC es establecido, la terminal enviará su información de perfil y su capacidad soportada para enviar información adicional.

En el paso número 2 una vez la conexión de RRC fue establecida, el UE enviará un mensaje inicial directo de transferencia solicitando que su ubicación sea actualizada. La ubicación actualizada proveerá a la red del operador la última información de donde el UE puede ser localizado, en este caso, será vía la metro celda, incluyendo la información del mensaje inicial directo de transferencia.

En el paso número 3 después de que la metro celda obtiene la identidad del usuario, este procederá con el envío de peticiones para que el usuario pueda registrarse, estas peticiones se envían directamente a la puerta de enlace de las metro celdas. La solicitud de registro contiene el ID del usuario, su información de la versión actual y sus capacidades para soportar funciones.

En el paso numero 4 la puerta de enlace de las metro celdas procesará la solicitud de registro. Si todos los parámetros son aceptados, incluyendo la capacidad de las funciones y la versión, entonces la puerta de enlace enviará un mensaje de respuesta de aceptación de registro.

En el paso número 5 una vez que la puerta de enlace envía el mensaje de aceptación, la metro celda deberá de envía un mensaje de conexión de RUA hacia la puerta de enlace, el mensaje debe de contener la solicitud de ubicación actualizada.

En el paso numero 6 después de que la puerta de enlace procesa el contenido del mensaje, enviará un mensaje RANAP que contiene la solicitud de ubicación actualizada hacia el VLR (Visitor Location Register).

En los pasos del 7 al 9 antes de aceptar la actualización, el VLR puede solicitar una autenticación del equipo del usuario, esto lo hace enviando una solicitud de autenticación directamente al UE.

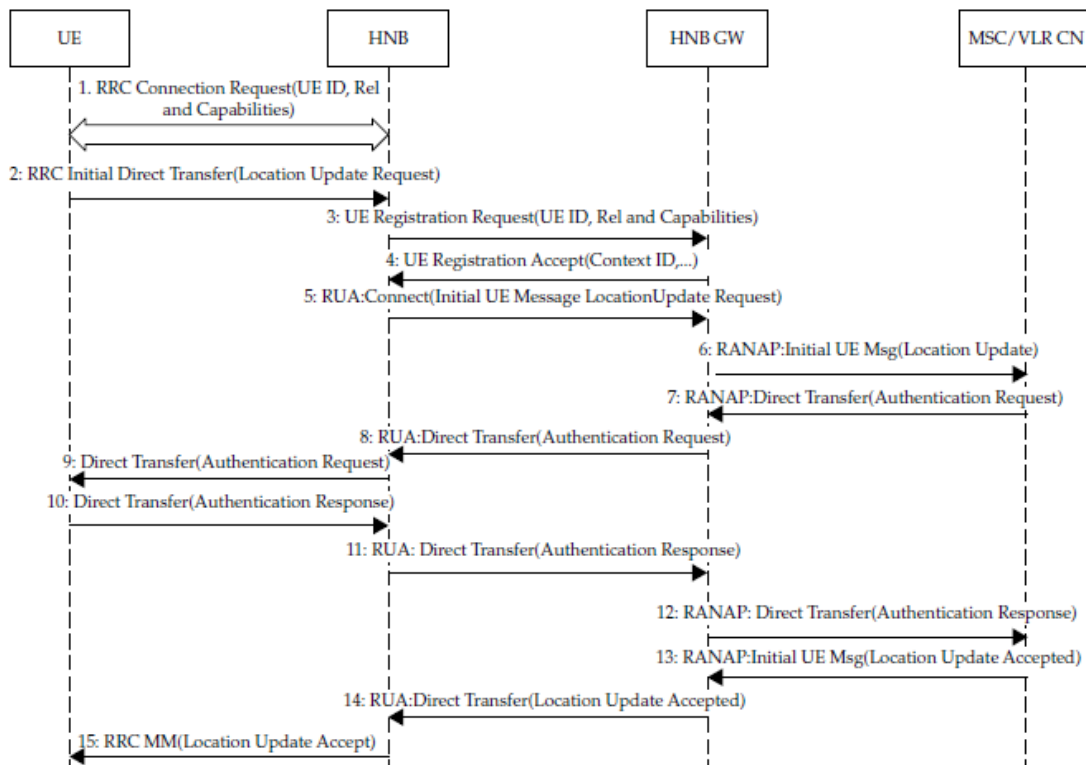
En los pasos del 10 al 12 el usuario se identificará el mismo por medio de un mensaje de respuesta hacia la MSC.

En los pasos del 13 al 15 después que la MSC valida la identidad del UE y enviará su mensaje de aceptación de ubicación actualizado de regreso al usuario. En este punto el usuario fue registrado de manera satisfactoria en la red y por lo tanto puede iniciar a realizar llamadas.

Este proceso se detalla de mejor manera en la figura 18, la cual muestra todos los pasos descritos anteriormente y con la cual puede obtenerse una idea más clara de toda la mensajería relacionada para el registro de un usuario.

En la figura se pueden observar también los distintos elementos de red que interactúan para el proceso del registro de los usuarios.

Figura 18. Mensajería para registro de usuario



Fuente: BOCUZZI, Joseph; RUGGIERO, Michael. *FemtoCells design & application*. p. 119.

2.7.6. Generación de llamadas de usuario sobre lu-h

Después que la metro celda y el usuario se registraron de manera correcta, las llamadas pueden ser originadas o finalizadas por el UE.

A continuación se enumeran todos los pasos necesarios para poder establecer una llamada por medio de la red de metro celdas.

1-3. Cuando el usuario intenta hacer la llamada sobre un UE registrado con una metro celda, el UE inicia a establecer una conexión RRC con la metro celda. El UE envía una solicitud de conexión y establece un canal de control.

4-6. Una vez se establece la conexión RRC, el UE envía un mensaje inicial directo de transferencia indicando una solicitud de servicio. La solicitud es reenviada desde la metro celda hacia la MSC por medio de la puerta de enlace de las metro celdas.

7-9. La MSC, antes de aceptar la solicitud de servicio, puede validar la autenticación del usuario por medio de una solicitud de autenticación. La solicitud de autenticación es propagada a través del MSC de vuelta al usuario.

10-12. El usuario responde a la solicitud de autenticación con un mensaje de autenticación de vuelta al VLR.

13-15. Después que la MSC ha validado la autenticación, el inicia el cifrado de la encriptación entre el usuario y la red. El cifrado previene la intervención de terceros malintencionados que pueden alterar los mensajes de señalización, especialmente sobre la interface de aire. El MSC envía un comando en modo seguro de RANAP hacia el UE para activar el cifrado.

16-18. Cuando el UE recibe el modo seguro de comando, este responde al MSC con un mensaje de completado el modo seguro, con esto le indica que el cifrado se ha activado.

19-21. En este punto el usuario está listo para iniciar una llamada con la red enviando un mensaje de configuración usando la transferencia directa de señalización. El mensaje de configuración es enviado desde el usuario hacia el VLR, este contiene el número destino al cual se requiere llamar y otros parámetros relacionados con la llamada.

22. Después que el MSC procesa y acepta el mensaje de configuración, este determina que la llamada es de una PSTN (Public Switched Telephone Network). El MSC envía un mensaje de identidad por medio de SS7 conocido como ISUPIAMSS7 que sirve para establecer la conexión con el usuario destino por medio de la PSTN.

23-25. El MSC envía un mensaje para procedimiento de llamada de regreso al UE para informar que está creándose el intento de llamada hacia el destino.

26-28. Mientras la PSTN inicia su establecimiento de llamada, el VLR inicia el establecimiento de un portador para acceso de radio o Radio Access Bearer (RAB) para transportar el tráfico de voz sobre la interface de aire. La MSC envía una solicitud de asignación/reasignación de RAB al usuario.

29-31. Basado en la información de la solicitud de RAB la metro celda podrá ubicar un canal de radio apropiado. Cuando el UE acepta la solicitud de asignación o reconfiguración de RAB, envía una respuesta de RAB completado de vuelta a la MSC.

32-35. Desde el punto de la PSTN recibe una indicación que el usuario destino está recibiendo una alerta de llamada (el celular está sonando), resultando en la MSC en recibir un ISUP ACM (alerta). La MSC notifica al usuario que el otro extremo está sonando enviando un mensaje de alerta.

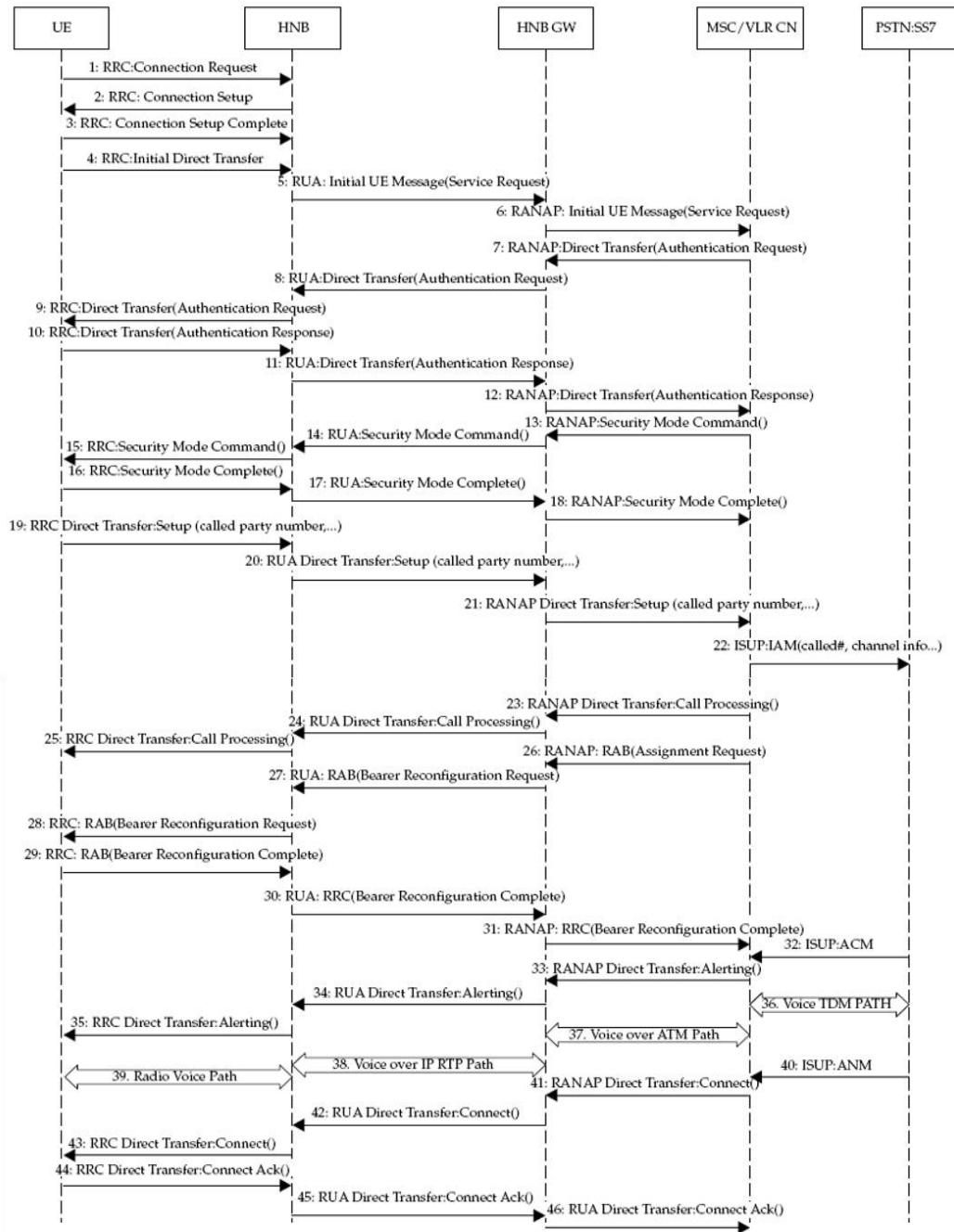
36-39. El camino de la voz se corta a través de todos los segmentos de la PSTN a la interfaz de radio del usuario.

40-43. En el mismo punto que la llamada es contestada en el otro extremo, resulta en que la MSC recibe un ISUP.ANM (respuesta). La MSC notifica que el UE que está en el otro extremo ha contestado la llamada por medio de un mensaje de conexión.

44-46. El usuario acepta el mensaje conexión y envía un mensaje de ACK de vuelta a la MSC. En este punto la llamada se encuentra activa y los dos extremos pueden tener una conversación con la contraparte.

Todos los pasos anteriormente descritos pueden aclararse un poco más en la figura 19, la cual muestra todo el flujo necesario para establecer una llamada, en la misma se puede ver con facilidad los puntos señalados anteriormente.

Figura 19. **Generación de llamadas sobre lu-h en una red de metro celdas**



Fuente: BOCUZZI, Joseph; RUGGIERO, Michael. *FemtoCells design & application*. p. 122.

2.8. Autoorganización de redes de metro celdas

Las metro celdas son dispositivos que tienen como una de sus características la autoconfiguración, esta habilidad se requiere ya que estos equipos están diseñados para instalarse en lugares donde tendrán que convivir con la red macro y actuar como un complemento y no como una competencia para una radio base normal. Las metro celdas deben de ser capaces de adaptarse de manera dinámica al ambiente en el cual se encuentran instaladas.

A continuación se describen algunos de los posibles mecanismos que permiten que las metro celdas cuenten con su capacidad de autoorganización:

- Durante el encendido de los equipos, se registra y se autentica con la red de metro celdas, la metro envía su localización hacia el Servidor de Aplicaciones de Femto o por sus siglas en inglés FAS. El FAS es capaz de enviar a la metro celda sus parámetros de radio iniciales para su sintonización, estos parámetros se configuran en relación a la cercanía que se pueda tener con otras metro celdas o celdas macro.
- Una vez que se autenticó, la metro celda puede descargar automáticamente la última versión de software, la cual contendrá arreglos a problemas comunes.
- La metro celda también deberá de ser capaz de poder correr un autodiagnóstico para detectar cualquier clase de falla en su hardware que pueda afectar su desempeño.

- En intervalos regulares, la metro celda puede ejecutar varias mediciones de radio para detectar cambios en las metro celdas vecinas, también es capaz de validar los niveles de potencia de las celdas macro cercanas. Tras las mediciones la metro celda deberá reconfigurar sus parámetros para optimizar su propio desempeño. Los ajustes deberán reportarse de vuelta al FAS.
- El FAS puede mantener un inventario de vecinas macro y metro. Incluidos en este inventario deberían estar los parámetros de radio, como la transmisión y la frecuencia utilizadas. Cuando ocurren cambios en la red, tales como añadir una metro celda, el FAS puede solicitar ajustes en los parámetros de radio de una o más metro celdas con el fin de optimizar el rendimiento de la red de metro celdas.

2.9. Zonas de metro celdas

Las metro celdas y todas las pequeñas celdas o *small cells* han creado una gama de aplicaciones únicas para que la experiencia del usuario sea distinta a la que vive con una red macro. Cuando un suscriptor está cerca de una metro celda o una *home cell* o celda para el hogar, este se encuentra dentro de una zona de metro celdas o si se va a un nombre más general Zonas Femto.

Para decir que un usuario se encuentra dentro de una Zona Femto, es necesario que los servicios que le están siendo prestados sean por medio de la red de metro celdas, a continuación se hace mención a algunos de los beneficios para el usuario cuando se encuentra dentro de una Zona Femto:

- Tarifas más bajas cuando el transporte para el equipo es el enlace de banda ancha que posee el usuario final en el caso de las celdas para el hogar.
- Una red de acceso más rápida con un significativo aumento en redes inalámbricas de banda ancha. El incremento en el ancho de banda permite que los dispositivos inalámbricos tengan capacidad para ofrecer servicios disponibles para las redes de banda ancha, un ejemplo es la alta definición en transmisiones en tiempo real. También es de mucha utilidad pues se mejora el rendimiento en aplicaciones que requieren de intercambios para contenidos multimedia, como música y video en servidores dedicados al almacenamiento de esta clase de archivos.
- Otro servicio que es de mucha utilidad es la información de presencia que indica cuando un usuario ingresa a una Zona Femto, que debido a que esta clase de notificaciones las maneja el FAS puede utilizarse tanto para las celdas para el hogar como las metro celdas. Esta función ha creado un buen número de novedosas aplicaciones, por ejemplo, los integrantes de una familia pueden ser notificados cuando otro miembro entra o sale de la casa, otro ejemplo, es la publicidad que se puede mostrar en la terminal del usuario, cuando se acerque a determinado establecimiento comercial ofreciéndole descuentos u ofertas en determinados productos.

3. PROPUESTA DE APLICACIÓN DE METRO CELDAS EN ZONAS DE ALTO TRÁFICO

3.1. Estadísticas antes de metro celdas

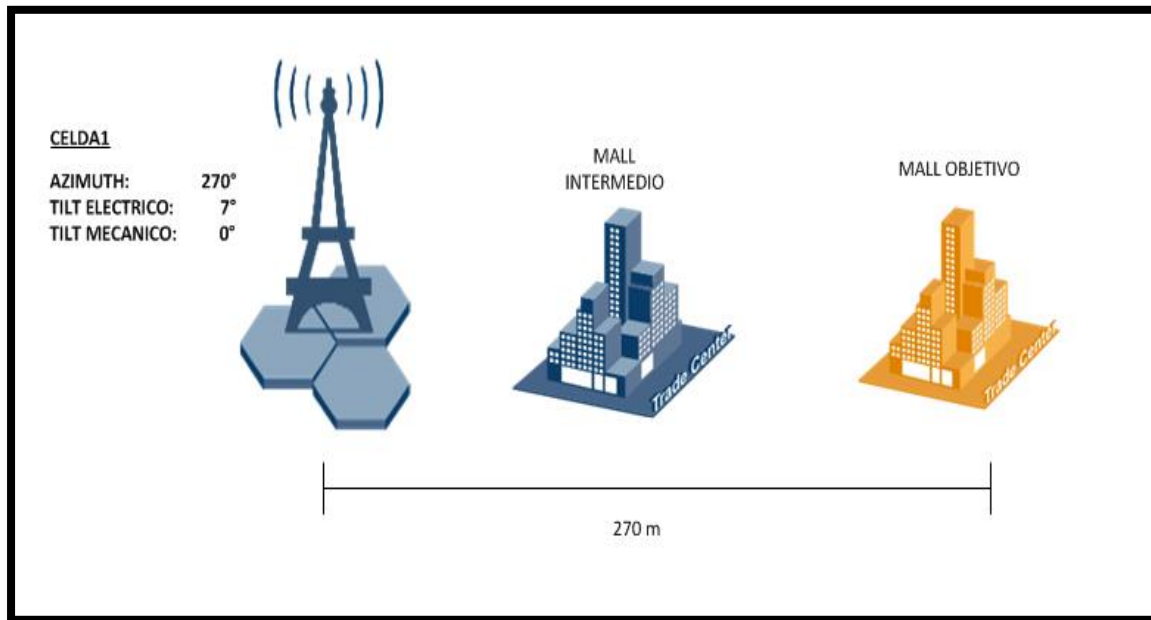
Esta sección se enfocará en la manera de cómo se encuentran los medidores principales de desempeño de una red real en una determinada celda, tanto el nombre de la red como el de la celda en cuestión no podrá ser revelado por estrictos temas de confidencialidad, por lo anterior mencionado, se darán nombres ficticios a los elementos de la red.

Para poder evaluar los indicadores se utilizaron estadísticas y mediciones en un determinado espacio de tiempo, con base en dichas mediciones se logró obtener una radiografía de la celda en cuestión, antes de la implementación de las metro celdas, esto servirá para realizar la comparación después de la implementación de los equipos.

La prueba de la funcionalidad de los equipos se llevó a cabo dentro de dos niveles de parqueos en un centro comercial al cual se le referirá como “*mall*”, para la celda en cuestión se utilizará el nombre de celda 1 mientras que para nombrar los equipos de metro celdas instaladas se identificarán como MRO1 hasta MRO6.

En la figura 20 se observa el escenario donde se realizó la evaluación de las metro celdas, la ubicación de la celda externa al centro comercial y las configuraciones con las que cuenta.

Figura 20. **Celda externa al centro comercial**



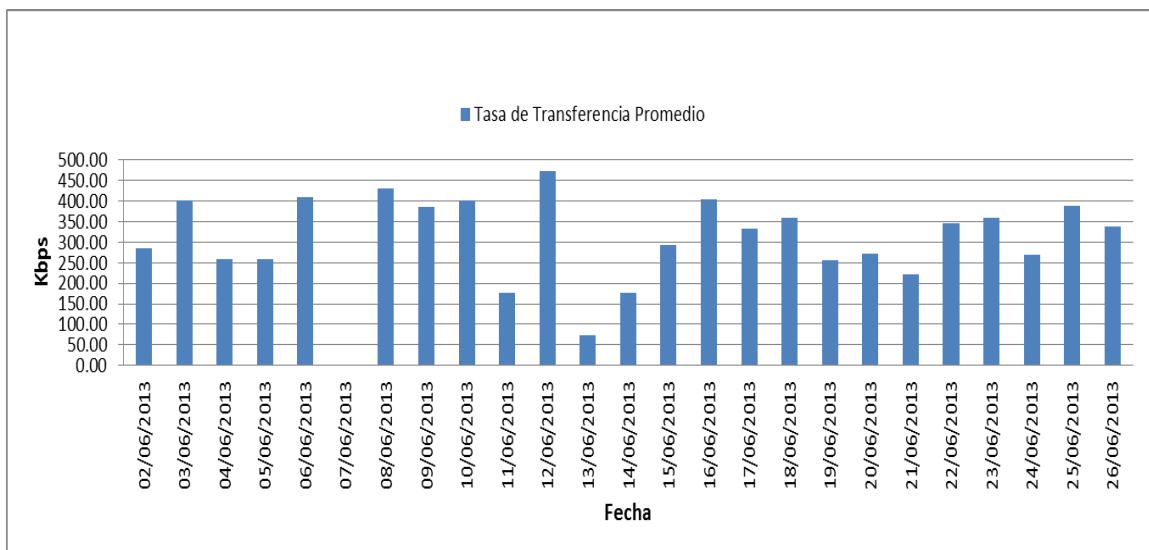
Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Paint.

Se puede observar la configuración con la que cuenta la celda 1 ubicada fuera del *mall*, pero con el fin de servir a los usuarios que se encuentran tanto, dentro como a los alrededores del mismo.

A continuación se presenta el detalle estadístico de los principales medidores del rendimiento de la celda 1, en ellos se podrá tomar en cuenta las fallas en el establecimiento de sesiones de voz y datos por congestión, el número de usuarios de la celda 1 y el porcentaje de completación de sesiones de voz y datos, es decir, cuantas llamadas son establecidas respecto al número de intentos de los usuarios, entre otros.

Las figuras de la 21 a la 24 describen el comportamiento de los diferentes indicadores de la red que son necesarios para ver la sanidad y el comportamiento de la misma. Los fueron tomados de una la hora con más tráfico en un día.

Figura 21. Tasa de transferencia promedio

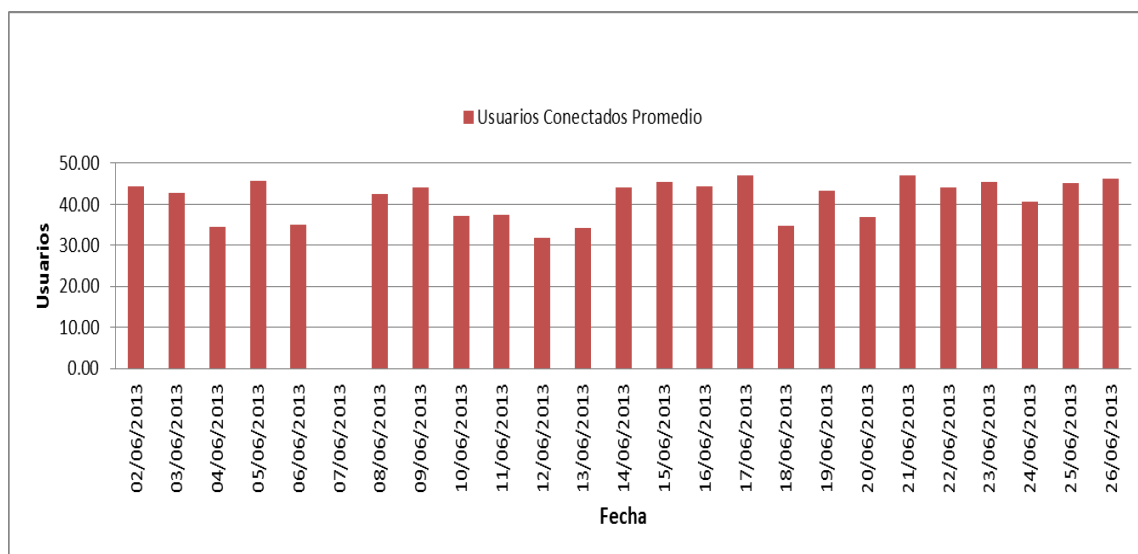


Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

En la figura 21 se muestra el comportamiento de la tasa de transferencia promedio medida en kilobit por segundo (Kbps), se puede observar fácilmente que mantiene un comportamiento alrededor de los 300 y 400 Kbps, este valor se ve disminuido en distintas fechas y eso se debe al aumento de usuarios que se da en la celda, este comportamiento es lógico pues a mayor cantidad de usuarios la celda debe repartir su capacidad en más terminales.

La baja tasa de transferencia en los usuarios es un tema de vital importancia pues crea una mala percepción en cuanto al servicio ofrecido. Esto para un operador puede resultar en pérdida de abonados por mala experiencia en su red, lo que sin duda es de alto impacto en sus ganancias.

Figura 22. **Usuarios conectados promedio**

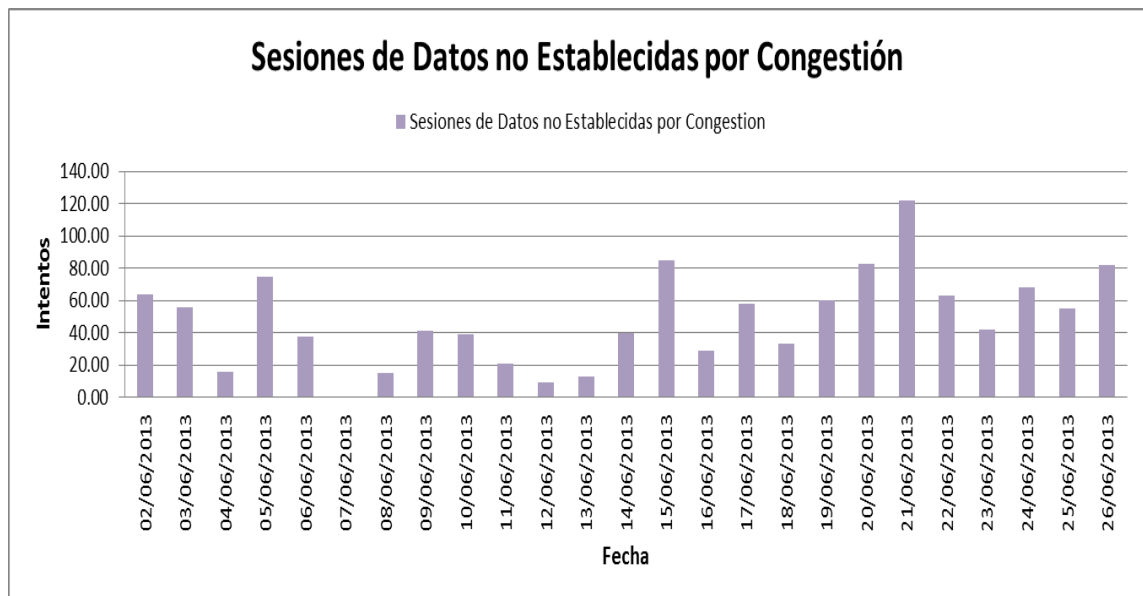


Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

En la figura 22 se observa el comportamiento de la carga de usuarios en la celda 1, se puede observar que existen días de alto tráfico en donde logra servir hasta casi 50 usuarios simultáneamente, por lo que, si se observa la gráfica de la tasa de transferencia se puede observar que se vuelve casi nula, esto perjudica a los usuarios finales pues no logra acceder a los servicios de datos de la red y deja abonados descontentos con el operador.

Este comportamiento que afecta directamente a la experiencia del usuario dentro de la red, si se presenta varios días a la semana crea la percepción en el usuario de que el operador no es capaz de prestar sus servicios en determinados puntos geográficos, además de esto también se ve en peligro el cumplimiento de uno de los objetivos principales de cualquier operador telefónico que es lograr la comunicación de las personas.

Figura 23. **Rechazos en datos por congestión**

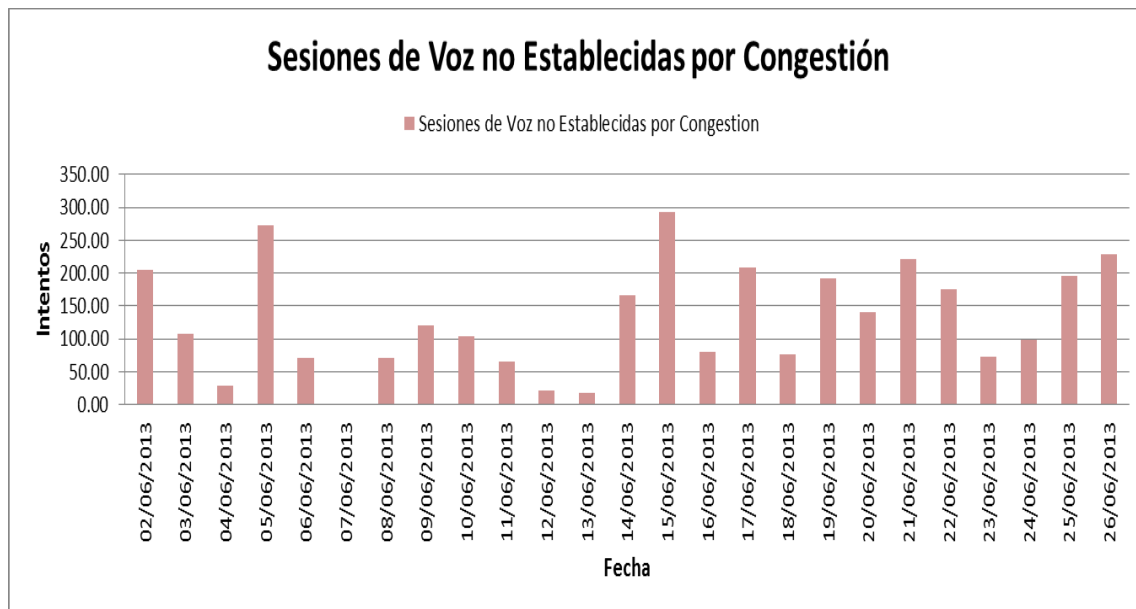


Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

La figura 23 es una muestra de la cantidad de rechazos que tiene la celda 1, es decir la celda deja de servir a los abonados que intentan ingresar a la red pero que no les es posible, pues la radio base se encuentra con alta ocupación de sus recursos.

La cantidad de rechazos es de alta importancia para un operador pues con esto puede medir la cantidad de tráfico que no se monetiza por temas de congestión, es decir falta de capacidad en determinado lugar. Con este indicador se puede ver la necesidad de hacer expansiones de capacidad en determinada radio base.

Figura 24. **Sesiones de voz no establecidas**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

El comportamiento de la figura 24 es algo que debe alarmar aún más a un operador, esto pues, se logra observar como los rechazos para establecer llamadas de voz se incrementan en cuanto la celda se ve sobrecargada de usuarios. Para el abonado es mucho más notorio el fallo en un servicio de voz que en una sesión de datos, por esto es que se vuelve mucho más crítico para el operador el poder solucionar este tipo de fallas que son por capacidades en la red.

El operador opta por varias técnicas para solucionar estos inconvenientes, en esta ocasión se emplearon las metro celdas para mejorar la experiencia de sus clientes y lograr también capturar tráfico que se está perdiendo, lo que se traduce en la compañía a ganancias que se dejan escapar debido a la falta de capacidad en un determinado lugar.

Se observó en las figuras anteriores que la celda logra servir en ocasiones hasta 50 usuarios simultáneos. Sin embargo, también deja escapar la misma cantidad de sesiones por lo que se observa que la compañía está perdiendo ganancias lo cual resulta contraproducente para el operador.

El operador optó por la solución de metro celdas para poder atacar el problema en el *mall*, para esto también es necesario un análisis en los indicadores de calidad de radiofrecuencia de la celda, por lo que se realizó un estudio para evaluar los niveles que se presentaban dentro del *mall* y poder determinar cuál es la situación de radiofrecuencia de la celda 1 dentro del centro comercial.

3.2. Coberturas antes de metro celdas

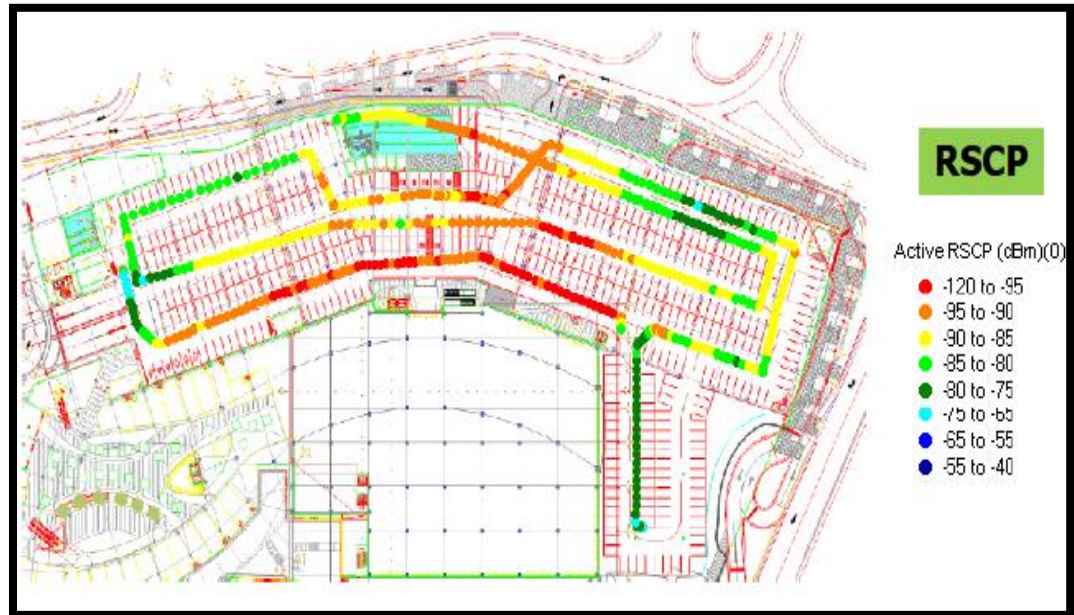
A continuación se podrá observar y explicar el comportamiento que presentaba la celda 1 dentro del *mall*, mostrando sus indicadores de calidad, el nivel de señal, la relación señal-ruido, y la potencia de transmisión de las terminales, estos indicadores están relacionados con la experiencia del usuario pues al tener malos niveles de señal y demasiada interferencia el abonado no podrá conectarse a la red o bien recibir un servicio deficiente en su desempeño, la potencia con la que transmite su terminal está ligada al tiempo de vida de la batería del dispositivo, por lo que si existen malos niveles de señal el celular

deber de transmitir a mayor potencia con lo que acorta el tiempo de uso de su batería.

Los indicadores medidos dentro de los parqueos son el RSCP por sus siglas en inglés Receive Signal Code Power, indicador de los niveles de señal que se tienen en un área determinada para el canal descendente en UMTS. Se midió también el E_c/I_0 por sus siglas en inglés Energy Chip bit / Interference, este es el indicador de calidad de la señal, indica el nivel de energía que se tiene respecto a la interferencia de banda ancha que actúa en el canal, incluyendo el sector de el mismo.

La figura 25 es un indicador de los niveles de señal que se encontraron en el parqueo del *mall* en donde se realizaron las pruebas. Esta medición fue realizada con equipos de especiales que permiten tomar muestras en cada punto de un recorrido específico, esto da visibilidad de que áreas son las que se encuentran con mayores problemas de cobertura.

Figura 25. Niveles de RSCP dentro de nivel 1 del parqueo



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, *3G Metro Cells PoC Trial*. p. 14.

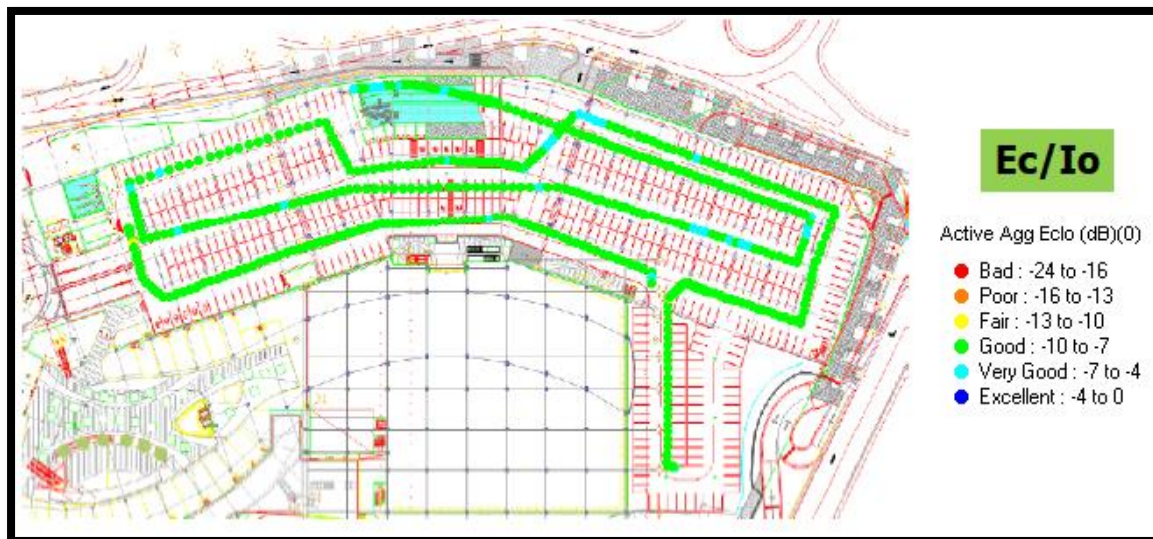
La figura muestra los niveles de señal medidos en dBm. Es de tomar en cuenta que a partir de -90 dBm se pueden experimentar fallas en el acceso a los servicios, pues al tener una señal muy débil el terminal no podrá acceder a todos los servicios de alta velocidad. Además del problema de baja señal, es de tomar en cuenta que conforme la celda 1 posea más usuarios bajo su servicio esta reducirá su cobertura para atender mejor a los que se encuentren más cerca de ella.

Por lo anterior mencionado se observa que existe un inconveniente en áreas que se ven más alejadas de la celda 1 y que a la vez son las que tienen mayor cantidad de obstáculos, esto ocasiona pérdidas y baja el nivel de recepción de la terminal.

En la figura 26 se muestra el recorrido correspondiente a la calidad con la que la celda 1 es escuchada por las distintas terminales, como se menciona anteriormente, este indicador dice que tanta es la interferencia que escucha un teléfono respecto a la celda o celdas que pueda estar escuchando en determinado punto.

Esta medición es muy importante pues indica la cantidad que se puede ofrecer en un determinado servicio con una calidad considerable para un usuario, además indica en qué lugares dentro del parqueo se tienen inconvenientes y por lo tanto, se ofrece mala experiencia en los servicios.

Figura 26. **Niveles de Ec/Io dentro de nivel 1 del parqueo**



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells PoC
Trial. p. 14.

Se observa en la escala de colores, los niveles de calidad son buenos, esto indica que el problema dentro de los parqueos se debe en su mayoría, a una pobre cobertura que a un mal Ec/lo. Si a esto se le suma que en las estadísticas de la celda se observa la congestión de usuarios, se puede determinar la mala experiencia o incluso la falta de acceso a la red por parte de los abonados que se encuentren en estas áreas.

Es válido mencionar que a pesar de que los niveles de Ec/lo son buenos, no son los ideales, es decir, se encuentran en el límite de lo recomendado por un operador para poder ofrecer la calidad de los servicios.

En las figuras 27 y 28 se muestran las mismas mediciones pero realizadas en el nivel 2 del parqueo.

Figura 27. Niveles de RSCP dentro de nivel 2 del parqueo



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells PoC

Trial. p. 17.

En este recorrido se observa una mejora de señal en diferentes áreas del parqueo, esto se debe a que es un nivel superior y queda mucho más expuesto a la celda 1, se ve una mejora significativa.

A pesar de que se observa una mejora considerable en los niveles de señal, esto no quiere decir que se aseguren los servicios que el operador ofrece, pues el poseer buenos niveles de señal no asegura la capacidad de una radio base. Es decir, poseer buena cobertura no da garantía de no tener saturados los recursos de radio por lo que se podría dar una falla en el intento de acceso a la red.

Figura 28. Niveles de Ec/Io dentro de nivel 2 del parqueo



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells PoC
Trial. p. 17.

Los niveles de calidad se ven mejorados en ciertas áreas del parqueo, sin embargo, aquí también se observan puntos amarillos, los cuales indican que hay mala calidad, esto nuevamente al verse combinado con los temas de congestión, se vuelven problemas serios para el operador pues no logrará ofrecer servicios de calidad a sus usuarios.

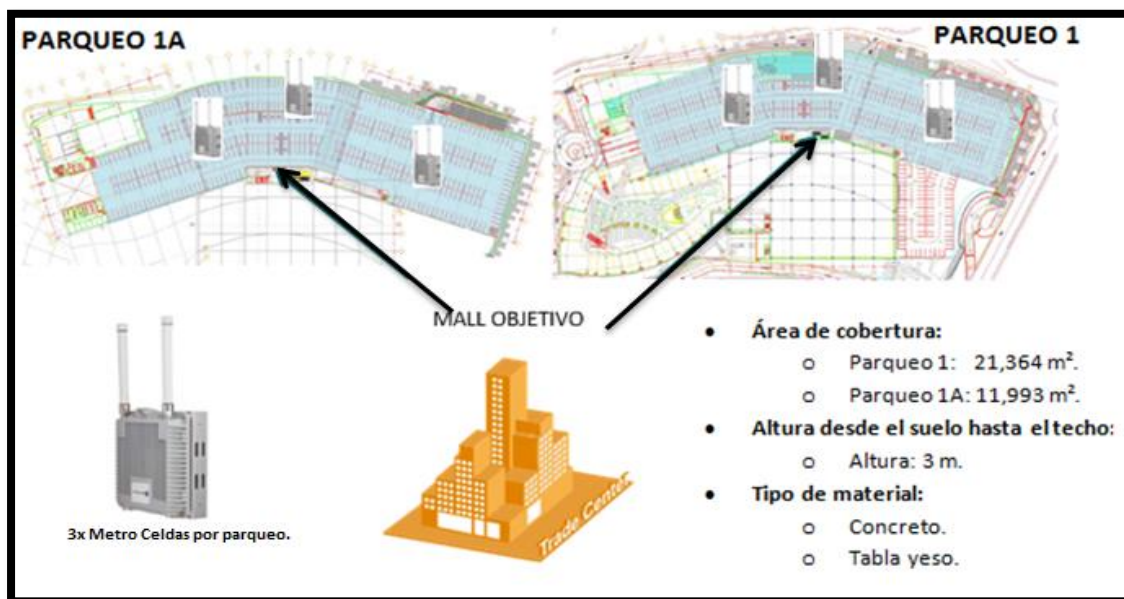
En conclusión, tras los recorridos que se observan en las figuras de la 25 a la 28, se puede decir que, existe un inconveniente por mala cobertura en el parqueo 1, también es de mencionar que, si bien, los niveles de calidad no son malos, están en el límite de lo que se exige para ofrecer servicios de calidad. En el parqueo 2 la cobertura mejora, sin embargo la calidad sigue estando al límite en la mayoría de sus muestras, con base en las mediciones y agregando el inconveniente de congestión, el operador sabe que sus clientes en esta área no están satisfechos con el servicio prestado por lo que es necesario tomar una acción de manera rápida y eficaz.

3.3. Uso de metro celdas en áreas de alto tráfico

Para resolver los inconvenientes en los indicadores de calidad y cobertura de la celda 1, se procede a realizar un diseño con metro celdas colocadas dentro de los niveles 1 y 2 del parqueo, estos son los niveles del *mall* que se colocan como objetivo de cobertura, se toman en cuenta factores como la topografía de los niveles en cuestión la altura entre piso y losa y el tipo de material con el que se cuenta en las divisiones internas de los parqueos, estos datos se obtuvieron tras una visita al *mall*.

Para la solución se tomaron en cuenta metro celdas diseñadas para ambientes externos, estos modelos fueron los disponibles para la prueba. En la figura 29 se observa una forma de describir gráficamente el ambiente en el que se realizó la prueba y también una idea de la ubicación de los equipos.

Figura 29. **Ambiente de pruebas en niveles de parqueo**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Paint.

Para proceder con el diseño de RF se tomaron varias consideraciones, estas fueron debido a la configuración de la celda 1 y sus niveles dentro del centro comercial. A continuación se enumeran las consideraciones para los distintos argumentos a considerar en cualquier diseño RF.

- Cobertura.
- Capacidad.
- Vecinas.

- *Handover* o traslado de abonado de una celda a otra entre metro celdas y celda 1.
- Normas de seguridad.

Para la cobertura se tomaron en cuenta 2 factores, el primero se debe a que cada metro celda debe de ser dedicada para una cobertura específica, es decir que sea dominante respecto a las otras metro celdas cercanas en su radio de cobertura. Otro parámetro importante para la cobertura interna es que, en general sea dominante respecto a cualquier otra celda que pueda tener presencia dentro del *mall*.

Para el tema de la capacidad se realizaron estudios estadísticos para determinar el número de usuarios en hora pico, con base en esto se determinó que para cada nivel de parqueo las metro celdas fueran capaces de atender hasta a 100 usuarios simultáneos demandando servicios de calidad.

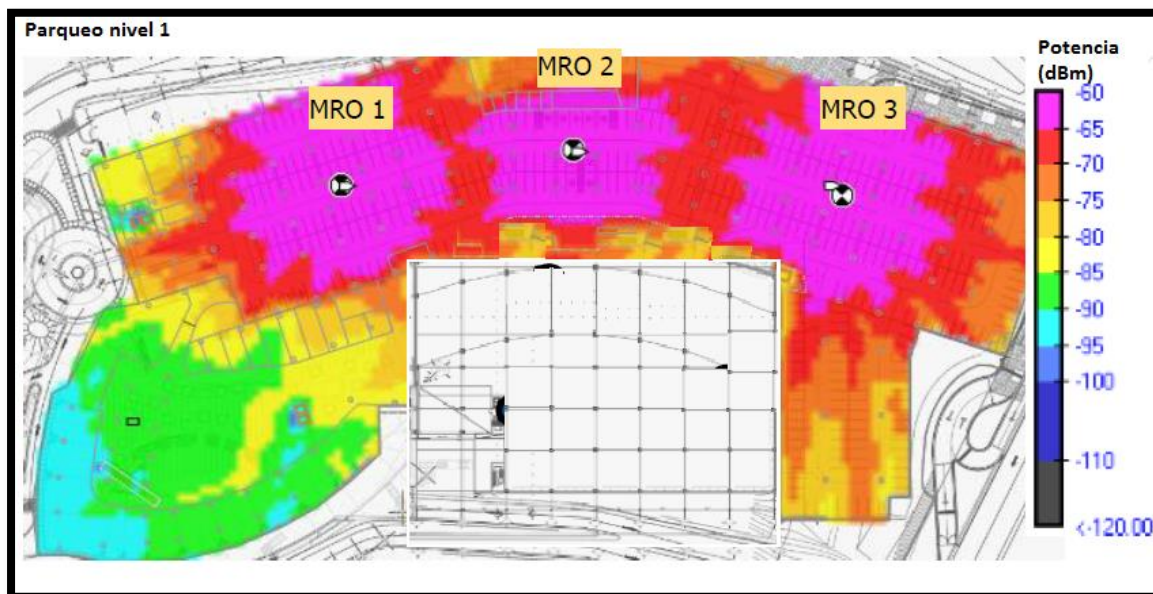
La lista de vecinas se cargaron de manera manual para evitar que pueda afectar directamente a la metro celda, esto pues, la metro celda lo primero que hace es detectar sus vecinas y con base en los niveles que escuche puede reducir demasiado su cobertura.

El tema del traspaso de usuarios de una celda a otra se manejó únicamente a la entrada y salida de los niveles de parqueo, esto pues como se menciona en las consideraciones de cobertura, dentro del parqueo solo debe predominar la cobertura de las metro celdas, con esto se reduce también la señalización que la red debe manejar, pues mientras las terminales pasen de una metro celda a la otra toda la señalización la maneja la red principal de las metro celdas.

Con base en lo anteriormente descrito, se procede a ubicar estratégicamente dentro de los niveles de parqueo las metro celdas que apoyaran a esta solución.

En la figura 30 se muestran las simulaciones realizadas con el software especial para predicciones de coberturas dentro de edificios con la mejor posición para cada metro celda. Se dejó un área fuera de la simulación debido a que pertenece a una compañía en especial que no permitió instalar nada dentro de sus instalaciones, por lo tanto no forma parte de los objetivos de cobertura.

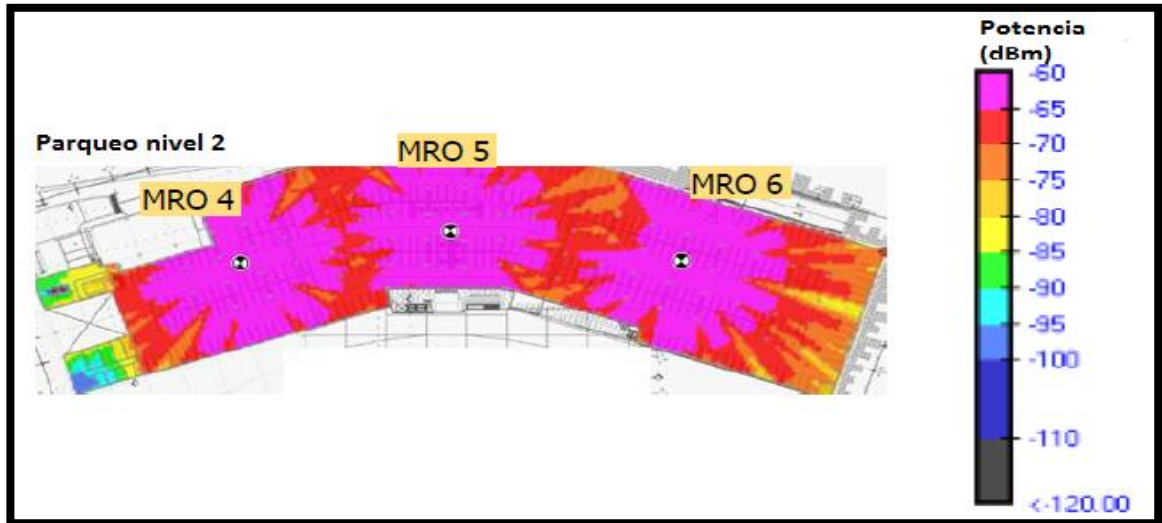
Figura 30. **Simulación niveles de RSCP nivel 1 del parqueo**



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Juan Goldoni, *Trial RF design*, p. 23.

De igual manera pero para el nivel 2 se procede con la simulación de los niveles de señal, esto es mostrado en la figura 31.

Figura 31. Simulación niveles de RSCP nivel 2 del parqueo



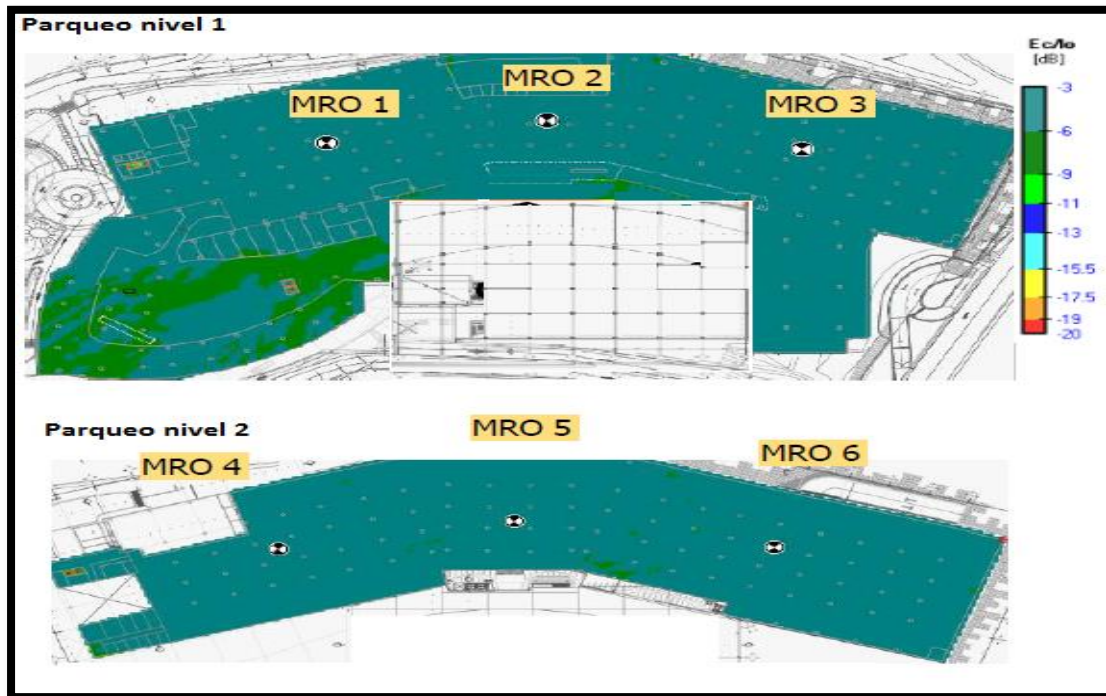
Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Juan Goldoni, *Trial RF design*. p. 23.

Las figuras 30 y 31 permiten validar que con las posiciones seleccionadas y los niveles de potencia establecidos, pudiendo confiar en que las metro celdas serán las dominantes dentro de los parqueos, con esto se asegura que los terminales tendrán un nivel excelente de señal y por lo tanto anular así los inconvenientes que se presentaban con la señal de la celda 1.

También se hicieron simulaciones de los niveles de E_c/I_0 , estas simulaciones se realizaron con 0 % de tráfico simulado en las celdas, es decir cómo deberían de comportarse si ningún usuario está presente en la zona.

En la figura 32 se observa el comportamiento de la calidad de señal sin tráfico simulado en las metro celdas.

Figura 32. Simulación niveles de E_c/I_0 niveles 1 y 2 del parqueo



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Juan Goldoni, *Trial RF design*, p. 23.

Como se menciona anteriormente, estas simulaciones fueron realizadas sin tomar en cuenta tráfico de usuarios en los equipos, es por eso que los niveles de calidad se ven totalmente favorables e idóneos.

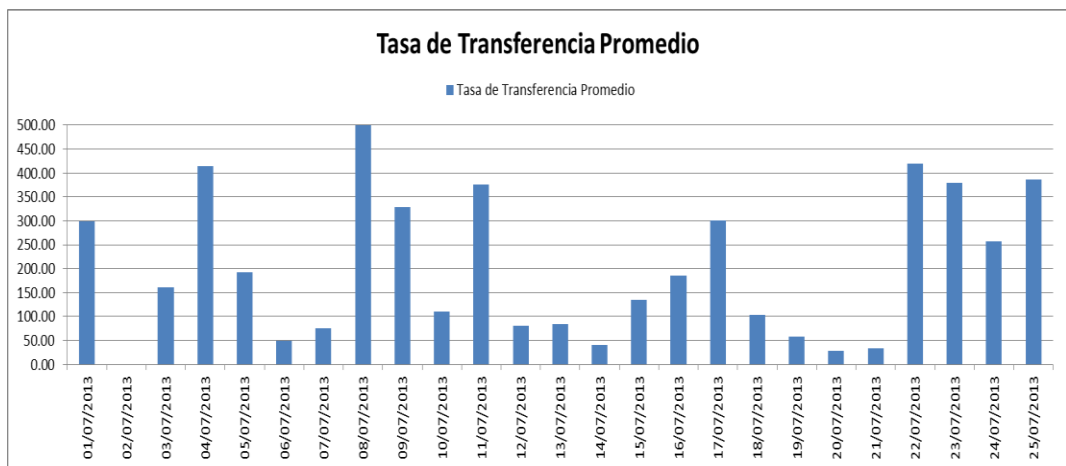
Para las simulaciones se configuraron los equipos con una potencia de transmisión de 8 dBm, se les colocaron dos antenas con una ganancia de 2 dBi para poder extender un poco más la cobertura de las metro celdas.

3.4. Estadísticas aplicando metro celdas

Tras realizar la instalación de los equipos, se realizó nuevamente la observación de los indicadores de rendimiento de la celda 1, los resultados se muestran a continuación, en donde se podrá observar el comportamiento una vez entraron a funcionar las metro celdas.

En la figura 33 se puede ver el comportamiento de la tasa de transferencia promedio con la que se cuenta durante el período en que funcionaron las metro celdas.

Figura 33. Tasa de transferencia promedio con el uso de metro celdas

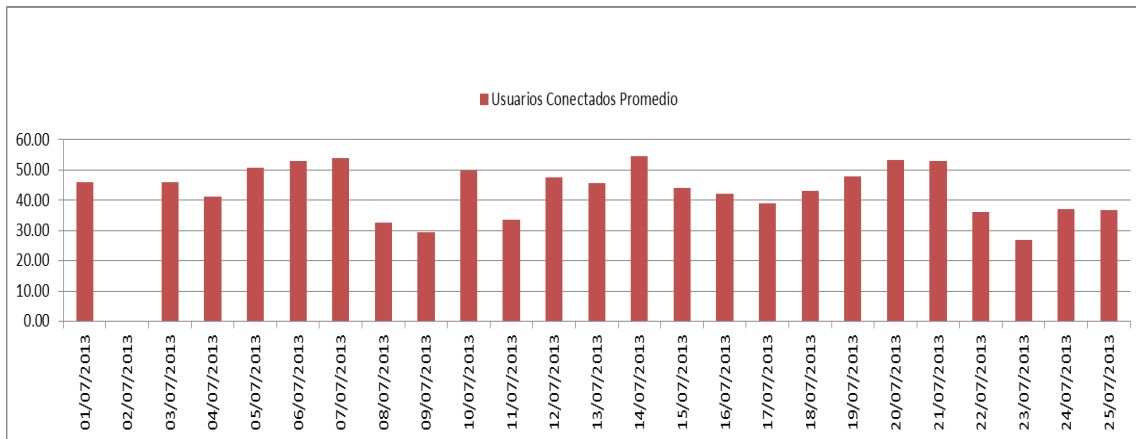


Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Se observa un promedio de 400 Kbps con un pico de 500 Kbps, esto muestra que existe un pequeño incremento en velocidad de descarga que experimenta el usuario final.

En la figura 34 se observa el número de usuarios promedio que manejó la celda 1 durante el funcionamiento de las metro celdas.

Figura 34. **Usuarios conectados promedio**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

A pesar de que se observa una mejora muy pequeña en la tasa de transferencia, en la gráfica de usuarios conectados se puede ver que existen picos con más de 50 usuarios servidos por la celda 1, esto quiere decir que la cantidad de usuarios aumentó en ciertos días por lo cual la velocidad de los servicios de datos se vio disminuida, la cantidad de usuarios no fue reducida por lo que no existió una verdadera descongestión sobre la celda, esto sin embargo, no quiere decir que la solución no cumpla sus objetivos.

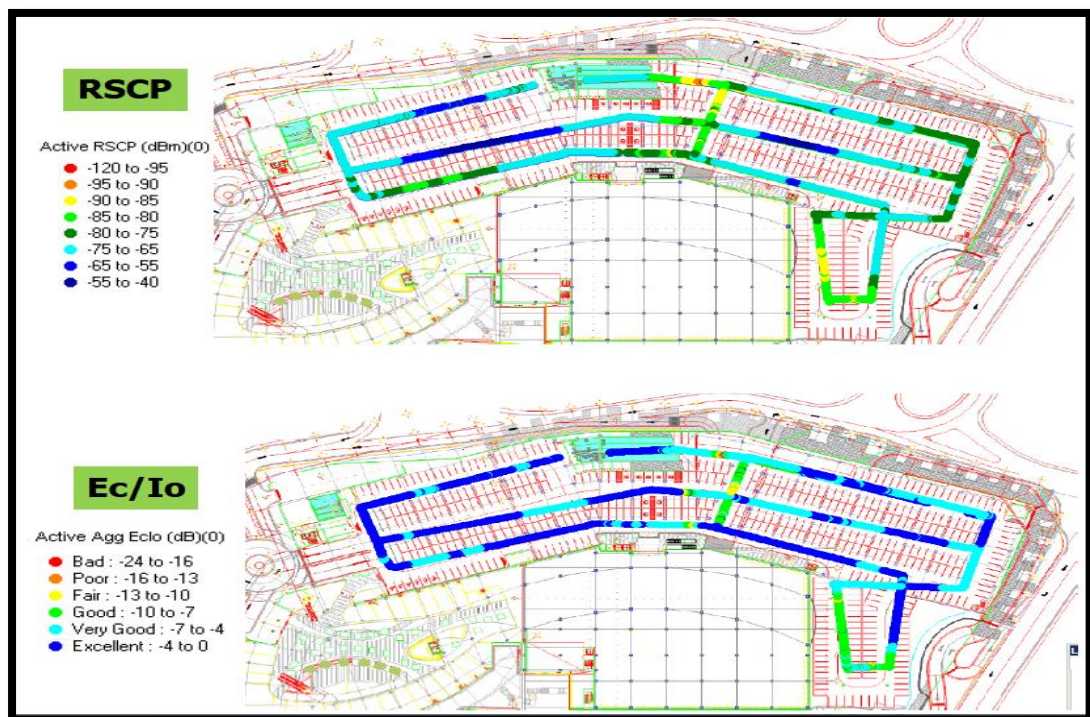
Se podría decir que se debe tomar en cuenta que la solución no es la mejor propuesta para solucionar los temas relacionados con el *mall* en cuestión, esto pues al tratarse de equipos de prueba no se tuvieron los necesarios para poder hacer el diseño e implementación que el centro comercial requería en su totalidad.

3.5. Coberturas aplicando metro celdas

Tras aplicar las metro celdas dentro de los parqueos en el nivel 1 y nivel 2, se pudo observar una mejora sustancial en cuanto a los parámetros de cobertura y calidad, esto quiere decir que se logró asegurar la buena experiencia de los usuarios pues las metro celdas fueron las mejores servidoras dentro de los parqueos.

En la figura 35 se observan los niveles de RSCP y Ec/Io ya con mediciones reales dentro de los parqueos y con las metro celdas radiando.

Figura 35. Niveles RSCP y Ec/Io dentro del nivel 1 de parqueo

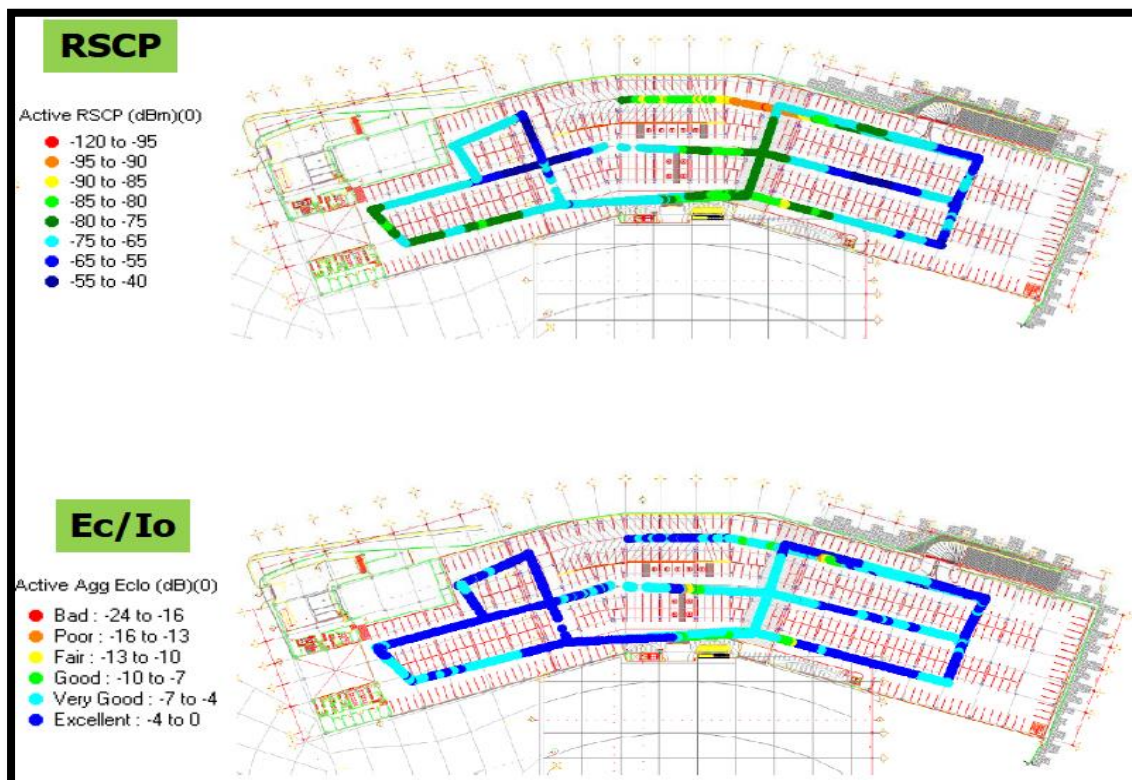


Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells Poc Trial. Julio 2013. p. 14.

En la figura 35 se ve claramente que los niveles dentro del parqueo 1 son muy buenos en su mayoría, por lo que se puede asegurar que en cuanto a cobertura y calidad no existe inconveniente, pues se logra estar en los niveles que aseguran la buena experiencia del usuario que demanda un servicio dentro del parqueo en el nivel 1, esto se da para voz y datos ya que la metro celda tiene la capacidad de manejar los dos servicios.

La figura 36 muestra los niveles de RSCP y Ec/Io ahora para el recorrido dentro del parqueo en el nivel 2, esto con metro celdas radiando.

Figura 36. Niveles de RSCP y Ec/Io dentro del nivel 2 del parqueo



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells Poc
Trial. Julio 2013. p. 17

En este recorrido también se observa una notable mejoría en los niveles de calidad y cobertura, con estas mediciones se observa que las metro celdas cumplen con el objetivo de ser las dominantes dentro de los niveles de parqueo 1 y 2, es decir que, debido al correcto funcionamiento de los equipos se puede decir sin ninguna duda que estos son los que se encuentran brindando los servicios dentro del *mall*, con esto se asegura que no deben existir inconvenientes de falta de señal o bien una mala calidad por interferencias.

A pesar de demostrar que se solucionaron los problemas de cobertura y calidad dentro de los niveles de parqueo, las estadísticas muestran que no existe una mejora sustancial en la externa al *mall* en cuanto al número de usuarios conectados y la velocidad de descarga con la que cuenta en promedio la celda 1. Esto se debe a que la demanda de usuarios es demasiado alta en el sector, además la solución de metro celdas no es la óptima debido a permisos para instalación.

El funcionamiento de las metro celdas fue el esperado según las predicciones que se mostraron, esto quiere decir que las celdas si funcionan de acuerdo a lo indicado.

4. ANÁLISIS DE SOLUCIÓN CONVENCIONAL CONTRA EL USO DE METRO CELDAS

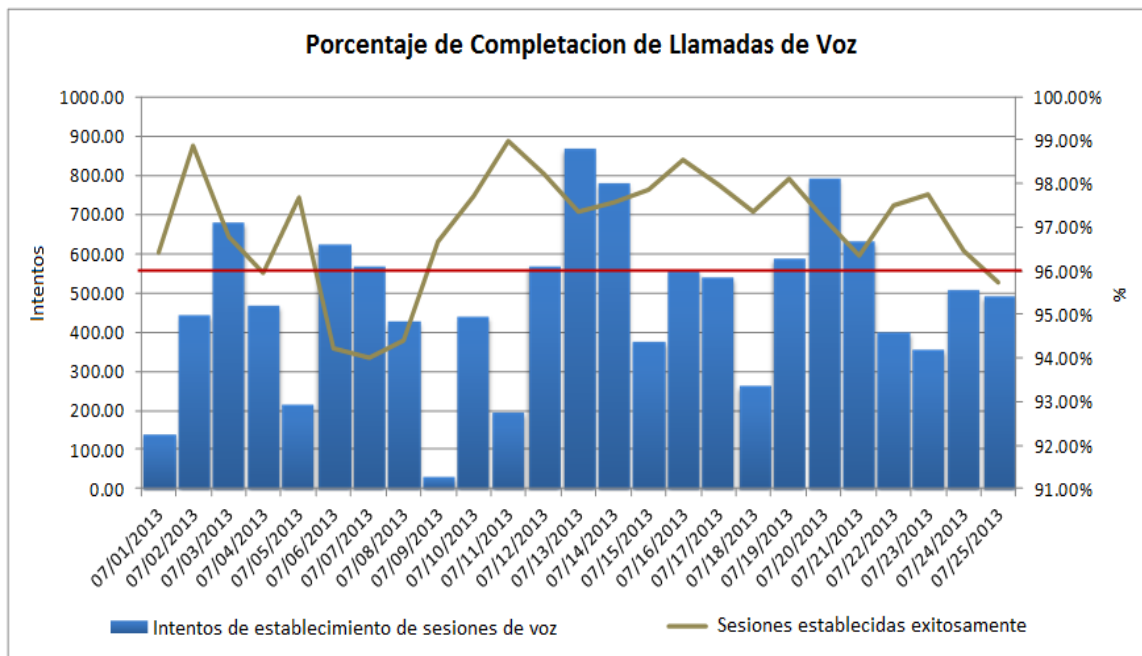
4.1. Comparación de estadísticas antes y después

En la sección anterior se mostraron las estadísticas referentes a los principales medidores de una red 3G activa, estos medidores se obtuvieron de la celda 1 antes y después de haber instalado la solución de metro celdas, esta sección tratará de resaltar las principales diferencias que se observaron en el comportamiento de los indicadores de rendimiento de la celda exterior, esto como consecuencia de la solución de metro celdas instalada en el interior de los sótanos del *mall* en cuestión.

Se mostrarán las gráficas una a una, de cada indicador de rendimiento de la celda 1, en ellas se explicará el comportamiento de cada uno de los indicadores, además se revisarán también los comportamientos de las metro celdas para poder verificar el curso de tráfico en la solución dentro de los parqueos, y lograr determinar cuál podría ser la ventaja al utilizar estos equipos y entender en que escenarios se puede obtener un rendimiento óptimo para beneficiar a una celda congestionada o una red saturada en cuanto a la utilización de sus recursos según sea el caso.

En la figura 37 se muestra la gráfica que muestra el porcentaje de completación que se tiene para las llamadas de voz, esto para las metro celdas instaladas, es de mencionar que las estadísticas tomadas son las sumas totales de las 6 metro celdas instaladas dentro del centro comercial.

Figura 37. **Completación de llamadas voz de metro celdas**

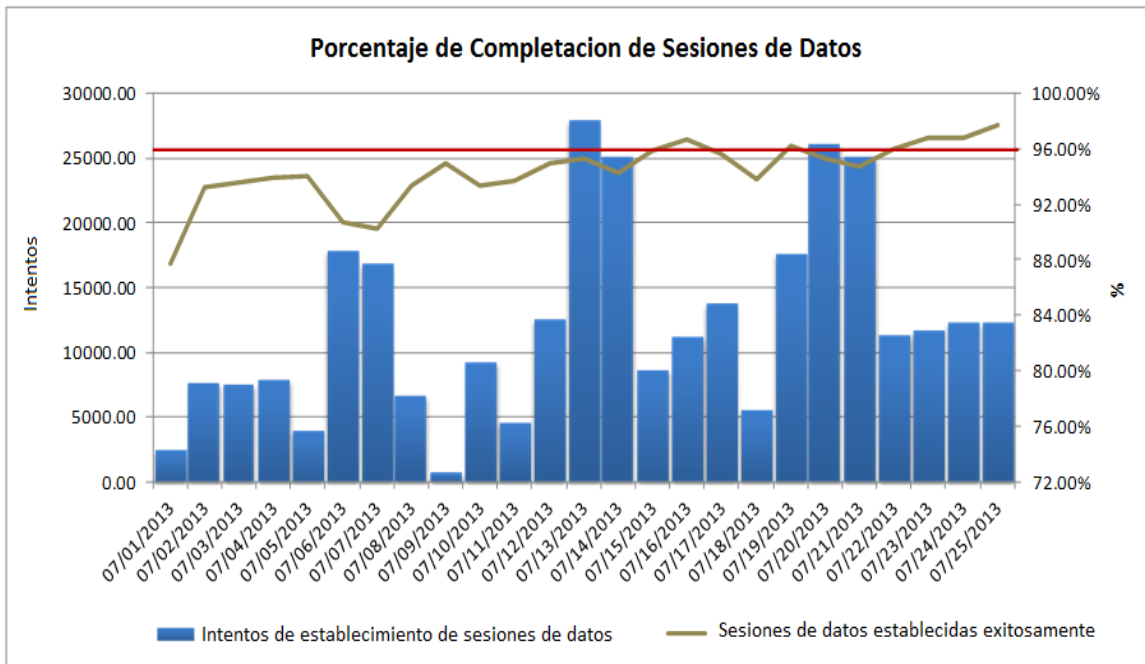


Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells Poc Trial. Julio 2013. p. 35.

Con ello se demuestra como el porcentaje de completación de llamadas de voz está por encima del 95 % en su mayoría, por lo que se podría concluir en que las llamadas de voz que los usuarios están intentando realizar se están completando en su mayoría, esto afirma con seguridad que los abonados están contando con un servicio de voz muy bueno en donde antes era demasiado complicado realizar una simple llamada.

La figura 38 muestra el mismo dato en cuanto la completación de llamadas pero ahora para las sesiones de datos.

Figura 38. **Completación de llamadas datos de metro celdas**



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, *3G Metro Cells Poc Trial*. Julio 2013. p. 38.

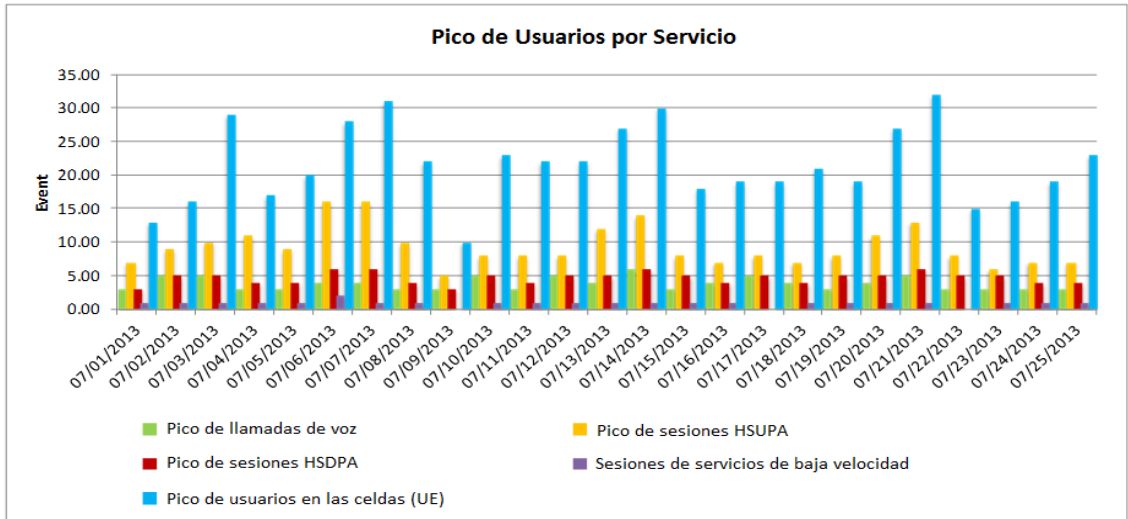
Las estadísticas establecen que el porcentaje de completación de sesiones de datos está en promedio en un 92 %, este número indica el porcentaje de sesiones que logran establecerse de servicios de datos, remarcando nuevamente que debe considerarse que el servicio en los parques dentro del centro comercial era deficiente, pero ahora con lo que mostrado por las estadísticas, ya se cuenta con una mejora en la experiencia del usuario final.

Gracias a las metro celdas, los abonados pudieron navegar y tener acceso a todos los servicios que dependen de la transmisión de datos como correos, navegación de internet, descargas de imágenes, música, videos, entre otros.

Las metro celdas también muestran un gran volumen de tráfico manejado por ellas, este se puede ver tanto en el enlace de subida como en el de bajada, este indicador dice qué tantos *megabytes* de información fueron descargados por las metro celdas, este tráfico alcanzo picos de 1 600 megabytes descargados, también se observa en el sentido contrario, es decir, cuando las personas suben archivos a las redes sociales o bien el envío de mensajes por medio de aplicaciones de datos, para el enlace de subida se obtuvo un pico de 300 *megabytes*.

Otro de los indicadores que se pueden observar en las metro celdas, es el número de usuarios que manejaron en las horas pico de cada día que estuvieron en servicio, esto se puede observar gráficamente en la figura 39, mostrada a continuación, en ella se observa cómo las metro celdas fueron capaces de llegar a su límite de sesiones incluso en un área que supuestamente no es la mejor para encontrar demanda de servicios como lo es un sótano de parqueos.

Figura 39. **Usuarios por servicio**



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Bra, *3G Metro Cells Poc Trial*. Julio 2013. p. 44.

Con estos datos se puede validar el buen funcionamiento de los equipos, así como también, la alta demanda de servicios que los usuarios presentaban incluso en un área considerada como de bajo tráfico. Otro de los datos que vale la pena resaltar, es el valor de la tasa de transferencia que se alcanzó con las metro celdas, el valor promedio que se obtuvo fue alrededor de los 5 Mbps. Con esto se superó aproximadamente en un 700 % al valor que se lograba con la celda 1 dentro de los parqueos, esto para el enlace descendente, es decir, la velocidad de descarga, esto es indudablemente una mejora más que significativa para la experiencia del usuario final.

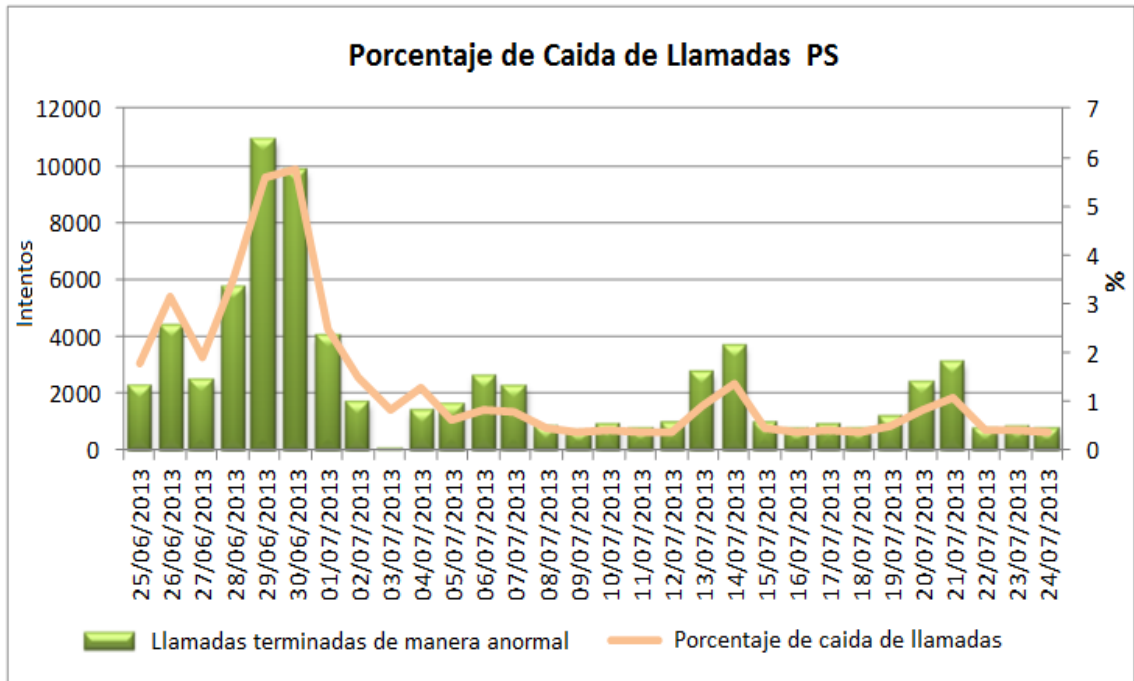
Para poder ver el efecto que se generó tras el uso de las metro celdas es importante validar el comportamiento de la celda 1 mientras estuvo en servicio la solución en los sótanos, un aspecto importante a tomar en cuenta para la celda en el exterior del centro comercial es el porcentaje de caídas de llamada,

es decir, qué tanto se finalizan las llamadas de manera anormal, es decir sin que el usuario quiera terminar la sesión, esto puede ocurrir por una falla en la red, malos recursos de radio o simplemente por saturación de la capacidad de la radio base o nodo B. El porcentaje de caída de llamadas es de gran importancia tanto en sesiones de voz como de datos, a pesar de ello, el usuario final es más sensible a la caída de llamadas de voz pues es mucho más perceptible que se corte la comunicación hablada que la interrupción de la navegación en internet.

A continuación se pueden observar las figuras 40 y 41, en las cuales se describe el comportamiento de la celda 1 antes y durante el funcionamiento de la solución de pequeñas celdas instalada dentro del centro comercial.

En la figura 40 se observa claramente el comportamiento que la celda 1 venía presentando antes de que las metro celdas entraran a funcionar, también se observa claramente en la gráfica la fecha en la que las solución entra en servicio y se revela como las metro celdas ayudan en gran medida a mejorar la caída de sesiones de datos en la celda 1, es decir que los usuarios que fueron atendidos por la celda externa al centro comercial experimentaron una mejora en sus servicios de datos, pues ya no fue frecuente la interrupción o la caída de dichos servicios.

Figura 40. **Porcentaje de caída de sesiones PS**

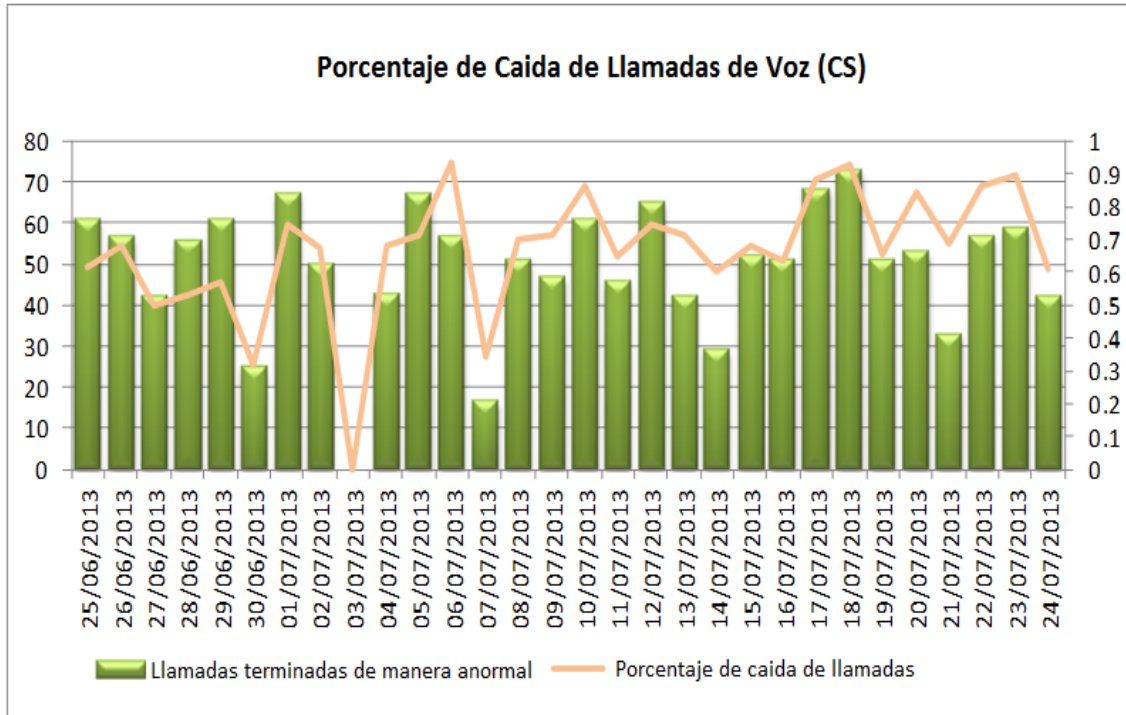


Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, *3G Metro Cells Poc Trial*. Julio 2013. p. 55.

Se observa en la figura 40 un decremento bastante considerable en la caída de sesiones de datos, esto indica que la celda 1 experimentó un cambio favorable para poder ofrecer a los usuarios una mejor experiencia en sus servicios de datos como la navegación y todos los servicios que dependen de internet.

El medidor de porcentaje de caída de llamadas también es medible en las sesiones de voz, en la figura 41 se muestra también el comportamiento que la celda 1 presentaba antes de la instalación de las pequeñas celdas.

Figura 41. **Porcentaje de caída de llamadas de voz (Cs)**



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells PoC Trial. Julio 2013. p 55.

En la gráfica anterior, se observa que a diferencia de las sesiones de datos, en las llamadas de voz no se observa una gran diferencia en cuanto a la caída de llamadas de manera anormal, sin embargo, el porcentaje no llega ni siquiera al 1 % por lo que, a pesar que no se ve una mejora considerable no quiere decir que esté funcionando mal, pero si significa que en sesiones de voz no tuvo un gran impacto sobre servicios de voz.

Las gráficas 40 y 41 muestran claramente para este caso en particular que el impacto positivo en cuanto a la descongestión de la celda 1 se notó en los servicios de datos, es claro como mejoró en cuanto a las fallas de sesiones que pudieron darse en su mayoría por congestión de recursos.

4.2. Comparación de coberturas antes y después

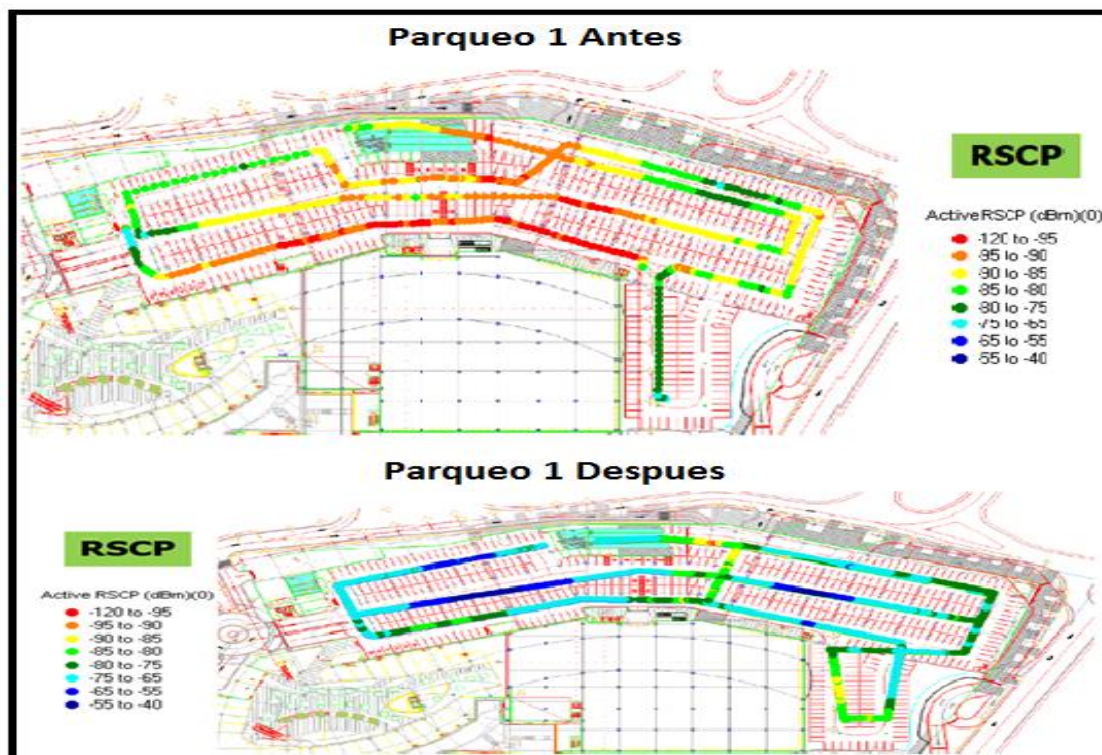
Otro de los aspectos importantes en las pruebas que se realizaron fueron los niveles de señal y de interferencia que se obtuvieron dentro de los parqueos en donde se instalaron las metro celdas, para validar el antes y después de las celdas se hicieron recorridos como se mostró anteriormente, en estos recorridos se utilizan programas especiales para poder extraer de las terminales la información necesaria, es decir, niveles de señal o RSCP, niveles de calidad o Ec/Io y las mediciones de las tasas de transferencia de descarga en distintos puntos del área cubierta por la solución.

Es de gran importancia el poder tener visibilidad de los niveles mostrados antes y durante el funcionamiento de las metro celdas dentro de los parqueos, con estas mediciones se puede determinar si las fallas en algún sector es por falta de cobertura o por mala calidad, también se ve fácilmente la mejora que se logra cuando se enciende y entra en funcionamiento la solución de pequeñas celdas, pues se observa notablemente el mejoramiento de los niveles de las mediciones con lo cual se puede asegurar que por lo menos los problemas de cobertura o mala calidad, quedan resueltos gracias al buen funcionamiento de las metro celdas.

En la figura 42 se observa una comparación de los niveles de RSCP dentro del parqueo 1, se puede ver la mejoría en ciertas áreas logradas por la activación de las metro celdas en el área afectada.

Se observa una notable mejoría pues los niveles de señal pasan de estar entre -95 dBm y -120 dBm a niveles no menores de -75 dBm, por lo que se asegura la cobertura dentro de los niveles de parqueo.

Figura 42. Comparación RSCP antes y después parqueo 1

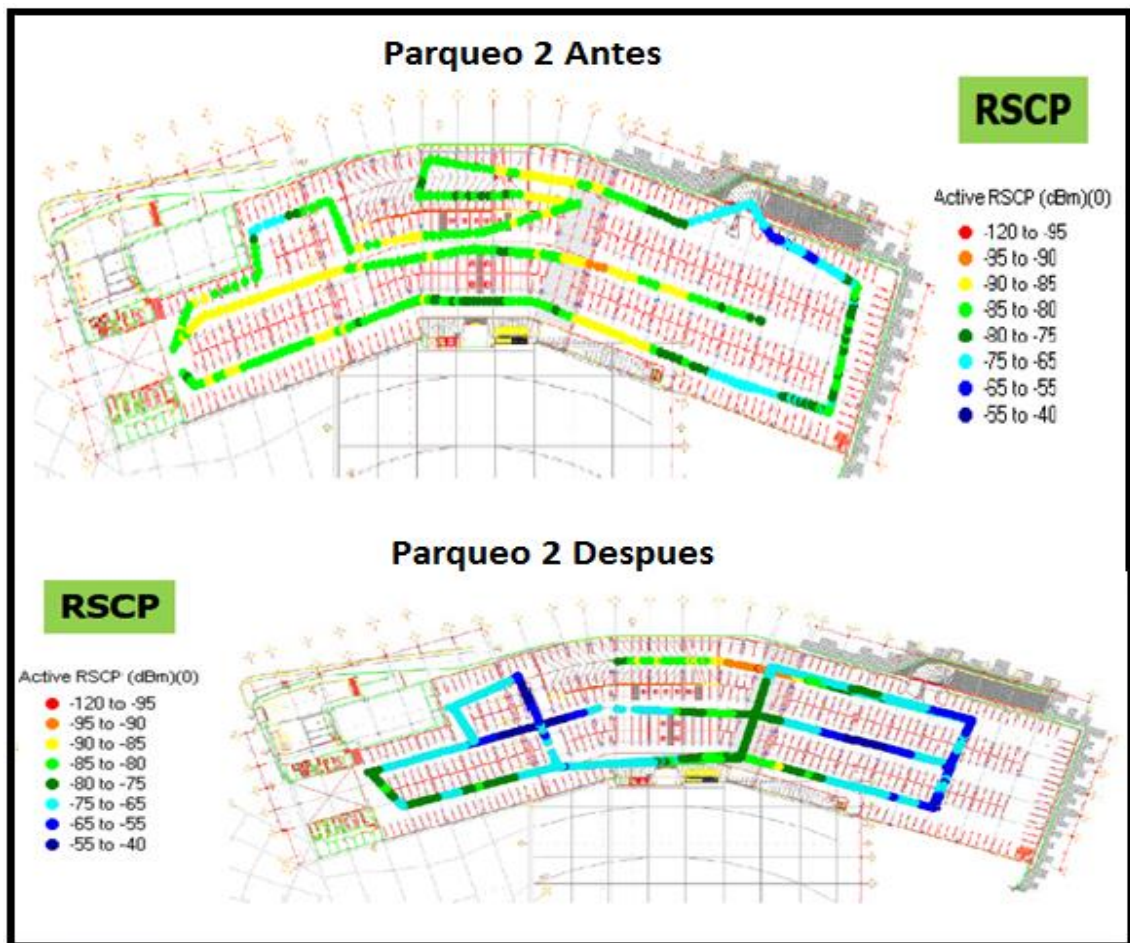


Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells PoC Trial. Julio 2013. p. 14.

Con base en la figura 43, se puede validar también las mediciones de RSCP, pero en este caso para el parqueo 2, en esta imagen también se observa el impacto positivo que generaron las metro celdas para el interior del parqueo 2, que también presentó mejoría en los niveles medidos, con esto se puede asegurar que los usuarios tendrán señal dentro de los parqueos, se debe

mencionar que el tener buenos niveles de cobertura no significa que se asegure la buena experiencia de los usuarios, pues para eso es necesario que se cumplan también los niveles de calidad deseados.

Figura 43. Comparación RSCP antes y después parqueo 2



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells Poc Trial. Julio 2013. p. 17.

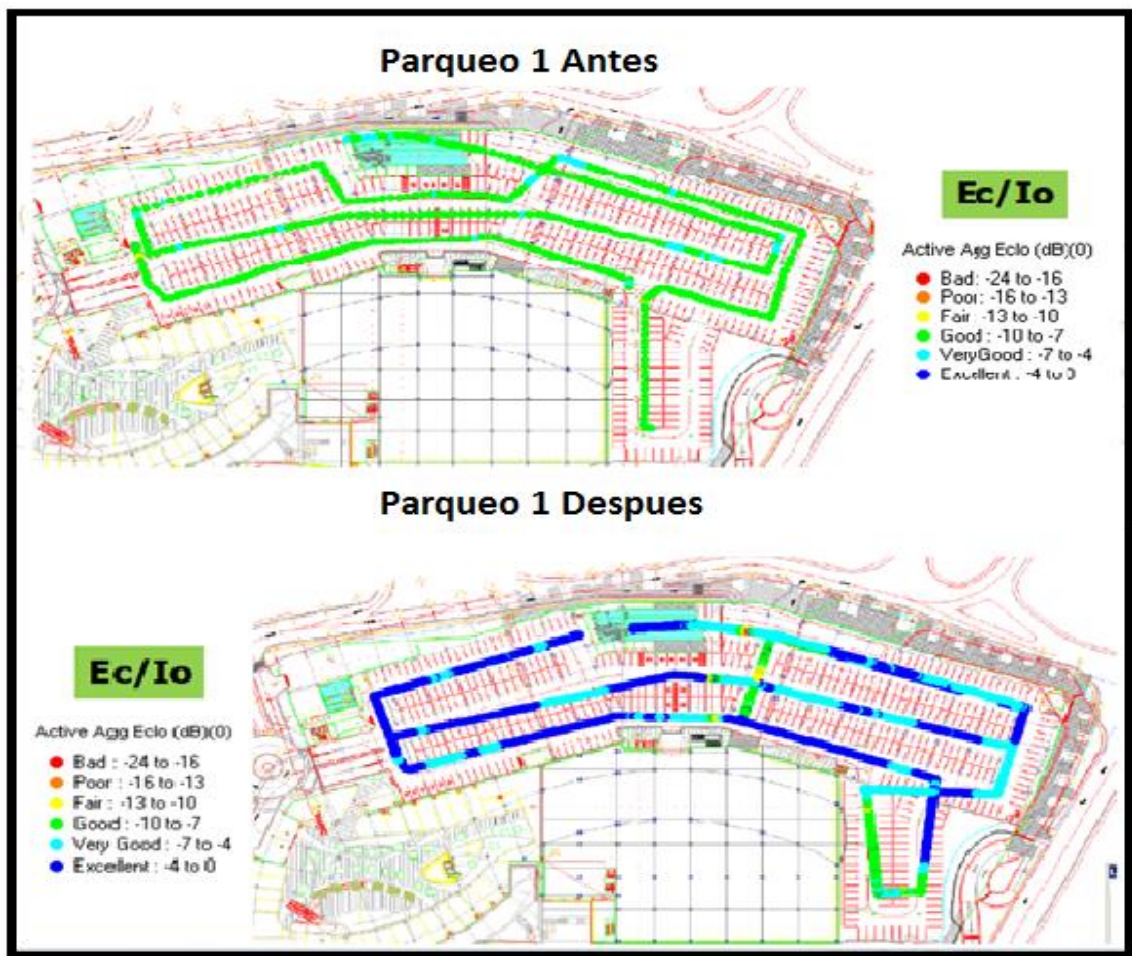
Las imágenes mostradas dejan ver de manera muy clara, las mejoras que se obtuvieron en cuanto a las mediciones de los niveles de señal dentro de los parqueos, esto indica el buen funcionamiento de las metro celdas instaladas y que deja ver cómo los usuarios pueden contar con mejoría de señal en estas áreas donde antes no se contaba con ella, esto favorece grandemente a las personas que estén dentro del área de cobertura de las metro celdas, pues con la solución instalada el abonado puede contar buena señal para optar a sus servicios.

Para asegurar el buen servicio a los abonados de un determinado operador, este debe de asegurar 2 de los principales indicadores que se toman en cuenta para que esto suceda, a pesar de que se tengan buenos niveles de señal puede que el usuario no pueda entablar sesiones de voz o datos y esto puede deberse a que los niveles de interferencia en determinadas áreas son muy altos, lo cual se ve reflejado en pobres niveles de Ec/Io, esto influye directamente la calidad de los servicios que el operador ofrece a sus usuarios pues es posible que experimenten fallas al tratar de enlazar comunicación en llamadas de voz o bien sesiones de datos ya que existen medidas estándar que la tecnología exige para su funcionamiento óptimo.

Si el operador logra mantener los niveles óptimos para los 2 indicadores que se estudian en el presente documento, podría dar certeza que el usuario de la red podrá contar con la calidad necesaria y los niveles de señal correctos, para que todos sus servicios puedan ser entregados de manera correcta, ayudando así a que la experiencia del abonado dentro de la red sea la mejor y poder tener satisfechos a los clientes que visiten el centro comercial, por lo menos en el área de parqueos. Otro tema que puede afectar a los servicios es la capacidad que como se vio en el apartado anterior, a nivel de datos tuvo una notable mejoría gracias a la ayuda de las metro celdas.

En la figura 44 se observan los niveles de Ec/Io, antes y después de la puesta en servicio de las metro celdas dentro del parqueo 1, se observan mejorías en las mediciones con lo que se puede entender el impacto que este tendrá en la experiencia del usuario. Se ve claramente la mejoría en los niveles y por lo tanto se entiende que la calidad de los servicios se mejora y por lo tanto, así también la experiencia del usuario dentro de la red.

Figura 44. Comparación Ec/Io antes y después parqueo 1



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells Poc Trial. Julio 2013. p. 14.

En el parqueo 1, se logra apreciar una notable mejoría pues los niveles de interferencia mejoran, por lo cual el nivel de calidad también es mejor, esta mejoría se da porque las metro celdas logran ser dominantes dentro de los parqueos, lo cual minimiza la interferencia pues las terminales del usuarios solo escucharán al mejor servidor que encuentren.

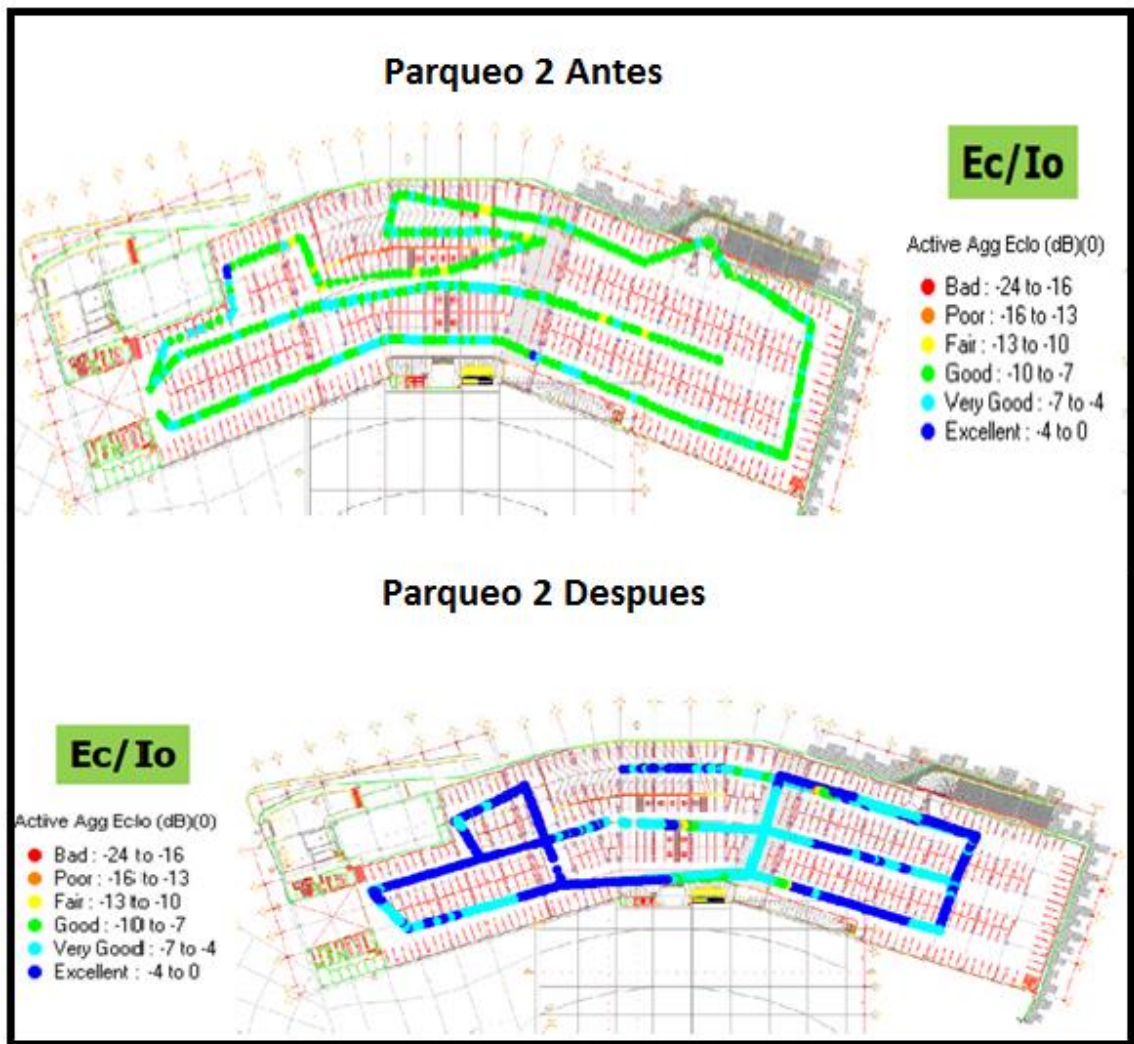
Si los niveles de calidad y señal entre dos o más celdas son muy parecidos, sucede el fenómeno de la polución que no hace más que confundir a las terminales, pues no sabe con cuál celda comunicarse para entablar conexiones, ya que escucha a todas con los mismos niveles de señal y calidad.

En el parqueo 2 también se hizo el recorrido respectivo para poder tomar mediciones y validar la mejora que presenta el área en cuestión, logradas por la implementación y puesta en servicio de las metro celdas, el recorrido se trabajó eligiendo los lugares por donde pasarían en su mayoría las personas, para así asegurar que en esos lugares se cuente con los mejores niveles de calidad para ofrecer servicios de manera óptima.

Es de mencionar también que las mediciones se hacen tras la optimización de los parámetros de radio como potencia, configuración de portadoras, áreas de cobertura para el traslado de llamadas de una metro celda a otra, áreas de intercambio de llamadas entre celda 1 y metro celdas, entre otros. Es decir que tras la configuración inicial de equipos, la puesta en servicio y la configuración final se quemaron etapas de optimización y recorridos de mediciones en las cuales el resultado final y el más óptimo, es el mostrado en las figuras anteriores desde la 42 hasta la 44, pues es donde se obtuvieron los mejores resultados de las mediciones para lograr mejorar el ambiente para el usuario final.

En la figura 45, se observa la mejoría de las mediciones de Ec/Io para el parqueo 2 y con esto se sobre entiende también el impacto positivo que tiene para los usuarios.

Figura 45. Comparación Ec/Io antes y después Parqueo 2



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells Poc Trial. Julio 2013. p. 17.

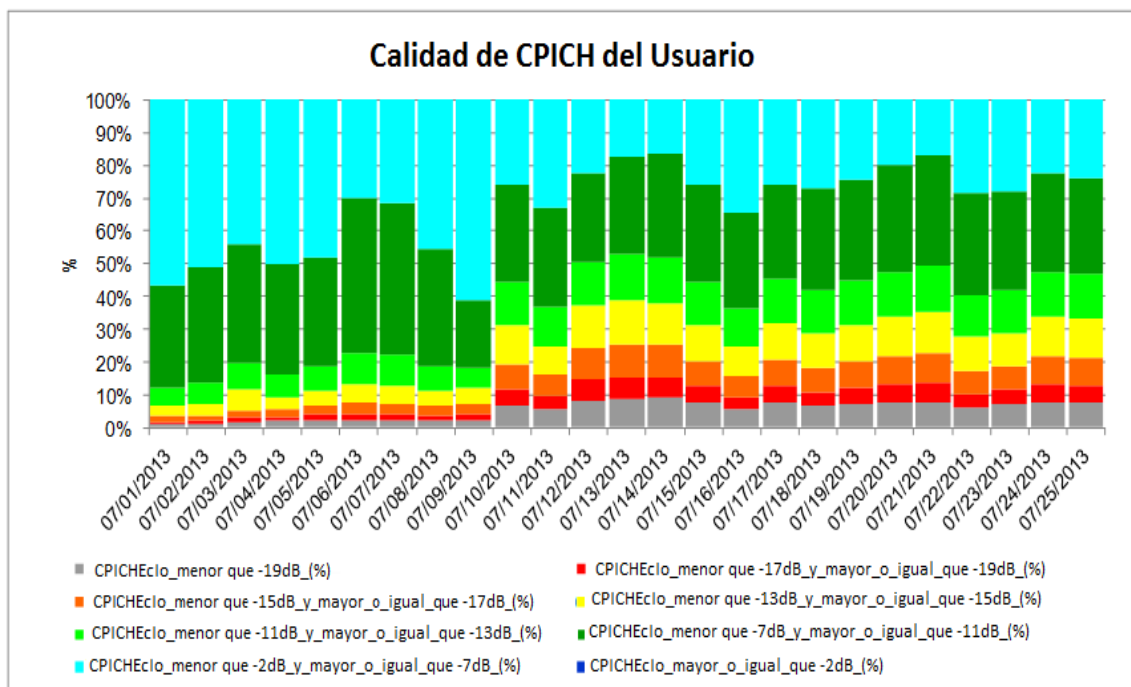
Adicional a estos indicadores, existe otro que impacta directamente en la percepción del usuario final, para el abonado es de gran importancia el tiempo de duración de la batería de su terminal, esto está ligado directamente a la potencia que utiliza el celular para poder comunicarse con la red, es decir que, mientras la terminal utilice menos potencia de transmisión la batería del equipo durará por más tiempo. Para que el teléfono tenga que utilizar menos potencia para transmitir los parámetros a nivel de radio, deben ser óptimos pues con esto ayudan a que los celulares no requieran demasiado esfuerzo para poder comunicarse con las radio bases o los nodos B, que se encuentren tratando de entablar conexión con las terminales.

El CPICH (por sus siglas en inglés Common Pilot Channel) es un canal físico que se encuentra en el enlace descendente y se encarga de transmitir constantemente una secuencia de bits definida, es de comentar que este canal es usualmente configurado para que utilice el 10 % de la potencia total del nodo B, este es encargado de toda la señalización necesaria para el establecimiento de sesiones, es de mencionar que un usuario puede experimentar una buena señal en el celular, sin embargo, si no está en la cobertura del CPICH, es decir, no lo escucha el celular no podrá establecer ningún tipo de conexión hacia la red pues no poseerá comunicación de señalización entre los nodos B y el terminal del usuario final.

El CPICH Ec/Io es la potencia recibida por chip dividida por la densidad de la potencia en la banda. Es el encargado de indicar cuál es la calidad del CPICH, es decir, que tan limpio se encuentra el canal para las terminales de los usuarios, a continuación se muestra la gráfica que brinda los niveles de calidad que se encontraron durante el funcionamiento de la solución de metro celdas.

En la figura 46 se observan las mediciones del CPICH en los distintos días que funcionó la solución de metro celdas, se observa como el mayor porcentaje de las muestras se encuentra en los rangos de Ec/Io que permiten ofrecer los servicios del operador de la mejor manera posible, para que el usuario tenga buena experiencia dentro de la red, los valores se encuentran entre los -7 y los -11 dB lo que indica una gran calidad de experiencia desde el punto de vista del usuario.

Figura 46. **Calidad del CPICH**



Fuente: reporte realizado y supervisado por Joao Perez/Alexandre Braz, 3G Metro Cells Poc Trial. Julio 2013. p. 53.

Con estos muy buenos niveles de CPICH se puede deducir que la vida útil de la batería en las terminales de los usuarios se verá afectada positivamente, alargando el tiempo de duración lo que es un gran beneficio para los usuarios, especialmente los portadores de teléfonos inteligentes que por sus utilidades demandan mayores capacidades en la batería.

CONCLUSIONES

1. Se logró la introducción al mundo de las telecomunicaciones tras un recorrido en la historia de las redes celulares.
2. Se presentaron los fundamentos de las metro celdas comprendiendo el funcionamiento e identificando las características de dichos equipos.
3. Las metro celdas pueden considerarse como una alternativa para solucionar problemas de congestión en servicios de voz y datos, según sea el escenario para redes 3G.
4. Se validó la utilidad y el correcto funcionamiento de las metro celdas en zonas de alto tráfico de usuarios.
5. Los indicadores de calidad a nivel de radiofrecuencia se beneficiaron asegurando cobertura y mayor capacidad de recursos en las zonas de alto tráfico donde se realizaron las pruebas.
6. Con la instalación de las metro celdas se capturó tráfico que antes el operador no podía monetizar, por lo que las ganancias de la empresa se pueden ver muy beneficiadas con la implementación de estos equipos.

RECOMENDACIONES

1. Para lograr la correcta instalación de las metro celdas debe considerar identificar y asegurar las localizaciones óptimas de los lugares donde se pretende implementar. Se debe asegurar la disponibilidad adecuada de energía y de la red de transmisión, así como la reducción de las interferencias.
2. Cuando se trata de un problema de congestión las metro celdas se considera pueden ser instaladas en los puntos de alto tráfico, tomando en cuenta que se trata de un complemento y no una red independiente a la 3G.
3. Cuando se trata de un problema de cobertura considerar para la instalación de las celdas, lugares donde se aseguren los puntos mencionados en la recomendación número 1 y cercanos a los objetivos de cobertura.
4. Tanto para la instalación como para la planificación considerar que estos equipos cuentan con la ventaja de poder cambiar el tipo de antena, según sea la necesidad del escenario de aplicación.
5. Para una mejor planificación tomar en cuenta que la utilización de una banda de frecuencias dedicada a la solución de metro celdas, puede lograr un mejor rendimiento en los indicadores de calidad a nivel de radiofrecuencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. AJAY, R. Mishra. *Cellular network planning and optimization 2G/2.5G/3G...Evolution to 4G*. England: John Wiley & Sons, 2007. 542 p. ISBN: 978-0-470-05763-6.
2. BOCCUZZI, Joseph; RUGGIERO, Michael. *Femtocells design & application*. USA: McGraw-Hill, 2011. 272 p. ISBN: 978-0-07-163359-8.
3. FIGUEIRAS, Anibal R. *Una panorámica de las telecomunicaciones*. Madrid: Pearson Educación, 2002. 408 p. ISBN: 84-205-3100-6.
4. GIUSTINA, Andrea. *Femtocells: opportunities and challenges for business and technology*. England: John Wiley & Sons, 2009. 252 p. ISBN: 978-0-470-74816-9.
5. JIMENEZ DELGADO, Jose. *Telecomunicaciones móviles*. 2a ed. Barcelona: Marcombo, 1998. 276 p. ISBN: 978-8-426-71149-6.
6. KORHOEN, Juha. *Introduction to 3G mobile communication*. 2a ed. USA: Artech House, 2003. 544 p. ISBN: 1-58053-507-0.

