



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis del desempeño de la red móvil 4G LTE de datos en interiores
de edificios utilizando la tecnología QCELL**

AUTOR:

Blacio Moreno, Laura Angelina

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Ruilova Aguirre, Maria Luzmila

Guayaquil, Ecuador

6 de marzo del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta.
Blacio Moreno, Laura Angelina como requerimiento para la obtención del
título de **INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Ruilova Aguirre, Maria Luzmila

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 6 días del mes de marzo del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Blacio Moreno, Laura Angelina**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación “**Análisis del desempeño de la red móvil 4G LTE de datos en interiores de edificios utilizando la tecnología QCELL**” previo a la obtención del Título de **Ingeniera en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 6 del mes de marzo del año 2018

EL AUTOR

BLACIO MORENO, LAURA ANGELINA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Blacio Moreno, Laura Angelina**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Análisis del desempeño de la red móvil 4G LTE de datos en interiores de edificios utilizando la tecnología QCELL**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 6 del mes de marzo del año 2018

EL AUTOR

BLACIO MORENO, LAURA ANGELINA

REPORTE DE URKUND

Es seguro | <https://secure.orkund.com/view/35345906-600946-720436#q1bKLvayijYy0zEy1>

Aplicaciones ★ Bookmarks EURESCOM P615: Evc Novel Enabling Techn Optical add / drop atr

URKUND

Documento [Solucion Ocell 4g LTE.docx](#) (D35939558)

Presentado 2018-02-26 14:11 (-05:00)

Presentado por orlandophilco07@gmail.com

Recibido orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje Fwd: tesis urkund [Mostrar el mensaje completo](#)

10% de estas 36 páginas se componen de texto presente en 2 fuentes

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Estudio

técnico de solución indoor QCELL para comunicación móvil 4G LTE

AUTOR:

[Blacio Moreno, Laura Angelina](#)

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Ruilova Aguirre, Maria Luzmila

Guayaquil, Ecuador

DEDICATORIA

A mi mamá, María Judith, quien es mi pilar y fortaleza en los momentos más difíciles, también la persona que aplaude mis triunfos y motiva a seguir adelante. Para ti, que siempre quisiste que fuera grande, esto recién empieza.

A mi hermana, que siempre me pregunta cómo me va en la universidad y me hace sentir importante cuando me escucha hablar sobre mi carrera.

A mi abuelita, a quien siempre le decía que iba a estar presente festejando conmigo mis triunfos, pero se tuvo que marchar antes de tiempo.

A mi abuelito, a quien le brillan los ojos cada vez que le digo que estoy cerca de mi meta universitaria. Quien me enseñó con paciencia a sumar, restar, multiplicar y dividir cuando era pequeña.

EL AUTOR

BLACIO MORENO, LAURA ANGELINA

AGRADECIMIENTO

A mi familia por haberme apoyado en todo momento con su paciencia y amor. Por haber creído en mí.

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por haberme dado la oportunidad de cumplir una de mis metas.

A mi tutora, Ing. Luzmila Ruilova por haber sido una guía y apoyo incondicional durante este periodo de titulación.

A la empresa ZTE Corporation por haberme brindado la oportunidad de efectuar todas las pruebas que se necesitaban para culminar este trabajo de titulación.

Al Ingeniero Marcelo Luque por su enseñanza y haberme facilitado toda la información y herramientas para las pruebas realizadas.

EL AUTOR

BLACIO MORENO, LAURA ANGELINA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

f. _____

PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DE ÁREA

f. _____

BOHORQUEZ HERAS, DANIEL BAYARDO
TUTOR

Índice General

Índice de Figuras	XI
Resumen	XII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	13
1.1. Introducción.....	13
1.2. Antecedentes	14
1.3. Definición del Problema.....	15
1.4. Justificación del Problema.....	15
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	15
1.5.1. Objetivo General.....	15
1.5.2. Objetivos Específicos.	16
1.6. Hipótesis.....	16
1.7. Metodología de Investigación.....	16
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	17
2.1. Telefonía móvil	17
2.2. Servicios.....	17
2.3. Espectro radioeléctrico	18
2.4. Tecnologías de redes inalámbricas.....	18
2.5. Redes GSM.....	20
2.6. Arquitectura GSM.....	22
2.7. Estaciones móviles.....	23
2.8. Estaciones base	23
2.9. Estaciones de control	24
2.10. Centro de conmutación	25
2.11. HLR y VLR	25
2.12. Métodos de acceso	29
2.12.1. FDMA	30
2.12.2. TDMA	32
2.12.3. CDMA	34
2.13. Tecnología de comunicación inalámbrica 3G UMTS.....	41
2.14. Tecnología de comunicación inalámbrica 4G LTE	43
2.15. Fibra óptica.....	45
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DESARROLLO DE SOLUCIÓN QCELL.....	51

3.1.	Desarrollo de solución con dispositivo QCELL.....	51
3.2.	Análisis de cobertura previa existente en la zona	51
3.3.	Posible solución de cobertura en interiores QCELL – LTE	54
3.4.	Elementos del sistema de cobertura en interiores QCELL – LTE	55
3.4.1	Qcell solución de cobertura LTE para interiores.....	56
3.4.2	Nodo y sus elementos	59
3.4.3	Fibra Óptica	64
3.4.4	Transceptor pBridge	65
3.4.5	Ethernet	67
3.5.	Mediciones y parámetros obtenidos del sistema QCELL - LTE	70
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		71
4.1.	Conclusiones.....	71
4.2.	Recomendaciones.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		73

Índice de Figuras

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Figura 2.1: Diagrama de arquitectura GSM	23
Figura 2.2: Diagrama de arquitectura UMTS	42
Figura 2.3: Diagrama de bloques de tecnología inalámbrica.	45
Figura 2.4: DFibra óptica LC LC Multimodo	48

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DESARROLLO DE SOLUCIÓN QCELL

Figura3.1: Imagen de parámetros obtenidos en la zona	53
Figura3.2: Diagrama de bloques de sistema previo de cobertura 3G	54
Figura3.3: Diagrama de bloques de sistema de cobertura LTE con QCELL	54
Figura3.4: Diagrama de distribución estándar de sistema de cobertura QCELL	56
Figura3.5: Diferencia entre cables Ethernet cat 5e y cat 6.	68
Figura3.6: Imagen de parámetros obtenidos en el área con Qcell.....	70

Resumen

En el presente trabajo de titulación se analizó la calidad del servicio de las redes móviles (Movistar) en el interior del edificio The Point exactamente en los últimos pisos superiores; para posteriormente realizar una demostración en la cual se refleja la mejora en la velocidad de descarga de datos gracias a la tecnología Qcell LTE y así brindar una buena experiencia al usuario. También se mostró gráficamente los valores alcanzados con esta mejora y su desempeño dependiendo de la cantidad de usuarios que se encuentren conectados a la red. Este trabajo de titulación se llevó a cabo con la colaboración de la empresa ZTE Corporation, quienes se especializan en el servicio de telecomunicaciones; entre sus principales funciones se encuentra el RF (radiofrecuencia) e implementación de los equipos en radio bases a todas las operadoras del país (Movistar, Claro y CNT). Para el desarrollo de la primera parte del tema se ejecutó una prueba drive test con la ayuda de la aplicación Speedtest, en la cual el principal objetivo fue obtener estadísticamente las diferencias que predominan entre las tecnologías, enfocándonos esencialmente en los parámetros de la velocidad.

Palabras claves:

TECNOLOGÍA, TELEFONÍA, CONECTIVIDAD, DATOS, INTERIORES, REDES Y EVOLUCIÓN.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

A medida que pasa el tiempo, las necesidades tecnológicas a nivel mundial aumentan a gran velocidad debido a la creciente demanda de usuarios y dispositivos que exigen un mejor desempeño. En estos días, la sociedad utiliza y depende de la tecnología para cada aspecto de sus vidas. Es así como constantemente se mantienen investigaciones para lanzar la siguiente tecnología de telefonía móvil y así cumplir con los requerimientos de los usuarios, la última y vigente es la 4G (cuarta generación) que es 10 veces más rápida que su antecesor 3G que hasta hace poco era la cual estaba presente en todos nuestros móviles.

A pesar de que ésta significativa mejora llegó para que la velocidad de descarga (o simplemente abrir una página web en el navegador de los teléfonos) sea mucho más rápida, la cobertura de red con estos beneficios por lo general no alcanzaba a los dispositivos móviles dentro de edificaciones cuyo interior tenga múltiples divisiones y obstáculos para tener una cobertura eficiente. Es decir, que, debido a condiciones físicas, los usuarios tenían limitaciones y muchas veces nada de cobertura.

Para ser más específicos, a quienes les resulta más complicado tener una completa cobertura de red es a los usuarios dentro de edificios que por lo general son de departamentos u oficinas de importantes empresas. Ellos, generalmente, solicitan a la operadora que les brida el servicio que le proporcione una solución, luego la operadora contrata a empresas como ZTE para realizar algo llamado “solución indoor”, lo cual permite tener la cobertura deseada dentro de edificaciones. En este caso la empresa ZTE ha desarrollado recientemente una tecnología que permite mejorar la cobertura 4G LTE que se llama Qcell.

1.2. Antecedentes

Los avances tecnológicos han evolucionado a paso firme para garantizar una interconexión entre usuarios cada vez mejor. Estas mejoras por lo general siempre han pasado desapercibidas para el usuario, excepto que siempre se puede comunicar más rápido y mejor con personas incluso del otro lado del mundo. En su momento, la tecnología 2G (Segunda Generación), dio un giro importante ya que migró de la telefonía móvil analógica a una completamente digital y a pesar de su poca capacidad de datos, permitía enviar y recibir correos electrónicos. Consigo también llegó el servicio SMS.

En la siguiente generación se aprecia una significativa mejora en la calidad de la voz y velocidad de transmisión de datos, ya luego de ser implementada a gran escala, la red 3G tuvo una sorprendente aceptación debido a su desempeño bastante eficiente al navegar en internet y usar redes sociales que en dicho momento también había nacido recientemente.

La tercera generación de redes móviles permitió sentir a las personas que llevaban sus propias computadoras portátiles en los bolsillos, ya que podían acceder desde su dispositivo móvil al internet, tal o mejor que como se lo hace desde un ordenador. Hay que tener en cuenta que dentro de esta generación, el estándar UMTS es compartida por todos los usuarios que se encuentran simultáneamente conectados a una misma estación base, y a la vez, la calidad de la de la conexión depende de la distancia del usuario a la estación y de las interferencias existentes, por lo que las velocidades de descarga individuales para cada usuario varían y, de hecho, tienden a ser menores que los máximos teóricos.

A diferencia de la red 3G, al llegar 4G LTE (Long Term Evolution) se experimentó un cambio rotundo con respecto a las velocidades de subida y descarga de datos, hasta 1Gbps si el usuario permanece inmóvil y 100 Mbps en movimiento. Lo cual hasta hace poco tiempo atrás era un escenario muy esperado por todos. Para disfrutar de estos beneficios que traía la red de cuarta generación, se debe contar con un dispositivo móvil capaz de soportar esta tecnología. Con esta tecnología, el usuario tiene acceso a Tv móvil de

alta definición, telefonía IP, transmisión de videos en vivo, acceso a información dinámica, entre otras cosas. Así mismo, posee mucha más estabilidad de red, por esto existe una baja probabilidad una caída de internet sea un problema.

Una característica especial de esta tecnología en comparación a las anteriores es que usa conmutación de paquetes y no conmutación de circuitos. A fin de cuentas, la red 4G se basa en los protocolos IP y por eso es más compatible y puede tener una convergencia con redes cableadas o inalámbricas.

1.3. Definición del Problema.

Nula cobertura 4G LTE en el último piso del edificio The Point bajo los servicios de la operadora Movistar y muy baja cobertura 3G. Inconveniente el cual no permite al usuario tener acceso a internet ni disponer del servicio que está pagando.

1.4. Justificación del Problema.

El presente análisis explica la necesidad de soluciones indoor dentro de edificaciones donde la cobertura de red no sea la esperada por el usuario debido a los obstáculos físicos que impide que la señal alcance sus dispositivos móviles. Así mismo se mostrarán los datos obtenidos de la cobertura de la operadora Movistar dentro y fuera de una edificación para exponer la diferencia de velocidades de descarga en ambos escenarios. De esta manera, luego de la implementación se demostrará la mejora considerable para satisfacer las necesidades del usuario que él espera tener.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación

1.5.1. Objetivo General.

Examinar y analizar la solución Qcell LTE para los inconvenientes que se presentan en la cobertura dentro del último piso de una edificación bajo los servicios de la operadora Movistar mediante la revisión y mediciones de las tecnologías 3G y 4G respectivamente.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Conocer y diferenciar las características de las redes móviles 3G y 4G.
- Exponer las diferentes velocidades y ancho de banda que son utilizadas por cada una de las tecnologías.
- Explicar los factores que producen una reducción de cobertura de red dentro de edificaciones.
- Comparar la velocidad de transmisión de datos dentro y fuera de una edificación antes y después de que fuera implementada la solución.
- Indicar las ventajas que ofrece una solución indoor y en que se basa la tecnología Qcell.

1.6. Hipótesis.

La solución indoor Qcell LTE mejora notablemente la cobertura de red 4G dentro de una edificación donde la misma es nula, dando como resultado una velocidad de descarga de datos que alcanza un 0,6% de 5G.

1.7. Metodología de Investigación.

Este estudio tiene un enfoque comparativo y cualitativo con los cuales se analizaron distintos escenarios que nos llevaron finalmente a exponer las ventajas de una solución para mejorar la cobertura de red dentro de una edificación donde la cobertura 4G LTE era nula y la cobertura 3G es bastante baja. Exponiendo así cada detalle necesario para entender y llevé a cabo los objetivos previamente definidos. Los datos a comparar se obtuvieron mediante pruebas en aplicaciones móviles para luego analizar su calidad antes y después de la solución indoor.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Durante el desarrollo de este capítulo se presentará brevemente la mayoría de conceptos y teoría necesaria para el soporte práctico de nuestro trabajo de titulación.

2.1. Telefonía móvil

Se conoce que teléfono móvil o también celular es un dispositivo con el cual nos comunicarnos de una manera instantánea por medio de ondas de radio o radiofrecuencia. La ventaja de este dispositivo es que no necesita de ningún cableado y es portable. Las funcionalidades de los teléfonos móviles dependen de la comunicación que existe entre ellos y las radio base, que están colocadas de manera que forman espacios los cuales constituyen el área de cobertura de red. Estos espacios se denominan células. (Basterretche, 2007)

Una célula es la unidad geográfica básica de un sistema celular, dentro de la cual las unidades de radio móvil de dos vías (full-duplex) se pueden comunicar. El tamaño de la célula depende fundamentalmente de la potencia del transmisor, banda de frecuencia utilizada, altura y posición de la torre de la antena, el tipo de antena, la topografía del área, la sensibilidad del radio receptor y por sus patrones de tráfico. (Lara, 2006)

2.2. Servicios

En la actualidad el servicio de telefonía móvil está basado en tecnología digital ya que hasta hace algunos años aún estaba sobre la analógica. Ésta transportaba la voz en señal continua, no estaba codificada, por el contrario, la digital aprovecha un mismo canal de frecuencias compartiéndolo dividiendo los paquetes aprovechando los recursos eficientemente. La telefonía móvil consiste en ofrecer el acceso vía radio a los usuarios de telefonía, de manera tal que puedan realizar y recibir llamadas dentro del área de cobertura del sistema, utilizando el espectro radioeléctrico para enlazar con las estaciones radio conectadas a las centrales telefónicas. (Huidobro, 2011)

2.3. Espectro radioeléctrico

Existen distintas frecuencias dentro de las radiaciones que forman el espectro radioeléctrico y esto está dentro de lo que se comprende como espectro electromagnético. Es este espectro el que nos sirve para las comunicaciones inalámbricas se conocen hoy en día. El rango establecido va desde los 3kHz a 3000 GHz y sus usos están destinados de cada banda.

En el caso de la telefonía móvil, las frecuencias que utilizan son más altas incluso que las usadas en la televisión. Para la red GSM el rango usado es de 900MHz – 1800 MHz y así mismo para las redes 3G y 4G, que son tecnologías más avanzadas y veloces, se sitúan en la frecuencia de los 2,1GHz.

2.4. Tecnologías de redes inalámbricas

Con la convergencia de las redes de comunicación, las tecnologías desarrolladas originalmente para las comunicaciones de datos encuentran cada vez más aplicaciones en entornos de telecomunicaciones más amplios. En muchos casos, esto significa que las redes orientadas a datos desarrolladas principalmente para entornos empresariales están siendo implementadas por proveedores de servicios de telecomunicaciones e integradas con equipos de clase operadora.

La tecnología es la base de todos los desarrollos en las redes de comunicación. Sin embargo, el despliegue a gran escala de redes no se basa directamente en la tecnología, sino en estándares que incorporan la tecnología, junto con las realidades económicas. Dado que los estándares median entre la tecnología y la aplicación, proporcionan un excelente punto de observación desde el cual pueden comprender las oportunidades tecnológicas actuales y futuras.

En el caso de las telecomunicaciones tradicionales, dicha observación se ve oscurecida por la proliferación de organismos de normalización, muchos organizados sobre una base geográfica o gubernamental. Sin embargo, en el caso de las redes de comunicación de datos, los estándares se han

establecido y aplicado históricamente, a nivel mundial, sin una fuerte influencia geopolítica. Las especificaciones de capa media de dichas redes están establecidas históricamente por el Grupo de trabajo de ingeniería de Internet (IETF). Las especificaciones de nivel bajo (Capa 1 y 2) de red de área local (LAN) y red de área metropolitana (MAN) han sido establecidas por el comité IEEE 802 LAN MAN Standards, que se publica a través de la Asociación de Estándares del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

Mientras que otros organismos desarrollan y publican estándares LAN y MAN, IEEE 802 ha continuado su éxito y sigue siendo el lugar principal en el campo. Como resultado, este documento busca oportunidades futuras en redes de comunicación de datos mediante la observación de los esfuerzos de estandarización relevantes en IEEE 802. Con la convergencia de las redes de comunicación, las tecnologías desarrolladas originalmente para comunicaciones de datos encuentran cada vez más aplicaciones en entornos de telecomunicaciones más amplios. En muchos casos, esto significa que las redes orientadas a datos desarrolladas principalmente para entornos empresariales están siendo implementadas por proveedores de servicios de telecomunicaciones e integradas con equipos de clase operadora.

Conocido por primera vez en 1980, desarrolla y mantiene estándares en la capa física (PHY) y en la subcapa de control de acceso medio (MAC), cada uno de los cuales se ajusta a una subcapa de control de enlace lógico (LLC) común, como se define en IEEE Standard 802. Juntos, estos constituyen las dos capas más bajas del modelo de siete capas de interconexión de sistemas abiertos (OSI) para redes de datos. IEEE 802 lleva a cabo sesiones plenarias de una semana tres veces al año. Además, la mayoría de sus grupos de trabajo constituyentes realizan sesiones intermedias entre cada una de estas sesiones plenarias.

Históricamente, IEEE 802 es mejor conocido por IEEE Standard 802.3, conocido informalmente como Ethernet, que tiene tanto éxito que es virtualmente sinónimo de LAN por cable. Sin embargo, al igual que todos los estándares 802 exitosos, IEEE 802.3 evoluciona continuamente, migrando

desde un cable coaxial compartido a líneas de par trenzado que admiten velocidades de datos de 1 Gbit / s. El año 2002 vio la aprobación de IEEE Standard 802.3ae, que especifica Ethernet de 10 Gbit / s sobre fibra óptica y proporciona para conectar LAN de Ethernet a MAN y redes de área amplia (WAN). El enfoque actual de 802.3 es el proyecto "Ethernet en la Primera Milla", que apunta a admitir el acceso de alta velocidad a empresas y hogares, con conversión de protocolo mínima, sobre cableado de cobre de par trenzado adecuado o redes ópticas pasivas.

La cartera de proyectos activos de IEEE 802 en el ámbito cableado creció a fines del año 2000 con la aprobación del Grupo de trabajo IEEE 802.17 sobre anillos de paquetes flexibles. Mientras que Ethernet ha sido su mayor éxito, IEEE 802 es ahora el hogar de una serie de proyectos de estandarización de redes inalámbricas que aprovechan su sistema de desarrollo altamente exitoso. Antes de continuar con la discusión detallada del programa de estándares inalámbricos IEEE 802, será útil tener una visión general de este proceso.

2.5. Redes GSM

Estas siglas en inglés se representan como Global System Communication, que en español se traduce a Sistema Global de Comunicaciones móviles. Este estándar revolucionó el mercado ya que dio el salto de lo que hasta ese momento había funcionado sobre la tecnología analógica y ahora en cambio a digital. Al principio operaba sobre la banda 900MHz para luego, debido a al incremento de usuarios, pasarse a la banda 1800 MHz. Introdujo la posibilidad de transmitir voz y datos digitales gracias a su rendimiento de hasta 9,6 kbps.

Así mismo trajo consigo los SMS (Servicio de mensajes cortos), que consistían en mensajes compuestos de hasta 160 caracteres alfanuméricos. Este era uno de los tantos servicios que ofrecía GSM a sus usuarios, también restricción y retención de llamadas, multiconferencia, indicación de llamada en espera, identificación del número llamante, consulta a buzón de mensajes de voz, números de marcación fija, entre otros más.

El celular es una de las aplicaciones de telecomunicaciones de mayor crecimiento y demanda. En la actualidad, representa un porcentaje cada vez mayor de todas las suscripciones telefónicas nuevas en todo el mundo. Actualmente hay más de 45 millones de suscriptores celulares en todo el mundo, y casi el 50 por ciento de esos suscriptores se encuentran en los Estados Unidos. Se pronostica que los sistemas celulares que utilizan una tecnología digital se convertirán en el método universal de telecomunicaciones. Para el año 2005, los pronosticadores predicen que habrá más de 100 millones de suscriptores celulares en todo el mundo. Incluso se ha estimado que algunos países pueden tener más teléfonos móviles que teléfonos fijos para el año 2000.

El concepto de servicio celular es el uso de transmisores de baja potencia donde las frecuencias pueden reutilizarse dentro de un área geográfica. La idea del servicio de radio móvil basado en células se formuló en los Estados Unidos en los Bell Labs a principios de los años setenta. Sin embargo, los países nórdicos fueron los primeros en introducir servicios celulares para uso comercial con la introducción del teléfono móvil nórdico (NMT) en 1981.

Los sistemas celulares comenzaron en los Estados Unidos con el lanzamiento del sistema de servicio avanzado de telefonía móvil (AMPS) en 1983. El estándar AMPS fue adoptado por Asia, América Latina y los países de Oceanía, creando el mercado potencial más grande del mundo para celulares. A principios de la década de 1980, la mayoría de los sistemas de telefonía móvil eran analógicos en lugar de digitales, como los sistemas más nuevos de la actualidad. Uno de los desafíos que enfrentan los sistemas analógicos es la incapacidad de manejar las crecientes necesidades de capacidad de una manera rentable.

Como resultado, la tecnología digital fue bienvenida. Las ventajas de los sistemas digitales sobre los sistemas analógicos incluyen la facilidad de señalización, menores niveles de interferencia, integración de transmisión y

conmutación, y una mayor capacidad para satisfacer las demandas de capacidad. El desarrollo mundial de sistemas de telefonía móvil.

A lo largo de la evolución de las telecomunicaciones celulares, se han desarrollado varios sistemas sin el beneficio de las especificaciones estandarizadas. Esto presentó muchos problemas directamente relacionados con la compatibilidad, especialmente con el desarrollo de la tecnología de radio digital. El estándar GSM está destinado a abordar estos problemas. De 1982 a 1985 se llevaron a cabo discusiones para decidir entre la construcción de un sistema analógico o digital. Después de múltiples pruebas de campo, se adoptó un sistema digital para GSM. La siguiente tarea fue decidir entre una solución estrecha o de banda ancha. En mayo de 1987, se eligió la solución de acceso múltiple por división en el tiempo de banda estrecha (TDMA).

2.6. Arquitectura GSM

GSM proporciona recomendaciones, no requisitos. Las especificaciones GSM definen las funciones y los requisitos de la interfaz en detalle, pero no abordan el hardware. La razón de esto es limitar lo más posible a los diseñadores, pero aun así permitir que los operadores compren equipos de diferentes proveedores.

Con respecto a cómo se clasifica la red GSM, se distinguen los tres segmentos más importantes: el bloque de conmutación (SS), el bloque estación base (BSS) y el grupo operación y soporte (OSS).

En la Figura 2.1 se observa cómo está compuesta la arquitectura GSM, la introducción de la SIM Card y así mismo a continuación de datalla cada una de sus partes.

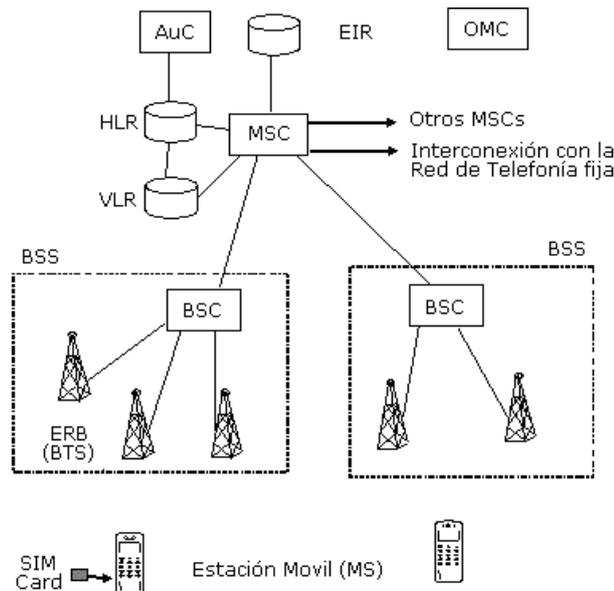


Figura 2.1: Diagrama de arquitectura GSM

Fuente: (TELECO, 2018)

2.7. Estaciones móviles

La estación móvil o mejor conocida como la MS puede ser una pieza de equipo independiente para ciertos servicios o admitir la conexión de terminales externos, como la interfaz para una computadora personal o un fax. La MS incluye un equipo móvil (ME) y un módulo de identidad de abonado (SIM). ME no necesita ser asignado personalmente a un suscriptor. El SIM es un módulo de suscriptor que almacena toda la información relacionada con el suscriptor. Cuando la SIM de un suscriptor se inserta en el ME de una MS, esa MS pertenece al suscriptor, y la llamada se entrega a esa MS. El ME no está asociado con un número llamado; está vinculado a la tarjeta SIM. En este caso, cualquier ME puede ser utilizado por un suscriptor cuando la SIM se inserta en el ME.

2.8. Estaciones base

Subsistema de estación base: El BSS se conecta a la MS a través de una interfaz de radio y también se conecta al NSS. El BSS consiste en una estación transceptora base (BTS) ubicada en el sitio de la antena y un controlador de estación base (BSC) que puede controlar varias BTS. El BTS consiste en equipos de transmisión y recepción de radio similares al ME en una MS.

Una unidad de transcodificación / adaptación de velocidad (TRAU) lleva a cabo codificación y decodificación de voz y adaptación de velocidad para transmitir datos. Como una subparte de la BTS, la TRAU puede ubicarse lejos de la BTS, generalmente en el MSC. En este caso, la baja velocidad de transmisión de los canales de código de voz permite una transmisión más comprimida entre la BTS y la TRAU, que está situada en el MSC. GSM usa la interconexión de sistema abierto (OSI). Hay tres interfaces comunes basadas en OSI: Una interfaz de radio común, llamada interfaz aérea, entre la MS y BTS, una interfaz A entre el MSC y el BSC, y una interfaz A-bis entre el BTS y el BSC. (Rábanos, Tomás, & Salís, 2015)

Con estas interfaces comunes, el operador del sistema puede comprar el producto de la empresa de fabricación A para interactuar con el producto de la empresa de fabricación B. La diferencia entre interfaz y protocolo es que una interfaz representa el punto de contacto entre dos entidades adyacentes (equipos o sistemas) y un protocolo proporciona flujos de información a través de la interfaz. Por ejemplo, la interfaz de radio GSM es el punto de tránsito para el flujo de información perteneciente a varios protocolos.

2.9. Estaciones de control

Una estación de control base controla por lo general varias BTS y se asegura de cumplir dos funciones importantes: conmutación y localización. Así como también mantenimiento y gestión del servicio. Una BSC es el intermediario entre una BTS y una MSC. Controla la comunicación de un usuario que se encuentre desplazándose entre celdas para que la misma no sea interrumpida.

El centro de operaciones y mantenimiento (OMC) está conectado a todos los equipos en el sistema de conmutación y al BSC. La implementación de OMC se llama sistema de operación y soporte (OSS). El OSS es la entidad funcional desde la cual el operador de red monitorea y controla el sistema. El propósito de OSS es ofrecer al cliente una asistencia económica para las actividades operacionales y de mantenimiento centralizado, regional y locales que se requieren para una red GSM. Una función importante de OSS es

proporcionar una descripción general de la red y apoyar las actividades de mantenimiento de diferentes organizaciones de operación y mantenimiento. (Leovaldo, 2017)

2.10. Centro de conmutación

Permiten la conexión entre otras redes públicas y privadas con la red de comunicaciones móviles, así como la conexión entre estaciones móviles localizadas en distintas áreas geográficas de la red móvil. Estos centros se comportan como los centros de conmutación de cualquier otro tipo de red. Asociados a estas centrales se encuentran los registros de suscriptores, locales y visitantes, que son denominados HLR y VLR, respectivamente. (Huidobro M. , 2011)

Coordina la configuración de llamadas desde y hacia los usuarios de GSM. Un MSC controla varios BSC. Gracias a una función de relaciones de trabajo IWF, se establece una puerta de enlace para que MSC interactúe con redes externas para la comunicación con usuarios externos al GSM, como la red pública de datos con conmutación de paquetes (RPDCP) o la red pública de datos con conmutación de circuitos (RPDCP). El rol de la IWF depende del tipo de datos del usuario y de la red con la que interactúa.

La red GSM está compuesta de áreas geográficas. Estas áreas incluyen celdas, áreas de ubicación (LA), áreas de servicio MSC / VLR y áreas de la red móvil terrestre pública (PLMN). La celda es el área de cobertura de radio dada por una estación transceptora base. La red GSM identifica cada celda a través del número de identidad global de la célula (CGI) asignado a cada celda. El área de ubicación es un grupo de celdas. Es el área en la que se busca el suscriptor. Cada LA cuenta con uno o más controladores de estación base, pero solo con un solo MSC. A cada LA se le asigna un número de identidad del área de ubicación (LAI).

2.11. HLR y VLR

Por sus siglas en inglés, Home Location Register y Visitor Location Register. HLR es una base de datos que contiene a todos los usuarios

suscritos a la red y en ella el tipo de cuenta que tiene, las preferencias del usuario información de la SIM. En cambio, VLR es una base de datos que almacena información temporal de usuarios visitantes (que no son abonados locales) o desconocidos por la red, a su vez, para obtener esos datos el VLR consulta con la base de HLR. Una MSC utiliza la información del VLR para conectar usuarios fuera de su área local (roaming).

HLR consiste en una computadora autónoma sin capacidades de conmutación, una base de datos que contiene información del suscriptor e información relacionada con la ubicación actual del suscriptor, pero no la ubicación real del suscriptor. Una subdivisión de HLR es el centro de autenticación (AUC). El AUC maneja los datos de seguridad para la autenticación del suscriptor. Otra subdivisión de HLR es el registro de identidad del equipo (EIR) que almacena los datos de los equipos móviles (ME) o los datos relacionados con ME.

El VLR, enlaza a uno o más MSC, almacenando temporalmente los datos de suscripción actualmente atendidos por su MSC correspondiente, y conteniendo datos más detallados que el HLR. Por ejemplo, el VLR tiene más información de ubicación de abonado actual que la información de ubicación en el HLR. (Huidobro J. M., 2000)

Hay dos tipos básicos de servicios ofrecidos a través de GSM: telefonía (también conocidos como tele servicios) y datos (también conocidos como servicios portadores). Los servicios de telefonía son principalmente servicios de voz que brindan a los suscriptores la capacidad completa (incluido el equipo terminal necesario) para comunicarse con otros suscriptores. Los servicios de datos proporcionan la capacidad necesaria para transmitir señales de datos apropiadas entre dos puntos de acceso que crean una interfaz con la red. Además de telefonía normal y llamadas de emergencia, los siguientes servicios de suscriptor son compatibles con GSM: la multifrecuencia de doble tono (DTMF) es un esquema de señalización de tonos que a menudo se utiliza para diversos fines de control a través de la red telefónica, como el control remoto de un contestador automático.

GSM admite full DTMF de origen, el grupo de facsímil III, GSM es compatible con el facsímil del Grupo 3 del CCITT. Como las máquinas de fax estándar están diseñadas para conectarse a un teléfono con señales analógicas, se utiliza un convertidor de fax especial conectado a la central en el sistema GSM. Esto permite que un fax conectado a GSM se comuniquen con cualquier fax analógico en la red. Servicios de mensajes cortos, una instalación conveniente de la red GSM es el servicio de mensajes cortos. Se puede enviar un mensaje que consta de un máximo de 160 caracteres alfanuméricos hacia o desde una estación móvil. Este servicio se puede ver como una forma avanzada de paginación alfanumérica con una serie de ventajas.

Si la unidad móvil del suscriptor está apagada o ha salido del área de cobertura, el mensaje se almacena y se le ofrece al suscriptor cuando el teléfono móvil está encendido o ha vuelto a entrar en el área de cobertura de la red. Esta función asegura que el mensaje será recibido. Difusión celular, una variación del servicio de mensajes cortos es la función de difusión celular. Se puede transmitir un mensaje de un máximo de 93 caracteres a todos los suscriptores móviles en un área geográfica determinada. Las aplicaciones típicas incluyen advertencias de congestión de tráfico e informes sobre accidentes. Correo de voz: este servicio es en realidad un contestador automático dentro de la red, que está controlado por el suscriptor. Las llamadas se pueden reenviar al buzón de correo de voz del suscriptor y el suscriptor verifica si hay mensajes a través de un código de seguridad personal. Correo de fax: con este servicio, el suscriptor puede recibir mensajes de fax en cualquier máquina de fax. Los mensajes se almacenan en un centro de servicios desde el que el suscriptor los puede recuperar mediante un código de seguridad personal al número de fax deseado. (Huidobro M. , 2011)

GSM es compatible con un conjunto completo de servicios complementarios que pueden complementar y admitir servicios de telefonía y de datos. Los servicios suplementarios están definidos por GSM y se

caracterizan como características generadoras de ingresos. A continuación, se incluye una lista parcial de servicios suplementarios. Desvío de llamadas, este servicio le da al suscriptor la capacidad de desviar las llamadas entrantes a otro número si la unidad móvil llamada no es accesible, si está ocupado, si no hay respuesta, o si el desvío de llamadas está permitido incondicionalmente.

Excepción de llamadas salientes, este servicio hace posible que un suscriptor móvil evite todas las llamadas salientes. Bloqueo de llamadas entrantes: esta función le permite al suscriptor evitar llamadas entrantes. Las siguientes dos condiciones para la restricción de llamadas entrantes existen: la exclusión de todas las llamadas entrantes y la restricción de las llamadas entrantes en itinerancia fuera de la PLMN local. Aviso de carga (AoC): el servicio de AoC proporciona al suscriptor móvil una estimación de los cargos de llamadas. Hay dos tipos de información de AoC: una que proporciona al suscriptor una estimación de la factura y otra que se puede utilizar para fines de cobro inmediato. La AoC para llamadas de datos se proporciona sobre la base de mediciones de tiempo.

Retención de llamada: este servicio permite al suscriptor interrumpir una llamada en curso y luego restablecer la llamada. El servicio de retención de llamadas solo se aplica a la telefonía normal. Llamada en espera: este servicio permite que el suscriptor móvil sea notificado de una llamada entrante durante una conversación. El suscriptor puede responder, rechazar o ignorar la llamada entrante. La llamada en espera es aplicable a todos los servicios de telecomunicaciones GSM que utilizan una conexión de conmutación de circuitos. Servicio multiparte: el servicio multiparte permite a un suscriptor móvil establecer una conversación multipartita, es decir, una conversación simultánea entre tres y seis suscriptores. Este servicio solo es aplicable a la telefonía normal.

Presentación / restricción de identificación de la línea de llamada: estos servicios proporcionan a la parte llamada el número de red digital de servicios integrados (RDSI) de la parte llamante. El servicio de restricción permite a la

parte llamante restringir la presentación. La restricción anula la presentación. Los grupos de usuarios cerrados (CUG) son generalmente comparables a una PBX. Son un grupo de suscriptores que solo son capaces de llamarse a sí mismos y de ciertos números

2.12. Métodos de acceso

Múltiples técnicas de acceso. Se usan técnicas de acceso múltiple para permitir que una gran cantidad de usuarios móviles compartan el espectro asignado de la manera más eficiente. Como el espectro es limitado, se requiere compartir para aumentar la capacidad de la celda o sobre un área geográfica, permitiendo que diferentes usuarios usen el ancho de banda disponible al mismo tiempo. Y esto debe hacerse de tal manera que la calidad del servicio no se degrade dentro de los usuarios existentes.

En los sistemas de comunicación inalámbricos a menudo es deseable permitir que el abonado envíe simultáneamente información a la estación base mientras recibe información de la estación base. Un sistema celular divide cualquier área dada en celdas donde una unidad móvil en cada celda se comunica con una estación base. El objetivo principal en el diseño del sistema celular es poder aumentar la capacidad del canal, es decir, manejar tantas llamadas como sea posible en un ancho de banda dado con un nivel suficiente de calidad de servicio. Hay varias formas diferentes de permitir el acceso al canal. Estos incluyen principalmente los siguientes:

- 1) Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)
- 2) Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)
- 3) Acceso múltiple por división de código (CDMA)

FDMA, TDMA y CDMA son las tres principales técnicas de acceso múltiple que se utilizan para compartir el ancho de banda disponible en un sistema de comunicación inalámbrico. Dependiendo de cómo se asigna el ancho de banda disponible a los usuarios, estas técnicas pueden clasificarse como sistemas de banda estrecha y de banda ancha.

El término banda estrecha se utiliza para relacionar el ancho de banda del canal único con el ancho de banda de coherencia esperado del canal. El espectro disponible se divide en una gran cantidad de canales de banda estrecha. Los canales se operan usando FDD. En banda estrecha FDMA, a un usuario se le asigna un canal particular que no es compartido por otros usuarios en la vecindad y si se usa FDD, entonces el sistema se llama FDMA / FDD. La banda estrecha TDMA permite a los usuarios usar el mismo canal pero asignó un intervalo de tiempo único a cada usuario en el canal, separando así a un pequeño número de usuarios en el tiempo en un solo canal. Para TDMA de banda estrecha, generalmente hay una gran cantidad de canales asignados utilizando FDD o TDD, cada canal se comparte utilizando TDMA. Dichos sistemas se denominan sistemas de acceso TDMA / FDD y TDMA / TDD. (Yanez, 2009)

En sistemas de banda ancha, el ancho de banda de transmisión de un solo canal es mucho mayor que el ancho de banda de coherencia del canal. Por lo tanto, el desvanecimiento por trayectos múltiples no afecta en gran medida a la señal recibida dentro de un canal de banda ancha, y los desvanecimientos selectivos de frecuencia ocurren solo en una pequeña fracción del ancho de banda de la señal.

2.12.1. FDMA

Esta fue la técnica inicial de acceso múltiple para sistemas celulares en la que a cada usuario individual se le asigna un par de frecuencias al hacer o recibir una llamada. Una frecuencia se usa para el enlace descendente y un par para el enlace ascendente. Esto se llama dúplex por división de frecuencia (FDD). Ese par de frecuencias asignado no se usa en la misma celda o celdas adyacentes durante la llamada a fin de reducir la interferencia del canal.

Aunque el usuario no esté hablando, no se puede reasignar el espectro siempre que se realice una llamada. Diferentes usuarios pueden usar la misma frecuencia en la misma celda, excepto que deben transmitir en diferentes momentos. Las características de FDMA son las siguientes: El

canal FDMA solo transporta un circuito telefónico a la vez. Si un canal FDMA no está en uso, permanece inactivo y otros usuarios no pueden usarlo para aumentar la capacidad de compartir.

Después de la asignación del canal de voz, la BS y la MS transmiten de forma simultánea y continua. Los anchos de banda de los sistemas FDMA son generalmente estrechos, es decir, que el FDMA se implementa generalmente en un sistema de banda estrecha. El tiempo del símbolo es grande en comparación con la dispersión de retardo promedio. La complejidad de los sistemas móviles FDMA es menor que la de los sistemas móviles TDMA. FDMA requiere un filtrado ajustado para minimizar la interferencia del canal adyacente.

El primer sistema celular analógico de los EE. UU., AMPS (Advanced Mobile Phone System) se basa en FDMA / FDD. Un solo usuario ocupa un solo canal mientras la llamada está en progreso, y el canal único es en realidad dos canales simplex que están duplicados en frecuencia con una división de 45 MHz. Cuando se completa una llamada o cuando ocurre un traspaso, el canal queda vacante para que otro suscriptor móvil pueda usarlo. Los usuarios múltiples o simultáneos se alojan en AMPS dando a cada usuario una señal única. Las señales de voz se envían en el canal directo desde la estación base a la unidad móvil, y en el canal inverso desde la unidad móvil a la estación base. En AMPS, la modulación de frecuencia analógica de banda estrecha (NBFM) se usa para modular la portadora.

Usando FDMA, el sistema CT2 divide el ancho de banda disponible en canales de radio en el dominio de frecuencia asignado. En la configuración de llamada inicial, el teléfono escanea los canales disponibles y se bloquea en un canal desocupado durante la duración de la llamada. Usando TDD (Duplexión de división de tiempo), la llamada se divide en bloques de tiempo que alternan entre transmitir y recibir.

El problema cercano es detectar o filtrar una señal más débil entre las señales más potentes. El problema casi lejano es particularmente difícil en

sistemas CDMA donde los transmisores comparten frecuencias de transmisión y tiempo de transmisión. Por el contrario, los sistemas FDMA y TDMA son menos vulnerables. Los sistemas FDMA ofrecen diferentes tipos de soluciones para el desafío cercano. Aquí, el peor caso a considerar es la recuperación de una señal débil en una ranura de frecuencia junto a una señal fuerte. Dado que ambas señales están presentes simultáneamente como un compuesto en la entrada de una etapa de ganancia, la ganancia se establece de acuerdo con el nivel de la señal más fuerte; la señal débil podría perderse en el piso de ruido. Incluso si las etapas posteriores tienen un nivel de ruido lo suficientemente bajo como para proporcionar

2.12.2. TDMA

En sistemas digitales, la transmisión continua no es necesaria porque los usuarios no usan el ancho de banda asignado todo el tiempo. En tales casos, TDMA es una técnica de acceso complementario a FDMA. Los sistemas globales para comunicaciones móviles (GSM) utilizan la técnica TDMA. En TDMA, todo el ancho de banda está disponible para el usuario, pero solo por un período de tiempo finito. En la mayoría de los casos, el ancho de banda disponible se divide en menos canales en comparación con FDMA y a los usuarios se les asignan intervalos de tiempo durante los cuales tienen todo el ancho de banda del canal a su disposición.

TDMA requiere una cuidadosa sincronización de tiempo ya que los usuarios comparten el ancho de banda en el dominio de la frecuencia. La cantidad de canales es menor, la interferencia entre canales es casi insignificante. TDMA utiliza diferentes intervalos de tiempo para transmisión y recepción. Este tipo de dúplex se conoce como dúplex por división de tiempo (TDD). Las características de TDMA incluyen lo siguiente: TDMA comparte una sola frecuencia de portadora con varios usuarios donde cada usuario hace uso de ranuras de tiempo no superpuestas. El número de intervalos de tiempo por cuadro depende de varios factores, como la técnica de modulación, el ancho de banda disponible, etc. (Villordo, 2007)

La transmisión de datos en TDMA no es continua, sino que se produce en ráfagas. Esto resulta en un bajo consumo de batería ya que el transmisor del suscriptor se puede APAGAR cuando no se usa. Debido a una transmisión discontinua en TDMA, el proceso de transferencia es mucho más simple para una unidad de abonado, ya que puede escuchar otras estaciones base durante intervalos de tiempo inactivos.

TDMA utiliza diferentes intervalos de tiempo para la transmisión y la recepción, por lo que no se requieren dúplex. TDMA tiene la ventaja de que es posible asignar diferentes números de intervalos de tiempo por trama a diferentes usuarios. Por lo tanto, el ancho de banda se puede suministrar bajo demanda a diferentes usuarios al concatenar o reasignar el intervalo de tiempo en función de la prioridad.

Como se discutió anteriormente, GSM es ampliamente utilizado en Europa y otras partes del mundo. GSM usa una variación de TDMA junto con FDD. GSM digitaliza y comprime datos, luego los envía a un canal con otras dos corrientes de datos de usuario, cada uno en su propio intervalo de tiempo. Opera en la banda de frecuencia de 900 MHz o 1800 MHz. Dado que muchos operadores de redes GSM tienen acuerdos de roaming con operadores extranjeros, los usuarios a menudo pueden continuar usando sus teléfonos móviles cuando viajan a otros países. Es importante considerar el desempeño de TDMA en DECT. DECT es un estándar paneuropeo para la telefonía inalámbrica digital mejorada que utiliza TDMA / TDD. DECT proporciona 10 canales FDM en la banda 1880-1990Mhz. Cada canal admite 12 usuarios a través de TDMA para una carga total del sistema de 120 usuarios.

DECT admite el traspaso, los usuarios pueden desplazarse de una celda a otra siempre que permanezcan dentro del rango del sistema y no tener ningún tipo de caída en el servicio. La antena DECT se puede equipar con diversidad espacial opcional para tratar el desvanecimiento por trayectos múltiples.

2.12.3. CDMA

CDMA acceso múltiple por división de código, es un esquema de modulación y acceso múltiple basado en la tecnología de comunicación de amplio espectro mediante códigos. Es una tecnología bien establecida y aplicada a la radio celular digital y a los sistemas de comunicación inalámbrica a principios de la década de 1990. Las preocupaciones sobre la capacidad de los principales mercados y las necesidades de comunicación inalámbrica eficientes y económicas de las industrias fueron los impulsores más importantes para el desarrollo de la tecnología celular CDMA.

CDMA se refiere a un método de acceso múltiple en el cual los terminales individuales usan técnicas de espectro expandido y ocupan todo el espectro cada vez que transmiten. Esta característica hace que CDMA sea diferente del acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) y del acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). En FDMA cada usuario recibe una pequeña porción del espectro total disponible, y en TDMA se permite a cada usuario el uso completo del espectro disponible, pero solo durante ciertos períodos de tiempo.

CDMA es un método en el cual los usuarios comparten asignaciones de tiempo y frecuencia, y son canalizados por códigos únicos asignados. Las señales de los diferentes usuarios se separan en el receptor mediante el uso de un correlacionador que captura energía de señal solo del usuario o canal deseado. Las señales no deseadas solo contribuyen al ruido y la interferencia. El principio de la técnica CDMA. El desarrollo de la técnica CDMA se remonta a principios de la década de 1950, cuando se iniciaron diferentes estudios sobre las tecnologías de amplio espectro.

La primera era en la historia CDMA consistió en introducir ideas básicas del CDMA por Claude Shannon y Robert Pierce en 1949. En 1950, De-Rosa-Rogoff definió el método de espectro ensanchado de secuencia directa, la ecuación de ganancia de procesamiento y una idea de multiplexación de ruido. Price y Green archivaron la patente del receptor RAKE en 1956. En 1961 Manuski definió el problema de cerca-lejos crucial para los sistemas

CDMA. Durante la década de 1970 se desarrollaron varias aplicaciones militares y de navegación.

La segunda era de CDMA introdujo estudios enfocados en sistemas de banda estrecha. En 1978 Cooper y Nettleton sugirieron una aplicación celular de espectro expandido. Durante la década de 1980, la compañía de comunicaciones Qualcomm investigó las técnicas CDMA de banda estrecha para aplicaciones celulares, y el resultado fue que en 1993 se desarrolló el estándar CDMA IS-95. En comparación con los sistemas CDMA de tercera generación, IS-95 puede considerarse un sistema CDMA de banda estrecha con una velocidad de chip de portadora de 1.2288 Mchip/s. Los sistemas CDMA de banda ancha de tercera generación, como CDMA IS-2000 y WCDMA europeo, usan tasas de chips más altas que CDMA IS-95.

Originalmente, la tecnología de amplio espectro se ha desarrollado para fines militares y de navegación porque tiene algunas características interesantes que proporcionan medios seguros de comunicación en entornos hostiles. En primer lugar, las señales de espectro expandido tienen propiedades LPI (baja probabilidad de interceptación) y no pueden ser detectadas fácilmente por el equipo de comunicación del enemigo debido a la densidad espectral de baja potencia, incluso más baja que el ruido de fondo.

En segundo lugar, las señales de espectro expandido tienen propiedades AJ (Anti-Jamming) eficientes para combatir la interferencia intencional que intenta sabotear los sistemas de comunicación. Hoy en día, la tecnología de amplio espectro también ha demostrado ser factible para aplicaciones comerciales, especialmente para sistemas de comunicación móvil. Proporciona un método de acceso múltiple eficiente para una cantidad de usuarios independientes que comparten un canal de comunicación común sin métodos de sincronización externos. CDMA es probablemente el método de acceso múltiple más interesante provisto por la tecnología de espectro expandido.

La idea fundamental de la comunicación de amplio espectro es difundir un cierto ancho de banda de información, B_i , en un ancho de banda de transmisión más amplio, B_t . El mínimo del ancho de banda de transmisión tiene que ser más ancho que el ancho de banda de información. Como se mencionó, CDMA es un método de acceso múltiple de amplio espectro. El espectro expandido es un método de transmisión en el que la señal ocupa un ancho de banda superior al mínimo necesario para enviar la información. La difusión de la señal se lleva a cabo por medio de un código pseudoaleatorio que es independiente de la señal de datos transmitida. Una recepción sincronizada con el mismo código pseudoaleatorio en el receptor se usa para la eliminación de difusión y la posterior recuperación de datos en la capacidad de acceso múltiple de un sistema de comunicación CDMA.

Dos usuarios están enviando simultáneamente señales de información de banda estrecha que tienen el mismo ancho de banda B_i . Ambas señales de banda estrecha se propagan con un código único y específico del usuario que tiene una correlación cruzada suficientemente baja con el código de otro usuario. El código hace que las comunicaciones de cada usuario sean aproximadamente ortogonales a las de otros usuarios. Después de la difusión, las dos señales se transmiten a un canal de radio que tiene el mismo ancho de banda, B_t . En el canal de radio, las dos señales están mezcladas y expuestas a degradaciones. La difusión de la señal desensibiliza la señal original de la banda de flechas a una posible degradación del canal y a la interferencia. Las señales no se pueden distinguir entre sí y del ruido de fondo debido a sus bajos poderes logrados por la dispersión. La energía transmitida sigue siendo la misma, pero debido a un ancho de banda mucho más grande, el espectro de la señal a menudo está por debajo del piso de ruido de los receptores.

En el receptor, la señal de información de banda estrecha deseada puede extraerse o separarse mediante una réplica del código de dispersión usado en el transmisor para un usuario particular. Las señales para otros usuarios no se difunden; ellos se extienden más.

La transmisión de señal consta de los siguientes pasos. Se genera un código pseudoaleatorio, diferente para cada canal y cada conexión sucesiva. Los datos de información se propagan por código pseudoaleatorio. La señal resultante modula una portadora. La portadora modulada se amplifica y transmite. La recepción de la señal consta de los siguientes pasos. El portador es recibido y amplificado. La señal recibida se mezcla con un operador local para recuperar la señal digital difundida. Se genera un código pseudoaleatorio, que coincide con la señal anticipada. El receptor adquiere el código recibido y la fase le bloquea su propio código. La señal recibida se correlaciona con el código generado, extrayendo los datos de información.

En el transmisor, los datos binarios se multiplican directamente (función XOR) con la secuencia de pseudo-ruido, que es independiente de los datos binarios, para producir la señal de banda base transmitida que tiene un ancho de banda mucho más ancho que la señal original. En el receptor, la señal de banda base se multiplica con la misma secuencia de pseudo-ruido. Si el código pseudoaleatorio no es el mismo o no está en sincronización con los datos, no hay desesparcimiento. Las técnicas de espectro expandido se pueden usar con muchos formatos de modulación, pero la mayoría de las aplicaciones prácticas están limitadas a BPSK (Binary Phase Shift Keying) y QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Un ejemplo de la generación de una señal de amplio espectro modulada BPSK. La idea básica es que la señal después de la operación de expansión, es decir, la multiplicación es 1 si las dos señales son iguales, 1 o 0. De lo contrario, la salida es 0. La señal BPSK tiene un desplazamiento de fase de 180 grados cuando la salida de la multiplicación cambia. (Caiza, 2005)

Una ventaja de la modulación DS es la reducida sensibilidad del receptor a la interferencia. Esta ventaja se debe al hecho de que el circuito de despilamiento actúa como un circuito de expansión para cualquier señal con la que no coincida. El sistema DS-CDMA usa dos categorías generales de secuencias de expansión: secuencias PN y códigos ortogonales. La secuencia PN es producida por el generador de ruido pseudoaleatorio que es simplemente un registro de desplazamiento de retroalimentación lineal

binario, que consta de puertas XOR y un registro de desplazamiento. Este generador de PN tiene la capacidad de crear una secuencia idéntica tanto para el transmisor como para el receptor, y al mismo tiempo retener las propiedades deseables de una secuencia de bits de aleatoriedad similar a un ruido. Una secuencia PN tiene muchas características, como tener un número casi igual de ceros y unos, una correlación muy baja entre las versiones desplazadas de la secuencia y una correlación cruzada muy baja con cualquier otra señal, como la interferencia y el ruido. Sin embargo, es capaz de correlacionarse muy bien consigo mismo y con su inversa.

Otro aspecto importante es la autocorrelación de la secuencia, ya que decide la capacidad de sincronizar y bloquear el código de expansión a la señal recibida. Esto combate eficazmente los efectos de la interferencia multitrayecto y mejora la SNR. Las secuencias M, los códigos Dorados y las secuencias Kasami son ejemplos de esta clase de secuencias. Los códigos Walsh son los códigos ortogonales más comunes utilizados en las aplicaciones CDMA. Estos códigos corresponden a las filas de una matriz cuadrada especial conocida como matriz Hadamard. Para un conjunto de códigos Walsh de longitud n , consta de n filas para formar una matriz cuadrada de código $n \times n$ Walsh. El sistema IS-95 usa una matriz de funciones Walsh de 64 por 64. Las secuencias de Walsh-Hadamard se pueden usar como códigos de expansión cuando los usuarios son sincronizados en el tiempo. La motivación para Walsh-Hadamard proviene de señalar que se puede construir 2^n secuencias ortogonales de longitud 2^n a partir de secuencias de longitud 2^{n-1} . Los códigos Walsh-Hadamard tendrán mala autocorrelación y correlación cruzada en desplazamientos temporales distintos de cero.

Hay algunos problemas con los códigos de Walsh. Se requiere la sincronización de todos los usuarios. En un canal multitrayecto, pueden recibirse copias retardadas que ya no son ortogonales. Las ventajas con respecto a TDMA y FDMA son que normalmente no se requieren bandas de guarda o tiempos de guarda y típicamente no se requiere un ecualizador cuando se usa un receptor RAKE. Los códigos OVVSF (factor de dispersión variable ortogonal) se utilizan en aplicaciones que combinan mensajes con

diferentes velocidades de datos de manera ortogonal. Los códigos OVVSF se definen usando un árbol de códigos.

CDMA es un acceso múltiple para comunicaciones inalámbricas basado en espectro de extensión directa. Todos los usuarios pueden transmitir al mismo tiempo, y a cada uno se le asigna todo el espectro de frecuencia disponible para la transmisión. CDMA no requiere la asignación de ancho de banda de FDMA, ni la sincronización de tiempo de los usuarios individuales necesarios en TDMA. Un usuario de DMA tiene tiempo completo y ancho de banda completo disponible, pero la calidad de la comunicación disminuye con un número creciente de usuarios.

En un sistema basado en CDMA, la capacidad se puede definir como rendimiento de bits o como la cantidad de usuarios simultáneos en la red que reciben servicios de voz y datos con ciertos objetivos de calidad predefinidos. Las señales interferentes causadas por los usuarios aumentan entre sí, a medida que la cantidad de usuarios aumenta en la red. Se mantiene un equilibrio entre mantener la integridad de la conexión y restringir el nivel de interferencia controlando la potencia de cada usuario para que las señales lleguen a su receptor previsto con un nivel S / N mínimo requerido. La interferencia, la cobertura y la capacidad están estrechamente unidas en un sistema CDMA.

La capacidad puede restringirse por restricciones de potencia de transmisión o por la interferencia autogenerada. En el enlace ascendente, el sistema alcanza su capacidad cuando una estación móvil no tiene suficiente potencia para superar la interferencia de la red, o se alcanza un objetivo de carga predefinido de la red. En el enlace descendente, la capacidad se alcanza cuando no hay energía adicional disponible para agregar nuevos usuarios, es decir, se cumplen las restricciones de potencia de transmisión de la estación base, o no hay códigos de enlace descendente disponibles para las estaciones móviles. La potencia necesaria para cualquiera de los enlaces está fundamentalmente relacionada con los requisitos E_b / N_0 para diferentes servicios.

La capacidad de los diferentes servicios puede cambiar dinámicamente debido a que los requisitos E_b / N_0 varían de acuerdo con las condiciones de cambio tales como la velocidad de las estaciones móviles, los servicios, el canal de radio y el entorno. Muchos factores, como la carga, la distribución espacial de los usuarios, la sectorización, la actividad del servicio y la precisión del control de potencia, afectan la capacidad real de la red.

Las comunicaciones inalámbricas celulares han evolucionado desde las técnicas analógicas de primera generación hasta las técnicas digitales de segunda y tercera generación más flexibles que se emplean actualmente. Los desarrollos futuros están destinados a mejorar aún más estas técnicas digitales para integrar voz, mensajes y datos de alta velocidad. Para CDMA siguientes estándares celulares se presentan brevemente. Todos los estándares usan los procedimientos básicos de CDMA, como el canal piloto, el receptor RAKE, el control de potencia y el traspaso continuo presentados anteriormente. DS-SS es probablemente el método de acceso múltiple más interesante provisto por la tecnología de espectro expandido. En DS-SS, los datos se codifican mediante un código de pseudo-ruido específico del usuario en el transmisor. El efecto de la interferencia se puede reducir mediante la ganancia de procesamiento. A través del receptor RAKE, se pueden usar múltiples trayectorias para mejorar el rendimiento del receptor al capturar la energía en trayectos con diferentes retardos de transmisión.

En los canales de desvanecimiento, mediante el uso del receptor RAKE, un receptor SS puede obtener una ventaja importante en la diversidad. Al considerar el sistema CDMA celular, algunos aspectos son realmente importantes. El control de potencia y el traspaso continuo deben funcionar o no hay un CDMA celular como se sabe. La interferencia, la cobertura y la capacidad están estrechamente unidas en los sistemas CDMA. Hoy en día sistemas como CDMA2000 y sus versiones de evolución, y WCDMA europeo se están volviendo cada vez más populares a medida que las redes se abren comercialmente en todo el mundo. La tercera era de CDMA ahora está comenzando.

2.13. Tecnología de comunicación inalámbrica 3G UMTS

En EDGE, el movimiento de datos de gran volumen fue posible, pero la transferencia de paquetes en la interfaz aérea se comporta como una llamada de interruptor de circuito. Por lo tanto, parte de la eficiencia de conexión de este paquete se pierde en el entorno del interruptor de circuito. Además, los estándares para desarrollar las redes eran diferentes para diferentes partes del mundo. Por lo tanto, se decidió tener una red que proporciona servicios independientes de la plataforma tecnológica y cuyos estándares de diseño de red son los mismos a nivel mundial. Por lo tanto, nació 3G.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) definió las demandas de redes móviles 3G con el estándar IMT-2000. Una organización llamada 3rd Generation Partnership Project (3GPP) ha continuado ese trabajo definiendo un sistema móvil que cumpla con el estándar IMT-2000. En Europa se llamaba UMTS (Sistema Móvil Terrestre Universal), que es impulsado por ETSI. IMT2000 es el nombre ITU-T para el sistema de tercera generación, mientras que cdma2000 es el nombre de la variante estadounidense 3G. WCDMA es la tecnología de interfaz aérea para UMTS.

Los componentes principales incluyen BS (estación base) o cabezal B, RNC (controlador de red de radio), además de WMSC (centro de conmutación móvil CDMA de banda ancha) y SGSN / GGSN. Las redes 3G les permiten a los operadores de red ofrecer a los usuarios una gama más amplia de servicios más avanzados, al tiempo que logran una mayor capacidad de red a través de una mejor eficiencia espectral. Los servicios incluyen telefonía de voz inalámbrica de área amplia, video llamadas y datos inalámbricos de banda ancha, todo en un entorno móvil. Las características adicionales también incluyen capacidades de transmisión de datos HSPA (High Speed Packet Access) capaces de entregar velocidades de hasta 14.4 Mbps en el enlace descendente y 5.8 Mbps en el enlace ascendente.

En la Figura 2.2 se visualiza gráficamente el diagrama de la arquitectura UMTS donde se ven los equipos desde el terminal móvil hasta el core de la red.

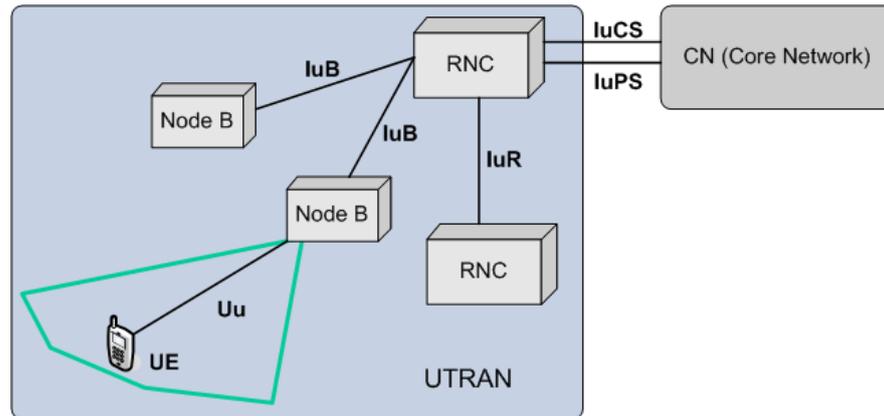


Figura 2.2: Diagrama de arquitectura UMTS

Fuente: (ELEVEN PATHS, 2014)

La primera red comercial 3G fue lanzada por NTT DoCoMo en la marca japonesa FOMA, basada en tecnología W-CDMA el 1 de octubre de 2001. La segunda red comercial fue SK Telecom en Corea del Sur en la 1xEV-DO (Evolution-Data Optimizado) en enero de 2002 seguido de otra red surcoreana 3G por KTF en EV-DO en mayo de 2002. En Europa, los servicios 3G comerciales del mercado masivo se introdujeron a partir de marzo de 2003 por 3 (Parte de Hutchison Whampoa) en el Reino Unido e Italia. Esto se basó en la tecnología W-CDMA. La primera red 3G comercial de Estados Unidos fue creada por Monet Mobile Networks, con tecnología CDMA2000 1x EV-DO y el segundo operador de red 3G en EE. UU. Fue Verizon Wireless en octubre de 2003, también en CDMA2000 1x EV-DO. La primera red comercial 3G en el hemisferio sur fue lanzada por Hutchison Telecommunications, con la marca Three, utilizando UMTS en abril de 2003. El primer lanzamiento comercial de 3G en África fue realizado por EMTEL en Mauricio con el estándar W-CDMA. En África del Norte (Marruecos), la nueva empresa Wana brindó un servicio 3G a fines de marzo de 2006. El despliegue de redes 3G se retrasó en algunos países por los enormes costos de las tarifas adicionales de licencias de espectro. En muchos países, las redes 3G no utilizan las mismas frecuencias de radio que 2G, por lo que los operadores móviles deben construir redes completamente nuevas y licenciar frecuencias enteramente nuevas; una excepción son los Estados Unidos, donde los operadores operan el servicio 3G en las mismas frecuencias que otros servicios. Las tarifas de

licencia en algunos países europeos fueron particularmente altas, reforzadas por las subastas del gobierno de un número limitado de licencias y subastas de ofertas selladas, y la emoción inicial sobre el potencial de 3G. Otros retrasos se debieron a los gastos de actualización de equipos para los nuevos sistemas. Todavía varios países importantes, como Indonesia, no han otorgado licencias 3G y los clientes esperan servicios 3G. China retrasó sus decisiones sobre 3G durante muchos años. En enero de 2009, China lanzó 3G pero, curiosamente, tres grandes compañías de China obtuvieron licencia para operar la red 3G en diferentes estándares, China Mobile para TD-SCDMA, China Unicom para WCDMA y China Telecom para CDMA2000. (Global Telecoms Insight, 2010)

2.14. Tecnología de comunicación inalámbrica 4G LTE

La aparición de nuevas tecnologías en los sistemas de comunicación móvil y también el crecimiento cada vez mayor de la demanda de los usuarios han llevado a los investigadores y las industrias a presentar una manifestación integral del sistema de comunicación móvil de cuarta generación (4G). En contraste con 3G, el nuevo marco 4G que se estableció a tratar de lograr nuevos niveles de experiencia del usuario y la capacidad de servicios múltiples por También la integración de todas las tecnologías móviles que existen (por ejemplo, GSM - Global System for Mobile Communications, GPRS - General Packet Radio servicio, las IMT-2000 - Mobile Communications International, Wi-Fi - Wireless Fidelity, Bluetooth) .La razón fundamental para la transición a la All-IP es tener una plataforma común para todas las tecnologías que se han desarrollado hasta el momento, y para armonizar con las expectativas del usuario de los muchos servicios que se proporcionarán. (Inga, 2011)

La diferencia fundamental entre GSM / 3G y All-IP es que la funcionalidad de RNC y BSC ahora se distribuye a BTS y a un conjunto de servidores y puertas de enlace. Esto significa que esta red será menos costosa y la transferencia de datos será mucho más rápida. 4G se asegurará de que "el usuario tenga libertad y flexibilidad para seleccionar cualquier servicio deseado con una QoS razonable y un precio asequible, en cualquier momento y en cualquier lugar". Los servicios de comunicación móvil 4G

comenzaron en 2010 pero se convertirán en mercado de masas en 2014-15. Las normas IMT-Advanced 4G marcarán el comienzo de una nueva era de comunicaciones de banda ancha móvil, según el ITU-R. IMT-Advanced proporciona una plataforma global sobre la cual construir próximas generaciones de servicios móviles interactivos que proporcionarán un acceso de datos más rápido, capacidades de roaming mejoradas, mensajería unificada y multimedia de banda ancha. Según la UIT, "las TIC y las redes de banda ancha se han convertido en una infraestructura nacional vital, similar a las redes de transporte, energía y agua, pero con un impacto que promete ser aún más poderoso y de mayor alcance. Estas mejoras clave en la banda ancha inalámbrica pueden impulsar el desarrollo social y económico y acelerar el progreso hacia el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas o los ODM". Los acuerdos actuales sobre los requisitos para IMT-Advanced son:

- Velocidad de datos máxima de 1 Gbps para enlace descendente (DL) y 500 Mbps para el enlace ascendente (UL).
- En cuanto a la latencia, en el plano de control, el tiempo de transición de Idle a Connected debe ser inferior a 100 ms. En el estado activo, un usuario inactivo debe tomar menos de 10 ms para sincronizarse y el planificador debe reducir al máximo la latencia del plano de usuario.
- Eficiencia espectral máxima del enlace descendente hasta 15 bps / Hz y eficiencia espectral máxima del enlace ascendente de 6,75 bps / Hz con una configuración de antena de 4 x 4 o menos en DL y 2 x 4 o menos en UL.
- La eficiencia espectral promedio del usuario en DL (con una distancia entre sitios de 500 usuarios peatonales) debe ser de 2.2 bps / Hz / celda con MIMO 4 x 2, mientras que en UL la eficiencia espectral promedio objetivo es de 1.4 bps / Hz / celda con MIMO 2 x 4.
- En el mismo escenario con 10 usuarios, la eficiencia espectral del usuario de borde de celda será 0.06 en DL 4 x 2. En UL, esta eficiencia espectral del usuario de borde de celda debe ser 0.03 con MIMO 2 x 4.
- Movilidad de hasta 350 km / h en IMT-Advanced.

- El sistema IMT-Advanced admitirá el ancho de banda escalable y la agregación de espectro con anchos de banda de transmisión superiores a 40MHz en DL y UL.
- Compatibilidad con versiones anteriores e interacción con sistemas heredados.

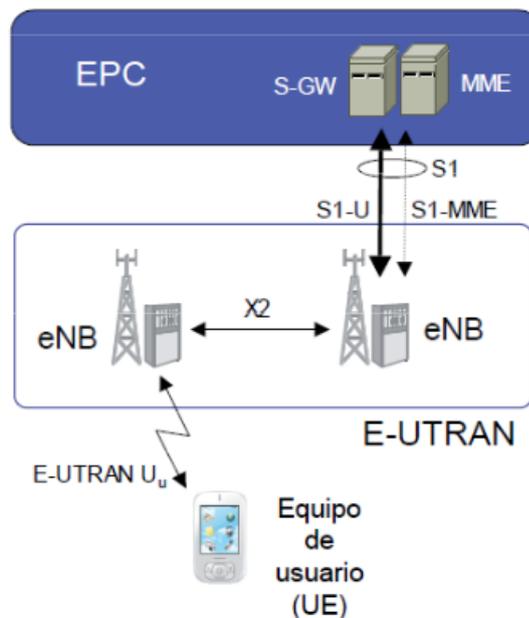


Figura 2.3: Diagrama de bloques de tecnología inalámbrica.

Fuente: (Sanchez, 2016)

Después de completar sus especificaciones de Release-8, Third Generation Partnership Project (3GPP) ya ha planificado un elemento de trabajo llamado LTE-Advanced para cumplir con los requisitos IMT-Advanced para 4G. Además, WiMAX Forum e IEEE también están evolucionando WiMAX a través de IEEE 802.16m o WiMAX-m para satisfacer los requisitos de 4G.

2.15. Fibra óptica

A medida que se acerca a la marca de medio siglo para el comienzo de la era de las comunicaciones ópticas, es apropiado hacer un balance del viaje de descubrimiento y aplicación de esta tecnología empoderadora. Al igual que con la mayoría de las nuevas tecnologías, los desafíos de ingeniería asociados con su asimilación en la infraestructura existente han sido tan

significativos como los avances científicos dentro de la invención del láser en sí mismo. El UIT-T ha estado activo en la normalización de la tecnología de comunicaciones ópticas y las técnicas para su aplicación óptima en redes desde la infancia de esta industria.

Sin embargo, no siempre es fácil averiguar qué se ha cubierto y dónde se puede encontrar. Este manual intenta agregar toda la información disponible sobre el trabajo del UIT-T. El manual está destinado a ser una guía para los técnicos, la gerencia de nivel medio y los reguladores, para ayudar en la instalación práctica de sistemas basados en fibra óptica. A lo largo de las discusiones sobre los problemas prácticos asociados con la aplicación de esta tecnología, las explicaciones se centran en cómo las Recomendaciones UIT-T las abordan. Proporciona los conocimientos organizados de quienes crearon y vivieron la evolución de la tecnología durante varias décadas.

El primer Manual del UIT-T relacionado con las fibras ópticas, fibras ópticas para telecomunicaciones, se publicó en 1984, y se han producido varios más a lo largo de los años. Es un honor presentarles la última versión, que es otro ejemplo de cómo el UIT-T está salvando la brecha de estandarización entre las naciones desarrolladas y en desarrollo. Confío en que este manual sea una guía útil para aquellos que buscan aprovechar los cables y sistemas ópticos, y agradezco los comentarios de los lectores para futuras ediciones.

La invención del láser y su demostración data de 1960. Se sugirió en 1966 que las fibras ópticas podrían ser la mejor opción para usar luz láser para comunicaciones ópticas, ya que son capaces de guiar la luz de una manera similar a la guía de electrones en alambres de cobre. El principal problema eran las altas pérdidas de fibras ópticas: las fibras disponibles durante la década de 1960 tenían pérdidas superiores a 1000 dB/km. Se produjo un gran avance en 1970 cuando las pérdidas pudieron reducirse a menos de 20 dB/km en la región de longitud de onda cercana a 1000 nm. Aproximadamente al mismo tiempo, se demostraron los láseres semiconductores GaAs, que funcionan continuamente a temperatura

ambiente. La disponibilidad simultánea de fuentes compactas y de fibras ópticas de baja pérdida llevó a un esfuerzo mundial para desarrollar sistemas de comunicación de fibra óptica.

La fase de investigación real de los sistemas de comunicación de fibra óptica comenzó alrededor de 1975. El enorme progreso realizado durante el período de 30 años que se extiende desde 1975 se puede agrupar en varias fases distintas. Durante este período de tiempo, el producto BL [B es la tasa de bits y L el espaciado de repetidor, donde los repetidores realizan la conversión de óptica a eléctrica a óptica] se duplica cada año. En cada fase, BL aumentó inicialmente, pero comenzó a saturarse a medida que la tecnología maduraba. Cada nueva fase trajo un cambio fundamental.

Durante el decenio de 1970 quedó claro que el espaciado del repetidor podría aumentar considerablemente operando los sistemas de onda de luz en la región de longitud de onda cerca de 1300 nm, donde la pérdida de fibra es inferior a 1 dB/km. Además, las fibras ópticas exhiben una dispersión mínima en esta región de longitud de onda. Esta realización llevó a un esfuerzo mundial para el desarrollo de láseres y detectores de semiconductores InGaAsP que operan cerca de 1300 nm.

La segunda fase de los sistemas de comunicación de fibra óptica, basados en láseres y detectores de semiconductores InGaAsP que operan cerca de 1300 nm, estuvo disponible a principios de los años 80, pero la velocidad de bits de los primeros sistemas se limitó a menos de 100 Mbps debido a la dispersión en fibras multimodo. Esta limitación fue superada por el uso de fibras mono modo. Un experimento de laboratorio en 1981 demostró la transmisión de 2 Gbps en 44 km de fibra mono modo. La introducción de sistemas comerciales siguió. En 1988, los sistemas de onda de luz de segunda generación, que operaban a velocidades de bit de hasta 1.7 Gbps con un espaciado de repetidor de aproximadamente 50 km, estaban disponibles comercialmente.

Esta segunda fase de los sistemas lightwave también se especificó en algunas Recomendaciones. En particular, la Recomendación UIT-T G.652 especifica las características de una fibra óptica monomodo que funciona a 1300 nm. La Recomendación UIT-T G. 957 especifica las características de los sistemas ópticos que funcionan a 1300 nm y son adecuados para transmitir las velocidades binarias de la jerarquía digital síncrona (SDH) hasta STM-16. Además, el texto de la Recomendación UIT-T G.956 (ahora Recomendación UIT-T G.955) se amplió para incluir también sistemas PDH que funcionan a 1300 nm.

La separación de los repetidores de los sistemas lightwave de la segunda fase estaba limitada por las pérdidas de fibra en la longitud de onda operativa de 1300 nm (típicamente 0,5 dB/km). Las pérdidas de fibras de sílice se vuelven mínimas cerca de 1550 nm. De hecho, una pérdida de 0.2 dB/km se realizó en 1979 en esta región espectral.



Figura 2.4: Fibra óptica LC LC Multimodo

Fuente: (NEXUS Technology, 2018)

Sin embargo, la introducción de sistemas de onda de luz de tercera fase que funcionan a 1550 nm sobre fibra monomodo se retrasó considerablemente por la gran dispersión de fibra cerca de 1550 nm. Los láseres de semiconductores InGaAsP convencionales no pudieron utilizarse debido a la dispersión de impulsos que se produce como resultado de la oscilación simultánea de varios modos longitudinales. El problema de la

dispersión puede superarse mediante el uso de fibras desplazadas en dispersión diseñadas para tener una dispersión mínima cerca de 1550 nm o limitando el espectro del láser a un único modo longitudinal. Ambos enfoques fueron seguidos durante la década de 1980. En 1985, los experimentos de laboratorio indicaron la posibilidad de transmitir información a velocidades de bits de hasta 4 Gbps en distancias superiores a 100 km. Los sistemas de ondas luminosas de tercera generación que funcionan a 2,5 Gbps se comercializaron en 1992. Dichos sistemas podían funcionar a una tasa de bits de hasta 10 Gbps. El mejor rendimiento se logra utilizando fibras desplazadas en dispersión en combinación con láseres que oscilan en un solo modo longitudinal.

Además, esta fase de los sistemas lightwave se especificó en algunas Recomendaciones. La Recomendación UIT-T G.653 especifica las características de una fibra óptica monomodo con desplazamiento de dispersión. Las Recomendaciones UIT-T G.652, UIT-T G.955 (ex-G.956) y UIT-T G.957 se revisaron / ampliaron para incluir los sistemas ópticos que funcionan a 1550 nm. La Recomendación UIT-T G.974 especifica las características de los sistemas ópticos que se utilizarán para las aplicaciones submarinas. Un inconveniente de los sistemas de tercera fase de 1 550 nm es que la señal debe regenerarse periódicamente utilizando repetidores electrónicos espaciados típicamente por 70-80 km. Esta situación cambió con la llegada de los amplificadores de fibra en 1989.

La cuarta fase de los sistemas de ondas de luz hace uso de la amplificación óptica para aumentar el espaciamiento del repetidor y de la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para aumentar la velocidad de bits agregada. El advenimiento de la técnica WDM comenzó una revolución que resultó en el doble de la capacidad del sistema cada 6 meses. En la mayoría de los sistemas WDM, las pérdidas de fibra se compensan periódicamente mediante el uso de amplificadores de fibra dopados con erbio separados por 70-80 km. Dichos amplificadores, que funcionan en banda C (1530 - 1565 nm), se desarrollaron después de 1985 y comenzaron a comercializarse en 1990. Un experimento de 1991 mostró la posibilidad de

transmisión de datos de más de 21 000 km a 2,5 Gbps y más de 14 300 km a 5 Gbps, usando una configuración de circuito de recirculación. Este rendimiento indicó que un sistema de transmisión submarino, todo óptico y basado en amplificadores era factible para la comunicación intercontinental. En 1996, no solo se había demostrado la transmisión a más de 11600 km a una tasa de bits de 5 Gbps utilizando cables submarinos reales, sino que también se disponía de sistemas de cable transatlánticos y transpacíficos comerciales. Desde entonces, se han desplegado una gran cantidad de sistemas submarinos de ondas luminosas en todo el mundo.

Con el fin de especificar las características de las fibras ópticas y los sistemas que funcionan con amplificadores ópticos y la técnica WDM, se elaboraron muchas Recomendaciones nuevas en el UIT-T. La Recomendación UIT-T G.655 especifica una fibra óptica monomodo con desplazamiento de dispersión distinto de cero. Las Recomendaciones UIT-T G.694.1 y UIT-T G.694.2 especifican las redes espectrales para las aplicaciones DWDM y CWDM. Algunas Recomendaciones especifican las características de los sistemas ópticos dedicados a aplicaciones particulares de DWDM: Recomendaciones UIT-T G.959.1 (aplicaciones interdominio sin línea OA), G.698.1 (aplicaciones de acceso metropolitano sin línea OA), UIT-T G.698.2 (aplicaciones metropolitanas / regionales con línea OA), UIT-T G.696.1 (aplicaciones troncales con línea OA), UIT-T G.973 (aplicaciones submarinas sin línea OA) y UIT-T G.977 (aplicaciones submarinas con línea OA). La Recomendación UIT-T G.695 especifica sistemas CWDM para aplicaciones de acceso / acceso de metro.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DESARROLLO DE SOLUCIÓN QCELL

3.1. Desarrollo de solución con dispositivo QCELL

Este trabajo se enfoca en el estudio técnico de una solución de cobertura de telefonía móvil 4G LTE en interiores ubicado en los últimos pisos del edificio The Point de la ciudad de Guayaquil. Con esta solución se proveerá una cobertura LTE en un área de difícil acceso y con una estructuración enfocada obligadamente a interiores.

3.2. Análisis de cobertura previa existente en la zona

Para la respectiva confirmación y análisis de los parámetros en los que se encontró la zona con respecto a la cobertura de telefonía móvil se contó con una aplicación Open Source que realiza la captura y muestra en tiempo real, las características de la red telefónica en la que se encuentra el teléfono conectado. Esta aplicación cuenta con el nombre de G-NetTrack Lite.

G-NetTrack es una herramienta de prueba de unidad y monitor de red inalámbrica para dispositivos con sistema operativo Android. Permite monitorear y registrar los parámetros de la red móvil sin usar equipos especializados. Es una herramienta y es un juguete. Puede ser utilizado por profesionales para obtener una mejor visión en la red o por entusiastas de la radio para obtener más información acerca de las redes inalámbricas. Se puede usar incluso si solo quiere hacer una representación fácil de su ruta recorrida.

Al usar la aplicación, puedes identificar fácilmente problemas de red como:

- Mala cobertura.
- Bajo RXLEVEL.
- Bajo rendimiento de datos de enlace ascendente y descendente.
- Falta de servidor dominante que causa muchas reselecciones de células e interrupciones de servicio frecuentes.
- Cuando el tiempo de la celda de servicio es pequeño.

- Cobertura 3G débil.
- Cuando tienes muchas reelecciones entre celdas en 3G y 2G.
- Bloqueo de llamadas.
- Llamadas perdidas.

La pestaña CELL muestra información de red y geográfica. También muestra el registro de historial de las celdas de servicio. La información que se muestra es:

- Operador, el nombre de su proveedor de servicios inalámbricos.
- MCC Código de país móvil, es un código de 3 dígitos específico para cada país.
- MNC Código de red móvil, es un código de 2 o 3 dígitos y es específico para cada operador en el país.
- LAC, código de área de ubicación.
- La red está dividida por áreas de ubicación, en las cuales el suscriptor se busca en todas las celdas simultáneamente. LAC es el código del área actual.
- RNC Radio Network Controller, cuando en 3G muestra la ID del RNC que controla la celda de servicio actual.
- CELLID, la identificación de la celda de servicio actual.
- Tipo, el modo de tecnología de red (como GPRS, EDGE en 2G o UMTS, HSPA, etc. en 3G).
- LEVEL, la intensidad de la señal actual en dBm. Para diferentes tecnologías, el título es diferente.
- RXLEV, para 2G, RSCP para 3G y RSRP para 4G.
- QUAL, la calidad de la señal de la red. Para diferentes tecnologías, el título es diferente.
- RXQUAL, para 2G, ECNO para 3G y RSRQ para 4G. Este valor no es informado por la mayoría de los teléfonos. Solo varios teléfonos informan ECNO y tal vez no hay informes telefónicos de RXQUAL.
- SNR, relación de señal a ruido. Se mide solo en LTE.
- CQI, indicador de calidad de canal. Se mide en 4G solamente.

- Longitud, longitud de ubicación actual en formato decimal
- Latitud, latitud de ubicación actual en formato decimal.
- Velocidad, velocidad actual en kmph.
- Precisión, la precisión con la que se determina la ubicación. La determinación de la ubicación podría basarse en el GPS o la red (mediante el servicio de ubicación de Google, que utiliza celdas de servicio y vecinas o redes WiFi).
- Altura, la diferencia entre los valores de altitud y tierra
- Altitud, la altitud medida por GPS.
- Altura, la altura del nivel del suelo. Esto es ajustable en la configuración.
- UL, la velocidad actual de transferencia de datos del enlace ascendente en kbps.

Con todos estos parámetros descritos, se procedió a realizar el correspondiente testeo de las condiciones de la cobertura telefónica y se comprobó que el dispositivo se enlazó directamente a la tecnología 3G como se puede ver en la imagen a continuación.



Figura3.1: Imagen de parámetros obtenidos en la zona

Elaborado por: Autor

3.3. Posible solución de cobertura en interiores QCELL – LTE

A continuación, se mostrará la distribución del sistema de cobertura de telefonía móvil que existía previamente en el lugar donde se desarrolló el proyecto.



Figura3.2: Diagrama de bloques de sistema previo de cobertura 3G

Elaborado por: Autor

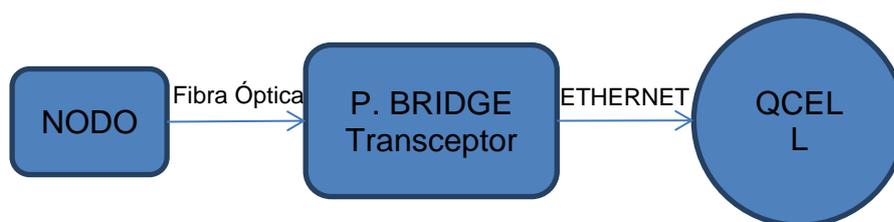


Figura3.3: Diagrama de bloques de sistema de cobertura LTE con QCELL

Elaborado por: Autor

Como se aprecia, el sistema que estará orientado con el dispositivo QCELL, posee menor cantidad de equipo electrónico y de transmisión. Todo esto nos refleja que al momento de optar por este sistema QCELL, el usuario será capaces de realizar una cobertura mejor y más eficiente con una infraestructura más simple y potente. Obviamente, cuando se reduce la infraestructura de un sistema, genera un ahorro económico significativo por parte de la persona quien provee el servicio de cobertura de telefonía móvil.

Cuando hay que satisfacer las demandas existentes en el mercado, es importante buscar soluciones no solamente eficaces sino también eficientes. Lo más considerado actualmente es la forma de cómo solucionar los inconvenientes, es decir, realizar de alguna manera sistemática la misma búsqueda del inicio de un inconveniente, para que de esta forma, se pueda

llegar a la solución más idónea. Es por esto que se analiza minuciosamente el tipo de equipos a utilizar en una solución ya sea outdoor o indoor, para que siempre sea la mejor alternativa.

Con el sistema de cobertura de telefonía móvil, existían rangos de operación de hasta 10Mb mediante tecnología 3G, lo cual indica que existía un ancho de banda muy limitado, por lo que se generaba inconvenientes y malestar a los usuarios finales de la cobertura móvil. El edificio The Point es un establecimiento que alberga un considerable número de personas de negocios y finanzas. Todo esto, exigía al propietario del edificio brindar una solución que satisfaga las demandas que existían en ese sector.

El equipo de transmisión era una antena de modelo Ceiling, la cual tiene una ganancia de alrededor de 2 dBi hasta 15 dBi. Tiene una polarización de tipo vertical. Su principal desventaja es su haz de cobertura, pues sigue un patrón de radiación entre 40 hasta 60 grados en vertical. Por ende, no se podría considerar este equipo como una solución definitiva para el inconveniente.

3.4. Elementos del sistema de cobertura en interiores QCELL – LTE

A continuación, se detallará los equipos que se utilizarán para la solución de cobertura LTE a través del equipo QCELL. Se detallarán los elementos necesarios y sus características para el correcto funcionamiento del sistema y su total eficiencia.

En la figura 3.4 se muestra una imagen de cómo puede ser una distribución y arquitectura con QCELL en una edificación con una o varias zonas de cobertura necesarias desde el sótano donde está ubicado el cuarto de equipos principales. El equipo MAU es netamente opcional ya que este sirve para la convergencia entre operadoras y en este proyecto fue enfocadp en la operadora Movistar, como se describió anteriormente.

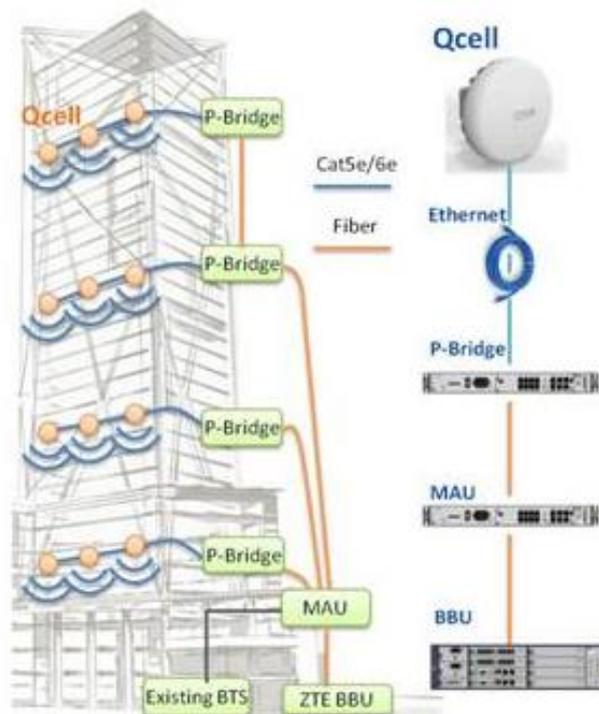


Figura3.4: Diagrama de distribución estándar de sistema de cobertura QCELL

Fuente: (ZTE Corporation)

3.4.1 Qcell solución de cobertura LTE para interiores.

Según la UIT, el 70 por ciento de todas las conexiones de voz móviles y el 80 por ciento de todas las conexiones de datos móviles se realizan en interiores. La cobertura en interiores es una gran parte del futuro desarrollo inalámbrico. Sin embargo, en la era 4G, la cobertura interna profunda es difícil porque las redes son extremadamente complicadas y se operan en diferentes escenarios. La cobertura interior profunda crea desafíos para los operadores:

- Las bandas de frecuencia LTE altas aumentan la pérdida de espacio libre, la pérdida de penetración y la pérdida de alimentador.
- Los tres tipos de redes celulares-2G, 3G y 4G-necesitan converger de una manera rentable.
- Los productos deben ser fáciles de instalar y proporcionar una buena cobertura.
- Las redes deben ser fácilmente ampliables y tener alta capacidad.

Recientemente, Chongqing Unicom y Sichuan Telecom construyeron sus propios sistemas digitales de cobertura de interior de próxima generación que abordan los problemas relacionados con la cobertura en interiores.

Chongqing Unicom desplegó una red interior 4G en SM City Mall, un centro comercial de alta gama en el distrito de Yubei, Chongqing. La red hace uso del sistema Qcell de ZTE. En una prueba, la tasa máxima de uso en interiores fue de 149.6 Mbps y la velocidad máxima de enlace ascendente fue de 49.2 Mbps. De acuerdo con los usuarios en el sitio, los videos en alta definición y películas en alta definición a pedido se reprodujeron sin problemas en teléfonos inteligentes, y la descarga de archivos de datos de gran tamaño y otros servicios de FTP se pudo completar a una velocidad extremadamente alta.

El área de cobertura de la red 4G en SM City Mall alcanzó los 150,000 m², cumpliendo con los criterios de China Unicom para los escenarios de clase A. El rendimiento y la capacidad de la red también alcanzaron el estándar para la cobertura de puntos de acceso. La solución de cobertura interior Qcell de ZTE proporciona alta capacidad y rendimiento, y es fácil de implementar. El sistema digital de cobertura interior se implementó por solo una semana, cubriendo todo el SM City Mall. Su despliegue es mucho menos difícil y complicado que el de un sistema tradicional de antena interior distribuida.

Sichuan Telecom también ha implementado comercialmente su sistema de cobertura interior Qcell que proporciona agregación de operadores 4G. Las pruebas de aceptación han demostrado que en un área interior de 10.000 m², cuando se utiliza la frecuencia de 1,8 GHz con un ancho de banda de frecuencia de 15 MHz y la frecuencia de 2,1 GHz con un ancho de banda de frecuencia de 20 MHz, la tasa de tráfico 4G más alta puede alcanzar 3Gbps.

Esto significa que la tasa para cada usuario puede mantenerse a 3 Mbps cuando 1000 usuarios utilizan servicios 4G simultáneamente en el área. La calidad de la voz CDMA es bastante buena, y la tasa de datos pico de EV-DO

es similar a la de una solución tradicional. El sistema proporciona servicios 2G, 3G y 4G que pueden alcanzar tasas máximas simultáneamente. Esto permite a los operadores implementar estrategias de gestión de tráfico. Sichuan Telecom estaba muy satisfecho con las pruebas de aceptación.

En mayo de 2015, ZTE y China Telecom recibieron conjuntamente el premio Wireless Network Infrastructure Innovation por su estrecha colaboración en el sistema digital de cobertura Qcell de células pequeñas y coordinadas en el Global Telecom Business (GTB) Innovation Awards 2015. En junio de 2015, el sistema de cobertura digital en interiores Qcell también ganó el premio a la Mejor Innovación en Redes Heterogéneas en la Cumbre Mundial LTE organizada por Informa.

El sistema de cobertura interior de Qcell consiste en Pico RRU, pBridge y BBU. Pico RRU es compatible con FDD LTE, CDMA, UMTS y TD-LTE. Es pequeño, de gran capacidad, atractivo y fácil de instalar. pBridge proporciona alimentación a través de Ethernet (PoE) y compresión de datos. Permite la agregación de operadores LTE y redes CDMA a través de un solo cable UTP. Otra ventaja de Qcell es que puede fusionar o dividir celdas para que los operadores puedan ajustar la capacidad y distribución de la red según sea necesario. El sistema tiene en cuenta el desarrollo comercial futuro al tiempo que reduce la inversión inicial. Por lo tanto, puede adaptarse al desarrollo en la era de Internet móvil.

En comparación con las soluciones tradicionales de cobertura interior, Qcell reduce significativamente el período de construcción. Por lo general, se necesitan cuatro trabajadores por semana para instalar, depurar y optimizar un sistema Qcell en un dormitorio del campus de 50,000 m². Mediante el uso de cables Ethernet estándar para la creación de redes y suministro de energía Pico RRU, la nueva generación Qcell lleva 2 células x 20 MHz LTE a través de un cable Ethernet y se puede combinar con UMTS, CDMA y otros sistemas inalámbricos para simplificar el despliegue de varios modos de funcionamiento redes de interior.

Qcell puede compartir un sistema de gestión de red con macro celdas 4G. Cada nodo es visible, manejable y controlable, de modo que los costos de O & M de la red pueden reducirse significativamente. Qcell utiliza tecnologías de colaboración en la nube tanto en el interior como en el exterior para eliminar la fuga de señal en el interior y la interferencia de la señal exterior y, finalmente, optimizar el rendimiento de toda la red. Qcell también puede proporcionar acceso local preciso y servicios basados en la ubicación en interiores para expandir negocios y atraer nuevos usuarios.

Los operadores de red en China se encuentran en una etapa crítica de transición de 2G y 3G a 4G. Qcell no solo es compatible con el despliegue rápido de redes 4G, sino que también es compatible con los sistemas 2G y 3G existentes. Cuando todos los usuarios de 2G y 3G pasen a 4G en el futuro, Qcell puede evolucionar las redes 2G y 3G existentes en 4G a través de la actualización del software. Esto protegerá la inversión del operador. Esto también es particularmente importante en la transición actual, donde VoLTE no se ha construido completamente y la voz solo puede transmitirse a través de redes 2G y 3G. Qcell es favorecido por los clientes por su rendimiento superior. Se ha utilizado en más de 20 ciudades y regiones en China, y el envío total ha alcanzado varias decenas de miles de unidades.

3.4.2 Nodo y sus elementos

Los primeros elementos que se tienen en consideración en un nodo, es el tipo de antena a usar. Una antena es un dispositivo para transmitir y / o recibir ondas electromagnéticas. Las ondas electromagnéticas a menudo se conocen como ondas de radio. La mayoría de las antenas son dispositivos resonantes, que funcionan eficientemente sobre una banda de frecuencia relativamente estrecha. Una antena debe sintonizarse (coincidir) con la misma banda de frecuencias que el sistema de radio al que está conectada, de lo contrario la recepción y / o transmisión se verán afectadas.

Para una transferencia de energía eficiente, la impedancia de la radio, la antena y la línea de transmisión que conecta la radio a la antena debe ser la

misma. Las radios normalmente están diseñadas para una impedancia de 50 ohmios, y los cables coaxiales (líneas de transmisión) que se usan con ellas también tienen una impedancia de 50 ohmios. Las configuraciones de antena eficientes a menudo tienen una impedancia diferente a 50 ohmios. Entonces se requiere algún tipo de circuito de adaptación de impedancia para transformar la impedancia de la antena a 50 ohmios. Las antenas Larsen vienen con los circuitos de adaptación de impedancia necesarios como parte de la antena. Se usan componentes de baja pérdida en nuestros circuitos de adaptación para proporcionar la máxima transferencia de energía entre la línea de transmisión y la antena.

La estación base en los sistemas celulares a menudo se divide en una unidad de banda base (BBU) y unidades de radio remotas (RRU). La BBU proporciona las funciones de procesamiento de banda base, mientras que las RRU proporcionan las funciones de transmisión y recepción de radio. Las BBU y las RRU están separadas y conectadas por enlaces ópticos. En esta configuración de estación base, las señales inalámbricas entre una BBU y RRU pueden transmitirse empleando tecnologías de radio sobre fibra (RoF).

Esto permite la implementación flexible de BBU y RRU en una célula, y los sistemas de antena distribuida se configuran fácilmente. En particular, las tecnologías RoF digitalizadas (DRoF), en las que la banda de base digitalizada o las señales inalámbricas de bajo IF se transmiten a través de fibra, provocan una degradación insignificante de las señales inalámbricas en la transmisión óptica. Con DRoF, como la técnica de la interfaz de radio pública común (CPRI), las señales de control y gestión de RRU se transmiten simultáneamente multiplexándolas con señales inalámbricas digitalizadas en un marco de datos.

Se ha propuesto que las RRU en múltiples células están conectadas a BBU colocadas para un control centralizado y una operación coordinada. En esta arquitectura, la asignación de recursos inalámbricos de todas las RRU se realiza en BBU para mejorar el rendimiento del sistema, y las señales inalámbricas recibidas por las RRU se recopilan en BBU para que la recepción

conjunta se realice entre las RRU. La transmisión conjunta entre las RRU también se realiza mediante el procesamiento centralizado de BBU.

Estas técnicas de procesamiento conjunto son prometedoras para mejorar el rendimiento del usuario de borde de celda de los sistemas celulares. Para obtener acceso inalámbrico de alto rendimiento, un gran número de RRU están vinculadas a BBU colocadas, por lo que se requiere una solución de red cableada rentable para el enlace. El candidato más prometedor para el enlace es usar redes ópticas pasivas de multiplexación por división de tiempo (TDM-PON). Este enfoque proporciona una conectividad rentable ya que una fibra óptica es compartida por múltiples RRU (en lo sucesivo, esta configuración se denomina radio digitalizada a través del sistema TDM-PON).

En la radio digitalizada sobre el sistema TDM-PON, la capacidad PON debe ser lo suficientemente alta para transmitir los datos de todos los enlaces BBU-RRU. Generalmente, DRoF requiere un ancho de banda de datos muy grande y fijo en proporción al producto de la frecuencia de muestreo y el número de bits de cuantificación, por lo que la radio digitalizada sobre el sistema TDM-PON no puede explotar la ganancia de multiplexación estadística del sistema PON. Por lo tanto, es necesario reducir el ancho de banda de datos requerido de cada enlace BBU-RRU para explotar la ganancia de multiplexación estadística. En este documento, se propone un nuevo método para reducir el ancho de banda de datos requerido para la radio digitalizada a través del sistema TDM-PON, y el rendimiento del sistema se evalúa con simulaciones.

En el nodo se cuenta con un equipo muy importante para el correcto manejo de la información antes de ser modulada por las antenas respectivas. Este equipo se llama unidad de banda base que por sus siglas en inglés se dice BBU. La unidad de banda base (BBU) es responsable de procesar las señales de banda base. ZTE proporciona tres tipos de BBU posibles para ser usados en conjunto con el Qcell.

El equipo ZXSDR B8200 / B8300 se puede usar en la estación base integrada de interior / exterior, o conectada a RRU / AAU en la estación base distribuida. Basado en la plataforma SDR única de ZTE, es compatible con la configuración multimodo GSM / UMTS / FDD-LTE / TDD-LTE (GUFT + N) y la evolución sin problemas. Permite a los operadores desplegar una red de acceso de radio unificada en lugar de redes GSM, UMTS o LTE independientes, lo que brinda simplicidad y conveniencia con bajo CAPEX y OPEX.

- Multi-banda multi-modo GUFT + N, gran capacidad y evolución suave.
- Mayor velocidad de datos con agregación de portadora TDD-LTE y FDD-LTE (CA).
- Fácil expansión con placa de procesamiento de banda base multimodo GUF.
- Instalación rápida con pequeño volumen.
- Red flexible con estructura all-IP.

Pad BBU es una BBU compacta, que presenta un pequeño volumen, bajo consumo de energía, alta densidad y cero ruidos. Se puede utilizar para escenarios de aplicaciones tanto interiores como exteriores con disipación de calor natural y protección IP65. La unidad puede montarse en la pared o en el poste, sin necesidad de gabinetes adicionales. Y se puede instalar de forma flexible cerca de la RRU para guardar los recursos de fibra óptica.

- Gran capacidad multi-modo de GUF.
- Volumen pequeño y despliegue rápido.
- Diseño compacto y BBU verde.
- Solución impermeable de patente y adaptabilidad de entornos difíciles.
- Conexión en cascada y redes flexibles.

La red de acceso por radio basada en IP (RAN basada en IP) que se utiliza en este proyecto está situada en el nodo y su modelo es el IPRAN DEVICE ZTE ZXR10 59000 e SERIES, que aplica el transporte de IP a la red

de acceso de radio FOMA, comenzó a funcionar con la introducción del controlador de red IP-Radio (IP-RNC), el compacto interior Estación transceptora base IP (IP-BTS), y la BTS multibanda exterior de alta densidad.

La RAN basada en IP se introdujo para los siguientes propósitos.

- Transporte de entrada económico mediante la introducción de tecnología IP.

Desde que se introdujo por primera vez, la red FOMA ha adoptado la tecnología de Modo de transferencia asíncrono (ATM). Al ser capaz de enviar / recibir de manera eficiente varios tipos de datos de comunicación, incluidos audio, datos e imágenes, a través de una única ruta de transmisión de acuerdo con calidad de servicio discreta (QoS) para cada comunicación, ATM satisfizo los requisitos de la red FOMA. Sin embargo, la cantidad de tráfico de comunicación por paquetes ha aumentado en los últimos años, como lo ejemplifica la introducción en agosto de 2006 del Acceso a paquetes de enlace descendente de alta velocidad (HSDPA), y se espera que esa tendencia continúe en el futuro. Como resultado, ahora existe una demanda para la construcción de redes con transporte de IP, lo que hace posible proporcionar servicios de comunicación de banda ancha incluso más económicamente y también es capaz de controlar la QoS.

- Expansión de red económica y flexible.

A medida que la red FOMA se expande y aumenta el número de usuarios, se han seguido las medidas de contramedidas para aumentar la capacidad de la red y expandir el área de servicio dentro de los edificios y las ubicaciones subterráneas, que son difíciles de alcanzar para las señales de radio. La introducción de RAN basada en IP hace posible construir redes en tales áreas utilizando LAN e IP-BTS, lo que permite la construcción económica y flexible de un Sistema de Comunicación Móvil en edificio (IMCS) en comparación con la tecnología anterior.

La configuración RAN basada en IP tiene las funciones de cada sistema y se describen a continuación.

- IP-RNC

Este es un RNC que ha sido adaptado para IP. Puede acomodar BTS convencionales basadas en ATM así como sistemas RAN basados en IP, tales como IP-BTS y BS-DTM. Realiza control de conexión de llamada y control de transferencia en la red de acceso de radio.

- BTS que soporta el transporte de IP

Este es un BTS que ha sido adaptado para IP. Se han desarrollado dos tipos de BTS: IP-BTS interior y BTS multibanda exterior de alta densidad.

- BS-DTM

Este es un módulo dedicado para usar con OFFICEED. Tiene funciones para la conexión de llamadas y la transferencia entre IP-BTS.

- Dispositivos de red IP y transporte de IP.

Enrutadores y conmutadores IP de propósito general se utilizan en la red IP. Proporcionan control de QoS de comunicación y control de reencaminamiento en momentos de falla de la red. Para el transporte de IP, se utiliza un servicio de línea arrendada Ethernet y / o la red de enrutadores IP de NTT DoCoMo.

3.4.3 Fibra Óptica

La fibra óptica, que es la ciencia de la transmisión de la luz a través de fibras de vidrio o plástico muy finas, se sigue utilizando en más y más aplicaciones debido a sus ventajas inherentes sobre los conductores de cobre. El propósito de este artículo es proporcionar al lector no técnico una descripción general de estas ventajas, así como las propiedades y aplicaciones de la fibra óptica.

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizó un cable de fibra General Cable Multimodo ClearCurve OM3. La fibra óptica multimodo optimizada por láser y ultra-flexible Corning ClearCurve ofrece el mejor rendimiento de macroredes en la industria, al tiempo que mantiene la compatibilidad con las fibras ópticas, equipos, prácticas y procedimientos actuales. La fibra multimodo ClearCurve OM3 / OM4 está diseñada para soportar curvas cerradas y rutas de cables desafiantes con una pérdida de señal sustancialmente menor que la fibra multimodo convencional.

Estas fibras tienen una tecnología de medición y un control de fabricación superiores, y recubrimientos de CPC líderes en la industria para una microbend superior y un rendimiento medioambiental. El desempeño de la fibra ClearCurve está garantizado por minEMBc, la medición de ancho de banda aprobada por los estándares de la industria para fibras OM3. Las fibras ClearCurve son las únicas que usan esta medida para garantizar un rendimiento de 10 Gbps.

Estas fibras admiten velocidades de datos de 10 Gbps 850 nm. También cumplen con los estándares más estrictos de la industria, tales como:

- ISO / IEC 11801, tipo OM2, OM3 y OM4 fibras
- IEC 60793-2-10, tipo A1a.1, A1a.2 y A1a.3 fibras
- TIA / EIA, 492AAAB, 492AAAC-A y 492AAAD

3.4.4 Transceptor pBridge

Con el rápido desarrollo de la tecnología de comunicación móvil, los suscriptores hoy en día ya no están satisfechos con el servicio de voz básico; están colocando más y más demandas de servicios de datos. La era de Big Data ha llegado. Las investigaciones muestran que el 90% del tráfico de datos se produce en interiores, pero el sistema tradicional de distribución en interiores basado en componentes pasivos y alimentadores está sufriendo muchos cuellos de botella al proporcionar servicios de datos de alta calidad.

El sistema de distribución tradicional en el interior se basa principalmente en el sistema de distribución de cable coaxial. (ZTE Corporation, 2016)

Las redes de diferentes estándares comparten el mismo sistema de distribución. Como resultado, la potencia de salida no puede coincidir debido a la diferencia de banda. Muchos dispositivos pasivos no pueden monitorearse de extremo a extremo, lo que genera grandes dificultades y costos de operación y mantenimiento. (ZTE Corporation, 2016)

Existen muchas dificultades en la instalación de alimentadores y antenas, como entrar en edificios de propiedad, largos períodos de construcción y altos costos. Muchos recursos de tubería restringen la entrada a las salas. Por lo tanto, con las nuevas demandas para la construcción de la red de comunicaciones, la solución del sistema de distribución activo Qcell ha abierto una nueva perspectiva, que puede resolver los problemas descritos anteriormente en un cierto rango. (ZTE Corporation, 2016)

Hay tres componentes básicos para el sistema de distribución activo Solución de Qcell: BBU (unidad de banda base), pBridge (unidad de puente Pico RRU) y pRRU (unidad de radio remota Pico). Dos componentes opcionales: MAU (unidad de acceso múltiple), PEX (PoE Extender). La arquitectura del sistema y los módulos de funciones. BBU es lo mismo que la BBU utilizada en sitios macro. Procesa la modulación y demodulación de las señales de banda base, proporciona conexiones de fibra CPRI a pBridge. (ZTE Corporation, 2016)

pBridge se da cuenta de la conversión óptica y eléctrica, división de datos I / Q, combinación y distribución. También proporciona funciones PoE y SyncE para pRRU.

pRRU filtra y amplifica señales de RF, realiza RF y conversión de señal de banda de base digital.

MAU convierte la señal RF 2G de otros proveedores en datos I / Q y la distribuye a pRRU mediante pBridge.

PEX se utiliza para ampliar la distancia del cable Ethernet entre pBridge y pRRU. ZTE ZXSDR PB1120A (de aquí en adelante PB1120A) es pBridge de la solución Qcell. El documento está diseñado para ofrecer una descripción general de las características de PB1120A, sus beneficios clave, la arquitectura, la funcionalidad y los servicios, así como también las capacidades del sistema. (ZTE Corporation, 2016)

3.4.5 Ethernet

Con respecto a la conexión que existe entre el pBridge y el Qcell se encuentra presente una comunicación a través de un cable de par trenzado Ethernet categoría 6, es importante tener en cuenta este requisito ya que no brindaría el mismo servicio con una categoría de cable inferior.

Los tipos de cable comunes utilizados para las conexiones Ethernet son cables de par trenzado, que pueden mejorar la calidad de la señal y la flexibilidad del cable. Hay varias categorías y clases de cable diferentes para indicar sus parámetros de rendimiento específicos. Estos incluyen las categorías 5, 5e, 6 y 7, y cada uno incluye un tipo diferente de cable de par trenzado que tiene propiedades únicas que definen la cantidad de señal que puede transportar y las limitaciones de transmisión.

El cable de categoría 6 fue diseñado para funcionar a frecuencias de hasta 250 MHz y ofrece un mayor rendimiento para una mejor transmisión de datos a velocidades de hasta 1000 Mbps, con menos errores para las aplicaciones 100BASE-TX y 1000BASE-T. Para requisitos adicionales de transferencia de datos, algunos cables de Categoría 6 pueden soportar velocidades de 10 Gigabit, sin embargo, pueden sufrir limitaciones de longitud. El cableado de Categoría 6 (Ver Figura 3.5), con sus conductores más grandes, divisores internos y longitudes de torsión más ajustadas sería

análogo a un modelo de gama alta, ofreciendo un mejor rendimiento y más capacidad.

Los cables sólidos y trenzados tienen sus propios propósitos y beneficios, y saber cuándo y dónde se utilizarán mejorará el rendimiento y la eficiencia de la red. Aunque tienen capacidades similares, cada uno cumple una función distinta y ofrece ventajas específicas. Los cables sólidos de Ethernet se componen de un único cable conductor sólido. Con cables más grandes, los cables sólidos son físicamente más resistentes y fáciles de trabajar. Además, los cables más grandes proporcionan características eléctricas superiores capaces de permanecer estables en un rango más amplio de frecuencias. Esto hace que los cables sólidos se adapten mejor a las aplicaciones de Ethernet de alta velocidad nuevas y emergentes.

Debido a su gran diámetro de cobre, los cables conductores sólidos tienen una menor resistencia de CC y una menor susceptibilidad a los efectos de alta frecuencia. Los cables sólidos son compatibles con una transmisión más larga, que reciben ejecuciones más largas y velocidades de datos más altas que los cables trenzados. Sin embargo, aunque los cables sólidos tienen un núcleo "más grande", también son más vulnerables a la rotura. Esto limita su flexibilidad, ya que no pueden flexionarse o doblarse repetidamente sin romperse o causar ineficiencias en el rendimiento. Esta rigidez inherente hace que los cables sólidos sean la solución ideal para el cableado horizontal dentro de una infraestructura de sistema.

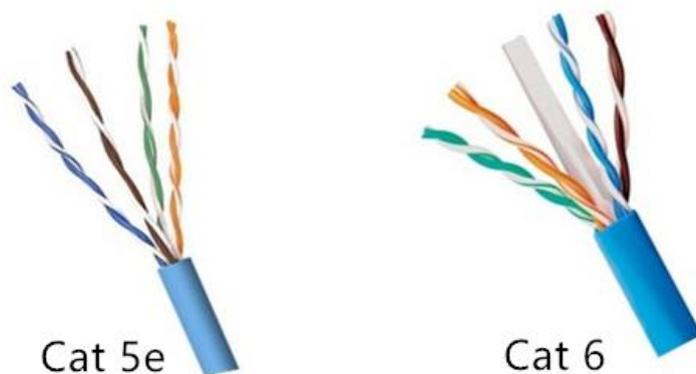


Figura3.5: Diferencia entre cables Ethernet cat 5e y cat 6.

Fuente: (Fiber Optical Networking, 2016)

Por ejemplo, los cables sólidos Cat5e son adecuados para aplicaciones de red, como la ejecución de una habitación a otra en un edificio de oficinas, debido a la mayor distancia necesaria. Para carreras de más de 100 pies, los cables sólidos funcionarán mejor y con mayor fiabilidad que los cables trenzados.

Con el cableado encallado, el interior presenta pares trenzados de un cable trenzado, con cada conductor individual compuesto por un haz de hilos de alambre de calibre más pequeño. El cable trenzado está dispuesto de manera que varios cables rodean un solo cable en el centro del paquete. Para los cables de Categoría, el número de hilos circundantes es seis, con uno en el medio. Esta disposición trenzada forma un conductor que termina con un diámetro similar a un cable sólido. Sin embargo, el área de conducción de un cable trenzado es más pequeña que la de un cable sólido debido a los diámetros más pequeños de cada filamento de cable individual.

Los cables trenzados son un tipo de cable con el que los usuarios suelen estar más familiarizados y manejarse directamente. El cableado del conductor de cable no solo protege el cable, sino que también mejora su flexibilidad. Cuanto más largo es el cable, más veces se tiene que retorcer cada hebra alrededor del centro. Como resultado, cuando un cable trenzado está doblado, cada hebra se dobla como si fuera independiente de todo el mechón. Esta construcción permite que estos cables se muevan con facilidad y frecuencia sin daño o riesgo de falla en el rendimiento.

Si bien no son tan confiables como los cables sólidos para recorridos de larga distancia, su flexibilidad hace que los cables trenzados categoría 5 sean ideales solamente para distancias cortas debido a sus características. Como son flexibles por naturaleza, los cables trenzados brindan la movilidad necesaria para funcionar bien en aplicaciones como el cableado de parche, ya que se enchufarán, desconectarán, doblarán o instalarán constantemente, es decir, son resistentes. Se usa un parche para proporcionar conectividad entre dos tomas RJ45. Las aplicaciones comunes de cableado de parches

conectan los puertos del panel de conexiones a otros puertos del panel de conexiones.

3.5. Mediciones y parámetros obtenidos del sistema QCELL - LTE

Luego de culminada la instalación y configuraciones necesarias, se procedió a realizar el walk test en el piso 35 del edificio The Point. El walk test es una prueba que se realiza caminando sobre toda el área donde se implementó la solución para confirmar que no exista ninguna desconexión al cambiar de celdas a medida que el usuario se desplaza.

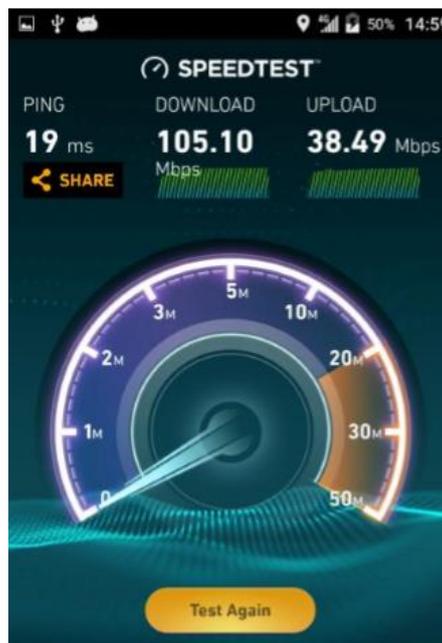


Figura3.6: Imagen de parámetros obtenidos en el área con Qcell.

Fuente: (ZTE Corporation)

Como se observa en la figura 3.5, el terminal móvil está conectado a la red 4g LTE, la cual le está brindando una velocidad de descarga de 105.1 Mbps. Se encontró una correcta eficiencia al desplazarse con el dispositivo móvil en toda el área del piso 35. Existe una notable diferencia ya que, en comparación a las mediciones anteriores, la red principal disponible ahora es 4G y no ninguna inferior.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Al realizar las mediciones se pudo comprobar que la única señal que recibía el terminal móvil era 3g, aunque con una velocidad de descarga muy por debajo de lo esperado.
- Luego de implementarse el dispositivo Qcell y ejecutar las mediciones con la aplicación Speedtest, se obtuvo resultados de una cobertura pre5G, esto quiere decir que alcanzo un 0,6 % de las velocidades de esta tecnología que aún no está disponible.
- Los costos e infraestructura se redujeron notablemente gracias a que el cableado hasta el dispositivo Qcell es por medio de Ethernet cat6 y no fibra óptica como usualmente suele instalarse.
- Se pudo observar en el terminal móvil que ya no enganchaba directamente a 3g, sino que se mantenía siempre con señal alta 4g LTE.
- El tamaño y forma del dispositivo es ideal ya que pasa desapercibido por los usuarios, de esta manera tampoco interfiere con la estética ni diseño del área donde está instalado.
- Es importante recalcar que la red 4G LTE solo proporciona servicios de datos actualmente en nuestro país. Por eso el enfoque y análisis de este estudio excluye los servicios de voz y mensajería.
- Esta implementación es únicamente una demostración por el momento, ya que es una tecnología desarrollada por la empresa ZTE Corporation y aun no es introducida al país. Gracias a las pruebas y mediciones se pudo constatar que funciona eficientemente.

4.2. Recomendaciones

Luego de realizado el estudio, mediante la visita al lugar y las mediciones hechas en el piso 35 del edificio The Point, mis recomendaciones son las siguientes.

- Utilizar un dispositivo móvil que permita ser configurado de tal forma que posea la opción también de elegir a que red conectarse para hacer mediciones específicas. No obstante, al configurarlo de tal manera que automáticamente se conecte a la red más avanzada disponible, también es útil.
- El terminal móvil debe contar con las especificaciones necesarias para soportar la red 4g LTE, también debe ser Android para poder instalar la aplicación Speedtest, ya que esta es la más recomendada.
- Revisar que el cable Ethernet utilizado sea de categoría 6 para asegurarnos del óptimo funcionamiento, un cable Ethernet de categoría 5 es usado para trabajar con UMTS.
- Una manera de reconocer rápidamente en los resultados de mediciones a cuál red está conectado el terminal móvil, es reconociendo a que nodo se enganchó. En el caso de 4g LTE, este sería eNodeB.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basterretche, J. F. (2007). *Dispositivos Móviles*. Recuperado el 6 de Febrero de 2018, de <http://exa.unne.edu.ar/informatica/SO/tfbasterretche.pdf>
- Caiza, M. (2005). Aplicación de algoritmos de receptor por software para el estándar IS-95 CDMA. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2478/1/T-ESPE-027565.PDF>
- ELEVEN PATHS. (2014). Arquitectura y cifrado de seguridad en redes 3G. Obtenido de <http://blog.elevenpaths.com/2014/01/arquitectura-y-cifrado-de-seguridad-en.html>
- Fiber Optical Networking. (2016). Cat 5e or Cat 6 – Which Do You Choose? Global Telecoms Insight. (2010). NTT DoCoMo FOMA 3G Mobile Phone Service. Obtenido de <http://www.mobilecomms-technology.com/projects/foma/>
- Huidobro, J. M. (2000). Network World. Obtenido de <http://www.networkworld.es/archive/handover-y-roaming-en-los-sistemas-moviles>
- Huidobro, M. (2011). Telecomunicaciones: Tecnología, redes y servicios. Colombia.
- Inga, E. (2011). La telefonía móvil de cuarta generación 4G y Long Term Evolution. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8369/1/La%20telefon%C3%ADa%20m%C3%B3vil%20de%204ta%20generaci%C3%B3n%20%24G%20y%20long%20term%20evolution.pdf>
- Lara, J. (Marzo de 2006). Telefonía móvil. Obtenido de repository.uaeh.edu.mx
- Leovaldo, B. F. (2017). Gestión de recursos y calidad de servicios (QOS) en los equipos móviles de tercera generación (3G) en el Parque Central Simón Bolívar de la ciudad de Jipijapa. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/840/1/UNESUM-ECU-COMPR-17.pdf>

- NEXUS Technology. (2018). Infraestructura y Cableado Estructurado. Obtenido de <http://www.nexus.com.pe/productos-detalle/siemon-fj2-lclc5v-03aq-patch-cord-fibra-optica-lc-lc-om4-3mts/>
- Rábanos, J. M., Tomás, L. M., & Salís, J. M. (2015). Comunicaciones móviles. Madrid.
- Sanchez, R. (2016). Arquitectura 4G. Obtenido de <http://rubensm.com/arquitectura-4g/>
- TELECO. (2018). GSM Arquitectura. Obtenido de http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialgsm/pagina_1.asp
- Villordo, I. (2007). Asignación de canales espacio - tiempo para sistemas de radiocomunicación. Obtenido de Asignación de canales : <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/674/1/VillordoJI.pdf>
- Yanez, P. (2009). Estudio de los canales con desvanecimiento sobre redes fijas y móviles en sistemas de radio comunicación. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1455/1/CD-2729.pdf>
- ZTE Corporation. (2016). Product Description. Recuperado el 9 de Febrero de 2018, de <https://es.scribd.com/document/367339122/Gul-Der-Zxsdr-Pb1120a-Product-Description-Uniran15-v1-00-20160118>
- ZTE Corporation. (s.f.). Qcell -Innovative Multi-frequency Multi-mode Indoor Coverage Solution. Recuperado el 8 de Febrero de 2018, de ZTE Corporation:
http://www.en.zte.com.cn/en/products/wireless/small_cell/201506/t20150617_434557.html



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Blacio Moreno, Laura Angelina** con C.C: #0919734111 autor del Trabajo de Titulación: **ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA RED MÓVIL 4G LTE DE DATOS EN INTERIORES DE EDIFICIOS UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA QCELL** previo a la obtención del título de **INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 6 de marzo de 2018

f. _____

Nombre: Blacio Moreno, Laura Angelina

C.C: 091973411-1



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis del desempeño de la red móvil 4G LTE de datos en interiores de edificios utilizando la tecnología QCELL		
AUTOR(ES)	BLACIO MORENO, LAURA ANGELINA		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	RUILOVA AGUIRRE, MARIA LUZMILA		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniera en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	6 de marzo del 2018	No. DE PÁGINAS:	74
ÁREAS TEMÁTICAS:	ANTENAS, PROPAGACION, COMUNICACIONES INALAMBRICAS, SISTEMAS DE TRANSMISION, TELEMÁTICA.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	TECNOLOGÍA, TELEFONÍA, CONECTIVIDAD, DATOS, INTERIORES, REDES Y EVOLUCIÓN.		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

En el presente trabajo de titulación se analizó la calidad del servicio de las redes móviles (Movistar) en el interior del edificio The Point exactamente en los últimos pisos superiores; para posteriormente realizar una demostración en la cual se refleja la mejora en la velocidad de descarga de datos gracias a la tecnología Qcell LTE y así brindar una buena experiencia al usuario. También se mostró gráficamente los valores alcanzados con esta mejora y su desempeño dependiendo de la cantidad de usuarios que se encuentren conectados a la red. Este trabajo de titulación se llevó a cabo con la colaboración de la empresa ZTE Corporation, quienes se especializan en el servicio de telecomunicaciones; entre sus principales funciones se encuentra el RF (radiofrecuencia) e implementación de los equipos en radio bases a todas las operadoras del país (Movistar, Claro y CNT). Para el desarrollo de la primera parte del tema se ejecutó una prueba drive test con la ayuda de la aplicación Speedtest, en la cual el principal objetivo fue obtener estadísticamente las diferencias que predominan entre las tecnologías, enfocándonos esencialmente en los parámetros de la velocidad.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 98 113 8235	E-mail: angelinblacio_6@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez. Edwin Fernando	
	Teléfono: +593-9-68366762	
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec	

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	