

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

## **Diseño e Implementación de una Red Indoor basada en Femtoceldas para una Agencia de Viajes en Miraflores**

*Tesis para la optar el título de Ingeniero de Telecomunicaciones  
que presenta el bachiller:*

Maricela Alzamora Jayo

ASESOR: Ing. David Ortega

Lima, Mayo del 2016

## RESUMEN

La presente tesis consiste en el diseño e implementación de una red Indoor con uso de femtoceldas al interior de una agencia de viajes con la finalidad de poder solucionar los problemas de cobertura de móvil.

El trabajo se ha organizado de la siguiente manera:

En el primer capítulo, se presenta el estudio a la introducción teórica de las comunicaciones móviles y las tecnologías involucradas. Así mismo, se presentan las consideraciones de planificación y optimización que se tienen en estas redes considerando las distintas soluciones existentes para la mejora de cobertura en interiores. Finalmente, se presenta el estudio teórico de las femtoceldas que es la solución usada.

En el segundo capítulo se presenta el análisis y la arquitectura de la solución luego del estudio de la realidad y las variables involucradas en el problema, elaborando los alcances de esta tesis.

En el tercer capítulo se presenta el diseño de la solución como tal, la justificación técnica y la implementación tomando en cuenta las consideraciones de la misma en base a las simulaciones de las predicciones de cobertura.

En el cuarto capítulo, se realiza la prueba la red instalada con lo cual se inician las pruebas del sistema funcional cuyos resultados son analizados y comparados con los valores proyectados en el diseño.

Finalmente, considerando los análisis realizados en el capítulo 4, se dan las recomendaciones a futuro y las conclusiones.

## DEDICATORIA

La presente tesis va dedicado a mis padres, por el inmenso sacrificio que realizaron para que pueda llegar donde estoy. Así mismo; agradezco sus enseñanzas, comprensión, confianza y su eterno amor que han sido los pilares de mi vida.



## Índice

<i>Lista de Figuras</i> .....	6
<i>Lista de Tablas</i> .....	7
<i>Introducción</i> .....	7
<i>Capítulo 1: Marco Teórico</i> .....	10
1.1 Antecedentes de las comunicaciones móviles.....	10
1.1.1 Las comunicaciones móviles y su entorno actual.....	10
1.1.2 Tecnologías móviles.....	12
1.2 Optimización del Acceso de Radio.....	13
1.2.1 Definición y Problemática:.....	13
1.2.2 Conceptos de Planificación y Optimización.....	13
1.2.3 Soluciones para la Optimización de Interiores.....	15
1.2.3.1 Repetidores.....	15
1.2.3.2 Redes RF de Interiores.....	16
1.2.3.3 Femtoceldas.....	17
1.3 Femtoceldas 3G.....	18
1.3.1 WCDMA UMTS - Tercera Generación.....	18
1.3.1.1 Breve descripción.....	18
1.3.1.2 Arquitectura de Red.....	18
1.3.1.3 Canalización/Interfaz Aire.....	19
1.3.2 Arquitectura de Red de Femtoceldas.....	20
1.3.2.1 Definición.....	20
1.3.2.2 Arquitectura de Red.....	21
1.3.2.3 Ventajas y Desventajas.....	22
1.4 Estudios de RF.....	22
1.4.1 Estándares Internacionales.....	23
1.4.2 Cálculos de Enlace.....	23
1.4.3 Bandas de Frecuencia.....	24
1.4.4 Indicadores de Desempeño.....	24
1.4.4.1 RSSI.....	25
1.4.4.2 EcNo.....	25
1.4.4.3 Otros parámetros.....	25
<i>Capítulo 2: Análisis y Arquitectura de la Solución</i> .....	26
2.1 Definición del Problema a Resolver.....	26
2.1.1 Descripción del Caso.....	26
2.1.2 Mediciones Tomadas.....	31
2.1.2.1 Herramientas y métodos de medición.....	31
2.1.2.2 Resultados e Interpretación.....	33
2.2 Alcances y Limitaciones de la Tesis.....	35
2.3 Propuesta de la Arquitectura de la Solución.....	36
2.3.1 Arquitectura de la Solución.....	37
2.3.2 Tecnología de la Solución.....	37
2.3.2.1 Femtoceldas.....	37
2.3.2.2 FemtoGW.....	38
2.3.2.3 Security Gateway.....	38
2.3.2.4 Red de Transporte.....	38
<i>Capítulo 3: Diseño e Implementación de la Solución</i> .....	40
3.1 Equipamiento a Utilizar.....	40
3.2 Diseño de la Solución.....	42
3.2.1 Arquitectura y Ubicación de Equipos.....	43
3.2.2 Predicciones de cobertura.....	44
3.2.2.1 Objetivos.....	45



3.2.2.2 Predicción de cobertura – Diseño para 3G .....	46
3.2.3 Cuadros de Potencias del Diseño .....	48
3.2.3.1 Cuadro de Potencias 3G .....	49
3.2.4 Diagramas Generales de la Solución.....	49
3.2.4.1 Vista de Distribución Frontal .....	49
3.2.4.2 Diagrama de Unilineal Eléctrico .....	51
3.2.4.3 Listado de materiales .....	51
3.3 Consideraciones de la Instalación .....	52
3.4 Implementación y Puesta de la Solución .....	53
3.5 Cálculo de Backhaul: .....	55
3.6 Análisis Económico de la Solución .....	57
<i>Capítulo 4: Pruebas de Desempeño .....</i>	<i>60</i>
4.1 Objetivo y Valor de las Pruebas Finales .....	60
4.2 Metodología de Pruebas .....	60
4.2.1 Herramientas de Medición .....	60
4.2.2 Metodología .....	61
4.3 Resultados de la Medición .....	61
4.3.1 KPIs considerados.....	62
4.3.2 Mediciones Tomadas.....	63
4.3.3 Resultados Obtenidos.....	64
4.3.4 Afectación Cuantitativa de KPI´s.....	74
4.4 Comparación Cualitativa .....	75
4.4.1 Situación Inicial .....	75
4.4.2 Escenario Planificado.....	76
<i>Recomendaciones, trabajos Futuros y conclusiones .....</i>	<i>77</i>
Recomendaciones: .....	77
Trabajos futuros: .....	78
Conclusiones:.....	78
Bibliografía .....	80

## Lista de Figuras

FIGURA 1-1: CRECIMIENTO DE PERSONAS CONECTADAS Y "SMARTPHONES" AL 2014.....	11
FIGURA 1-2: CRECIMIENTO ESTIMADO DE PERSONAS CONECTADAS Y "SMATPHONES" EN EL FUTURO.....	11
FIGURA 1-3: EL MUNDO EN EL 2020 .....	11
FIGURA 1-4: COBERTURA ANTENA OUTDOOR .....	15
FIGURA 1-5; SOLUCION INDOOR CON REPETIDORES.....	16
FIGURA 1-6: SOLUCIÓN RF INDOOR.....	17
FIGURA 1-7: SOLUCIÓN CON FEMTOCELDAS .....	17
FIGURA 1-8: EVOLUCION DE UMTS .....	18
FIGURA 1-9: ARQUITECTURA UMTS .....	19
FIGURA 1-10: CANALIZACIÓN UMTS .....	20
FIGURA 1-11: ARQUITECTURA DE RED DE LAS FEMTOCELDAS .....	21
FIGURA 1-12: BANDAS DE FRECUENCIA COMPATIBLES .....	24
FIGURA 2-13: VISTA SUPERIOR DE LA AGENCIA DE VIAJES.....	26
FIGURA 2-14: UBICACIÓN DE LA AGENCIA DE VIAJES.....	27
FIGURA 2-15: UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES CERCANAS.....	28
FIGURA 2-16: MEDICIONES HACIA LA ESTACIÓN PARDO .....	29
FIGURA 2-17: CARACTERISTICAS DEL LUGAR HACIA LA ESTACIÓN PARDO .....	29
FIGURA 2-18: JDSU .....	32
FIGURA 2-19: INTERFAZ eDAT .....	32
FIGURA 2-20: NIVEL DE RSCP PISO 1 (CEM2) .....	33
FIGURA 2-21: EcNo PISO 1 .....	34
FIGURA 2-22: SCRAMBLING CODE PISO 1 .....	35
FIGURA 2-23: ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN .....	37
FIGURA 3-24: REPORTE MARKET SHARE FEMTOCELDAS .....	41
FIGURA 3-25: ANÁLISIS DE VENDORS EN EL MERCADO .....	42
FIGURA 3-26: UBICACIÓN DEL ROUTER PRINCIPAL DE DISTRIBUCIÓN DE CONEXIÓN A LAS FEMTOCELDAS .....	43
FIGURA 3-27: VISTA SUPERIOR 3D DE LA AGENCIA DE VIAJES .....	44
FIGURA 3-28: VISTA 3D DE LA AGENCIA DE VIAJES.....	45
FIGURA 3-29: NIVEL DE RSCP .....	46
FIGURA 3-30: BEST SERVER.....	47
FIGURA 3-31: NIVEL EcNo.....	48
FIGURA 3-32: DISTRIBUCIÓN FRONTAL DEL EDIFICIO CEM 2.....	50
FIGURA 3-33: DISTRIBUCIÓN FRONTAL DEL EDIFICIO CEM 1.....	50
FIGURA 3-34: DIAGRAMA ELÉCTRICO .....	51
FIGURA 3-35: UBICACIÓN DE EQUIPOS PRINCIPALES.....	54
FIGURA 3-36: EQUIPOS INSTALADOS.....	54
FIGURA 4-37: NIVEL FINAL DE RSCP PISO 1 CEM II.....	64
FIGURA 4-38: NIVELES RSCP DE LAS MUESTRAS .....	64
FIGURA 4-39: NIVEL FINAL DE ECNO PISO 1 CEM II .....	65
FIGURA 4-40: NIVELES ECNO DE LAS MUESTRAS .....	66
FIGURA 4-41: SCRAMBLING CODE FINAL .....	67
FIGURA 4-42: NIVEL FINAL DE TX POWER .....	68
FIGURA 4-43: NIVELES DE LAS MUESTRAS DE TX POWER.....	68
FIGURA 4-44: NIVEL FINAL DE THROUGHPUT DL .....	69
FIGURA 4-45: NIVELES DE LAS MUESTRAS DE THRPUGHPUT DL .....	70
FIGURA 4-46: NIVELES DE LAS MUESTRAS DE THRPUGHPUT UL .....	71
FIGURA 4-47: BEST SERVER.....	72
FIGURA 4-48: RSCP .....	72
FIGURA 4-49: ECNO .....	73
FIGURA 4-50: DEAD ZONE.....	74

## Lista de Tablas

TABLA 2-1: Niveles de Señal Edificio Jorge Chávez 154 .....	30
TABLA 3-1: SOLUCIONES EN EL MERCADO DE FEMTOCELDAS PARA MODELO-A Y MODELO-B.....	41
TABLA 3-2: CUADRO DE POTENCIA .....	49
TABLA 3-3: LISTA DE MATERIALES .....	52
TABLA 3-4: PERFILES DE TRÁFICO.....	56
TABLA 3-5: DATOS CONSIDERADOS .....	56
TABLA 3-6: DATOS CALCULADOS .....	56
TABLA 3-7: DATOS DE INVERSIÓN.....	57
TABLA 3-8: MARGEN DE GANANCIA .....	58
TABLA 3-9: GANANCIA ANUAL .....	58
TABLA 3-10: FLUJO DE CAJA .....	59
TABLA 4-1: KPIS CONSIDERADOS .....	62
TABLA 4-2: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS .....	65
TABLA 4-3: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE ECNO.....	66
TABLA 4-4: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE SCRAMBLING CODE .....	67
TABLA 4-5: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE TX POWER .....	69
TABLA 4-6: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE THROUGHPUT DL .....	70
TABLA 4-7: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE THROUGHPUT UL .....	71
TABLA 4-8: RESUMEN DE RESULTADOS FINALES.....	71
TABLA 4-9: COMPARACIÓN CUANTITATIVA DE KPIS.....	74

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de estar cada vez más conectados en cualquier lugar, de cualquier forma y en todo momento ha incrementado de manera extraordinaria el uso de las comunicaciones móviles, lo que las hace formar parte del día a día de las personas y así mismo impulsar el crecimiento económico.

Conforme transcurre el tiempo, las tecnologías van evolucionando y las necesidades de las personas se vuelven mayores lo que implica que los sistemas de comunicaciones móviles también evolucionen para satisfacer las mismas. Hoy en día, estar constantemente comunicados a través de un teléfono móvil que no solo sirva para realizar una llamada sino también para disfrutar de las novedades del despliegue multimedia, se ha vuelto parte esencial de la vida de las personas, lo que hace indispensable poder contar con comunicación en los diferentes espacios que se encuentren. Sin embargo, esto no ocurre de esta forma. En su mayoría, los lugares de mayor cobertura en los cuales podemos tener disponibilidad del servicio en todo momento son los lugares externos.

Por ello, la prioridad de poder contar con la alta disponibilidad del servicio ha motivado a diseñar diversos sistemas que permitan mejorar las faltas de cobertura en los lugares internos e inalcanzables. De esta forma, si una persona se encuentra dentro de una edificación disfrutando de una reunión, atención médica, o a la espera de algún turno de atención siga manteniendo la comunicación al igual que antes de ingresar al interior. Y es que las novedades como las redes sociales, internet a través de la telefonía móvil se han convertido en el mejor aliado no solo de la comunicación y el entretenimiento sino del poder lidiar con los tiempos de espera.

La presente tesis brindará una solución en la cobertura para la telefonía móvil con uso de femtoceldas en el interior de una reconocida agencia de viajes utilizando el esquema de optimización por medio de Femtoceldas con la finalidad de, no solo

mejorar el servicio, sino asegurar la comunicación en el interior mientras se espera algún turno de atención o información y algún caso de urgencia que permita continuar con la disponibilidad de los servicios.

En este trabajo se realizará un estudio teórico relacionado a la telefonía móvil así como las tecnologías que forman parte de ella. También se considerarán los parámetros para la optimización de las redes móviles y la solución de cobertura en interiores usada. Luego se llevará a cabo estudios prácticos y mediciones dentro del lugar seleccionado.

Se tomará como base el estudio realizado y se procederá a la definición de objetivos para realizar el diseño y la implementación de la red Indoor de femtoceldas para obtener niveles de señal dentro del lugar con resultados óptimos que aseguren la cobertura y disponibilidad del servicio de telefonía móvil.

## Capítulo 1

### Marco Teórico

En el presente capítulo se realizará un estudio teórico de los conceptos necesarios para el desarrollo de la presente tesis.

#### 1.1 Antecedentes de las comunicaciones móviles

En el presente punto, se describirá el panorama actual de las comunicaciones móviles y se describirán los conceptos básicos relacionados a las tecnologías móviles.

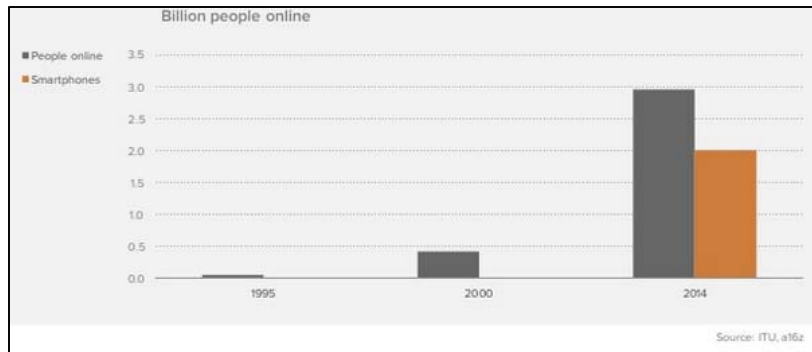
##### 1.1.1 Las comunicaciones móviles y su entorno actual

Las redes celulares, conocidas como sistemas de redes móviles son los sistemas que han evolucionado y adquirido mayor demanda en los últimos años.

La tecnología móvil fue tradicionalmente diseñada y optimizada para comunicación por voz; sin embargo, el avance tecnológico ha jugado un rol importante en el cambio del enfoque inicial que poseían estas redes. Como se muestra en la figura 1-1, el uso de *smartphones* y la cantidad de personas conectadas ha incrementado en los últimos años. Así mismo, en los próximos años la cantidad de personas conectadas y la cantidad de *smartphones* se encontrarán en el mismo rango como se muestra en la figura 1-2. Estas tasas muestran grandes incrementos, debido a que las tecnologías han empezado a ser vendidas como parte esencial de nuestro día a día y hoy giran alrededor de Internet. De esta forma se permite a los usuarios la conectividad total permitiendo estar comunicados de diferentes formas, no solo con llamadas, mensajes de texto sino también a través de las redes sociales y mensajes multimedia. Con ello ante la necesidad de esta conectividad los usuarios buscan poseerla de manera portable y ligera es así que los teléfonos móviles empiezan a desplegar un rol importante dentro de las nuevas necesidades de comunicación.

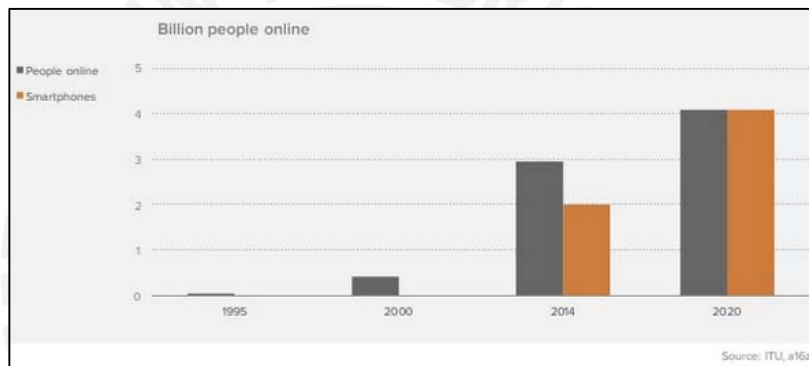
La figura 1-3, muestra estadísticas de crecimiento futuro de los diversos elementos involucrados en estas nuevas necesidades. Se observa que el elemento con pico

más alto de crecimiento serán los *smartphones*, es decir, la mayoría de personas contará con uno.



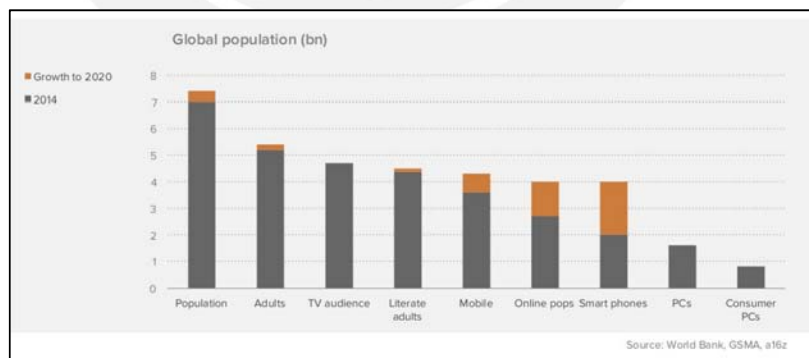
**FIGURA 1-1: CRECIMIENTO DE PERSONAS CONECTADAS Y "SMARTPHONES" AL 2014**

FUENTE: [EVA2014]



**FIGURA 1-2: CRECIMIENTO ESTIMADO DE PERSONAS CONECTADAS Y "SMATPHONES" EN EL FUTURO**

FUENTE: [EVA2014]



**FIGURA 1-3: EL MUNDO EN EL 2020**

FUENTE: [EVA2014]

Hoy no solo se busca una alta tasa de transmisión en la comunicación por voz, sino que la transmisión de datos móviles ha crecido de manera significativa de tal forma que desde el 2008 aproximadamente el 30% o más de los negocios móviles de



mercados globales depende de servicios no vocales [GIAN2009]. La evolución de las redes de paquetes basadas en IP permite el desarrollo eficiente, el control, la integración y la entrega de servicios multimedia IP.

### 1.1.2 Tecnologías móviles

El Servicio de Teléfono Móvil Avanzado (AMPS) fue la primera implementación de los sistemas móviles celulares. Consiste en un sistema analógico en el cual cada usuario ocupa totalmente el canal de radio de 30 KHz. Cada estación base en AMPS funciona en la banda 800-900 MHz y puede soportar alrededor de 60 canales en promedio. Este sistema analógico posteriormente evolucionó a un sistema digital (DAMPS). DAMPS, permitió que tres usuarios puedan utilizar el canal de radio de 30KHz. De este modo, la capacidad aumenta considerablemente. [CHO2006]

Posteriormente, el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) se introdujo en 1992 como una norma europea y ha logrado mucho éxito en todo el mundo. Hoy en día, el sistema GSM opera en los 900 MHz y 1800 MHz bandas de todo el mundo, debido a las demandas de capacidad, a excepción de América en los que opera en la banda de 1900 MHz, debido a las regulaciones de espectro de frecuencia y pasó a ser un sistema completamente digital. Estas características de GSM se convirtieron en el líder mundial en sistemas móviles 2G considerando el número de suscriptores y operadores de red. GSM, utiliza frecuencias portadoras de 200KHz usando la tecnología de acceso múltiple TDMA en el cual cada frecuencia se divide en 8 time slots. [JAN2003]

El incremento del uso de Internet tuvo un tremendo impacto en la demanda de servicios de comunicación inalámbrica. Sin embargo, la tasa efectiva de los sistemas móviles de 2G no era suficiente para cubrir con las demandas que ofrecían los servicios de internet. Como resultado, GSM y otras tecnologías basadas en TDMA de 2G evolucionaron. Dentro de este grupo se tiene, *High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)*, GPRS y EDGE (*Enhanced Data Rates for Digital Evolution*).

Conforme aumentaba la demanda y necesidades de los usuarios, aparece la tecnología 3G. Esta tecnología aparece con muchas mejoras, tiene mayores tasas de transmisión de datos en la interfaz de aire con la introducción de nuevos servicios basados en paquetes. Con estas mejoras, no solo se cubrían las demandas de voz sino que también se empieza a satisfacer la necesidad del uso de datos móviles.



Actualmente, se continúa en el proceso de evolución de los sistemas móviles. Luego de la aparición de 3G y cubiertas las necesidades anteriores, con el avance de las diferentes tecnologías vuelven a surgir nuevas necesidades y requerimientos con lo cual aparece las redes móviles 4G. Estas redes se basan en la tecnología de acceso múltiple OFDMA, lo cual permite un uso más eficiente del espectro en el cual a cada usuario se asigna un grupo de sub-portadoras ortogonales en un tiempo determinado.

## **1.2 Optimización del Acceso de Radio**

Para la implementación y el despliegue de la red móvil existen dos factores importantes en el desarrollo de la misma, los cuales vienen a ser la planificación y la optimización de la red. Ambos factores son parte crítica y esencial en el desempeño de la red ya que tienen gran impacto a largo plazo en el rendimiento y buen funcionamiento que cumplan con los requerimientos establecidos.

La red debe ser monitoreada constantemente, por ello la optimización juega un rol importante en cuanto a los cambios en el rendimiento debido a las posibles variantes de la red a lo largo de su desempeño.

Por consiguiente, se describirá con mayor profundidad ambos conceptos.

### **1.2.1 Definición y Problemática:**

El hecho de tener una red móvil desplegada que ha sido planificada no quiere decir que mantendrá los parámetros iniciales para los cuales fue diseñada, pueden surgir variantes que afecten la capacidad, cobertura y rendimiento. Estas variantes se originan por sucesos como aparición de nuevas edificaciones, árboles, como también cambios en los objetivos de los sistemas de telecomunicaciones pre existentes; por ello, se necesitan reajustes a los nuevos requerimientos, con lo cual es necesario un constante monitoreo.

### **1.2.2 Conceptos de Planificación y Optimización**

La planificación de la red móvil es uno de los dos puntos importantes en las diferentes fases del despliegue de una red que tiene impacto a largo plazo en la capacidad y rendimiento de la misma. [QUA2006] Esta etapa es un proceso continuo que abarca diversos aspectos como diseño de la red, los costos de la construcción de la red, capacidad, elementos a utilizar, la cobertura y ubicación de los elementos involucrados en la red, la máxima congestión permitida, calidad de servicio. Del mismo modo, se consideran factores ambientales que tendrán implicancia dependiendo del área en el cual se planea desplegar la red. Todos los

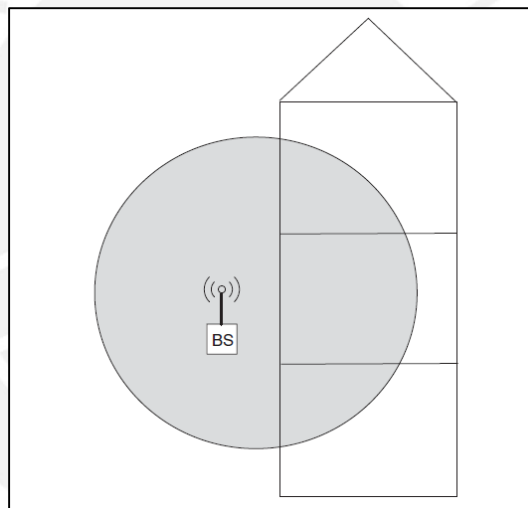
factores anteriormente mencionados ayudan a definir la planificación para poder construir una red con la mayor calidad posible. Entre los puntos importantes al momento de la planificación, tenemos, en primer lugar la recolección de toda la información importante como son las regulaciones y leyes, segmentación de mercado, mapas topográficos, infraestructura existente, numeración, direccionamiento y principios de enrutamiento. En segundo lugar, tenemos el dimensionamiento de la red basada en los requisitos de cobertura y capacidad. El objetivo principal es optimizar la red de una manera rentable. Para tener éxito, se necesita información detallada acerca de la red, tales como las estimaciones de crecimiento, protección y la infraestructura necesaria, además del diseño de la arquitectura y el rendimiento. En tercer lugar, tenemos las visitas técnicas para evaluar la localización prevista de las estaciones base y los elementos implicados. Es importante analizar si las ubicaciones cumplen los requisitos. Finalmente, asistido por un software de diseño se realizan las predicciones de cobertura, análisis de interferencias, la planificación de frecuencias, la planificación de enlace de microondas, documentación etc. [NOK2002]

Por otro lado, la optimización es la mejora continua de la red con la finalidad de maximizar los beneficios y reducir los costos. Este proceso se inicia antes del despliegue y continúa durante toda la vida de la red, ya que el avance de las tecnologías y las nuevas demandas hacen que los requerimientos iniciales se vean modificados. En primer lugar, el número de suscriptores aumenta con el paso del tiempo por lo cual se requiere expansión de la red en los momentos y lugares adecuados. Del mismo modo, una estructura de costos favorable es de gran importancia para cualquier operador en un mercado altamente competitivo. Por lo tanto, el exceso de capacidad de la red debe ser evitado. En segundo lugar, la calidad del servicio experimentado por los suscriptores tiene que ser alta. Por lo tanto, es importante reducir el número de llamadas caídas y el grado de interferencia en la interfaz de aire. En tercer lugar, la demanda presente y futura de servicios básicos y complementarios debe ser satisfecha. Hoy en día, las grandes inversiones están dirigidas a facilitar mayores tasas de bits para la transmisión de datos. La razón es que un enorme crecimiento se prevé en la demanda de servicios de transmisión de datos inalámbricos para los próximos años. Con lo mencionado anteriormente, la optimización busca calidad y alto rendimiento de la red. [NOK2002]

### 1.2.3 Soluciones para la Optimización de Interiores

Las redes móviles actualmente han adquirido un pico altísimo de demanda; por ello, la cobertura se vuelve un factor indispensable y de gran importancia, en especial la cobertura en los interiores. Hoy en día los usuarios no solo buscan satisfacer sus necesidades de cobertura móvil en ambientes externos, sino que desean mantenerla en cualquier lugar que se encuentren.

En el pasado, se daba cobertura “indoor” con una antena outdoor; es decir, una antena externa como se muestra en la figura 1-4. Actualmente, este tipo de solución no alcanza a satisfacer las necesidades, ya que las demandas han aumentado por la presencia de más teléfonos móviles. Hoy la mayoría de personas cuenta con un teléfono móvil, debido a que los costos son accesibles en comparación con años atrás. [ZHA2010] Por esta razón, diferentes soluciones han sido propuestas de tal modo que no interfieran con la cobertura en el exterior. Entre estas soluciones se tienen las redes RF de interiores, los repetidores y las femtoceldas.

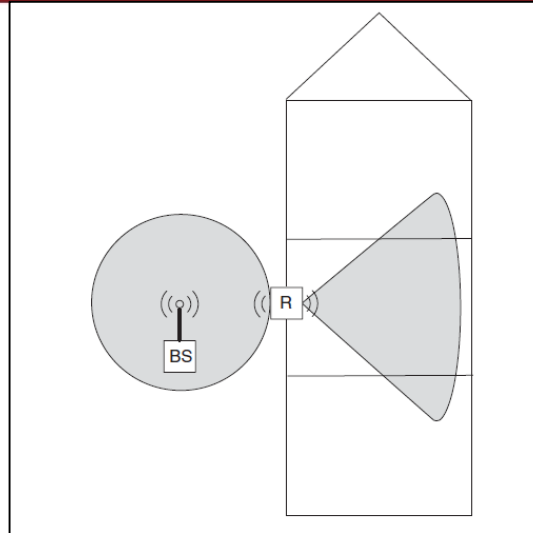


**FIGURA 1-4: COBERTURA ANTENA OUTDOOR**

FUENTE: [ZHA2010]

#### 1.2.3.1 Repetidores

Esta solución surge debido a que la macro celda muchas veces no puede brindar la cobertura esperada al interior. Por ello, debido a la atenuación de las paredes de los edificios surge la idea de utilizar un componente que pueda amplificar la señal y enviarla a través del aire dentro de la edificación con la finalidad de poder aumentar la cobertura de radio. El repetidor, va a ser utilizado de manera que retransmita la señal en el interior como se muestra en la figura 1-5. Se tienen dos tipos de repetidores, los repetidores pasivos y repetidores activos. [ZHA2010]



**FIGURA 1-5; SOLUCION INDOOR CON REPETIDORES**

FUENTE: [ZHA2010]

### 1.2.3.2 Redes RF de Interiores

Esta solución, cuenta con un *Nodo B* que irradia la potencia a través de pequeñas antenas denominado DAS (Sistema Distribuido de antenas). Estas antenas son de baja potencia y se pueden ubicar en diferentes pisos de la edificación para proveer una cobertura homogénea. Así mismo, se tiene una BBU (Unidad de banda Base) que es la encargada de convertir la señal entrante de las antenas a banda base y posee funciones de señalización y control. La figura 1-6, muestra la distribución de las antenas y la potencia. La potencia de la BBU va a través de fibra óptica o cable coaxial y es dividida a través de *splitters*, que son los encargados de distribuirla a todos el sistema DAS. Antes de que se realice la división se pasa por un RRU (*Remote Radio Unit*) que ajusta la frecuencia que se envía la BBU a la frecuencia del operador. Cada RRU definirá un sector de cobertura y soporta 18 antenas; es decir, mientras se esté bajo cobertura de una RRU el móvil en movimiento no sabrá que existen múltiples antenas pero si pasa a la cobertura de otra RRU se tendrá un *handover*, ya que se cambió de sector. Por otro lado, en caso de usar fibra óptica en el diseño se deberá adicionar un rectificador al lado de la BBU para evitar el deterioro de la señal óptica. [DUA2013]

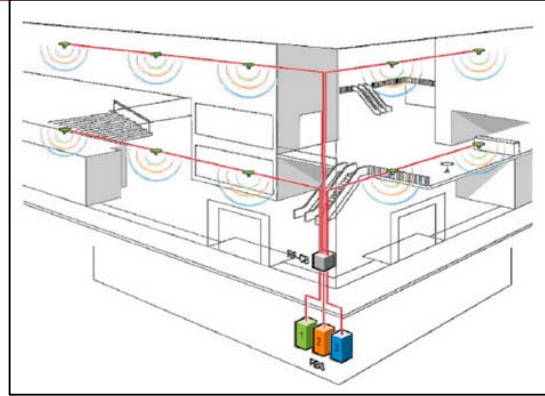


FIGURA 1-6: SOLUCIÓN RF INDOOR

FUENTE [LOF2011]

### 1.2.3.3 Femtoceldas

Este tipo de solución *indoor* nace para extender la idea de las pico celdas a solo redes domésticas, las cuales funcionan como una pequeña estación base dentro de la edificación.

Las femtoceldas tienen un enfoque más similar a los puntos de acceso *Wi-Fi* y son conectadas directamente a internet como se muestra en la figura 1-7. Con este tipo de solución, todas las comunicaciones que van a la red del operador viajan a través de internet. En cuanto a capacidad, las femtoceldas cubren un área más pequeña que las pico celdas y menor cantidad de usuarios. Dentro de la red de las femtoceldas, los usuarios se conectan al aire libre a la macrocelda y cuando se encuentran dentro de la edificación se realiza *handoff* y se conecta nuevamente a la femtocelda. Esto asegura una comunicación fluida para el usuario y se obtiene una cobertura máxima dentro de la casa. [ZHA2010]

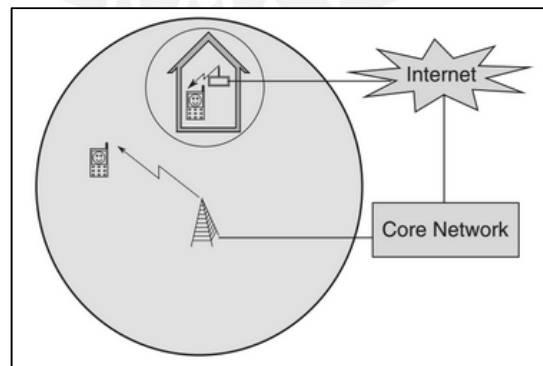


FIGURA 1-7: SOLUCIÓN CON FEMTOCELDAS

FUENTE [ZHA2010]

### 1.3 Femtoceldas 3G

En este punto se describirá la arquitectura de las femtoceldas y la tecnología 3G.

#### 1.3.1 WCDMA UMTS - Tercera Generación

Las capacidades de la tecnología 2G se vieron limitadas con el incremento de uso de internet, pues las exigencias de los usuarios se vieron enfocadas en las comunicaciones de datos que requerían mayores velocidades. Por ello, fue necesario optar por un nivel mayor en las comunicaciones móviles que permita alcanzar tasas de transmisión aceptables para los nuevos fines con lo cual aparece UMTS. El estudio se centrará en la tecnología 3G *HSPA+*, ya que es la tecnología soportada por las femtoceldas a usar.

##### 1.3.1.1 Breve descripción

La tecnología 3G se basa en el mecanismo de acceso WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), el cual usa portadoras con un ancho de banda de 5MHz que permite alcanzar desde 384 Kbps hasta los 2 Mbps. [KOR2003]

WCDMA, usa códigos ortogonales llamados OVSF que permite mayor cantidad de accesos múltiples en comparación con el mecanismo de acceso TDMA que solo permite 8 accesos de portadoras usando divisiones de tiempo en una determinada frecuencia.

UMTS, inicialmente empezó con el *release 99* que cubría dichas velocidades de transmisión. Como se muestra en la Figura1-8, UMTS ha ido evolucionando y cada *release* mejoró diversos aspectos de la arquitectura.

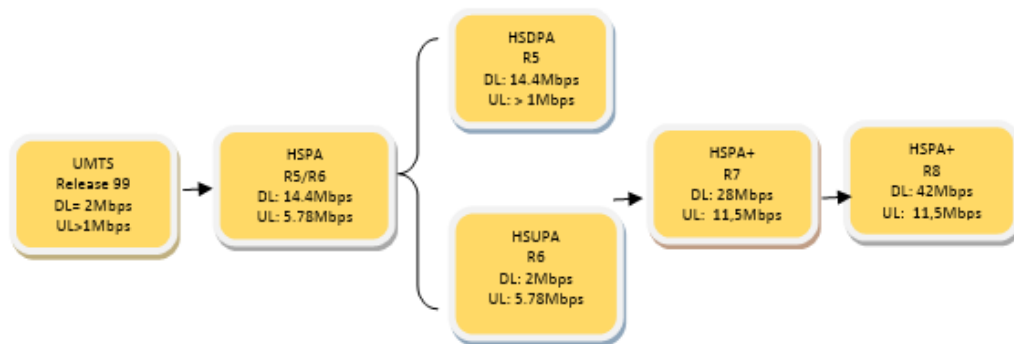


FIGURA 1-8: EVOLUCION DE UMTS

##### 1.3.1.2 Arquitectura de Red

La arquitectura UMTS comprende tres partes núcleo de la red (*Core Network*), la red de acceso conocida como UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) y *User equipment* o teléfono móvil. El núcleo de la red es el responsable de la



transmisión y la conmutación, administración de usuarios, la provisión de servicios y el funcionamiento con redes externas proporcionando soporte integrado para el tráfico por conmutación de paquetes o circuitos. [LUC2006]

La red de acceso (UTRAN) está conformado por los RNC y los *NodeB*, los cuales se encargan del acceso ya sea por dominio de paquetes o circuitos. Los RNC son comparables con los BSC de la red GSM y los *NodeB* equivalen a las BTS en dicha red. [KOR2003] En la figura 1-9 se muestra la arquitectura de la red UMTS.

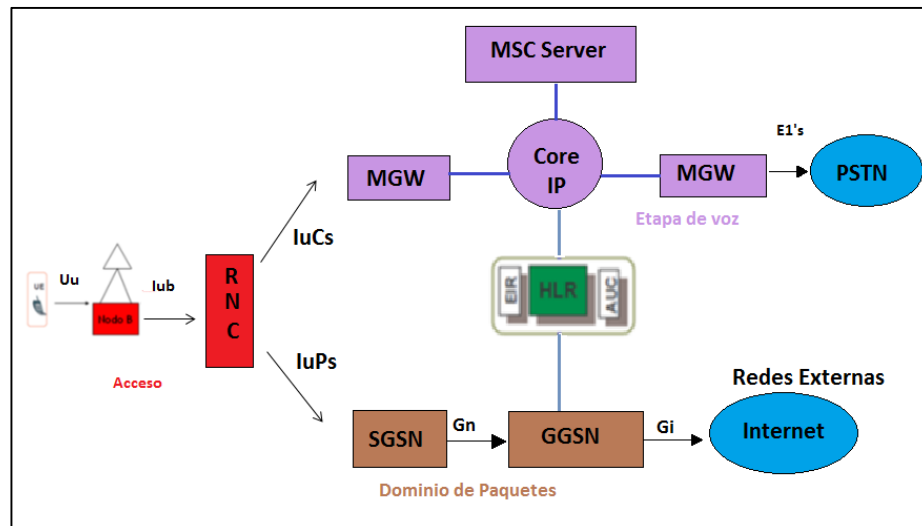


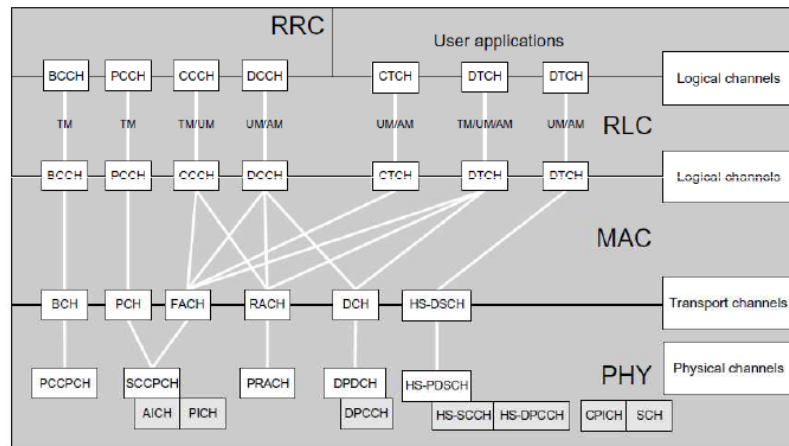
FIGURA 1-9: ARQUITECTURA UMTS

FUENTE [DUA2013]

### 1.3.1.3 Canalización/Interfaz Aire

La interfaz de aire entre el móvil y el *NodeB* es la que me permite la transmisión de datos y voz, por ello las técnicas de optimización se deben aplicar en esta interfaz para maximizar el uso de los recursos de radio limitados.

La tecnología HSPA+, ofrece mejoras tanto en capacidad como velocidad brindando el doble de velocidad de las tasas pico e incrementando la capacidad de los enlaces *downlink*, del mismo modo con el uso de la modulación 64QAM se aumenta de manera considerada las velocidades de transmisión, pero se es más sensible a la interferencia por lo cual se requiere un alto *SNR* para una exitosa demodulación. [QUA2009]



**FIGURA 1-10: CANALIZACIÓN UMTS**

FUENTE: [CHE2006]

La figura 1-10, muestra la canalización UMTS. Hay tres tipos de canales: los canales lógicos, de transporte y los físicos. Los canales lógicos definen el tipo de dato que se transfiere; es decir, los servicios de transferencia de datos ofrecidos por la capa MAC. Estos canales lógicos se utilizan en la interfaz por encima de la capa MAC. Los canales de transporte definen cómo y con qué tipo de características los datos se transfieren por la capa física. Estos canales son usados en la interfaz entre la capa MAC y la capa física. En comparación con GSM, los canales de transporte son un nuevo concepto. Los canales físicos definen las características físicas exactas de los canales de radio. Estos son los canales utilizados por debajo de la capa física (PHY); es decir, en la interfaz de radio. [CHE2006]

### 1.3.2 Arquitectura de Red de Femtoceldas

Como toda nueva tecnología, la estandarización de la arquitectura de red femtoceldas es un factor importante tanto para la aceptación en el mercado y la economía de escala. [DOU2009]

La arquitectura de red de las femtoceldas se basa en los sistemas de comunicación tradicional añadiendo nuevos elementos como HNB (*Home Node B*) y HNB-GW (*Home Node B Gateway*); por ello, permite su fácil integración con las arquitecturas de redes móviles existentes.

#### 1.3.2.1 Definición

Las femtoceldas son una estación base de baja potencia, basadas en las tecnologías móviles para ofrecer cobertura y capacidad en ambientes internos como empresas y hogares. Las femtoceldas permiten a los usuarios acceder a los



servicios tanto de voz como datos a través de una conexión de Internet de banda ancha que es aprobada y manejada por el operador móvil. [SAU2009]

### 1.3.2.2 Arquitectura de Red

La arquitectura de red de la femtocelda se basa en la arquitectura de la red UMTS introduciendo algunas mejoras de acuerdo a la necesidad de las funcionalidades de la femtocelda. La arquitectura se separa en dos partes, la red de acceso y el núcleo de la red. En la red UMTS, la red de acceso es conocida como UTRAN, mientras que la arquitectura de red de las femtoceldas lo denominará *HNB Subsystem*. [FAR2010]

La red de acceso define el uso de *Home Node B* (HNB) y *Home Node B Gateway* (HNB-GW) en lugar del *Node B* y *Radio Network Controller* (RNC), especificados en la arquitectura tradicional de la red UMTS. Así mismo; dentro de la red de acceso encontramos el HMS (*HNB Management System*), que posee muchas funcionalidades, como el descubrimiento del HNB-GW, verificación de la ubicación del HNB y la asignación de elementos para la red y el SeGW (*Security Gateway*), el cual se encarga de proveer protección contra ataques que pueden ocurrir cuando el móvil está expuesto al acceso de la red a nivel público. [FAR2010]

El núcleo de la red, mantiene los elementos y funcionalidades de la arquitectura de red UMTS.

En la figura 1-11, se muestra la arquitectura de red de las femtoceldas.

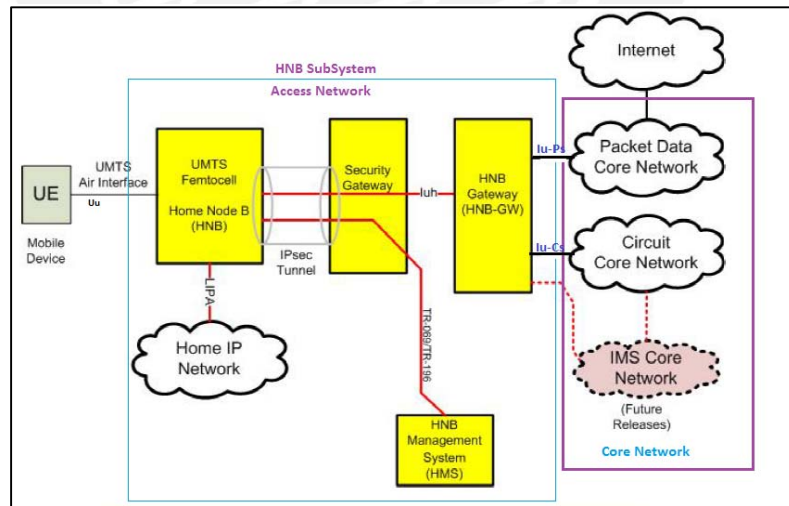


FIGURA 1-11: ARQUITECTURA DE RED DE LAS FEMTOCELIDAS

FUENTE: [DOU2010]

### 1.3.2.3 Ventajas y Desventajas

La razón más importante del despliegue de las femtoceldas es compensar la falta de cobertura. Esta nueva solución ofrece diversos beneficios, es una solución de bajo costo; puesto que, reduce los costos de instalación, operación y mantenimiento (CAPEX y OPEX) en comparación con las macroceldas que requieren un mayor costo de instalación y un adicional en costos de energía y *backhaul*. Las femtoceldas prolongan la duración de la batería del equipo, ya que el móvil requerirá menos potencia debido a que la distancia entre este y la estación base (*Home NodeB*) es menor; por esta misma razón la relación señal a ruido es mayor por lo cual el móvil poseerá mayor cobertura. Otro de los beneficios de las femtoceldas, es que hace un mejor uso y distribución de los recursos ya que sirven alrededor de 4 usuarios y tienen un radio menor de cobertura. Las macroceldas, por otro lado, poseen mayor área de cobertura y número de usuarios por lo cual resulta complicado brindar mejor calidad de servicio y distribución de recursos a todos los usuarios. [CHA2008]

El uso y despliegue de las femtoceldas posee también algunas desventajas. El manejo de la interferencia con la macrocelda es uno de los principales desafíos de esta solución debido a los problemas de radiofrecuencia generados por la distribución desigual de la potencia recibida, pues en el límite del área de cobertura de las femtoceldas es donde los usuarios experimentan mayor interferencia. Así mismo, se percibe la interferencia entre las femtoceldas lo que resulta un problema particularmente difícil debido a que utilizan el mismo canal de solapamiento lo cual puede afectar la calidad del servicio que se desea brindar. Otra de las desventajas de las *femtoceldas* es la calidad de servicio en el más amplio sentido de la satisfacción al usuario. La calidad de servicio se centra en la preocupación sobre la conexión a internet de banda ancha, este ancho de banda puede ser nominalmente disponible, ya que en algunos casos se mostraron que las conversaciones de voz fueron interrumpidas cuando se ejercen simultáneamente la conexión a Internet para descargas Web y vídeo. [ARU2013]

### 1.4 Estudios de RF

En este punto se desarrollará los estándares actualmente usados y los diferentes parámetros usados para la cobertura a nivel *indoor*.

#### 1.4.1 Estándares Internacionales

Los estándares permitirán a las diferentes tecnologías poder inter operar entre ellas, sin la existencia de los estándares la calidad y confiabilidad de los servicios no sería tan óptima como hoy en día. [GIAN2009]

El proceso de estandarización de las redes 3G ha tenido diferentes formas. Existen estandarizaciones regionales, como ETSI en Europa, ANSI en Norte América. Además hay estándares globales como ITU para 3G llamado International Mobile Telephony 2000 (IMT-2000), 3G Partnership Project (3GPP) and 3GPP2. [JAN2003] ITU, buscaba la armonización y convergencia en las redes 3G por ello decidió crear un marco llamado IMT-2000. Para este estándar global la interfaz de radio es el elemento más importante, ya que se necesita proveer un acceso universal para las diferentes redes 3G. Por otra parte, ETSI decidió seleccionar a WCDMA como el estándar para UMTS y del mismo modo en diferentes regiones del mundo empezaron diferentes actividades para la estandarización de la tecnología WCDMA. Por ello, para asegurar la compatibilidad de los equipos para 3G se decidió la creación de *3G Partnership Project* (3GPP). Los socios en 3GPP son ETSI (Europe), ARIB/TTC (Japan), CWTS (China), T1 (United States), y TTA (South Korea). Además, 3GPP se modificó para incluir especificaciones técnicas de GSM, así como GPRS y EDGE, que evolucionan de GSM como transición a 3G. Finalmente, para los intereses americanos y asiáticos en los sistemas 3G, sus organismos de normalización ANSI / TIA / EIA-41 empezaron la iniciativa para la creación de 3GPP2, que va en paralelo con 3GPP. [JAN2003]

#### 1.4.2 Cálculos de Enlace

Los cálculos de enlace o también llamados Link Budget es un punto importante que permite calcular la cobertura de una celda tomando en cuenta todos los factores que determinan la cobertura.

Existen diversos parámetros que afectan el cálculo de enlace como los siguientes: la potencia del transmisor, en este caso la potencia radiada por la femtocelda; las pérdidas de los cables y otros; ganancia de las antenas, en el caso que las antenas se encuentren integradas al producto la ganancia no es relevante; sensibilidad del receptor; interferencias con la macrocelda y otras femtoceldas públicas. Así mismo, existen otros factores que no pueden ser controlados pero que deben ser considerados en los cálculos de enlace como los factores de propagación y el ancho de banda del sistema. [BOC2011]

### 1.4.3 Bandas de Frecuencia

Las femtoceldas transmiten en ciertas bandas de frecuencia. Estas bandas de frecuencia se denominan bandas con licencia.

Se permite el despliegue de las femtoceldas en diferentes bandas de frecuencia; esto se deja en manos del operador móvil. La figura 1-12, muestra las bandas de frecuencias compatibles. Se debe tener en cuenta que la separación entre canales nominal sigue siendo 5 MHz con un *channel raster* de 200 KHz para todas las bandas. [BOC2011]

Operating Band	UL Frequencies UE Transmit, NodeB Receive	DL Frequencies UE Receive, NodeB Transmit
I	1920–1980 MHz	2110–2170 MHz
II	1850–1910 MHz	1930–1990 MHz
III	1710–1785 MHz	1805–1880 MHz
IV	1710–1755 MHz	2110–2155 MHz
V	824–849 MHz	869–894 MHz
VI	830–840 MHz	875–885 MHz
VII	2500–2570 MHz	2620–2690 MHz
VIII	880–915 MHz	925–960 MHz
IX	1749.9–1784.9 MHz	1844.9–1879.9 MHz
X	1710–1770 MHz	2110–2170 MHz
XI	1427.9–1447.9 MHz	1475.9–1495.9 MHz
XII	698–716 MHz	728–746 MHz
XIII	777–787 MHz	746–756 MHz
XIV	788–798 MHz	758–768 MHz

**FIGURA 1-12: BANDAS DE FRECUENCIA COMPATIBLES**

FUENTE: [BOC2011]

Para el caso de estudio las femtoceldas a usar trabajan en el rango de frecuencia de 1900/850 MHz. La razón del uso de estas bandas es debido a que en Perú se cuenta con la tecnología 3G en dichas bandas.

### 1.4.4 Indicadores de Desempeño

Para el despliegue y planificación de las diferentes soluciones de cobertura móvil existen diferentes parámetros que son usados para medir la calidad de la cobertura y la comunicación cuando se realiza una llamada. Estos parámetros varían dependiendo del tipo de red que se desea analizar, el caso de estudio serán los parámetros correspondientes a la red UMTS.

#### 1.4.4.1 RSSI

RSSI (*Received Signal Strength Indication*), es uno de los parámetros relevantes para UMTS. Es el nivel de potencia sobre toda la portadora de 5 MHz incluyendo todas las componentes recibidas, de la misma celda y de las adyacentes en la misma frecuencia. El valor se expresa generalmente en dBm (escala logarítmica) y los valores típicos son -100dBm para un nivel bajo de señal y de -60 dBm para un nivel de señal alto. [SAU2011]

#### 1.4.4.2 EcNo

Ec/No (*Energy chip on the Noise spectral density*), es la energía por chip recibida del canal piloto dividida por la densidad de potencia de ruido. En otras palabras, EcNo es el RSCP dividido por el RSSI. El mejor valor de EcNo, es cuando la señal se puede distinguir del ruido. El EcNo se puede utilizar para comparar la calidad relativa de la señal de las diferentes celdas en la misma frecuencia. [SAU2011]

#### 1.4.4.3 Otros parámetros

Existen otros parámetros que son importantes para UMTS como los siguientes:

- ✓ RSCP (*Received Signal Code Power*): es el nivel de potencia del CPICH (dBm). RSCP se puede utilizar, por ejemplo, para detectar los escenarios UMTS al borde de la celda donde ninguna celda UMTS vecina está disponible para mantener la conexión. [SAU2011]
- ✓ PSC (*Primary Scrambling Code*) mide el SC, que es el código de acceso múltiple en WCDMA, que domina en un punto y sirve para identificar el origen de la celda que da cobertura. Muchos PSC en una pequeña área incrementa la probabilidad de que se caiga una llamada. [DUA2013]
- ✓ TX Power, mide la potencia de transmisión del móvil al momento de que se está llevando a cabo una llamada. [DUA2013]
- ✓ CQI (*Channel Quality Indicator*) es un indicador provisto por una conexión remota, generalmente por el nodo B, que da información acerca de la calidad del canal que se mida. [DUA2013]
- ✓ *Throughput* mide la velocidad de descarga de datos efectiva que se alcanza en una sesión en UMTS. [SAU2011]



## Capítulo 2

### Análisis y Arquitectura de la Solución

En el presente capítulo se desarrollará el caso práctico que se resuelve en esta tesis. Así mismo, se darán los alcances y limitaciones del proyecto.

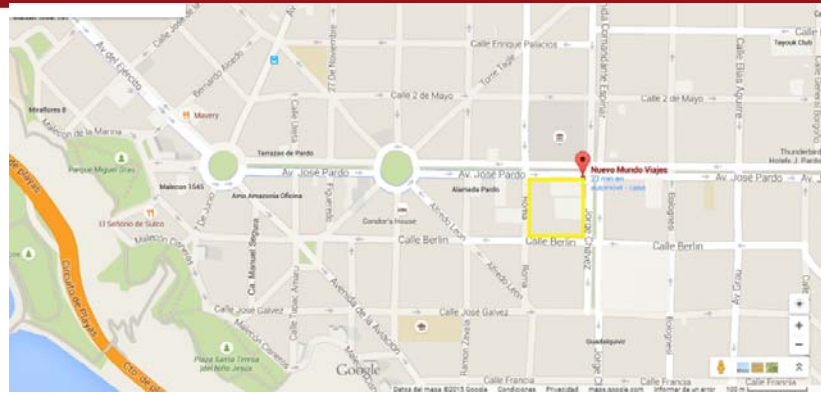
#### 2.1 Definición del Problema a Resolver

##### 2.1.1 Descripción del Caso

Se presenta como caso de estudio una reconocida Agencia de Viajes en Miraflores, la cual está ubicada en la Av. Jorge Chávez 154-162 y cuenta con dos edificaciones CEM I y CEM 2, es una empresa líder en turismo ofreciendo servicios de calidad para satisfacción de los clientes, obteniendo la mayor rentabilidad y participación del mercado. La agencia de viajes opera en el país desde el 05 de Mayo de 1979. Así mismo brinda servicios a más más de 850 empresas corporativas, 27 000 personas naturales, 1,100 agencias de viajes del Perú y la más exclusiva red de agencias internacionales. Actualmente, son 640 colaboradores. [NUE2015]



FIGURA 2-13: VISTA SUPERIOR DE LA AGENCIA DE VIAJES



**FIGURA 2-14: UBICACIÓN DE LA AGENCIA DE VIAJES**

Por ser una agencia de turismo, las personas que frecuentan el lugar se encuentran en el rango de edad entre los 13 y 60 años de edad aproximadamente. Este es el promedio de edad de cliente que realiza diferentes tipos de viajes, ya sea por vacaciones, diversión o trabajo. Así mismo, dentro de este rango de edad está incluido el personal que labora en la agencia de viajes. La agencia de viajes cuenta con dos edificaciones juntas, un edificio que es el área administrativa y otro edificio que es el área de atención al cliente.

Para el caso de estudio existen problemas de cobertura móvil a nivel interno en el edificio administrativo; por ello se dificulta la comunicación al intentar realizar llamadas telefónicas o envío de datos. Con la presencia de estos problemas, se está ante una situación en la cual el servicio de comunicación móvil se percibe defectuoso, lo que impide que la agencia de viajes realice de manera ideal sus funciones como lograr una comunicación eficiente con los usuarios. Así mismo, con esta coyuntura, el operador móvil no generará cobros ni ingresos para su beneficio ya que las llamadas no se llegan a concretar.

Debido a la cantidad de clientes que maneja la agencia de viajes es de total relevancia una comunicación continua y de calidad.



**FIGURA 2-15: UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES CERCANAS**

En la Figura 2-3, se muestra la ubicación de las estaciones bases más cercanas al caso de estudio. Sin embargo, pese que a las estaciones bases están relativamente cerca, en la agencia de viajes se presentan dificultades para una comunicación eficiente y de calidad. Como se sabe; Miraflores es un distrito empresarial y en el cual existen muchas edificaciones, siendo éste uno de los factores de los problemas de comunicación ya que las edificaciones son de concreto y vigas que atenúan la señal. Así mismo, por ser un distrito comercial y de gran afluencia de personas, las cantidades de tráfico que se cursan son mayores lo cual dificulta que se pueda atender la gran demanda. Para evaluar la distancia de las estaciones bases cercanas se realizaron mediciones de cobertura externa.





FIGURA 2-16: MEDICIONES HACIA LA ESTACIÓN PARDO



FIGURA 2-17: CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR HACIA LA ESTACIÓN PARDO

		Jorge Chávez 154 – CEM 2			
NOMBRE DE LA EMPRESA	AMBIENTES DE LA EMPRESA	Piso/Sótano	3G dato en Dbm	ECIO Solo 3G(dB)	Llamada 1 min. Procede en 3G?
AGENCIA DE VIAJES	Recepción - 1	1	-100	-13	Mala
AGENCIA DE VIAJES	Administración - 2	1	-100	-12	Mala
AGENCIA DE VIAJES	Sistemas - 3	1	-99	-14	Mala
AGENCIA DE VIAJES	Cuentas Comerciales - 4	1	-94	-16	Regular
AGENCIA DE VIAJES	Contabilidad - 5	1	-100	-10	Mala
AGENCIA DE VIAJES	Recepción - 6	1	-72	-11	Buena
AGENCIA DE VIAJES	Interagencias Counter - 7	1	-84	-14	Regular
AGENCIA DE VIAJES	Counter Administrativo Web – 8	1	-72	-10	Buena
AGENCIA DE VIAJES	Operaciones - 9	sótano 1	-104	-8	Mala
AGENCIA DE VIAJES	Administración - 10	sótano 1	-92	-14	Regular
AGENCIA DE VIAJES	Seguridad - 11	sótano 1	-90	-15	Regular
AGENCIA DE VIAJES	Data Center - 12	sótano 3	no	no	no
AGENCIA DE VIAJES	Reservas Interagencias - 13	2	-72	-12	Buena
AGENCIA DE VIAJES	Promociones - 14	2	-86	-12	Regular
AGENCIA DE VIAJES	Reservas - 15	2	-70	-9	Buena
AGENCIA DE VIAJES	Entrada - 16	1	-72	-10	Buena
Promedio			-87		

**TABLA 2-1: Niveles de Señal Edificio Jorge Chávez 154**

La figura 2-4, muestra los niveles de recepción de señal hacia la estación Pardo con lo cual se puede apreciar que aproximadamente el nivel de señal está alrededor de los -55 dBm siendo un nivel muy alto por encima de los -85 dBm requeridos. En comparación con el nivel de señal promedio recopilado al interior del edificio que es aproximadamente -87 dBm, se observa que la señal ha sido degradada y no se recibe con la misma calidad que a nivel externo (*outdoor*). Si bien los niveles de recepción externo son los adecuados, surge la interrogante del por qué se degrada tanto la señal. La Tabla 2-1, proporciona las medidas a nivel interno con lo que se puede apreciar que los niveles de EcNo son muy altos, con lo anterior mencionado se puede percibir que estamos en un caso de *Pilot Pollution*; es decir, que el número de celdas fuertes excede el tamaño de conjunto activo que normalmente es 3. Al haber más de una celda fuerte pese a que el nivel de RSCP es adecuado el móvil no podrá identificar la celda que lo va a servir y las otras celdas fuertes aumentarán la interferencia. Así mismo la degradación de la señal se produce por la presencia de muchas edificaciones cerca del caso de estudio.

Para ello, la figura 2-5 muestra un panorama de las características externas con lo que se puede concluir que la existencia de árboles frondosos y muchas edificaciones originan la atenuación y degradación de la señal a nivel interno pese que en este caso la estación servidora se encuentra a una distancia relativamente

cercana. Las mediciones para la estación Berlín y los niveles de señal promedio a nivel interno de la edificación se adjuntan en el Anexo de Análisis de distancia relativa de las Estaciones bases cercanas.

Con lo anteriormente mencionado, se observa que es difícil establecer comunicaciones para el caso de estudio. Por lo cual, se tomarán medidas para medir el nivel de señal que se percibe.

### **2.1.2 Mediciones Tomadas**

Se realizaron las mediciones correspondientes de cobertura móvil para poder evaluar el estatus actual de la Agencia de Viajes. Estas mediciones fueron tomadas como base y punto de comparación con las medidas luego del despliegue de la solución para poder elaborar conclusiones finales.

#### **2.1.2.1 Herramientas y métodos de medición**

Las herramientas utilizadas para el proceso de medición fueron dos, las cuales son JDSU y el eDat.

JDSU, consiste en una herramienta portátil de monitorización de red que ayuda a medir las zonas de cobertura usando un *smartphone* común. Con el uso de este software se realizan prueba de llamadas de voz, transferencia de archivos tanto de subida como de bajada. Para ello, se configuran en un script el tipo de prueba que se desea realizar. Para el caso de estudio se han configurado llamadas largas, llamadas cortas, descargas que luego son ejecutadas por el software en el celular de monitoreo. Así mismo, la aplicación acepta los planos de ubicación del sitio como formato JPG donde se indicará la ruta a seguir para tomar los valores actuales de cobertura. Luego de haber realizado las mediciones correspondientes, se almacena la información para luego ser procesada y analizada.



FIGURA 2-18: JDSU

Para el análisis de la información recopilada se usó el eDat (*Evolved Data Analysis Tool*), es un software que permite trabajar con la información tomada por el JDSU mostrando los resultados obtenidos para poder analizar el estatus actual de la cobertura. La figura 2.7 muestra la interfaz del programa.

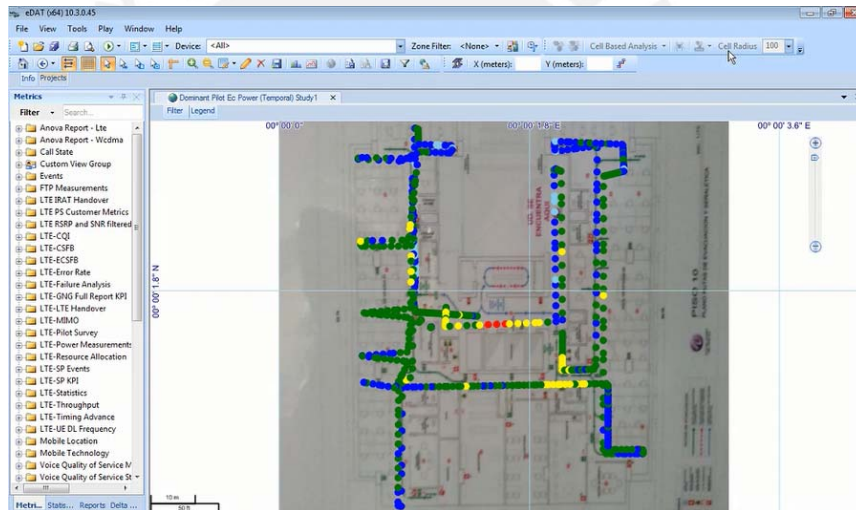


FIGURA 2-19: INTERFAZ eDAT

La elección del uso de estas herramientas es por la flexibilidad que ofrecen y debido a que son herramientas líderes en el mercado. La herramienta JDSU proporciona un equipamiento completo para llevar a cabo las mediciones ofreciendo una plataforma escalable y amigable para los tests. Así mismo, soporta la mayor cantidad de tecnologías en su plataforma, ya sea 2G, 3G o LTE. [EMI2013]

Por su lado, la herramienta eDat es también de plataforma escalable y acepta inputs de otras herramientas de análisis como JDSU, NemoHandy, TEMS y de la misma forma soporta todas las tecnologías; 2G, 3G y LTE. [CHE2010]

Las mediciones realizadas fueron tomadas en todos los pisos realizando un recorrido por áreas comunes.



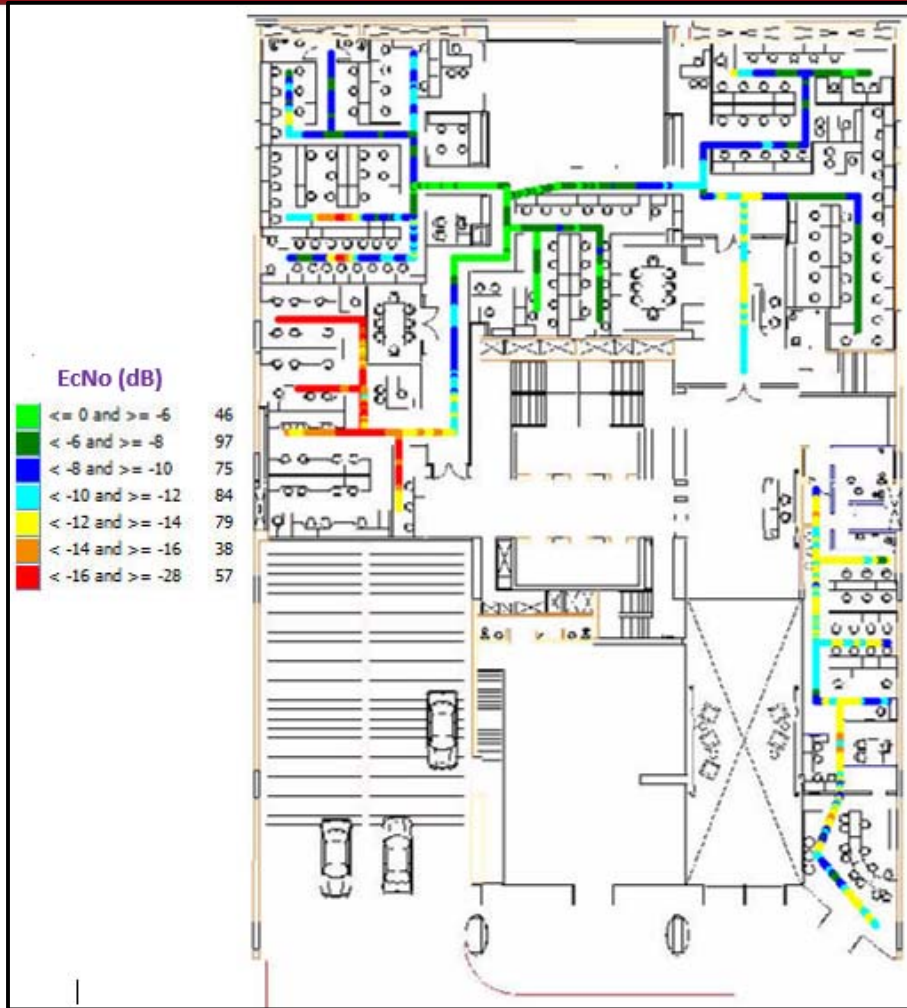
**2.1.2.2 Resultados e Interpretación**

Se presentan los resultados de la medición realizada a la Agencia de Viajes. Para el caso de estudio se tomaron medidas de los parámetros 3G; RSCP, EcNo y Scrambling Code.



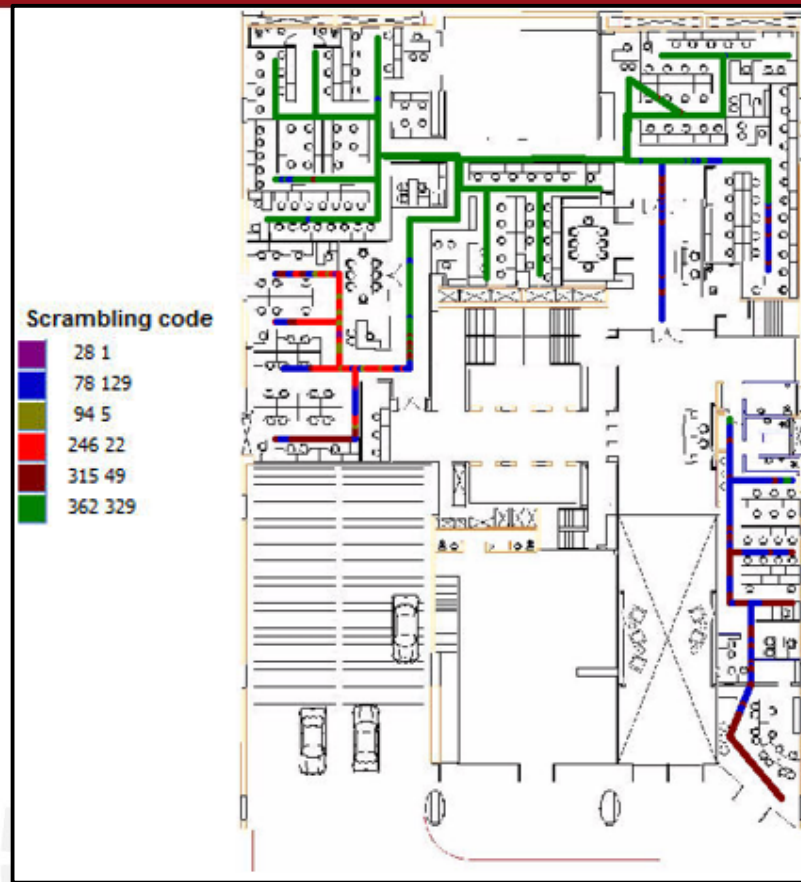
**FIGURA 2-20: NIVEL DE RSCP PISO 1 (CEM2)**

En la figura 2-8, se muestran los niveles de señal RSCP medidos. Los valores tomados indican un ambiente crítico, ya que la mayor parte de las muestras está por debajo del nivel requerido que es  $-85\text{dBm}$ . Con los resultados obtenidos de los niveles de RSCP se dificulta el establecimiento o continuidad de las llamadas.



**FIGURA 2-21: EcNo PISO 1**

La figura 2-9 muestra los niveles de EcNo, se aprecia que aproximadamente solo el 10% de las muestras está por encima de los -6dB, que se considera valores con menos interferencias en la comunicación. Debido a que la mayor parte de las muestras está por debajo del valor indicado, se verá afectada la calidad de la comunicación.



**FIGURA 2-22: SCRAMBLING CODE PISO 1**

La figura 2-10 muestra los *scrambling code* medidos, medición que permitirá identificar a la celda o nodo que está sirviendo. Por cada tipo de celda que esté sirviendo se tendrá un *handover*. En este caso se observa más de 3 nodos que están sirviendo lo cual perjudica la calidad de la llamada originando cortes debido a la presencia de múltiples *handovers*.

Las medidas que se muestran corresponden a los pisos en los cuales se presentan mayores problemas de cobertura móvil. Las mediciones de los otros pisos se adjuntan en el Anexo de Mediciones Previas.

## 2.2 Alcances y Limitaciones de la Tesis

La presente tesis presenta el estudio y la implementación de la mejora de la cobertura móvil para la tecnología 3G en la reconocida Agencia de Viajes de Miraflores. Para ello, se eligió femtoceldas como solución de cobertura *indoor*.

El estudio permitirá brindar cobertura al interior de los edificios administrativos (denominados CEM I y CEM II) de la Agencia de viajes, priorizando los ambientes en los cuales la calidad de cobertura móvil es crítica. Se realizarán simulaciones de

cobertura y la verificación de la misma luego de la implementación de las femtoceldas. Así mismo, se realizará la implementación de *splitters* y antenas con el respectivo cableado.

Para la tecnología a implementar que será 3G, el objetivo de la solución es lograr un área de cobertura con un nivel de RSCP mayor que -85 dBm, un  $E_c/N_0$  mayor o igual a -6 dB. Del mismo modo, luego de la puesta de la solución se debe tener que el área de cobertura del *Scrambling Code* debe ser el brindado por las femtoceldas. El servicio móvil es brindado por el operador el cual proporcionará el servicio a través de fibra óptica que será conectado al sistema de femtoceldas. La instalación de la fibra óptica no es motivo de análisis en la tesis, ya que es implementado por parte del operador.

### 2.3 Propuesta de la Arquitectura de la Solución

Como se mencionó anteriormente la solución de cobertura *indoor* a utilizar es por medio de femtoceldas. Se optó por este tipo de solución ya que se sabe que las femtoceldas tienen un área de cobertura menor y para el caso de estudio se está ante un ambiente empresarial con ambientes pequeños con lo cual este tipo de solución se ajusta al tipo de mejora que se requiere. En el capítulo anterior se describió que existen dos soluciones de cobertura *indoor*, las cuales son los repetidores y redes RF.

Los repetidores, amplifican la señal para dar cobertura en el interior. El punto en contra de los repetidores es que solo retransmiten la señal externa, la cual puede ser atenuada por la edificación y seguir manteniendo los problemas previos a la implementación de la solución.

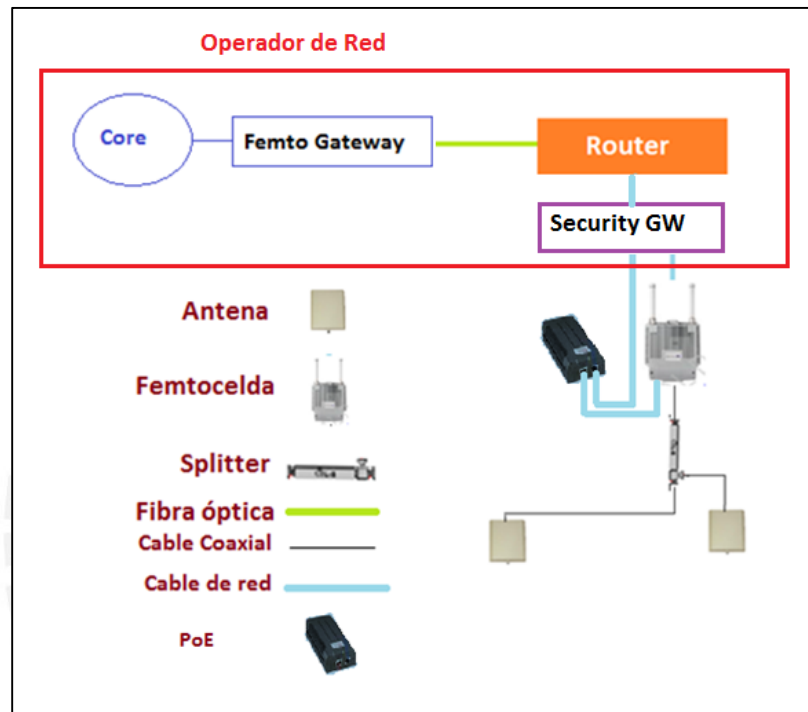
Por otro lado, las redes RF serían otra alternativa pero se generaría uso ineficiente ya que este tipo de solución abarca un área mayor de cobertura y el caso de estudio presenta áreas menores implicando así mismo mayores recursos de despliegue.

La solución *indoor* con femtoceldas permite brindar cobertura interior a distancias menores así mismo permite solucionar uno de los problemas de las redes 3G que es la saturación del espectro de frecuencia. Con las femtoceldas, se puede reutilizar el espectro disponible. Esta solución se ajusta mejor a nuestro caso de estudio, ya que como se mencionó anteriormente los ambientes de la empresa son pequeños; del mismo modo, permite ventajas económicas de corto y largo plazo al poseer bajos CAPEX y OPEX. Lo mencionado será corroborado con los resultados finales.



### 2.3.1 Arquitectura de la Solución

La solución indoor a implementar brindará cobertura de la tecnología 3G. Para el caso de estudio la señal que proviene de la red principal del operador llegará a un *router* a través de fibra óptica. Desde el *router* se distribuirá la señal a las femtoceldas por medio de cables de red. De las femtoceldas, las señales serán transportadas a través de los *splitters* hacia las antenas que brindarán cobertura al lugar.



**FIGURA 2-23: ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN**

En la figura 2-11 se aprecia la gráfica de la arquitectura de la solución que se tendrá para el caso de estudio. El número de femtoceldas y antenas mostradas es referencial. La cantidad precisa del número de equipamiento y cableado correspondiente se conocerá cuando sea realizado el diseño y las respectivas simulaciones de cobertura.

### 2.3.2 Tecnología de la Solución

Previo al inicio de la etapa de diseño es necesario detallar en qué consiste la tecnología de la solución y la función de cada bloque.

#### 2.3.2.1 Femtoceldas

Las femtoceldas desempeñan una función importante del bloque de arquitectura presentado anteriormente pues es una estación base. Las funcionalidades que

tradicionalmente estaban en el RNC de la arquitectura UMTS han sido trasladadas a las femtoceldas y el *FemtoGW* (*femto gateway*). Esta unidad será la encargada de proveer la cobertura en el lugar, ya que incorporan el NodoB y el RNC en un solo elemento de red. Estas femtoceldas son de baja potencia, bajo costo y corto alcance que operan en un espectro con licencia. [ALU2012]

Las femtoceldas recibirán la señal de la red principal del operador de un *router*, desde el cual irán las conexiones hacia las femtoceldas por medio de cables de red.

### 2.3.2.2 FemtoGW

Es el elemento central de la red, permite la movilidad, operación, administración y mantenimiento de los UE. Esta unidad será la encargada de realizar el protocolo de señalización y en algunos casos el soporte de los canales de conversación (voz o video). Así mismo realiza funciones de seguridad protegiendo a la red de ataques externos. El femtoGW consta de tres partes: *BSR Signaling Gateway* (BSG), es el encargado de llevar la señalización entre las femtoceldas y los elementos del core de la red; *BSR Voice Gateway* (BVG), es el que maneja la conmutación de circuitos de voz del protocolo RTP (*Real Time Protocol*) y finalmente tenemos *BSR Packet Gateway* (BPG), es el encargado de manejar la conmutación de paquetes usando el protocolo GTP (*GPRS Tunneling Protocol*). [ALU2012]

### 2.3.2.3 Security Gateway

Es el elemento de la arquitectura encargado de ofrecer seguridad en la conexión IP entre la femtocelda y el core de la red. Esto lo realiza gracias a que se usan túneles IPSec para la señalización de control y los medios de comunicación entre el *Femto gateway* y el *Security Gateway*. El *Security Gateway* es el elemento indicado para proteger a la red de ataques. [BOC2011]

### 2.3.2.4 Red de Transporte

La red de transporte es parte esencial de la arquitectura, ya que de ella depende de que llegue la señal de la red. Para el caso de estudio se usa como red de transporte la fibra óptica la cual llegará hacia el *router*, ya que las femtoceldas están basadas en IP el *router* será el encargado de distribuir por medio de cables de red las conexiones a las mismas.

Así mismo, en la arquitectura de la solución se aprecia la conexión de antenas a través de cable coaxial. Para ello se realiza el uso de *splitters* que son los elementos pasivos encargados de dividir la potencia de la señal para generar bifurcaciones en el tendido de cable hasta llegar a abastecer de señal a todas las

antenas. [DUA2013] Los *splitter* a usar serán simétricos, ya que dividirán la señal equitativamente y serán los encargados de dosificar la potencia que llegue a cada antena.

Finalmente, se tiene los inyectores PoE que son los encargados de proporcionar la energía a la femtocelda. Los inyectores PoE irán conectados hacia el router y luego hacia las femtoceldas.

## Capítulo 3

### *Diseño e Implementación de la Solución*

Este capítulo trata sobre el diseño, la implementación y el desarrollo de la solución en base a la información recopilada en el capítulo 2, en el cual se definió la problemática, se hizo un análisis de la situación actual y se propuso la solución.

#### **3.1 Equipamiento a Utilizar**

En el capítulo anterior se definieron los elementos de la arquitectura de la solución *indoor* en base a femtoceldas y la manera en que se interconectan. Así mismo se describieron las funcionalidades de estos elementos, los equipos involucrados tienen diferentes versiones y fabricantes que involucran su desempeño y costo; por ello es necesario definir qué equipos serán usados acorde a las necesidades de la solución.

Para el desarrollo de la solución se usarán femtoceldas que trabajan en las bandas de frecuencias de 1900/850 MHz, las cuales soportan la tecnología 3G. Para este tipo de caso de estudio se utilizan una combinación de modelos, en los cuales se toma en consideración la potencia de transmisión, las bandas de operación y la capacidad de usuarios que pueden soportar. Acorde a las investigaciones realizadas sobre los diferentes tipos de soluciones en el mercado y el estado del arte de la tecnología se definen 2 modelos, el modelo-A y modelo-B. Ambos modelos son comunes a muchos *vendors* existentes en el mercado de las femtoceldas.

Las soluciones que encajan en el modelo-A poseen alrededor de 320 mm de alto, 230 mm de ancho y 50 mm de profundidad; una potencia máxima de transmisión alrededor 500 mW y consumo máximo de 25 Watts. Y las soluciones dentro del modelo-B poseen aproximadamente 150 mm de alto, 200 mm ancho y 60 mm profundidad; una potencia máxima de transmisión alrededor de 100 mW y un consumo alrededor de 10 Watts.

Entre las soluciones existentes en el mercado de las femtoceldas tenemos las de Alcatel-Lucent, Nokia, Ericson, Huawei, Samsung, Cisco, entre otros. Si bien los modelos escogidos son equivalentes a los *vendors* existentes, la experiencia del mercado muestra que las femtoceldas Alcatel-Lucent son las mejores recibidas debido a su flexibilidad y la potencia que sus productos ofrecen a los operadores,

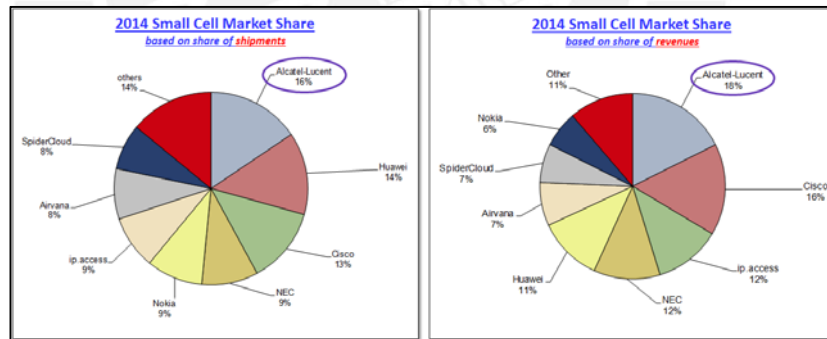
además tiene las soluciones de femtoceldas más diversas y completa que cubre todos los aspectos de la red de femtoceldas y requisitos de los diferentes operadores del mercado. [RYS2013] Es por este motivo que se utilizan los modelos 9363 y 9361 de Alcatel-Lucent para la presente tesis.

La tabla 3-1, muestra el análisis realizado a las soluciones de femtoceldas existentes que encajan en el modelo-A y B respectivamente para los diferentes *vendors* con mayor presencia en el mercado como son Alcatel-Lucent, Ericson, Huawei y Nokia.

	Modelo-A	Modelo-B
Alcatel-Lucent	9363: potencia máxima de transmisión de 250mW, peso menor a 2Kg. Soporta tecnología 3G. <i>Power over Ethernet</i> (PoE)	9361: Soporta tecnología 3G. Potencia máxima de 100 mW. <i>Power over Ethernet</i> (PoE)
Ericsson	RBS 6401: soporta tecnología 3G, posee potencia de 2x1W. <i>Power over Ethernet</i> (PoE)	RBS 6402: soporta tecnología 3G. <i>Power over Ethernet</i> (PoE). WiFi integrado.
Huawei	LampSite: Soporta tecnología 3G. Potencia de 2x125mW. <i>Power over Ethernet</i> (PoE). WiFi integrado.	AtomCell: Soporta tecnología 3G, posee una potencia de transmisión de 2x125mW. <i>Power over Ethernet</i> (PoE)
Nokia	Flexi Zone Indoor Pico BTS: soporta tecnología 3G y LTE. Potencia de transmisión de 2x250mW, peso menor a 2.2Kg. <i>Power over Ethernet</i> (PoE)	3G Femto Access Point: Soporta tecnología 3G. <i>Power over Ethernet</i> (PoE)

**TABLA 3-1: SOLUCIONES EN EL MERCADO DE FEMTOCELDAS PARA MODELO-A Y MODELO-B**

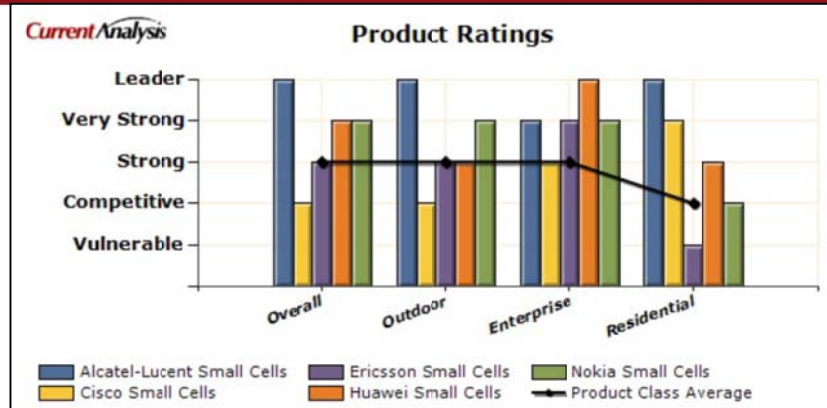
Un análisis del *Market Share* en el último año muestra el liderazgo de las femtoceldas Alcatel-Lucent como se muestra en la figura 3-1.



**FIGURA 3-24: REPORTE MARKET SHARE FEMTOCELDAS**

FUENTE: [ABI2015]

La figura 3-2, muestra un análisis de los diferentes *vendors* en el mercado.



**FIGURA 3-25: ANÁLISIS DE VENDORS EN EL MERCADO**

FUENTE: [CUR2015]

En cuanto a la energía, será proporcionada por los inyectores PoE PD-9001-40 SP de la marca *PowerDSine*, los cuales poseen 87.9 mm ancho, 43 mm altura y 166 mm de profundidad. Permite transferencia de datos de 10/100/1000 Mbps y funciona a una temperatura de -10 a 45°, con un voltaje de alimentación de 100-240 Vac y un peso de 0.4 Kg.

El cable coaxial elegido para la implementación de la solución es el cable SCF12-50J del fabricante RFS, se optó por esta elección debido a las bajas pérdidas. Este cable es de ½" de diámetro

Los splitters a utilizar serán los modelos PDC2E de 2 vías del fabricante RFS, de conector *N - Female* y que operan en el rango de frecuencias desde 698 a 2700 MHz., lo cual satisface la banda de frecuencia que se utilizan para la tecnología 3G a implementar.

Finalmente, tenemos las antenas para lo cual se usarán dos tipos que son antenas panel y antenas omnidireccionales. Las antenas panel serán I-ATP1, las cuales poseen 7 dB de ganancia para la banda 850 y 10 dB para la banda 1900, las antenas omnidireccionales serán I-ATO1, que tendrán 2 dB de ganancia para la banda 850 y 5 dB para la banda 1900. Ambos tipos de antena son del fabricante RFS. Su elección va acorde a las frecuencias de operación que en nuestro diseño se requiere y a la cual estas antenas operan.

La información técnica correspondiente a los equipos y marcas seleccionadas se adjunta en el Anexo de equipos.

### 3.2 Diseño de la Solución

Una vez definido el equipamiento a utilizar es posible llevar a cabo el diseño de la solución. Para ello es necesario definir la ubicación de los equipos, las predicciones

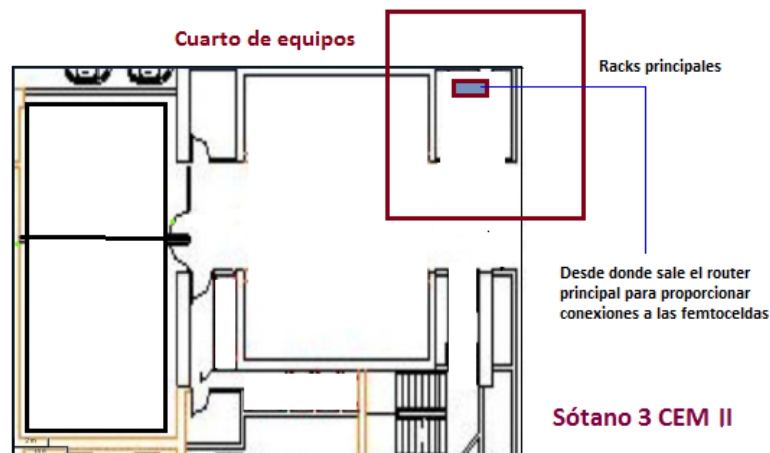


de cobertura, los cuadros de potencia, los diagramas unilineales y el alcance económico de la solución a implementar.

### 3.2.1 Arquitectura y Ubicación de Equipos

Luego de la visita técnica realizada y la evaluación y reconocimiento de la infraestructura interior verificando las dimensiones de las paredes, muros, *drywalls* y posibles ubicaciones de canaletas por las cuales pasarán los cables. En coordinaciones con la administración del lugar se dispuso los lugares en los cuales era posible realizar las instalaciones. Una vez conocida las posibles ubicaciones de los equipos se realizaron la elección de aquellos que estén céntricos y cerca de las interconexiones de cableado entre los pisos con la finalidad de poder reducir la cantidad de cables entre equipos.

La ubicación del *router* principal, del cual se distribuyen las conexiones a las femtoceldas estará en el cuarto de equipos del sótano 3 del edificio CEM II como se muestra en la figura 3-3. La ubicación del mismo, se realizó para aprovechar conexiones existentes y dado que es un lugar adecuado para equipos principales, los cuales por pertenecer al cuarto de servidores tendrán un acceso restringido al uso y manejo de los equipos.



**FIGURA 3-26: UBICACIÓN DEL ROUTER PRINCIPAL DE DISTRIBUCIÓN DE CONEXIÓN A LAS FEMTOCELDAS**

Una vez definida la ubicación de los equipos principales se procede al diseño de la solución, en el cual se definirá la ubicación de las femtoceldas y las antenas con sus respectivas zonas de predicción de cobertura.

### 3.2.2 Predicciones de cobertura

Para la elaboración del diseño de la solución se utilizó el software *iBwave Design Standard* versión 6.5. Este software es el más completo disponible para el diseño de redes *in-building*, agilizando el proceso de recopilación de datos, la selección de componentes, diseño y otros. Así mismo, tiene mucha precisión ya que permite modelar la infraestructura sobre la cual se va a trabajar considerando altura de los ambientes, grosor de paredes y materiales de otras estructuras presentes.

En primer lugar, se realizará el modelado del lugar de la agencia de viajes, en el cual se considerarán todas las características de la infraestructura como son grosor de las paredes, tipo de material, existencia de *drywalls* y toda la información recopilada en la visita técnica de la evaluación del lugar. Luego de indicar todos los parámetros de la infraestructura el software proporciona una vista 3D del lugar, como se muestra en la figura 3-4 y figura 3-5.

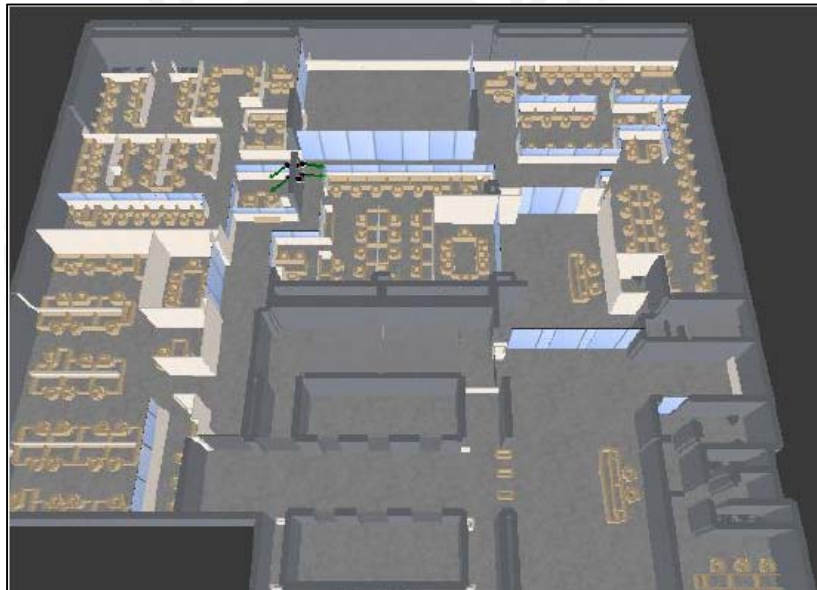
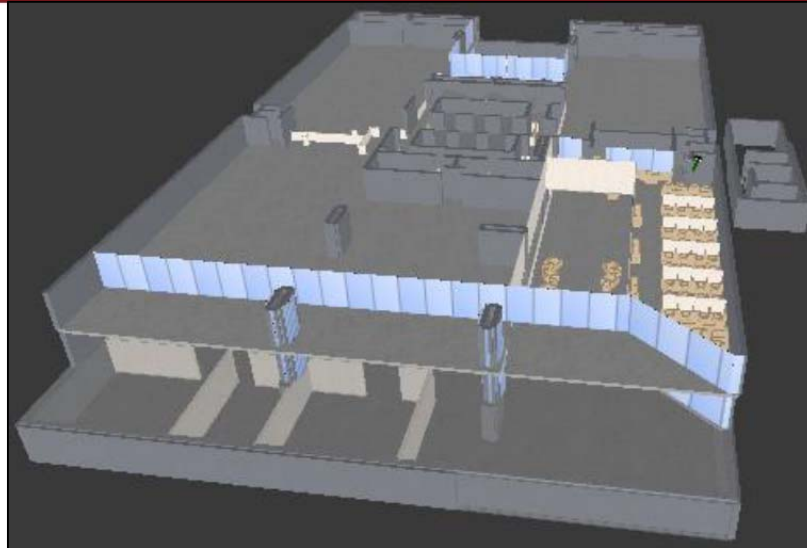


FIGURA 3-27: VISTA SUPERIOR 3D DE LA AGENCIA DE VIAJES



**FIGURA 3-28: VISTA 3D DE LA AGENCIA DE VIAJES**

Gracias al modelado realizado, el software será capaz de identificar las infraestructuras internas que afecten la propagación de la señal. Luego del modelado, se realiza la ubicación de las antenas y femtoceldas; para ello, se debe considerar la ubicación de los equipos principales que se definieron en el punto 3.2.1 y de esta forma poder analizar cómo llegará el cableado hacia las antenas y la distribución de los *splitters*. Así mismo, se debe considerar que la señal quede en el interior y no se propague hacia afuera ya que esto origina que los móviles que transitan al exterior se puedan ver interferidos, para ello se hace uso de antenas altamente directivas. Con lo mencionado se debe asegurar que se cumplan lo descrito en el punto 2.2.

Con las consideraciones mencionadas se realiza el diseño de la solución.

### 3.2.2.1 Objetivos

Luego del modelado realizado el software da como resultado las predicciones de cobertura; sin embargo, esta configuración resulta difícilmente satisfactoria la primera vez.

Se tiene como objetivo poder mejorar las áreas que tienen cobertura crítica y baja calidad de llamada; así mismo, se busca alcanzar los objetivos descritos en el punto 2.2. Por ello, es necesaria más de una configuración que sea la más acorde a los requerimientos de la solución.

### 3.2.2.2 Predicción de cobertura – Diseño para 3G

A continuación se presentan las predicciones de cobertura que brinda el software de diseño, se mostrará las predicciones del Piso 1 del Edificio CEM 2 y el resto de predicciones serán presentadas en el Anexo de Predicciones de cobertura.

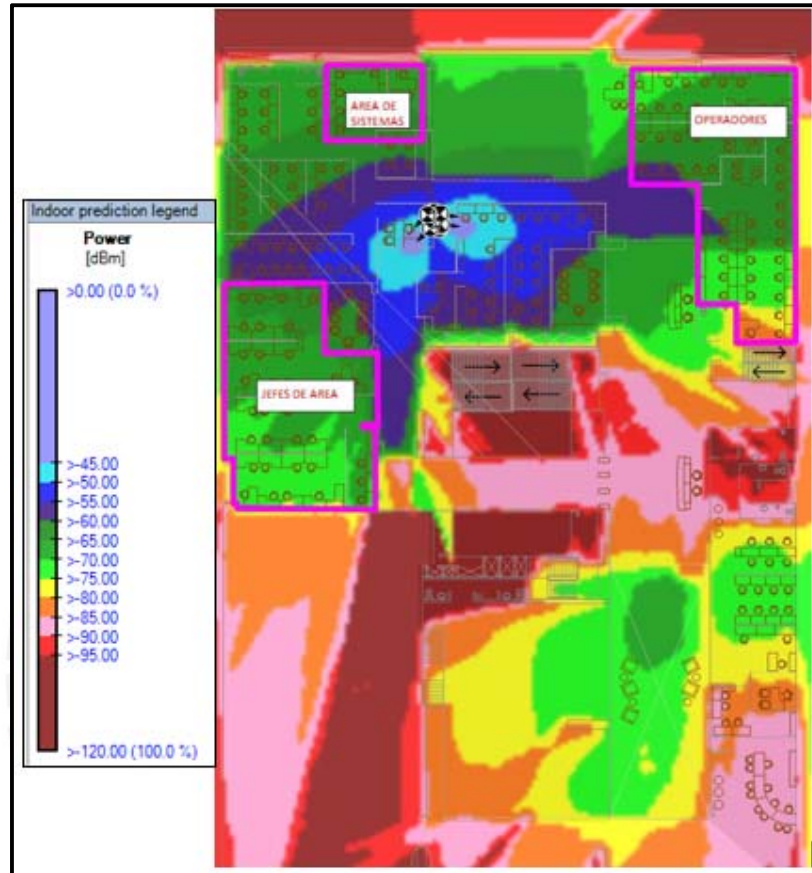
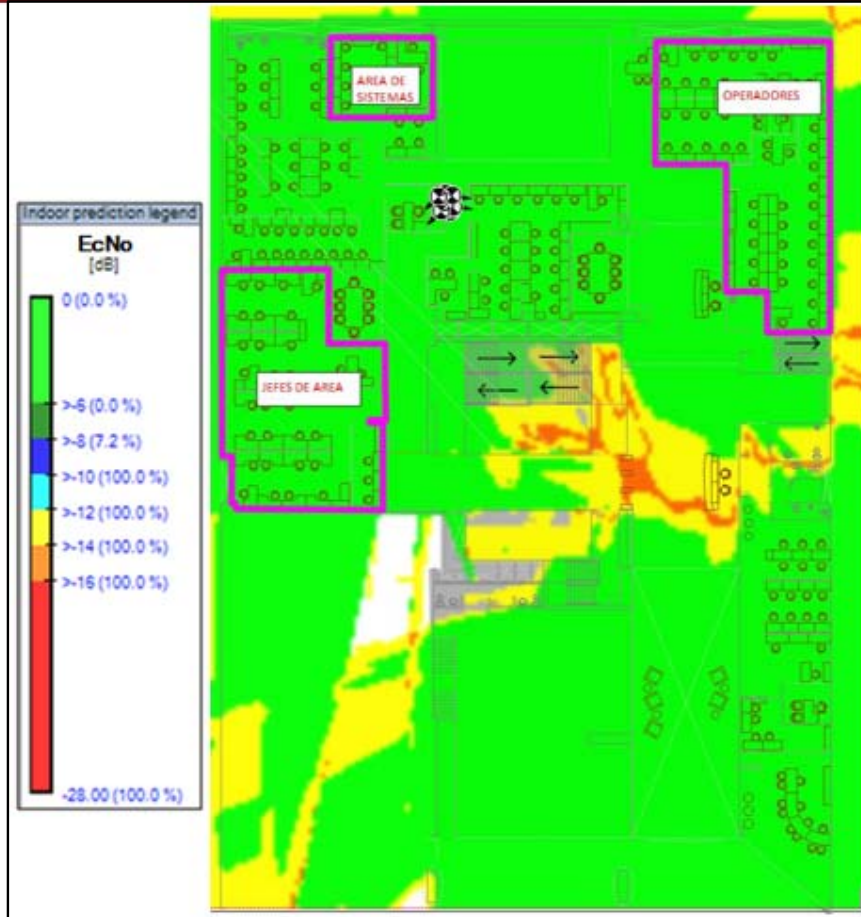


FIGURA 3-29: NIVEL DE RSCP



FIGURA 3-30: BEST SERVER





**FIGURA 3-31: NIVEL EcNo**

Se observa que en la figura 3-6 los niveles de señal son mejores, pues se muestran niveles superiores a -85 dBm, cubriendo de manera satisfactoria el área requerida. En la figura 3-7 se muestra la predicción de cobertura del *Best Server*, en este caso se tiene dominancia de un solo servidor para el área requerida lo cual es beneficioso, ya que se garantiza la dominancia y se mitiga la interferencia. Así mismo, la figura 3-8 muestra las predicciones del EcNo y se observa que se logra mejorar considerablemente la interferencia. A continuación, se muestran los resultados luego del diseño de la solución.

### 3.2.3 Cuadros de Potencias del Diseño

Como se mencionó anteriormente en el punto 1.4.2, los cálculos de enlace son un punto importante para poder calcular la cobertura de una celda considerando todos los factores que afectan y favorecen la cobertura. En el *Link Budget* o cálculo de potencia permite calcular las pérdidas y ganancias en la red para determinar la potencia real irradiada.



El software IBW Design descrito para el diseño de la solución facilita todas estas tareas, ya que luego de realizar las predicciones de cobertura genera el cálculo de potencia con lo cual se puede identificar los lugares en los cuales la potencia irradiada no es óptima. Se resalta que el software de diseño realiza los cálculos de potencia asumiendo una potencia de salida de los equipos de 30 dBm referenciado a 1 miliwatt. [DUA2013]

La tabla 3-2 muestra el cuadro de potencia del diseño para la tecnología implementada, 3G. Para el cálculo de potencia el software ha tomado parámetros como atenuaciones en cables y *splitters* y ganancia de las antenas. Con dichos parámetros, realiza el cálculo de la potencia irradiada finalmente por la antena.

Se observa que las antenas 6,7 y 8 tienen una potencia irradiada baja, esto se debe a que son omnidireccionales se busca que su potencia irradiada no sea alta para de eso modo no irradiar hacia afuera, ya que solo se requiere irradiar potencia al interior del edificio.

### 3.2.3.1 Cuadro de Potencias 3G

Antena	Source	Pérdida por splitters		Pérdida por cable		Salida del Sistema (dBm)	Ganancia Antena (dB)	Potencia Irradiada (dBm)
		Pérdida(dB)	Longitud(m)	Pérdida(dB)				
A1	Fem1	-3,3	0,25	-0,46	7	7	10,24	
A2	Fem1	-3,3	0,71	-0,5	7	7	10,2	
A3	Fem2	0	0,47	-0,25	0	7	6,75	
A4	Fem3	-3,3	0,5	-0,27	7	7	10,43	
A5	Fem3	-3,3	0,57	-0,29	7	7	10,41	
A6	Fem4	0	0,23	-0,22	0	2	1,78	
A7	fem5	-3,3	14,08	-1,9	5	2	1,8	
A8	fem5	-3,3	17,48	-2,24	5	2	1,46	

**TABLA 3-2: CUADRO DE POTENCIA**

### 3.2.4 Diagramas Generales de la Solución

#### 3.2.4.1 Vista de Distribución Frontal

Una vez realizado el diseño en el software *IBW Design*, éste proporciona un diagrama unilineal de la solución completa. Así mismo se detallan los equipos y cantidades usados. Las figuras 3-9 y 3-10 muestran el diagrama completo de la solución.

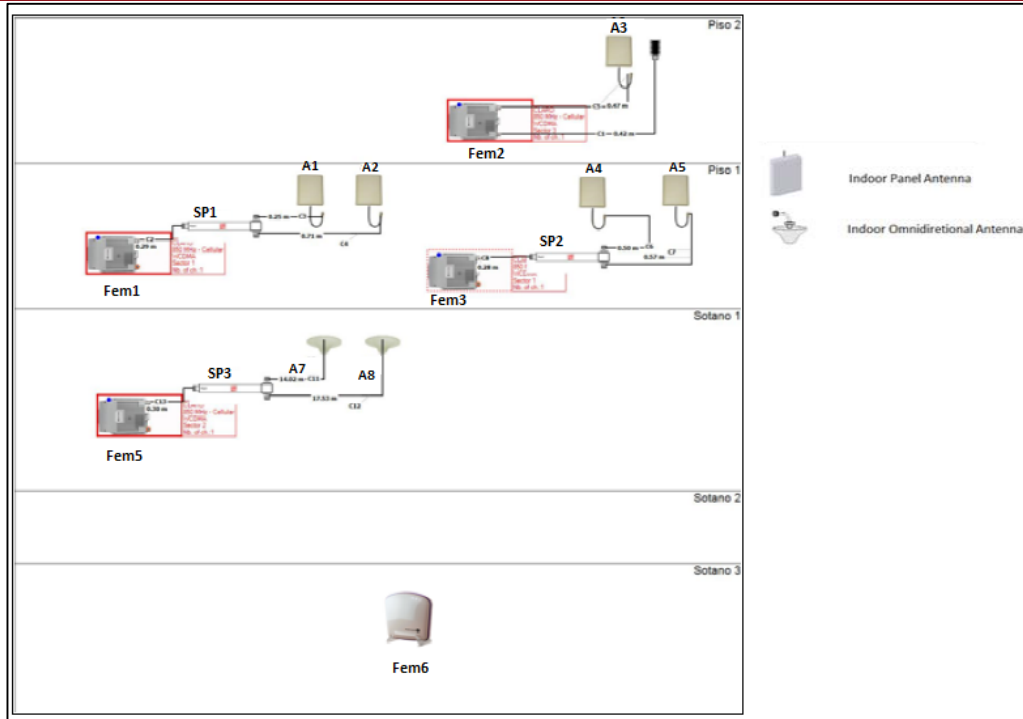


FIGURA 3-32: DISTRIBUCIÓN FRONTAL DEL EDIFICIO CEM 2

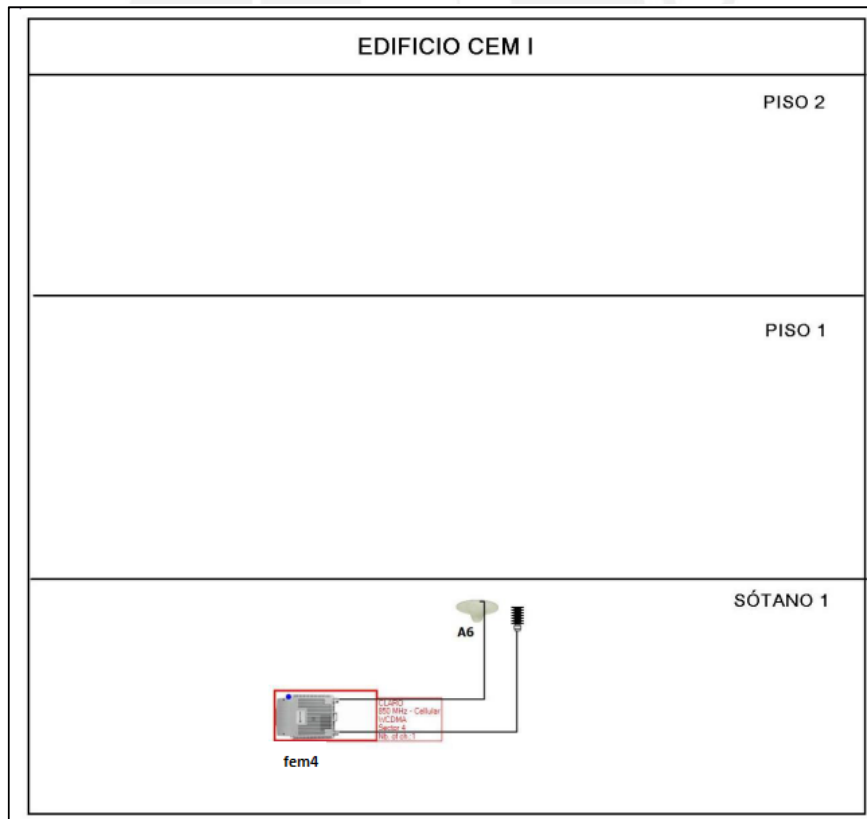


FIGURA 3-33: DISTRIBUCIÓN FRONTAL DEL EDIFICIO CEM 1

### 3.2.4.2 Diagrama de Unilineal Eléctrico

Luego de conocer la distribución de las antenas y las femtoceldas se debe tomar en cuenta el energizado de la solución.

A continuación la figura 3-11 detalla cómo será proporcionada la energía al sistema. Se aprecia que la energía es proporcionada por un inyector PoE, este inyector es conectado al *router* y finalmente conectado a la femtocelda. Cada femtocelda del modelo-A será alimentada con energía a través del PoE, ya que no existen puntos de energía cercanos en la ubicación que se encuentran. Para la femtocelda del modelo-B sí se cuenta con punto de energía cercano; por lo cual, no requerirá inyector PoE.

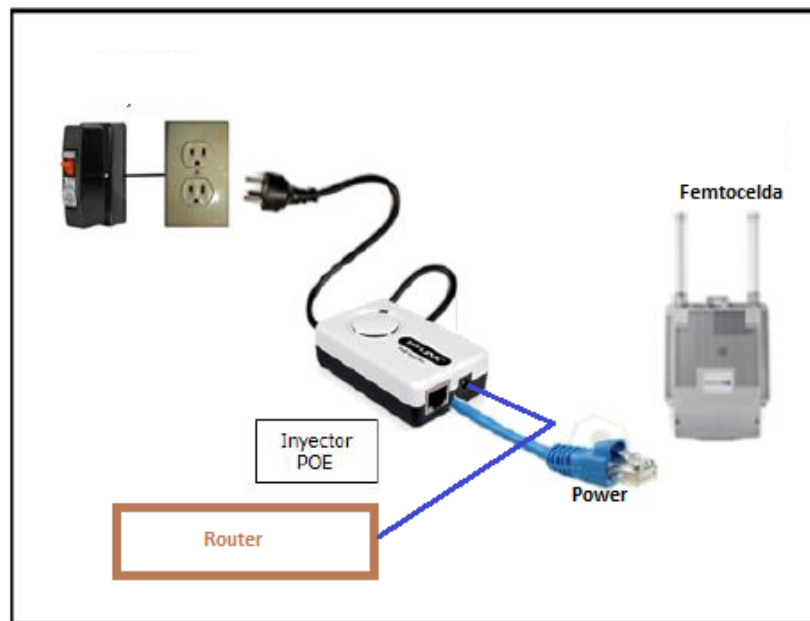


FIGURA 3-34: DIAGRAMA ELÉCTRICO

### 3.2.4.3 Listado de materiales

Una vez finalizado el proceso de diseño mediante el software *IBW Design*, este proporciona en un cuadro los materiales a utilizar y su cantidad. Así mismo, es necesario precisar que la lista de materiales no es completa, ya que no considera cajas de paso, tubos *conduit*, etc. La tabla 3-3, muestra la lista de materiales proporcionada por el software, esta lista permite estimar la cantidad mínima necesaria de materiales para poder elaborar un presupuesto aproximado de la solución a implementar.

Equipo	Modelo	Descripción	Unid.	Cantidad
Antena	I-ATO 1-698/2700	Antena Omnidireccional indoor para CDMA, GSM, DCS, PCS, 3G amd WLAN - 698-960 MHz/ 1700-2700 MHz	Und	3
Antena	I-ATP 1-800/2700	Antena panel indoor 800- 960 MHz / 1710-2500 MHz / 2500-2700 MHz - N- Hembra	Und	5
Ateanador	N-TER-01	Terminación 1 Watt - N Macho	Und	2
Cable	SCF12 - 50JFN	CellFlex 1/2" Cable coaxial superflexible	Mts	39.84
Conector	NM-SCF12-002	Nmacho OMNI FIT Conector para SCF/RSF12-50 Cable	Und	26
Radio Transceiver	9363 Indoor WCDMA	250 mW RF Output - UMTS 9363 Indoor V2 1900/850 MHz	Und	5
Radio Transceiver	9361 Indoor WCDMA	100 mW RF Output - UMTS 9361 Indoor V2 1900/850 MHz	Und	1
Splitter	PDS2E - 698/2700	Dos vías, 698/2700 MHz - Conectores N	Und	3

**TABLA 3-3: LISTA DE MATERIALES**

### 3.3 Consideraciones de la Instalación

Una vez realizado el diseño de la solución, se pasa a la siguiente etapa que es la implementación o instalación acorde al diseño elaborado. Antes de iniciar esta etapa es necesario tener algunas consideraciones importantes en cuanto a la infraestructura.

En las visitas previas realizadas se pudo observar que la agencia de viajes es de material de concreto, se cuenta con techos falsos lo que facilita la ubicación de las femtoceldas en los lugares que la administración del edificio dispuso la no visibilidad de las mismas por motivos estéticos. Así mismo, se cuenta con paredes de *drywall* para las divisiones de algunos ambientes, ello facilita la instalación. Para transportar el cable coaxial se usa tubería de PVC de 1" adosada a la pared.

La infraestructura del edificio ya cuenta con bandejas metálicas por las cuales se han transportado anteriormente cables para cableado de red; por ello, se aprovechará el uso de estas bandejas metálicas para transportar el cable UTP en tubos conduit flexibles a través de estas bandejas.

Cada splitter estará protegido por una caja de paso de dimensiones 40cm. x 30cm. x 15 cm.

Finalmente, la administración del edificio dispuso que los trabajos se realicen en días laborables pero en horario tarde-noche de 4p.m. a 11 pm para evitar interrupciones en sus labores diarias.

### 3.4 Implementación y Puesta de la Solución

Con el diseño y las consideraciones para la instalación definidas se llevó a cabo la implementación de la solución. Como se mencionó anteriormente, este tipo de solución es de fácil manejo para la instalación; por ello, la instalación de los equipos estuvo prevista para dos semanas. Por inconvenientes surgidos en los accesos y otros, el trabajo se realizó en 4 semanas.

El trabajo fue realizado por un grupo de 3 técnicos debidamente supervisados por un ingeniero.

Como se mencionó anteriormente, la agencia de viajes cuenta con dos edificios CEM I y CEM II. En vista de que el cuarto de equipos y servidores se encuentra en el edificio CEM II se decidió empezar por la instalación en esta edificación para orientar las conexiones respectivas a cada ambiente. Luego se realizó la implementación en el edificio CEM I que es una unión al edificio y el ambiente a implementar solo es uno. Debido a que la edificación ya contaba con techos falsos y drywall no hubo inconvenientes en cuanto a las perforaciones realizadas.

La instalación se llevó a cabo sin mayores inconvenientes, por lo cual se pudo entregar el proyecto en el plazo indicado cumpliendo con los requerimientos establecidos por la administración de la agencia de viajes.

Se muestra la puesta de los equipos de la solución instalados en la agencia de viajes.







**FIGURA 3-35: UBICACIÓN DE EQUIPOS PRINCIPALES**

La figura 3-12, muestra la instalación y ubicación de los equipos principales para brindar la conexión a todo el diseño de la solución. Estos equipos han sido instalados en el sótano 3, en el cuarto de servidores de la agencia de viajes.



**FIGURA 3-36: EQUIPOS INSTALADOS**

La figura 3-13, muestra los equipos finalmente instalados. Se aprecia la femtoceldas con su respectiva alimentación de energía, antenas instaladas, conexión de los *splitters* y el paso del cableado por las tuberías correspondientes. Los elementos restantes a instalar se apreciarán en el Anexo de instalación

### 3.5 Cálculo de Backhaul:

Para poder elaborar el diseño e implementación mencionados anteriormente es necesario definir el ancho de banda necesario para atender la cantidad de usuarios demandados y así mismo poder identificar la cantidad de femtoceldas a utilizar. En primer lugar, se definieron perfiles de tráfico para usuarios promedio, usuarios empresariales y usuarios intensivos. Para el caso de estudio se centrará en el perfil de tráfico de usuario empresarial.

La tabla 3-4 muestra los perfiles de tráfico por tipo de usuario, la cual contiene los parámetros necesarios para el cálculo de *backhaul* o ancho de banda. Para el caso de estudio presentado se basará en el perfil de tráfico de un usuario empresarial. Así mismo, se tiene que aproximadamente 200 Número de Líneas en la agencia de viajes tienen un consumo de 300 MB al mes.

Los *inputs* detallados fueron obtenidos de los análisis realizados en diferentes tipos de escenarios.

La tabla 3-5, muestra las cantidades consideradas. Se consideró 6 femtoceldas y como se mencionó anteriormente 200 Número de Líneas en la agencia de viajes tienen un consumo de 300 MB al mes.



	Usuario Promedio	Usuario Empresarial	Usuario Intensivo
Metro OAM traffic (kbps)	50	50	50
Average to Peak data ratio	2	2	2
Bloqueo	2.00%	2.00%	2.00%
% Usuarios que utilizarán datos	80.00%	100.00%	100.00%
Throughput per voice channel (kbps)	65	65	65
Voice activity Busy Hour / User (mErI)	28	33	37
DL Data activity Busy Hour / User (kbps)	0	17.78	0
Data service penetration	80.00%	100.00%	100.00%
Nominal Data Bit Rate (kbps) DL	2000 Kbps	2000 Kbps	5000 Kbps
Nominal Data Bit Rate (kbps) UL	1000 Kbps	1000 Kbps	2000 Kbps
Busy Hour data consumption (kBytes, DL)	2000	4000	8000
Busy Hour data consumption (kBytes, UL)	400	800	1600
Femtoceldas en el Proyecto	6	6	6
Número de Líneas o Clientes	0	200	0
Backhaul Mínimo para Datos (Downlink) kbps	0	3,556	0
Backhaul Mínimo para Datos (Uplink) kbps	0	711	0
Backhaul Mínimo para Voz (Downlink) kbps	0	780	0
Backhaul Mínimo para Voz (Uplink) kbps	0	780	0
Backhaul Mínimo Downlink (kbps)	0	4,636	0
Backhaul Mínimo Uplink (kbps)	0	1,791	0

TABLA 3-4: PERFILES DE TRÁFICO

Fuente: [ALU2014]

Número de Femtoceldas a Desplegar en el Proyecto	6
Número de Líneas o Clientes Intensivos (>1GB al mes)	0
Número de Líneas o Clientes Empresariales (aprox. 300 MB al mes)	200
Número de Líneas o Clientes Promedio (<100 MB al mes)	0

TABLA 3-5: DATOS CONSIDERADOS

Capacidad en Backhaul Mínimo Uplink TOTAL por Proyecto	2.2 Mbps
Capacidad en Backhaul Mínimo Downlink TOTAL por Proyecto	5.6 Mbps
Esta opción solo ofrece cobertura para escenarios de voz	
Capacidad en Backhaul Mínimo Requerido Uplink por Femtocelda	0.4 Mbps
Capacidad en Backhaul Mínimo Requerido Downlink por Femtocelda	0.9 Mbps
Capacidad en Backhaul Mínimo Recomendado Uplink por Femtocelda	1.0 Mbps
Capacidad en Backhaul Mínimo Recomendado Downlink por Femtocelda	4.0 Mbps
Capacidad en Backhaul Uplink por Femtocelda	2,4Mbps
Capacidad en Backhaul Downlink por Femtocelda	6Mbps

TABLA 3-6: DATOS CALCULADOS

La tabla 3-6, muestra los valores calculados para las capacidades mínimas requeridas y recomendadas tanto voz como datos.

La obtención de los valores de cálculo de *backhaul* serán mostrados en el Anexo Cálculo de *Backhaul*.

### 3.6 Análisis Económico de la Solución

A continuación se realizará un análisis económico de la solución escogida para el caso de estudio. Los precios de las femtoceldas modelo-A y modelo-B han sido obtenidos como parte de una revisión genérica presupuestal basada en el mercado actual.

Como punto inicial se consideró la inversión realizada en la cual se detallan los precios por tipo de equipo, los materiales de instalación y los servicios de instalación. Los servicios de instalación abarcan la implementación y el estudio de ingeniería. El estudio de ingeniería está compuesto de diversos puntos que son TSS, diseño, reporte de ingeniero y la optimización. Estos puntos serán descritos con mayor detalle en el Anexo de Estudio de ingeniería.

Los valores de la inversión se pueden observar en la tabla 3-7.

Tipo de Cambio	S/. 3.20		
Tipo de Equipo	Precio USD	Cantidad	Subtotal
Modelo-A	1000	5	5000
Modelo-B	250	1	250
Antena	80	7	560
Estudio de ingeniería	Precio	Cantidad horas	Subtotal
TSS	20	12	240
Elaboración 1er diseño	80	16	1280
Mejoras diseño	80	12	960
Informe Final elaborado por Ingeniero	80	12	960
Optimización	80	30	2400
Equipamiento	\$5,810.00	S/. 18,592.00	
Modelo-A	\$5,000.00	S/. 16,000.00	
Modelo-B	\$250.00	S/. 800.00	
Antena	\$560.00	S/. 1,792.00	
Materiales de Instalación	\$1,000.00	S/. 3,200.00	
Materiales	\$1,000.00	S/. 3,200.00	
Servicios de Instalación	\$7,340.00	S/. 23,488.00	
Servicios de Instalación	\$1,500.00	S/. 4,800.00	
Estudio de Ingeniería	\$5,840.00	S/. 18,688.00	

**TABLA 3-7: DATOS DE INVERSIÓN**

Una vez realizado el análisis de inversión es necesario revisar las ganancias obtenidas por el operador. Para ello se considera cuánta ganancia neta obtiene el operador por cada minuto de llamada concretada. Considerando las tarifas del mercado se obtuvieron los siguientes resultados:

<b>Margen asumido</b>	<b>65%</b>	
	<b>Soles</b>	
	<b>Precio</b>	<b>Margen</b>
Precio por minuto Prepago	S/. 0.23	S/. 0.09
Precio por minuto Postpago	S/. 0.18	S/. 0.07
	<b>Soles</b>	
	<b>Precio</b>	<b>Margen</b>
Precio por Erlang Prepago	S/. 13.80	S/. 5.44
Precio por Erlang Postpago	S/. 10.80	S/. 4.25
<b>Traffico diario x usuario</b>	<b>33 mE</b>	

**TABLA 3-8: MARGEN DE GANANCIA**

En la tabla 3-8 se aprecia que el margen de ganancia es de 65% con lo que se tiene una ganancia neta de 0.09 por minuto prepago y 0.07 por minuto postpago, Con ello se estima el precio por Earlang prepago y postpago por llamada. Así mismo, se tiene un dato importante que es el tráfico cursado por usuario de 33 mE. Con los valores obtenidos y mencionados se puede obtener la ganancia anual de la solución desplegada. Para ello se considera que aproximadamente 600 personas frecuentan y circulan el lugar del caso de estudio. Con esto se puede estimar las ganancias obtenidas.

<b>Cantidad de Usuarios en Agencia de Viajes</b>	<b>600</b>
<b>Tráfico promedio por día en la Agencia de Viajes</b>	<b>19800 mE</b>
	<b>19.8 E</b>
<b>% de Usuarios Prepago</b>	<b>69.00%</b>
<b>% de Usuarios Postpago</b>	<b>31.00%</b>
<b>Margen de Ganancia diario en la agencia de viajes</b>	<b>S/. 100.39</b>
<b>Margen de Ganancia anual en la agencia de viajes</b>	<b>S/. 36,640.89</b>
	<b>\$ 11,450.28</b>

**TABLA 3-9: GANANCIA ANUAL**

La tabla 3-9 muestra los datos obtenidos para la ganancia anual. Estos valores fueron calculados considerando la cantidad de usuarios en la que circulan la agencia de viajes y con la tabla anterior que menciona el tráfico diario por usuario



se obtuvo el tráfico total por día en la agencia de viajes. Para calcular la ganancia diaria en la agencia de viajes se consideró las proporciones de usuarios tanto prepago como postpago. Estas proporciones fueron obtenidas de la página oficial de OSIPTEL. Finalmente, teniendo la ganancia diaria se hizo el cálculo para la ganancia anual y se obtuvo como valor final \$ 11,450.28.

Por último, con la inversión y la ganancia calculada se realizó un flujo de caja para analizar la rentabilidad de la solución desplegada.

En la tabla 3-10 se aprecia el flujo de caja, el cual fue calculado usando los datos anteriores. Del mismo modo, el flujo de caja considera como parte de los egresos el OPEX del proyecto que involucra todo lo relacionado a la red de transporte o internet requerido para que las femtoceldas puedan operar.

Se consideró una proyección de 5 años y una tasa de mercado de 12% con lo cual se obtiene resultados óptimos, ya que da un VAN positivo en el cual se recupera la inversión al segundo año de operación y un TIR mucho mayor que la tasa de mercado asumida. Esto hace notar que la solución desplegada es muy rentable y atractiva desde el punto de vista económico.

Tasa asumida	12%
--------------	-----

Opex		
Cantidad Mensual		
Transporte	20Mbps	S/. 260.00
Cantidad Anual		
Transporte	240 Mbps	S/. 3,120.00
Total		\$ 975.00
Ganancia del Operador		\$ 633.75
Opex Real		\$ 341.25

VAN y TIR

Año	Ingreso	Egreso	Total
0	-\$ 14,150.00	\$ 0.00	-\$ 14,150.00
1	\$ 11,450.28	\$ 341.25	\$ 11,109.03
2	\$ 11,450.28	\$ 341.25	\$ 11,109.03
3	\$ 11,450.28	\$ 341.25	\$ 11,109.03
4	\$ 11,450.28	\$ 341.25	\$ 11,109.03
5	\$ 11,450.28	\$ 341.25	\$ 11,109.03

TIR	73.52%
VAN	\$ 23,121.04

**TABLA 3-10: FLUJO DE CAJA**

Una vez conocida la rentabilidad de la solución desplegada se procede a analizar el desempeño de la red para analizar si cumple con las expectativas y objetivos planteados para la presente tesis.

## **Capítulo 4**

### **Pruebas de Desempeño**

En el presente capítulo se describirán los resultados obtenidos luego del despliegue y puesta de la solución en la agencia de viajes.

#### **4.1 Objetivo y Valor de las Pruebas Finales**

El objetivo de las pruebas finales es poder evaluar el estatus actual de la cobertura en la agencia de viajes luego de la implementación y puesta de la solución. Con ello se podrá realizar la comparación con la situación inicial del caso de estudio.

La comparación realizada tendrá un alto índole de importancia, ya que permitirá evaluar la factibilidad del diseño presentado en el capítulo anterior y permitirá indicar si se cumplieron los objetivos propuestos en el capítulo 2. Así mismo, en base a los resultados obtenidos de la comparación se podrán extraer conclusiones y recomendaciones importantes para futuros trabajos similares.

#### **4.2 Metodología de Pruebas**

##### **4.2.1 Herramientas de Medición**

Las herramientas utilizadas para esta etapa fueron las mismas mencionadas para medir el estatus inicial de la red en la agencia de viajes. Como se mencionó anteriormente estas herramientas son JDSU y el eDat. Ambas herramientas serán usadas de la misma forma detallada para la toma de muestras iniciales antes de la instalación; es decir, el software JDSU se usará como herramienta de monitorización que capturará los niveles de señal actual y el software eDAT será usado para procesar la información recopilada por el JDSU lo que permitirá poder evaluar las mejoras en comparación con el estatus inicial.

Adicionalmente, se está usando un scanner de frecuencias para poder realizar un *drive test* en la zona *outdoor* aledaña al caso de estudio. Este scanner de frecuencias será usado conjuntamente con el software JDSU y permitirá identificar los niveles de señal fuera de la edificación.

La metodología utilizada para la medición de la situación final de la señal se detalla a continuación.

#### 4.2.2 Metodología

La metodología para realizar las mediciones de las pruebas finales luego de la puesta de la solución fue similar a la anterior, añadiendo algunas consideraciones. La toma de muestras se realizó caminando por los lugares de la zona de cobertura proporcionada por las femtoceldas instaladas, como se mencionó anteriormente la toma de muestras se realiza con el software JDSU desde un *Smartphone* en el cual ha sido cargado el mapa del lugar a recorrer y se han indicado los puntos del recorrido. En este recorrido se verificó la cobertura midiendo los niveles de RSCP, EcNo, *Scrambling code* y *Tx Power*. Durante la toma de estas mediciones se realizaron llamadas cortas y largas. Las llamadas cortas fueron de una duración de 30 segundos, con intervalos de 5 segundos y 70 repeticiones. Las llamadas largas se realizaron con una duración de 15 minutos. Este tipo de medición es denominado *Walk Test*.

Así mismo, se realizaron pruebas de descarga y subida de datos. Para esta prueba se preparó un script, el cual fue cargado en el software JDSU, el cual se conecta a un servidor FTP y se realiza una subida y descarga de un archivo de 1Giga. Con estas mediciones realizadas se tomaron muestras para los valores de *throughput*. Finalmente, se realizaron mediciones en los alrededores de la agencia de viajes. Esta prueba consistió en un recorrido por calles cercanas con el celular en modo *idle* y con ayuda del *scanner* de frecuencias se pudo tomar muestras de los niveles de recepción del servidor 3G y poder evaluar que la solución *indoor* no cause interferencia con el exterior. Este tipo de medición se denomina *Drive Test*. Luego de tomadas las muestras se pasa a analizar la información recolectada para poder comparar con los objetivos propuestos.

#### 4.3 Resultados de la Medición

Con la información recopilada de las mediciones finales se presentan los resultados comparándolos con los resultados esperados, los cuales serán definidos como KPI (*Key Performance Indicator*). Estos indicadores permitirán evaluar la red desplegada y verificar si se cumple o no con la expectativa de la solución.

A continuación se detalla cada uno de los KPIs considerados.

### 4.3.1 KPIs considerados

KPI	Umbral	Muestras
RSCP Indoor	$\geq -85$ dBm	$\geq 95\%$
Ec/No	$\geq -6$ dB	$\geq 90\%$
Best Server	-	$\geq 95\%$
Throughput DL	$\geq 1.5$ Mbps	$\geq 80\%$
Throughput UL	$\geq 128$ Kbps	$\geq 75\%$
UE TX Power	$\leq -10$ dBm	$\geq 80\%$

**TABLA 4-1: KPIs CONSIDERADOS**

La tabla 4-1, muestra los KPIs considerados.

Los parámetros considerados fueron definidos anteriormente en el capítulo 1, por ello solo se comentará las razones de los rangos de valores registrados.

Al diseñar e implementar una solución *indoor* se debe considerar que es un nodo para un determinado espacio con un área de cobertura menor en comparación con la cobertura que ofrece la red macro, como se mencionó anteriormente las soluciones *indoor* buscan dar mejoras a áreas donde la señal móvil se encuentra degradada debido a que la cobertura *outdoor* o macro no puede brindar los niveles necesarios para una comunicación de calidad. Por ello, teniendo en cuenta la capacidad que un nodo proporciona, se exige que la red tenga un buen desempeño y con ello que los KPIs determinados sean tan rigurosos.

El parámetro de cobertura RSCP debe tener valores que aseguren que el nivel de señal sea adecuado para que las llamadas siempre puedan realizarse sin dificultades. Este parámetro oscila alrededor de valores que van desde  $-40$  dBm hasta  $-120$  dBm. Tener RSCP con valores mayores a  $-100$  dBm es un nivel de cobertura suficiente, RSCP con valores entre  $-120$  dBm y  $-100$  dBm indica un nivel de cobertura pobre y tener valores menos a  $-120$  dBm indica que no existe cobertura. Para el caso de estudio se considera valores mayores a  $-85$  dBm en un  $95\%$  de las muestras, para asegurar un nivel de señal adecuado y óptimo acorde al desempeño que la red del operador ofrece.

El parámetro de interferencia (EcNo) debe mostrar valores bajos con la finalidad de que evite que se corte o se concrete una llamada, por ello los niveles bajos que se exigen. Cuando el parámetro de interferencia tiene valores que son mayores a  $-14$  dB indica niveles bajos de interferencia con lo cual la cobertura llega a un nivel suficiente; valores entre  $-14$  dB y  $-16$  dB indica mayor interferencia, con lo cual los niveles de cobertura son pobres y valores menores a  $-16$  dB indica altos niveles de interferencia, con lo cual la cobertura se ve degradada.

Por otro lado, se tiene el parámetro *Tx Power* el cual está relacionado con el impacto de la batería del móvil; siendo ideal que este parámetro sea bajo para

asegurar que las potencias de transmisión del móvil no sean altas y así no afectar la batería del móvil y tener una red optimizada. Del mismo modo, es necesario mencionar que este parámetro depende de la interferencia existente en los diferentes escenarios, de tal modo que al haber mayor interferencia el móvil transmitirá a mayor potencia para poder ser escuchado por la red. Se busca que este parámetro como máximo alcance el valor de -10dBm.

Por otro lado, se busca también que la mayor parte del área de cobertura esté con un único *scrambling code* para indicar que el área está siendo atendida por el servidor que proporciona la red desplegada, ya que como se mencionó anteriormente si se presenta mayor cantidad de *scrambling codes* el móvil estará haciendo múltiples *handovers* lo que impedirá que la llamada se realice con continuidad.

Los parámetros mencionados analizan la calidad de las comunicaciones de voz, pero también es importante el análisis de las comunicaciones con intercambio de datos, ya que la tecnología 3G es para voz y datos. La medida relacionada a los datos es el *throughput* o velocidad de descarga. Se piden valores elevados para permitir que la transferencia de datos sea eficiente debido a que la solución indoor atenderá solo a la agencia de viajes. Así mismo, cabe resaltar que la solución *indoor* desplegada es servida por un operador con alta presencia en el mercado, el cual posee un 60% a 80% de carga constante. Por ello, los valores de *throughput* varían dependiendo la carga de usuarios.

#### **4.3.2 Mediciones Tomadas**

A continuación se muestran las mediciones luego de la puesta de la solución en la agencia de viajes, se colocarán solo algunas mediciones ya que las mediciones totales serán presentadas en el Anexo de Mediciones Finales.

Así mismo, se mostrarán los parámetros medidos y se analizarán a continuación.

4.3.3 Resultados Obtenidos

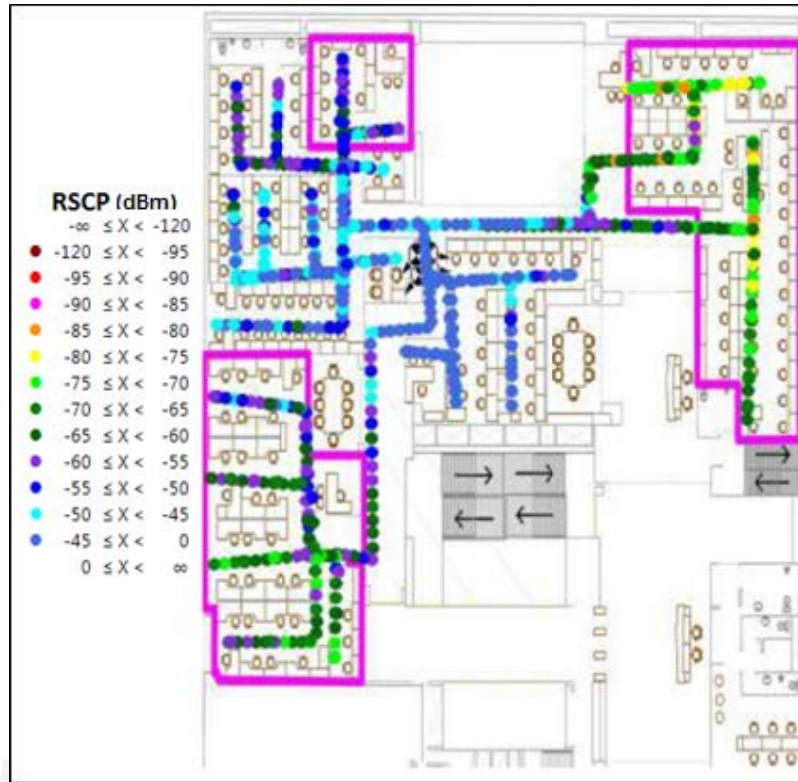


FIGURA 4-37: NIVEL FINAL DE RSCP PISO 1 CEM II

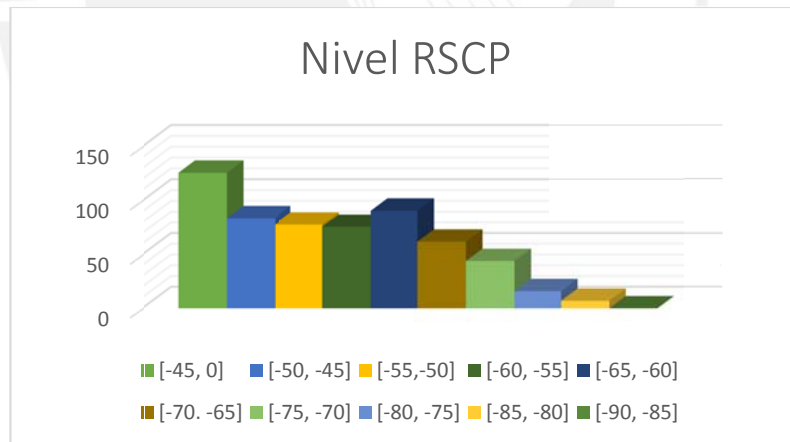


FIGURA 4-38: NIVELES RSCP DE LAS MUESTRAS



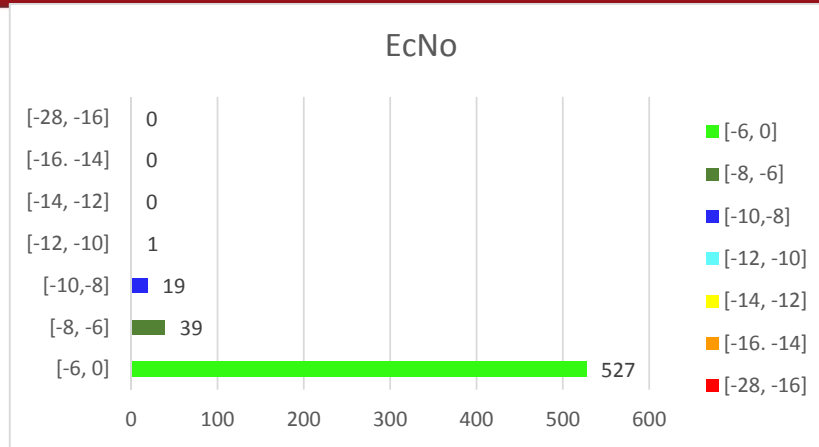
Niveles RSCP(dBm)	#Muestras	Porcentaje
[-45, 0]	126	21.58%
[-50, -45]	84	14.38%
[-55,-50]	78	13.36%
[-60, -55]	76	13.01%
[-65, -60]	91	15.58%
[-70. -65]	62	10.62%
[-75, -70]	44	7.53%
[-80, -75]	16	2.74%
[-85, -80]	7	1.20%
[-90, -85]	0	0.00%

**TABLA 4-2: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS**

La figura 4-1 y la tabla 4-2 muestra que en este piso los niveles de RSCP tomados estuvieron encima del nivel requerido -85 dBm, con lo cual se observa que el KPI se cumplió en su totalidad.



**FIGURA 4-39: NIVEL FINAL DE ECNO PISO 1 CEM II**

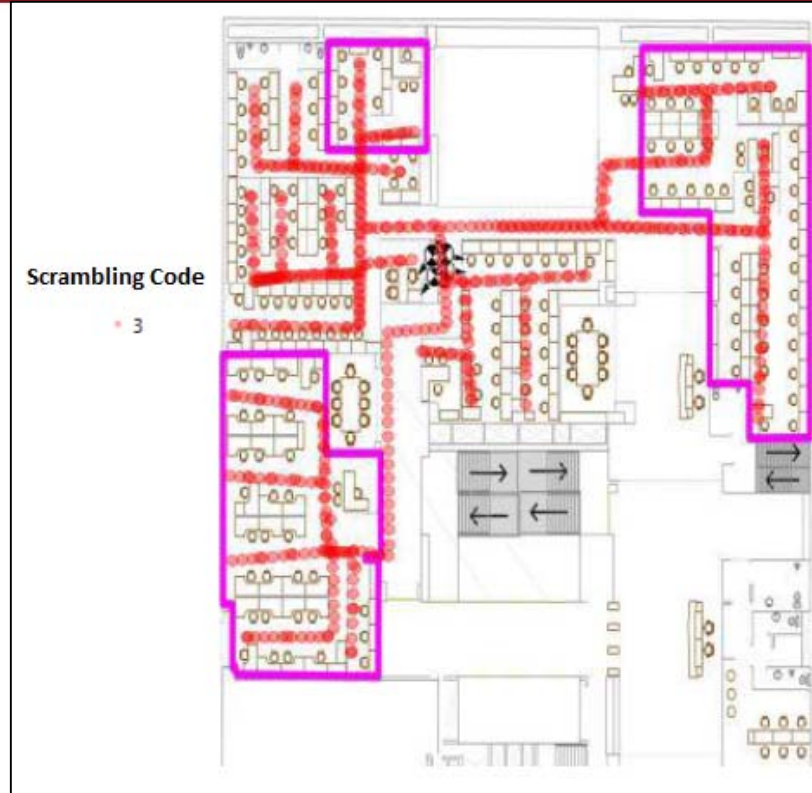


**FIGURA 4-40: NIVELES ECNO DE LAS MUESTRAS**

Niveles EcNo(dB)	#Muestras	Porcentaje
[-6, 0]	527	90%
[-8, -6]	39	7%
[-10,-8]	19	3%
[-12, -10]	1	0%
[-14, -12]	0	0%
[-16. -14]	0	0%
[-28, -16]	0	0%

**TABLA 4-3: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE ECNO**

Se observa que la figura 4-3 y la tabla 4-3 muestran los niveles de EcNo de las mediciones finales del piso 1, de las cuales el 90% está por encima de los -6dB. Y se cumple de este modo con el KPI establecido.



**FIGURA 4-41: SCRAMBLING CODE FINAL**

PSC	Porcentaje	#Muestras
3	100.00%	583

**TABLA 4-4: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE SCRAMBLING CODE**

La figura 4-5 y tabla 4-4 muestra cómo están distribuidas las muestras de *scrambling code*, se puede apreciar que el área a cubrir está siendo atendida por un único *scrambling code* lo que indica dominancia que corresponde a la red desplegada con femtoceldas, con ello el KPI se cumple en su totalidad.

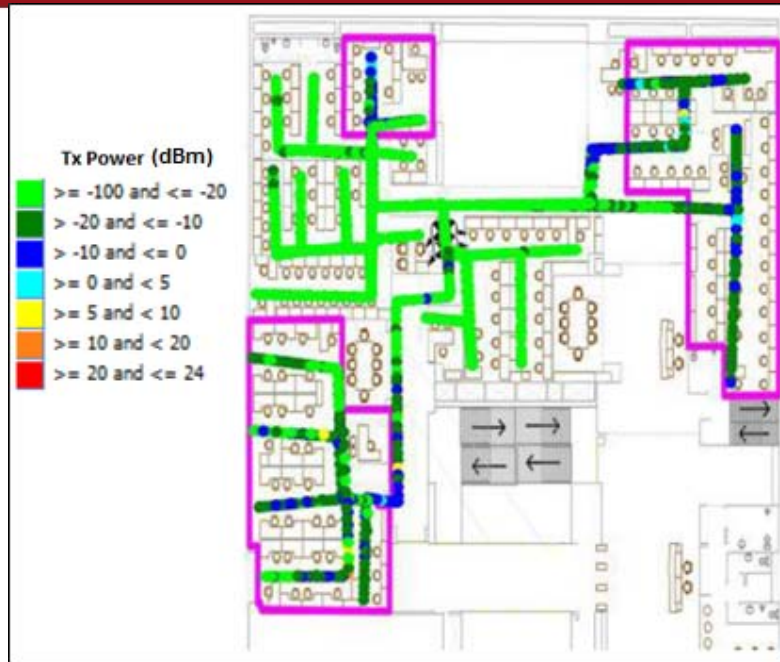


FIGURA 4-42: NIVEL FINAL DE TX POWER

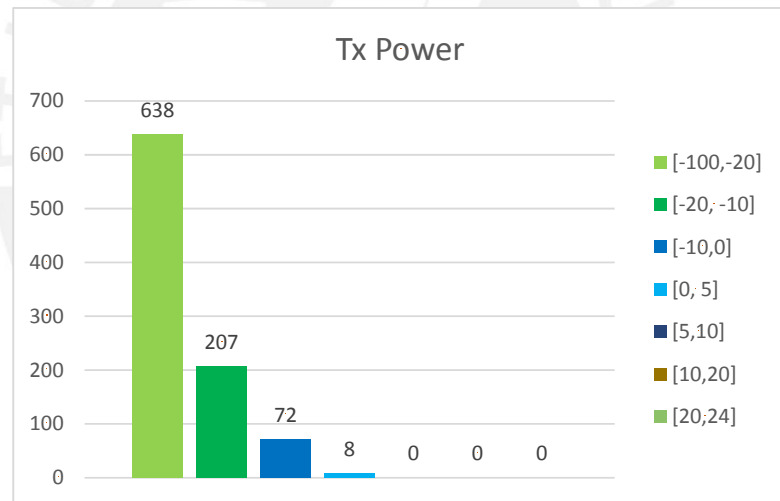
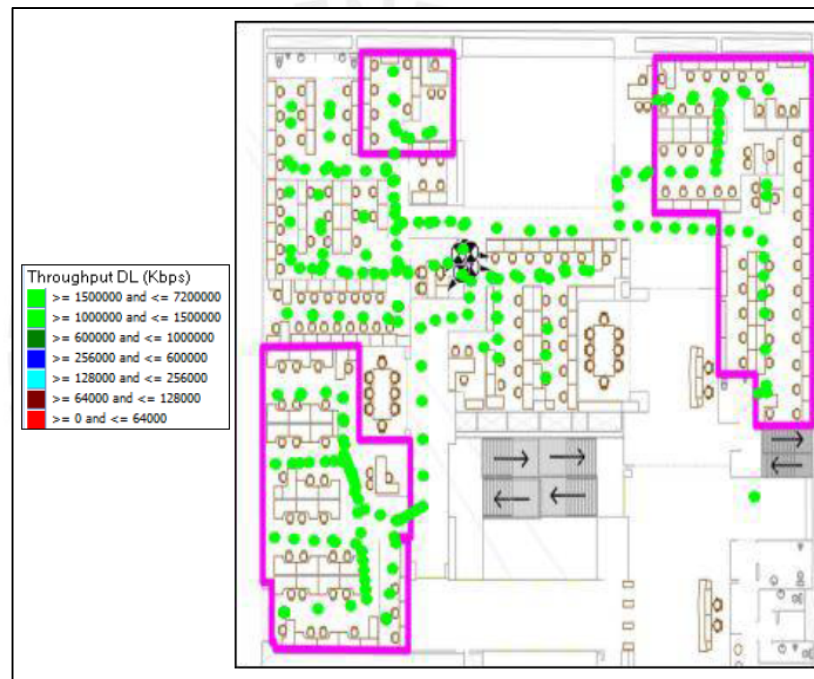


FIGURA 4-43: NIVELES DE LAS MUESTRAS DE TX POWER

Tx Power (dBm)	#Muestras	Porcentaje
[-100,-20]	638	68.97%
[-20, -10]	207	22.38%
[-10,0]	72	7.78%
[0, 5]	8	0.86%
[5,10]	0	0.00%
[10,20]	0	0.00%
[20,24]	0	0.00%

**TABLA 4-5: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE TX POWER**

La figura 4-6 y la tabla 4-5 muestran los niveles de *Tx Power* para las muestras tomadas, con lo cual se puede apreciar que el 85.80% de las muestras son menores a -10 dBm. Con ello, el KPI está en los rangos requeridos.



**FIGURA 4-44: NIVEL FINAL DE THROUGHPUT DL**

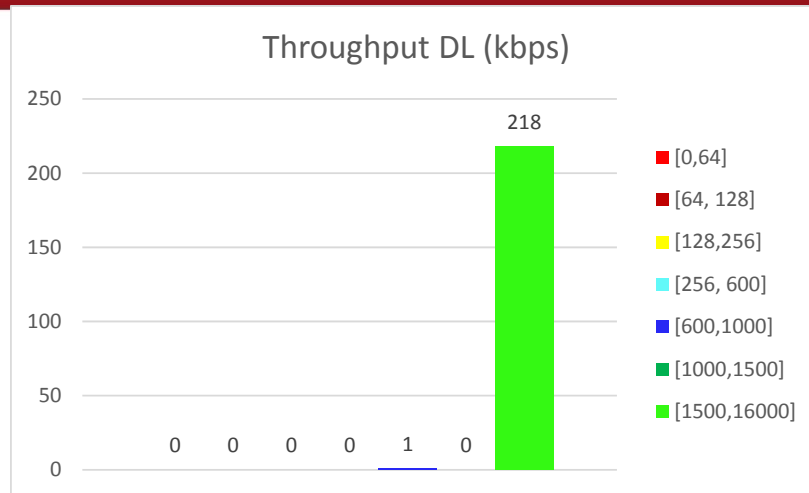


FIGURA 4-45: NIVELES DE LAS MUESTRAS DE THRUGHPUT DL

Throughput DL (kbps)	#Muestras	Porcentaje
[0,64]	0	0.00%
[64,128]	0	0.00%
[128,256]	0	0.00%
[256,600]	0	0.00%
[600,1000]	1	0.46%
[1000,1500]	0	0.00%
[1500,16000]	218	99.54%

TABLA 4-6: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE THROUGHPUT DL

La figura 4-8 y la tabla 4-6 muestra la distribución de los niveles finales de *throughput downlink* en el Piso 1 y se observa que las muestras son mayores a 1,5 Mbps para el 99.54% de las muestras, con lo cual el KPI se cumplió en su totalidad.



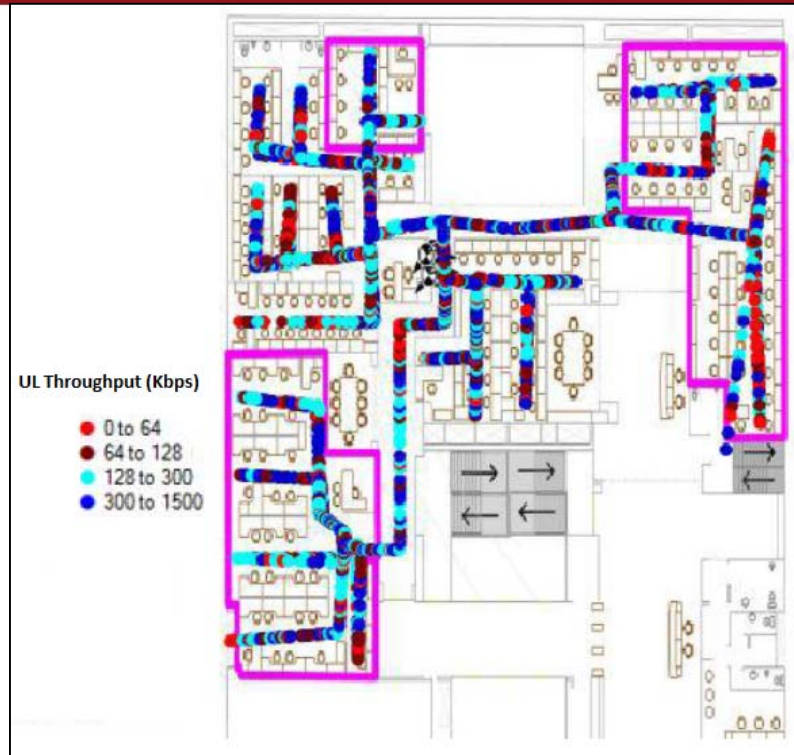


FIGURA 4-46: NIVELES DE LAS MUESTRAS DE THRPUGHPUT UL

Throughput UL (kbps)	#Muestras	Porcentaje
[0,64]	184	11.31%
[64, 128]	217	13.34%
[128,300]	595	36.57%
[300, 1500]	631	38.78%

TABLA 4-7: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS DE THROUGHPUT UL

La figura 4-10 y la tabla 4-7 se observa la distribución de los niveles finales de *throughput uplink* en el Piso 1 y las muestras son mayores a 128 kbps y representan el 75.35% de las muestras totales, con lo cual el KPI se cumplió en su totalidad.

A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos de las muestras totales tomadas en toda la agencia de viajes.

KPI	Target		Resultado Final	Objetivo Cumplido
	Valores umbrales	% Muestras		
RSCP Indoor	$\geq -85$ dBm	$\geq 95\%$	99.88%	CUMPLIDO
Ec/No	$\geq -6$ dB	$\geq 90\%$	93.55%	CUMPLIDO
Best Server		$\geq 95\%$	99.83%	CUMPLIDO
Throughput DL	$\geq 1.5$ Mbps	$\geq 80\%$	91.87%	CUMPLIDO
Throughput UL	$\geq 128$ Kbps	$\geq 75\%$	76.70%	CUMPLIDO
UE TX Power	$\leq -10$ dBm	$\geq 80\%$	86.42%	CUMPLIDO

TABLA 4-8: RESUMEN DE RESULTADOS FINALES

Finalmente, se mostrará el estatus de las medidas tomadas alrededor de la agencia de viajes. Lo que permitirá evaluar que la solución *indoor* no genere interferencia con las estaciones bases *outdoor*.



FIGURA 4-47: BEST SERVER

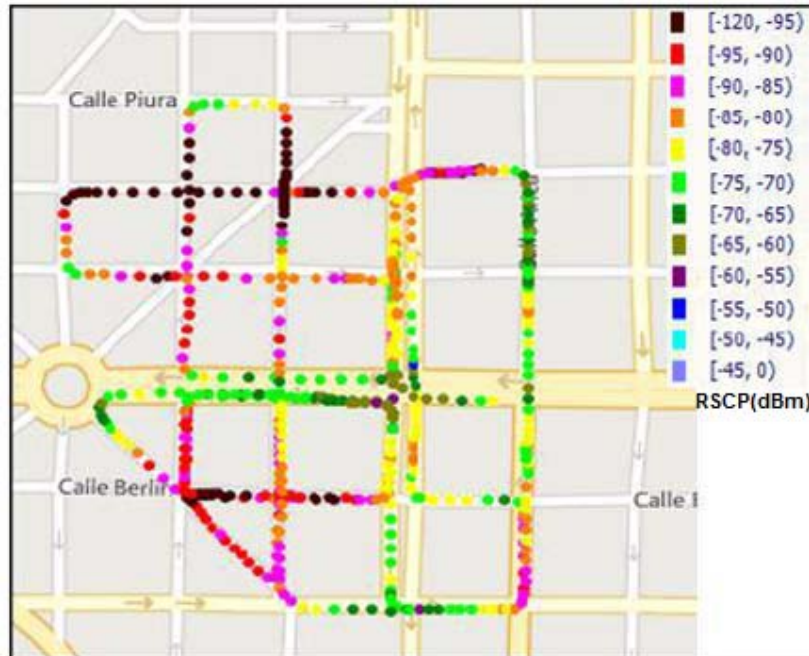


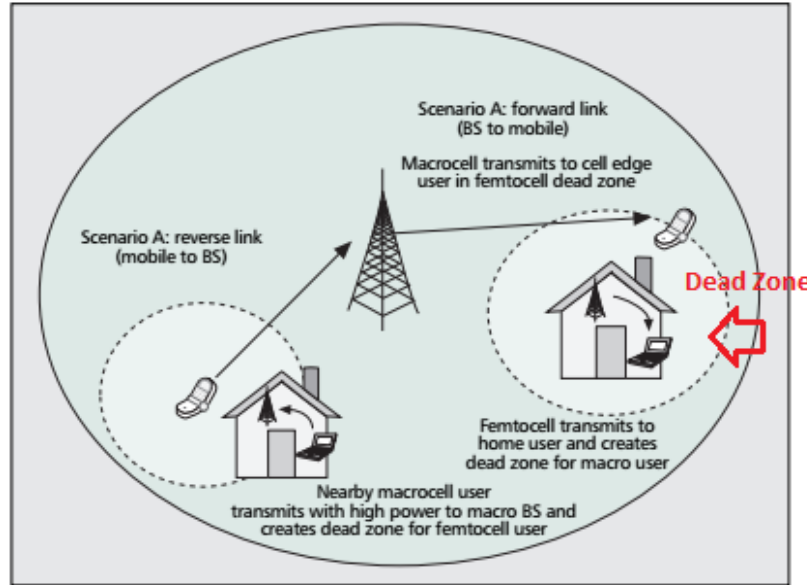
FIGURA 4-48: RSCP


**FIGURA 4-49: ECNO**

Desde la figura 4-1 hasta la figura 4-13, se muestran la toma de mediciones *outdoor*. En estas gráficas se aprecian tomas de muestras en los alrededores, lo que quiere decir que no se está produciendo interferencia, ya que si se generara interferencia no se mostrarían muestras debido a la existencia de “*dead zones*”.

“*Dead Zone*”, es la zona que se crea cuando la instalación de una femtocelda no es la adecuada. Esta zona, es aquella donde se genera interferencia y se impide la recepción de la señal *outdoor* o macro como se muestra en la figura 4-14.

[CHA2008]



**FIGURA 4-50: DEAD ZONE**

Como se mencionó anteriormente, las muestras correspondientes detalladas a los otros pisos se mostrarán en el Anexo de Mediciones Finales.

**4.3.4 Afectación Cuantitativa de KPI´s**

Una vez obtenidos y analizados los resultados finales luego de la puesta de la solución es necesario poder evaluar qué tanto mejoró la cobertura respecto al estado inicial, del cual se tomaron medidas previas de tres parámetros que fueron RSCP, EcNo y *Scrambling Code*.

Con las muestras iniciales tomadas antes de la instalación y las muestras luego de la puesta de la solución será posible realizar una comparación cuantitativa de los parámetros mencionados.

KPI	Target Objetivo		Resultado Inicial	Resultado Final
	Valores umb	% Muestras		
RSCP Indoor	>= -85 dBm	>=95%	31.43%	99.88%
Ec/No	>= - 6 dB	>=90%	14.07%	90.52%
Best Server	--	>= 95%	0.00%	99.83%

**TABLA 4-9: COMPARACIÓN CUANTITA DE KPIS**

La tabla 4-9, muestra las mejoras del estado inicial de los parámetros. Los niveles de cobertura antes de la puesta de la solución eran bajos y se aprecia su mejora casi a un 100%. Inicialmente, ningún parámetro estaba por encima del 35% de muestras óptimas, lo que era indicador claro de los problemas existentes para



establecer una comunicación de calidad. Finalmente, las muestras finales tomadas son un indicador de mejoras en el panorama.

#### 4.4 Comparación Cualitativa

Una vez presentado los resultados finales y habiendo realizado el análisis cuantitativo, es también importante realizar una comparación cualitativa. Como se menciona anteriormente, los resultados finales cumplieron en su totalidad los valores propuestos, pero es necesario analizar la relación e implicancia de los mismos respecto a la situación inicial planteada.

##### 4.4.1 Situación Inicial

Como se describió anteriormente, la cobertura previa a la instalación de la solución era crítica. Luego de la comparación realizada entre los niveles previos y finales se observó una mejora en todo sentido de la cobertura móvil al interior de la agencia de viajes, lo que asegura que las comunicaciones se lleven a cabo en las mejores condiciones. En un inicio, los niveles de señal eran bajos e impedían la comunicación fluida y continua.

Esta situación es desventajosa en temas económicos, de seguridad y confiabilidad en una agencia de viajes. Debido a la gran cantidad de clientes que maneja, es necesario poder estar en constante comunicación con ellos para poder monitorear que las actividades se estén realizando acorde a lo planeado, así mismo es necesario que los clientes puedan comunicarse en cualquier momento con la agencia, ya que pueden encontrarse en alguna situación de emergencia. El no contar un servicio óptimo y de calidad de telefonía móvil impedirá concretar los objetivos de la agencia y poner en situaciones de emergencia y riesgo a los clientes de los servicios brindados. Como se sabe, la tecnología muestra su evolución constante cada día lo que implica que no solo se brinden servicios de voz sino también se realice el uso de datos. Las mejoras brindadas por la solución *indoor* de la presente tesis, no solo garantiza los servicios de voz, también permite la transferencia de datos. Lo que permitirá establecer cualquier tipo de comunicación multimedia o de voz.

Con lo mencionado, se puede observar que no solo son mejoras para el operador sino que tiene implicancias en la mejora de las diferentes actividades realizadas por las personas que involucran tiempo de ocio y seguridad del mismo.

#### 4.4.2 Escenario Planificado

Al momento de realizar las predicciones de cobertura de la solución se estuvo ante un escenario a cubrir (esperado e ideal) una vez se realizara la puesta de la solución. En las predicciones de cobertura, se observa que los niveles de los parámetros RSCP, EcNo y *Scrambling Code* son mayores a los medidos luego de instalada la solución, siendo estos también valores óptimos dentro de los objetivos considerados. Con esta observación, es importante dar a conocer por qué estos valores no son iguales a los valores que se han obtenido al finalizar la instalación de la solución. En primer lugar, pese a la precisión y profesionalismo del software de diseño utilizado para realizar las predicciones de cobertura es preciso mencionar que estará basado en un modelo de diseño con aproximaciones propias de cada ambiente, pero como toda aproximación nunca será totalmente exacta. Así mismo, dentro del diseño se considera al edificio como un escenario ideal aislado, en el cual no se toma en cuenta la cobertura *outdoor*, las cuales generan interferencia en la cobertura *indoor*.

Por otro lado, se deben considerar los problemas de dimensionamiento, congestión y el desempeño de la red que el operador ofrece, ya que estos escapan a cualquier tipo de diseño de cobertura. En los diseños se pueden tener parámetros de desempeño perfectos, pero en realidad la red del operador puede presentar diferentes escenarios en los cuales la carga de usuario es mayor y no se puede atender a todos los usuarios al mismo tiempo lo que genera congestión y disminuye el desempeño de la red.

Por los motivos presentados anteriormente, se tiene un escenario planificado ligeramente mejor que el escenario luego de la puesta de la solución, pero dentro de márgenes de error aceptables que los hacen equivalentes. Es necesario resaltar que pese a los diversos factores que alteran el diseño original, los resultados mostrados y medidos son los adecuados y satisfactorios y se asemejan a lo planificado.



## ***Recomendaciones, trabajos Futuros y Conclusiones***

### **Recomendaciones:**

A continuación se presentan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda al momento de realizar las pruebas de llamada para evaluar el parámetro *Tx Power* en escenarios similares a los descritos en el presente trabajo desactivar los datos móviles del teléfono, ya que al estar activados el teléfono emitirá mayor potencia para tratar de atender los dos servicios a la vez; de llamada y de datos. Esto impedirá medir realmente el parámetro de *Tx Power* cuando se está realizando una llamada.
- En cuanto al diseño de soluciones *indoor* se recomienda usar en los extremos del edificio antenas paneles en vez de antenas omnidireccionales, ya que estas antenas son más directivas y evitan que la potencia irradiada apunte al exterior y genere interferencia en la cobertura *outdoor*.
- En cuanto a la ubicación de las femtoceldas es necesario en el diseño simular una ubicación que no genere zonas muertas o *dead zones*, ya que esto generará interferencia en la cobertura *outdoor* impidiendo la recepción de señal de la red macro.
- Luego de realizar los diseños y elaborar el *link Budget*, se recomienda considerar un margen adicional de 2dB de pérdida a todo el sistema, debido a los obstáculos durante el recorrido del cableado o pérdida de conectores.
- Al momento de empezar la toma de mediciones finales, se recomienda tener la ruta del recorrido previamente definida para evitar tomar medidas en lugares que estén fuera de la cobertura proporcionada por las femtoceldas.
- Se recomienda realizar la toma de mediciones en horas de menor congestión para obtener los valores reales de la red implementada. Esta consideración es especial en cuanto a la transferencia de datos, ya que el

parámetro de *throughput* relacionado de la carga de la celda y de las condiciones de radio existentes.

### Trabajos futuros:

A continuación diversos trabajos futuros

- Se puede optar por una migración a femtoceldas 4G, como este tipo de femtoceldas requiere velocidades mayores se deberá también hacer un incremento de la capacidad de *backhaul* para poder satisfacer los requerimientos de la tecnología 4G.
- Trabajos similares a este pueden ser implementados en otros ambientes de oficinas, hogares, en hospitales, hoteles, aeropuertos, etc. con áreas de cobertura no mayores a 100 metros.
- En entornos internos con áreas de cobertura de mayor capacidad se deben usar redes RF *indoor*, ya que por la menor área de cobertura que poseen las femtoceldas sería difícil poder atender capacidades mayores.

### Conclusiones:

Finalizado el trabajo del presente proyecto, se presentan a continuación las conclusiones a las que se llegaron.

- En el presente trabajo se estudiaron las diferentes tecnologías de cobertura *indoor* en donde se resaltaron las características de la solución en base a femtoceldas, cuya flexibilidad y bajo costo de implementación hacen a esta solución la más adecuada gracias a los altos niveles de cobertura y baja interferencia que presenta dadas las dimensiones del lugar.
- Se estudió los componentes de la solución y en base a esto se analizó el caso de la agencia de viajes, en la cual se tenía un conjunto de oficinas con problemas de cobertura (nivel RSCP > -85 dBm y EcNo > -6dB) que impedían la comunicación. Tras este análisis y las particularidades del caso descritas en el capítulo 2, se llegó a la conclusión, en base a simulaciones y pruebas in situ, de que la solución basada en femtoceldas permitía solucionar el problema de una manera rápida y eficaz sin necesidad de una solución tipo RF que conlleven más tiempo de implementación e inversión.
- Tras el análisis de la solución del caso, se diseñó una arquitectura que respaldada por simulaciones y un análisis económico exhaustivo de los componentes del TCO (*Total cost of ownership: CAPEX + OPEX*) se verificó

que existen soluciones en el mercado acordes a este tipo de problemática y que son capaces de integrarse bajo una única solución extremo a extremo. Así mismo, se verificó que el ubicar las femtoceldas muy cerca a las ventanas y a macro celdas existentes con un nivel de señal adecuado genera interferencia y degrada las condiciones de radio que la red macro posee. Siendo el impacto más negativo cuando el móvil está conectado a la red macro y transmitiendo un nivel de potencia significativo

- Se implementó y se probó que la solución funciona cumpliendo los objetivos marcados y descritos en la presente tesis obteniendo RSCP mayor a -85 dBm en el 99.88% de las muestras totales, EcNo mayor a 6dB en el 90.52% de las muestras totales y el parámetro *Scrambling code* es el proporcionado por el sistema de femtoceldas. Así mismo, se tomaron parámetros adicionales como son *Tx Power* y *Throughput* y se concluyó que el nivel de *Throughput* depende de la carga presente en la red y las condiciones de radio; los niveles de *Tx Power* dentro del sistema pueden verse afectados por interferencia de otros móviles que estén transmitiendo con la red macro y estén cerca del sistema de femtoceldas, con lo cual estos parámetros pueden presentar variaciones. Se comprobó también la fidelidad de la solución *IBWDesign* para la predicción en trabajos de ingeniería.
- Se concluye finalmente, luego del estudio tecnológico y económico realizado en la tesis presentada que la implementación de una red indoor con femtoceldas es una solución viable para las optimizaciones de cobertura celular indoor con un área alrededor de los 120m<sup>2</sup>, debido a su alta rentabilidad la cual se abordó en el capítulo 3 y los niveles altos de cobertura y baja interferencia que presenta, lo cual se desarrolló y analizó en el capítulo 4.

**Bibliografía**

- [ABI2015] ABI RESEARCH, “Small Cell Market Share”  
Abi Research, 2015
- [ARU2013] Aruba Networks, “Running for Coverage: A Review of Femtocells”  
Aruba Networks, 2013
- [ALU2012] Alcatel-Lucent, “9360 Small Cell Concepts”  
Alcatel-Lucent University, 2012
- [ALU2014] Alcatel-Lucent, “3G Small Cell RF Guideline”  
Alcatel-Lucent, 2014
- [BOC2011] Boccuzzi Joseph & Ruggiero Michael “Femtocells : Design and Application”  
McGraw-Hill, 2011
- [CHA2008] Chandrasekhar V., Jeffrey G., Gatherer A. , “Femtocell Networks: A Survey” *IEEE Communications Magazine* pp: 59-67 Volumen: 46, Issue: 9, Sept. 2008
- [CHE2010] Chetan Tanna, “Evolved Data Analysis Tool”  
Services Tools and services engineering  
Alcatel-Lucent, 2010
- [CHE2006] Chevallier C., Brunner C, Garavaglia A, Murray K & Baker K,  
“WCDMA (UMTS) Deployment Handbook: Planning and Optimization Aspects”  
Jhon Wiley & Sons, 2006
- [CHO2006] Choo Chua Moi & Zhang Quinquing, “Design and Performance of 3G Wireless Networks and Wireless LANs”  
Springer, 2006
- [CUR2015] Current Analysis, “Small cells Vendors”

Current Analysis, Junio 2015

- [DOU2010] Doug Knisely, "WHITE PAPER Femtocell Standardization"  
*Airvana Mobile Broadband*  
2010
- [DOU2009] Douglas N., Takahito Y., Frank F., "Standardization of  
Femtocells in 3GPP" *IEEE Communications Magazine* pp: 68-  
75 Volumen: 47, Issue: 9, Sept. 2009
- [DUA2013] Duarte Aldo, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED  
RF INDOOR EN EL HOSPITAL DE EMERGENCIAS  
PEDIÁTRICAS PARA MEJORA DE COBERTURA"  
Tesis para optar el Título de Ingeniero de las  
Telecomunicaciones  
Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de  
Ciencias e Ingeniería. 2013
- [EMI2013] Emitec Industrial, "Overview JDSU Drive Test Portfolio"  
Consulta: 22 de Octubre de 2015  
URL: "<https://www.youtube.com/watch?v=lykkaTyXhEI>"  
Sección: Ciencia y tecnología
- [EVA2014] Evans Benedic, "Mobile is eating the Word"  
URL: "<http://www.slideshare.net/a16z/mobile-is-eating-the-world-40841467>"  
Consultada el 15 Abril 2015
- [FAR2010] Farhan Muhammad, "Femtocellular Aspects on UMTS  
Architecture Evolution"  
*Master's Thesis submitted in partial fulfillment of the  
requirements for the degree of Master of Science in  
Technology.*  
Espoo, April 20, 2010
- [FAR2009] Farooq Khan, "LTE for 4G Mobile Broadband Air Interface  
Technologies and Performance"

Cambridge University, 2009

- [GIAN2009] Giannattasio G., Erfanian J., Wong K. D., Wills P., Nguyen H. & Croda T., “A Guide to the Wireless Engineering Body of Knowledge”  
Jhon Wiley & Son, 2009
- [JAN2003] Janevski Toni, “Traffic Analysis and Design of Wireless IP Networks”  
ARTECH HOUSE, 2003
- [KOR2003] Korhonen Juha, “Introduction to 3G Mobile Communications”  
Artech House, 2003
- [LOF2011] Lofberg Ulf, “In-Building Mobile Coverage Systems and Deployment”  
Commscope, Febrero de 2011
- [LUC2006] Lucent Technologies, “Student Guide UMTS System”  
Lucent Technologies, 2006
- [SAU2011] Sauter Martin, “From GSM to LTE: An introduction to mobile networks and mobile broadband”  
John Wiley & Sons, Ltd, 2011
- [NOK2002] Nokia Training Center, “GSM Air Interfase & Network Planning”  
Nokia Networks Oy, Enero de 2002
- [NUE2015] Sitio Oficial de Nuevo Mundo Viajes  
URL:” <http://www.nmviajes.com/agencias-de-viajes-nuevo-mundo>  
Consultada el 13 de Agosto de 2015  
Secciones: Nuestros Clientes, Misión y Visión
- [QUA2009] Qualcomm Incorporated, “HSPA+ for Enhanced Mobile Broadband”



Qualcomm Incorporated, Febrero de 2009

- [QUA2006] Qualcomm Incorporated, “WCDMA Network Planning and Optimization”  
URL:  
“<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/wcdma-network-planning-and-optimization.pdf>”  
Qualcomm Incorporated, Mayo de 2009
- [RYS2013] Rysavy Research/4G Americas, “Mobile Broadband Explosion”  
4g Americas, 2013
- [SAU2009] Saunder S., Carlaw S., Giustina A., Raj R., Srinivasa V., Sieberg R., “Femtocells : opportunities and challenges for business and technology”  
Jhon Wiley & Sons, 2009
- [ZHA2010] Zhang Jie & De la Roche Guillaume, “Femtocells technologies and deployment”  
Jhon Wiley & Sons, 2010