

# **Pontificia Universidad Católica del Perú**

## **Escuela de Posgrado**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**Análisis de interferencia entre macro y pequeñas  
celdas en LTE TDD para cobertura en interiores**

**Tesis para optar el Grado Académico de  
Magíster en Ingeniería De las Telecomunicaciones**

**Ricardo Alonso La Torre Córdova**

**Asesor: Mg. Alessandro Defilippi Elías.**

Marzo, 2021



**Dedicatoria:**

A mi madre por ser mi soporte en los momentos más difíciles, a mi padre por enseñarme que es la perseverancia, a mis hermanos por demostrarme que unidos todo es posible, sin ellos esto no sería posible.

Resumen .....	5
Introducción .....	6
Capítulo 1: Análisis del Problema.....	7
1.1 Planteamiento del problema:.....	7
1.2 Objetivo y Alcance:.....	8
1.3 Metodología: .....	8
<b>CAPITULO 2: Marco Teórico .....</b>	<b>9</b>
2.1 LTE (Long-Term Evolution).....	9
2.2 Técnicas de Duplexado.....	11
2.3 Interferencia en LTE .....	13
2.4 Handover: .....	15
2.4.1 Handover Horizontal: .....	15
2.4.2 Handover Vertical: .....	16
2.5 Solución de cobertura en Interiores.....	17
2.5.1 Importancia de la cobertura de la cobertura de interiores. ....	17
2.5.2 Alternativas de Solución de interiores: .....	20
2.6 <b>FORMA DE TRANSMISION DE LAS ANTENAS</b> .....	<b>24</b>
2.7 Estrategia de diseño en interiores.....	24
2.8 KPI's .....	27
Capítulo 3: Análisis de interferencia caso de estudio .....	29
3.1 Herramientas de Medición: .....	30
3.2. Caso de estudio: .....	31
3.2.1 Prueba de Descarga con la SMALL CELL apagada.....	33
3.2.2 Prueba de Subida con la SMALL CELL apagada. ....	36
3.2.3 Prueba de Descarga con el uso de la SMALL encendida.....	38
3.2.4 Prueba de Subida con el uso de la SMALL encendida. ....	41
3.3 Análisis comparativo de Gráficos: .....	43
3.3.1 RSRP LTE DL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON.....	43
3.3.2 RSRQ LTE DL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON .....	44
3.3.3 SINR LTE DL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON .....	45
3.3.4 MAC Throughput DL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON.....	48
3.3.5 RSRP LTE UL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON.....	49
3.3.6 RSRQ LTE UL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON .....	50
3.3.7 SINR LTE UL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON .....	51
3.3.8 MAC Throughput UL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON.....	54
Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones. ....	56

<b>4.1 Conclusiones:</b> .....	57
<b>4.2 Recomendaciones:</b> .....	59
<b>Referencias:</b> .....	60



## Resumen

La creciente demanda en el uso de datos, ha generado que los usuarios finales exijan una mejor calidad de servicios móviles que se ve reflejada en la calidad de experiencia del usuario. En la actualidad la arquitectura de las redes móviles es distribuida en su mayor parte mediante el uso de las macro celdas las cuales brindan cobertura móvil a la mayoría de los espacios públicos y privados, en los cuales nos permiten disfrutar del acceso a las diferentes tecnologías móviles, sin embargo con el uso de esta infraestructura móvil se presentan una serie de problemas derivados del uso de este sistema en espacios con una alta concentración de personas mediante el uso de dispositivos móviles, en las cuales se refiere que existe un tráfico del uso de telecomunicaciones móviles que tiene una proyección de crecimiento de al menos en un 80% del uso en interiores.

Actualmente existen soluciones para su uso en interiores tales como DAS y Small Cells. Cada una de estas presentan diferentes características en las cuales su uso estaría delimitado por la situación en la que fuera requerido.

Sin embargo, no siempre implementar una de estas soluciones resulta en una mejora sustancial en la experiencia del usuario, refiriéndonos a que si bien existe una mejora en los valores de potencia, calidad e interferencia señal ruido; por lo que realizar una prueba de medición de señal previa a la posible colocación de una solución de interiores podría mejorar los valores pero no siempre da como resultado directo una mejoría en la experiencia del usuario.

El presente trabajo consiste en realizar un análisis de señal LTE TDD, mediante una prueba de campo a través de una medición de señal que nos ayude a determinar la influencia de las estructuras de interiores en el rendimiento de las micro celdas y en su experiencia del usuario, que puedan causar interferencias y/o disminución el rendimiento en interiores de las macro celdas, mediante una prueba de campo.

## Introducción

La necesidad del aumento de tráfico en tiempo real y sensación de demora en la calidad de servicio que requieren actualmente los sistemas de telefonía móvil ha causado avances en tecnologías inalámbricas en los dispositivos de usuarios finales. La LTE (Long-Term Evolution), que es parte de la actual generación de sistemas móviles, puede ser vista como una solución eficaz para cumplir con estos sofisticados requerimientos tal como la gran cantidad de multimedia y tráfico de datos. Más específicamente, la existencia de la arquitectura de redes inalámbricas que consiste en una simple capa de macro celdas que se puede sobre extender sobre varias pequeñas celdas basadas en LTE TDD, que son dirigidas por pequeñas estaciones base (small cells) con poco poder. Estas son clasificadas para la ayudar a la cobertura en áreas de alta concentración de personas en interiores (hotspots) [1].

Por esto existe la necesidad de tener cobertura interior donde las Macro celdas no son suficientes, mediante el uso de small cells serían una opción viable, aunque claro con algunas ventajas y desventajas propias de ese tipo de celdas.

Por ello analizaremos el problema que pueden causar a la señal de las macro celdas afectando la experiencia del usuario móvil.



## Capítulo 1: Análisis del Problema

### 1.1 Planteamiento del problema:

Según investigaciones de ABI Research presenta: Que la mayor parte del tráfico móvil es consumido en interiores y se proyecta que crecerá más de 600% para el 2020 [2], por ello la proliferación de pequeñas celdas no siempre son la solución para cubrir con cobertura móvil en interiores.

“Pueden las micro celdas causar interferencias y/o disminuir el rendimiento en interiores de las macro celdas.”

## **1.2 Objetivo y Alcance:**

La presente Tesis tiene como objetivo general:

- Evaluar la interferencia causada por las pequeñas celdas a las macro celdas, en interiores.

Objetivos Secundarios son:

- Análisis y realización de pruebas de campo en una unidad geográfica utilizando software de medición.
- Analizar la configuración de las tramas en TDD LTE.

Exclusiones:

Las pruebas de interferencia en frecuencia más no en tiempo, que sean realizadas en interiores y LTE TDD.

## **1.3 Metodología:**

La metodología a seguir en la presente tesis se basa en la necesidad de cobertura en interiores. El uso de la solución de interiores puede causar interferencia afectando la calidad de servicio y experiencia del usuario en LTE TDD, esto será comprobado a través del análisis de las pruebas de campo con la ayuda de herramientas y software de medición para evaluar de forma ponderable la interferencia producida.

## CAPITULO 2: Marco Teórico

### 2.1 LTE (Long-Term Evolution)

LTE fue desarrollada para asegurar que la tecnología de transferencia de datos siga siendo competitiva en el futuro previsible [3]. Los requisitos del sistema de LTE Rel-8, ver Tabla 1, incluyen la mejora de la capacidad y la cobertura del sistema, la mejora de la experiencia del usuario a través de las tasas de datos más altas y latencia reducida, la disminución de los costos de despliegue y costos operativos, y la integración de forma perfecta con los sistemas existentes [4].

Característica	Requerimiento
Velocidad de datos máxima	DL - 100 Mbps a 20 MHz UL - 50 Mbps a 20 MHz
Eficiencia espectral de la celda	DL - 3-4 veces Rel-6 HSDPA UL - 2-3 veces Rel-6 HSUPA
Eficiencia espectral de usuarios en el borde de la celda	DL - 2-3 veces Rel-6 HSDPA UL - 2-3 veces Rel-6 HSUPA
Eficiencia espectral promedio de usuarios	DL - 3-4 veces Rel-6 HSDPA UL - 2-3 veces Rel-6 HSUPA
Latencia en el Plano de Control	50 ms de dormido a activo
Capacidad en el Plano de Control	400 usuarios
Latencia en el Plano del Usuario	5 ms
Movilidad	Hasta 350 Km/h
Rango máximo de la celda	100 Km
Espectro soportado	Flexible (hasta 20 MHz)

Tabla 1 – Requerimiento de Release 8 [5]

### Consideraciones:

- Esquema de acceso de radio Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) en el downlink y SC-FDMA en el uplink [4].
- Soporte de packet scheduling en el dominio del tiempo y de frecuencia [4].
- Simplificaciones en la MAC y en el modelo de estados Radio Resource Control (RRC), así como reducción del número de canales de transporte (no hay canales dedicados) [4].
- Funcionalidades de packet scheduling, Automatic Repeat Request (ARQ) e Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) terminadas en evolved Node B (eNB) [4].
- Simplificación de la arquitectura Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Networks (E-UTRAN) y descentralización de la misma [4].

### Arquitectura LTE

La arquitectura del sistema de LTE se basa en Internet Protocol (IP) y por lo tanto está diseñado para soportar de manera eficiente la transmisión basada en paquetes. Una ilustración simplificada de la arquitectura del sistema de LTE [5], denominado formalmente en las especificaciones como Evolved Packet System (EPS)[4].

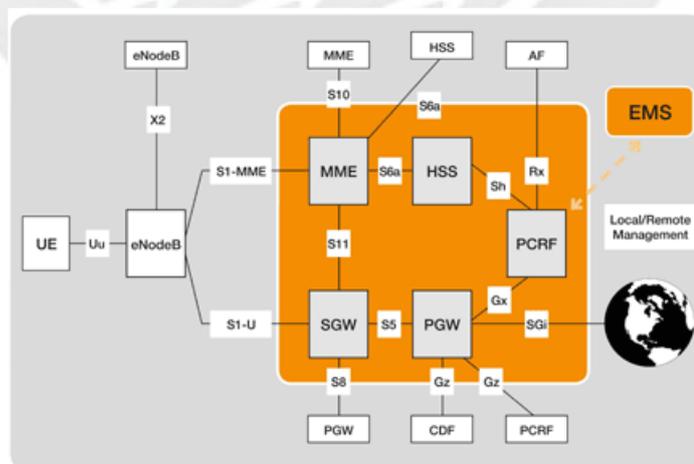


Figura 1 – Arquitectura Base LTE [4]

## 2.2 Técnicas de Duplexado

### FDD (Frequency Division Duplex)

Muchos de los sistemas celulares (AMP, GSM, etc) usan FDD en el cual el transmisor y receptor operan simultáneamente en diferentes frecuencias. La separación ocurre en los canales de descarga y subida para evitar interferencias entre ellos. También evitar el uso de 2 antenas, o alternativamente una antena con filtro de protección, esto añadirá peso, tamaño y costo a la radio. [6]

### TDD (Time Division Duplex)

Hay sistemas celulares diseñados para usar TDD. En TDD hay un flujo bidireccional de información exitoso usando un esquema simplex que alternando automáticamente en tiempo la dirección de transmisión en una sola frecuencia. En el mejor de los casos TDD sólo puede proporcionar un flujo bidireccional quasi-simultáneo, mientras que en una dirección no se usa en la otra se usa la frecuencia. De tal manera, con una alta suficiencia de tasa de transmisión sobre el canal, el tiempo de apagado es imperceptible durante la conversación, y con un sistema de voz digital, el único efecto es un retraso muy pequeño. [6]

La cantidad de espectro requerida por ambos FDD y TDD es la misma. La diferencia está, en el uso de 2 bandas de espectro separadas que requieren usar salvaguarda en FDD, mientras que TDD requiere una sola banda de frecuencias pero con el doble de Ancho de Banda. [6]

TDD permite mejor utilización de recursos, permitiendo la posibilidad de configurar de manera estática la relación de los recursos de subida y bajada asignados a lo largo del tiempo para que coincidan con la demanda de red específica. [7]

### Tramas TDD y configuración.

Cada trama de radio en LTE TDD consta de 10 subtramas de 1 ms cada una, cual puede estar configurada estáticamente tanto como en subida y bajada de recursos, utilizando 1 de los 7 ajustes de configuración de marco soportados, como se muestra en la Figura 2 y 3. [7]

Uplink/downlink configuration	Subframe number										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U	
1	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D	
2	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D	
3	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D	
4	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D	
5	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D	
6	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	

Figura 2: LTE TDD configuración estática de tramas. [7]

D = subtrama de Download, S = subtrama especial, U = Subtrama de Uplink.

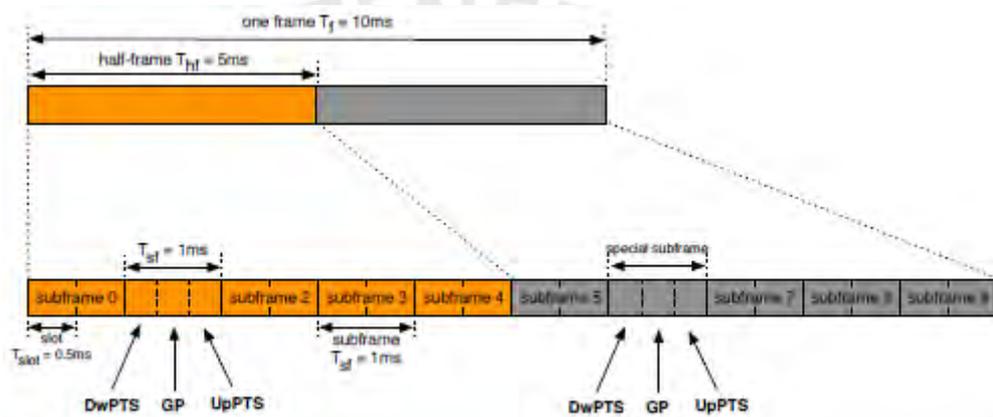


Figura 3: LTE TDD estructura de las tramas. [7].

En el caso de funcionamiento con TDD (Figura 4), sólo hay una frecuencia de portadora por portadora componente y las transmisiones por el uplink y el downlink siempre están separadas en el tiempo para cada célula. Como puede observarse en la Figura, algunas subtramas están atribuidas a las transmisiones por el enlace ascendente mientras que otras lo están a las transmisiones por el enlace descendente, produciéndose la conmutación entre los uplinks y downlinks en la subtrama especial. La subtrama especial se divide en tres partes: una parte para el downlink (**DwPTS**), un periodo de guarda (**GP**) en el que se efectúa la conmutación, y una parte para el uplink (**UpPTS**). La **DwPTS** se trata básicamente como una subtrama ordinaria del downlink, aunque se pueden transmitir menos datos debido a que la longitud de la **DwPTS** es menor. La **UpPTS** puede utilizarse para el sondeo del canal o el acceso aleatorio. La **DwPTS**, el **GP** y la **UpPTS** tienen longitudes individuales configurables para soportar distintos escenarios de implantación, y una longitud total de 1 ms. [8]

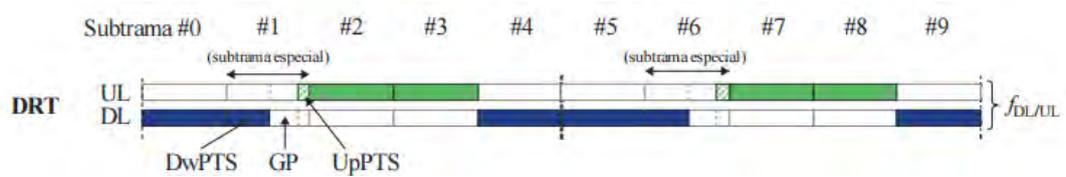


Figura 4: Estructura en el tiempo de los uplinks y downlinks en TDD [8].

Se ofrecen diversas asimetrías en cuanto a la cantidad de recursos atribuidos a la transmisión por los uplinks y downlinks respectivamente, de acuerdo con las siete configuraciones distintas de los uplinks y downlinks como se puede ver en la Figura 5. En el caso de agregación de portadoras, la configuración de los uplinks y downlinks es idéntica para todas las portadoras componentes. La coexistencia entre la RIT TDD y otros sistemas TDD (de las IMT-2000) tales como el TD-SCDMA se consigue alineando los puntos de conmutación entre los dos sistemas y seleccionando la oportuna configuración de la subtrama especial y la adecuada asimetría de los uplinks y downlinks. [8]

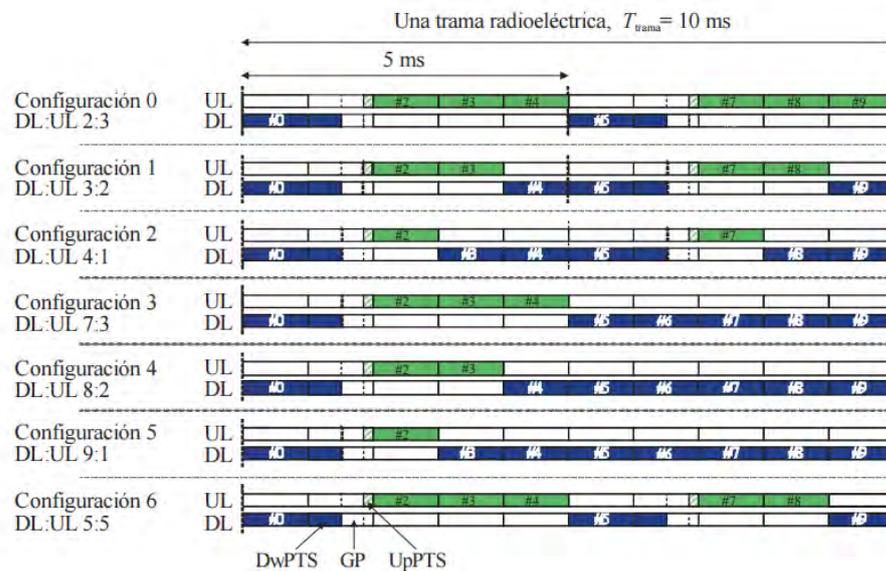


Figura 5: Asimetría de los uplinks y downlinks soportada por la RIT TDD [8].

## 2.3 Interferencia en LTE

La creciente demanda de proveer acceso de internet de banda ancha extendido en las redes móviles ha sido impuesto la necesidad de desarrollar **OFDMA** (Orthogonal frequency Division Multiple Access) basado en las redes celulares wireless tal como las redes 4G. Uno de los mayores retos para la evolución del LTE es el incremento de la capacidad de la red [9]. Aunque la reutilización de frecuencias densa resulta en una mejora significativa de la capacidad del sistema, también degrada notablemente el rendimiento del sistema debido al aumento de la interferencia causada por las células adyacentes [9,10]. En los sistemas de comunicaciones celulares móviles, principalmente 2 tipos de interferencias deben ser tomadas consideración tal como la interferencia intracelular y la intercelular. La transmisión de desbordamiento entre canales adyacentes dentro de una celda da como resultado interferencia intracelular (Figura 6). En la interferencia intercelular (ICI), el terminal móvil interferente está en la célula adyacente (Figura 7). ICI es causada por el uso del mismo canal de frecuencia en las células vecinas [11].

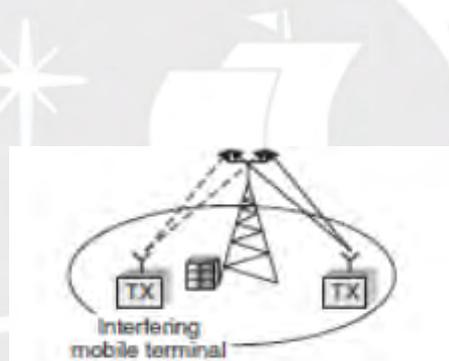


Figura 6: Interferencia intracelular [11].

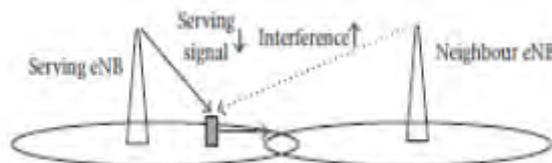


Figura 7: Interferencia intercelular [12].

En descarga LTE, la tecnología de radio acceso PFDMA es usada donde las subportadoras están mutuamente ortogonales una a la otra, implicando que no hay interferencia intracelular. De tal manera que ICI puede limitar el rendimiento del sistema en términos de throughput y eficiencia espectral, especialmente para los

usuarios ubicados en el filo de la celda. Por lo tanto, una gestión cuidadosa de la interferencia entre celdas es muy importante en LTE para mejorar el rendimiento del sistema [12,13].

### **MITIGACION:**

Para mitigar la interferencia intercelular (ICI), algunas estrategias son usadas durante la transmisión o después de la recepción de la señal. Las técnicas de mitigación de ICI pueden ser clasificadas como interferencia aleatorizada, cancelación de interferencia y evasión de interferencia. En la primera estrategia, se pueden usar algunas técnicas de codificación, intercalación o dispersión de espectro de celdas específicas para reducir la interferencia. La interferencia se distribuye aleatoriamente entre todos los usuarios, como el uso de codificación pseudoaleatoria de canales. Por lo tanto, los usuarios de borde de celda no siempre sufrirán fuerte ICI durante todo el período de transmisión. En la cancelación de la interferencia, la señal de interferencia se regenera mediante el procesamiento de la señal y de la interferencia estimada se resta de la señal recibida [14].

La evasión de interferencia, la asignación de diversos recursos (por ejemplo, tiempo / frecuencia / potencia) se controla para aumentar la relación de señal a interferencia y ruido (SINR); Por lo tanto el rendimiento, de los usuarios del borde de la celda y para asegurarse de que ICI estará dentro de los límites tolerables [15]. La estrategia de evasión de interferencia asegura mejores servicios para los usuarios ubicados en el borde de la celda sin sacrificar el rendimiento de los usuarios del centro en el sistema [16].

## **2.4 Handover:**

El Handover es la práctica de retener la conexión activa de un usuario cuando un terminal móvil cambia su punto de conexión a la red de acceso (llamado "point of attachment") [17]. Sujeto a la red de acceso a la que pertenece cada punto de unión, los handover pueden clasificarse en dos categorías principales:

### **2.4.1 Handover Horizontal:**

Un handover horizontal tiene lugar entre point of attachment (PoA) que soportan la misma tecnología de red, por ejemplo, transferencia entre estaciones base vecinas

consecutivas de una red de comunicaciones de Sistema Global para Móvil (GSM). [18]

### 2.4.2 Handover Vertical:

Un handover vertical ocurre entre PoA que soportan diferentes tecnologías de red, por ejemplo, entre un punto de acceso Wi-Fi y una estación base de red celular [19]. Para una decisión de handover vertical, es posible que deba activarse una nueva interfaz de radio en el dispositivo portátil [18].

Si el dispositivo está habilitado con múltiples transmisiones de radio simultáneamente, entonces esta activación puede hacerse de dos maneras [20]: Sin romper la conectividad actual, es decir, hacer antes del traspaso de interrupción (MBB HO). Romper la conexión antigua antes de realizar la transferencia, es decir, Break Before Make (BBM HO) [18].

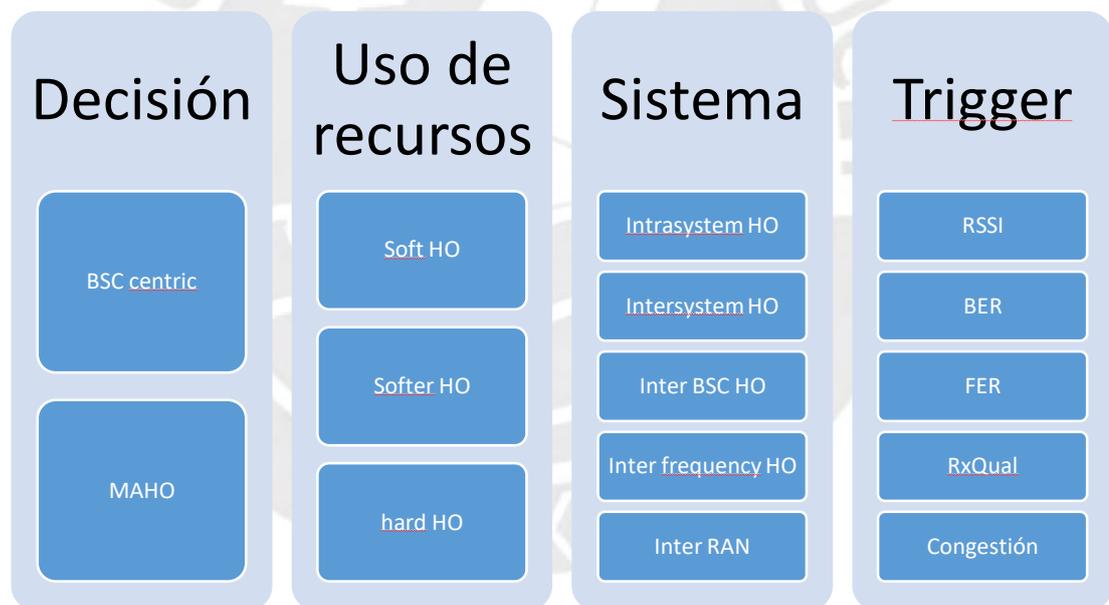


Tabla 2: Cuadro resumen Handover horizontales y verticales, y sus variaciones [21].

## 2.5 Solución de cobertura en Interiores

### 2.5.1 Importancia de la cobertura de la cobertura de interiores.

Hay muchas razones por las cuales el operador móvil provea suficiente cobertura en interiores. Por ello mencionaremos algunos puntos importantes a tomar en cuenta: [22]

- **Evaluación Comercial y técnica:**

Primero y ante todo, el operador móvil debe hacer una evaluación de negocio, antes de considerar invertir en alguna solución de interiores. El operador debe usar las herramientas estándar y evaluar la métrica del caso de negocio, en orden de poder calcular la entrada de cada usuario individualmente de los diferentes segmentos. Esto habilitara al operador de comparar cada uno de los casos de negocio en todos los proyectos de cobertura de interiores, para poder priorizar los proyectos.

Esta evaluación debe ser basada en el flujo de evaluación estandarizado. [22]

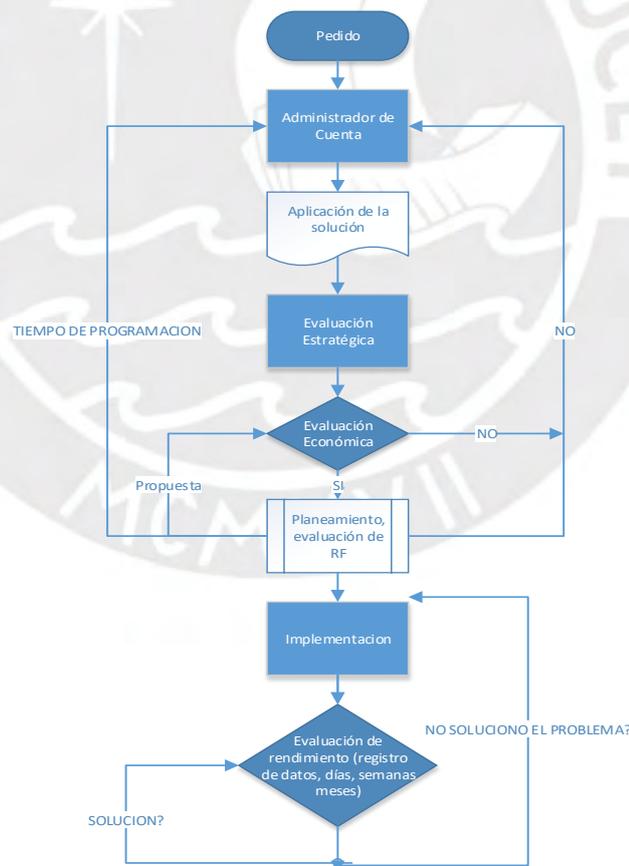


Figura 8: Flujo de evaluación del planeamiento del proceso de soluciones de interiores [22]

- **La mayor parte del tráfico móvil es en interiores.**

Dependiendo sobre que parte del mundo se analice, en efecto la mayor parte del tráfico se origina en interiores. Por lo tanto, hay que tomar especial atención a la necesidad de cobertura en interiores, para cumplir con las expectativas de los usuarios y la necesidad de servicio. Esto especialmente en el caso de áreas urbanas, debido a la alta concentración de usuarios móviles y altas tasas de datos. [22]

- **Entre el 70-80% del tráfico móvil es dentro de construcciones.**

En la mayoría de ciudades es muy interesante tener en cuenta que por lo general unos pocos edificios importantes (hotspots) producirán la mayor parte del tráfico. En algunas ciudades más del 50% del tráfico se origina alrededor de 10% de los hotspots. Estos hotspots regularmente son centros comerciales, aeropuertos y grandes edificios corporativos. [22]

- **Las soluciones de interiores pueden convertirse en una gran oportunidad de negocio.**

Especialmente para 3G, el poder de carga por usuario (PLPU) es un importante factor debido al hecho que el poder de descarga en la estación base es directamente relacionado a la capacidad. Cuanto mayor sea PLPU, mayor será la capacidad de descarga del usuario de la estación base. Esto hará que los usuarios consuman más, tanto como en interiores como exteriores de la red macro. [22]

No solamente la cobertura, calidad y la velocidad de datos será mejor en 3G con soluciones de interiores dedicadas, pero el PLPU será mucho menor con un sistema de interiores, la estación base no tendrá como llegar con la alta pérdida por penetración de construcciones (20 a 50 dB). En efecto, los usuarios de la estación macro, la señal dependerá en su mayoría de los reflejos en el orden del servicio a los usuarios, degradando la ortogonalidad. [22]

Implementando las soluciones en la cobertura de interiores esta será más eficiente en el uso de capacidad (Poder de descarga) de la estación base, y de la información del canal. Puedes reducir el costo de producción por llamada por minutos o Mb. Usando las soluciones de interiores en construcciones y también reduce sobre todo el incremento de ruido en la red. EL costo de producción de llamada por minuto o Mb en 3G puede ser cortado por 50-70% usando soluciones de cobertura IB. [22]

- **Evalúa el valor de la solución propuesta.**

Antes de considerar alguna solución de interiores, se deberían evaluar cuidadosamente los valores de la solución propuesta, se deberá responder las siguientes preguntas: [22]

- 1 ¿Será la inversión un caso de negocio positivo?
- 2 ¿Cuándo comenzara la inversión a devolver?
- 3 La solución seleccionada es óptima para futuras necesidades:
  - Velocidades de datos más altas.
  - Nuevos servicios.
  - Más operadores.
  - Más capacidad.
- 4 Puede la solución seleccionada mantenerse al día con los cambios futuros en el edificio:
  - Reconstrucción.
  - Extensión.
- 5 ¿La solución descargará la capa macro y liberará la capacidad necesaria? Esto debe ser parte del caso de negocio para la solución de interior; Es un valor añadido si libera energía o capacidad en la red exterior que puede servir a otros usuarios.
- 6 ¿Existen razones estratégicas para proporcionar la Solución de cobertura en interiores?
  - Ventaja competitiva sobre otros operadores.
  - Aumento del tráfico en otras partes de la red.
  - Valor internacional del roamer (aeropuertos, puertos, barcos, transbordadores, hoteles, centros de convenciones)
- 7 ¿Pueden cubrir edificios corporativos dedicados, con el fin de asegurar el negocio para toda la cuenta:
  - Mejor cobertura.
  - Mejor calidad.
  - Mejor capacidad.
  - Velocidades de datos más altas.
  - ¿Más lealtad de los usuarios? [22]

## 2.5.2 Alternativas de Solución de interiores:

Las redes móviles de los operadores están enfrentando un crecimiento de la demanda para proveer cobertura por ubicación y de alto nivel de rendimiento. Tradicionalmente se aprovecha el plan de cobertura de las redes para proveer calidad en servicio de voz de un nivel satisfactorio en la década pasada, esto ha sido reemplazado por una batalla de altos requerimientos de los usuarios finales.

La densidad en las áreas de interiores (ej.: centros comerciales, oficinas, hoteles, metros, etc.) requiere la más alta calidad de servicio posible, ya que usualmente no podemos cumplir por la mentirosa red macro de cobertura. Implementar una solución de interiores (IBS) en tantos lugares se ha convertido en una necesidad, impulsada por la cobertura o la capacidad. [23]

Un sistema IBS tiene que proveer señal dominante uniforme y dar cobertura en interiores. En orden de cumplir esto, la señal para una estación base en interior debe ser dividida sobre numerosas antenas, idealmente operando con un mismo nivel de potencia, posicionadas cuidadosamente para asegurar el aislamiento de las macro celdas que los rodean. Hay varios enfoques importantes para la distribución de potencia: distribución activa, distribución pasiva, soluciones híbridas o soluciones de SMALL CELL distribuidas. [23]

El DAS es típico para las soluciones de cobertura para interiores. El DAS de interiores distribuye la señal de radio frecuencia hacia la fuente (estación base o repetidor) a un número de antenas de interiores remotas. [23]

### **DAS pasivo:**

Es el más amplio sistema de distribución para IBS, especialmente en construcciones pequeñas, extensamente usado para GSM desde los inicios de los sistemas de interiores. Esto consiste solo en equipamiento pasivo (ej.: coaxial, splitters, antenas) y esta es la solución DAS más barata, relativamente fácil de planear, además puede ser instalada en ambientes difíciles, pero esta privada de control y propensa a efectos de intermodulación pasiva (PIM) [23]

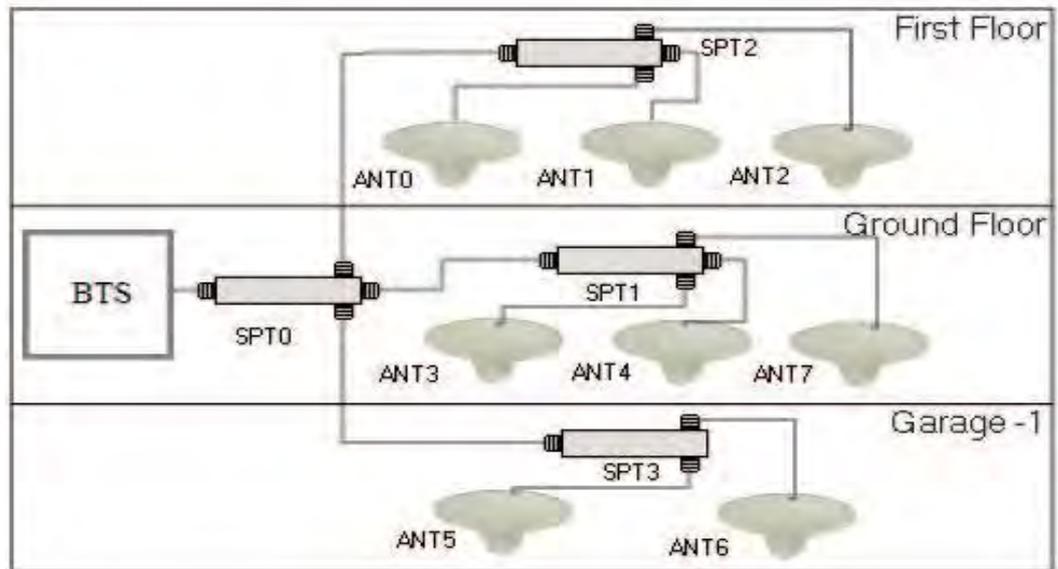


Figura 9: Ejemplo de DAS pasivo, en un Sistema de interiores tradicional compuesto por elementos Pasivos [23]

### DAS Activo:

Es un sistema de distribución de potencia que consiste únicamente en componentes activos. Un DAS activo puro, componentes pasivos, ej.: antenas que son conectadas directamente al sistema activo con pequeños jumpers cableados. Dependiendo de la complejidad de la solución DAS, hay pequeñas diferencias entre los tipos de DAS activos. Para pequeñas construcciones la solución típica es un sistema que consiste en una Unidad de Menú (MU) y el número de Unidades Remotas (RU). [23]

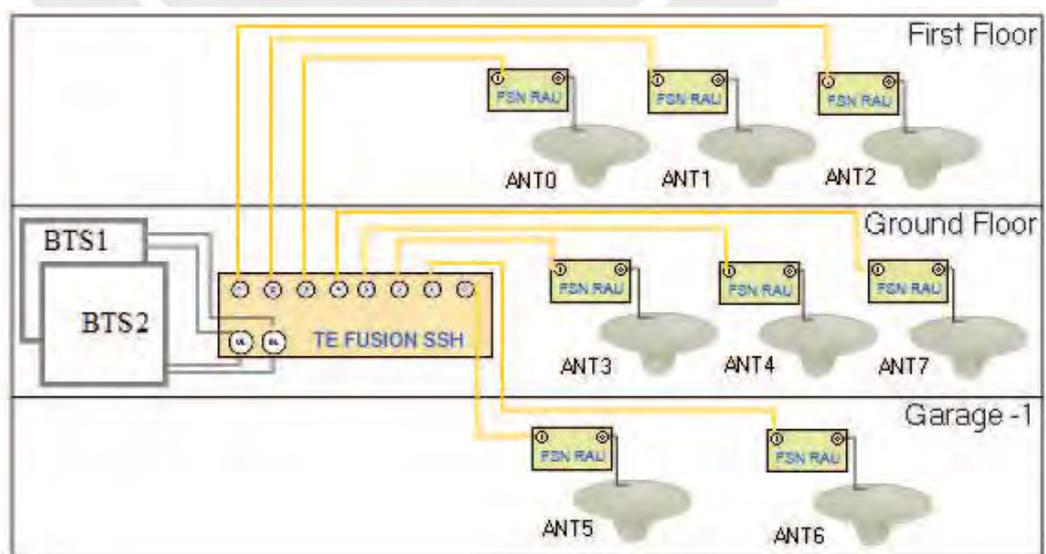


Figura 10: Ejemplo de DAS activo puro para pequeñas construcciones, 2 Estaciones Base conectada a una unidad principal con doble banda. [23]

## DAS híbrido:

Es una combinación del pasivo y activo. [23]

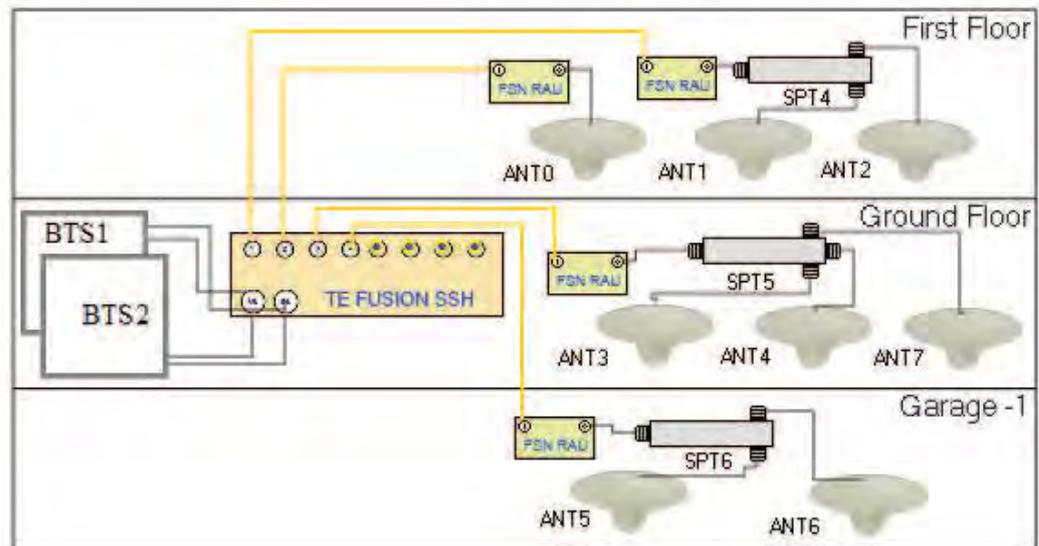


Figura 11: Ejemplo de un DAS híbrido, combinando elementos pasivos y activos. [23]

[23]

## SMALL CELL y Hetnet

El término Small Cell es frecuentemente utilizado por analistas y la industria lo describe por las diferentes implementaciones de Small Cells, y para aclarar esta confusión las Small Cell están limitadas a usos residenciales. [24]

A la fecha la forma más común de Small Cells han sido las femtocells; estas inicialmente fueron diseñadas para el uso en residencias y pequeñas empresas, con un corto rango y un número limitado de canales. [24]

Small Cells ha dado lugar a una proliferación de términos entre los proveedores: metrocells, picocells, microcells, acceso público femtocells, femtocells para empresas, superfemtos, etc. En general los siguientes términos de Smalls Cells son aceptados comúnmente [24]:

**Femtocell:** Destinado a cubrir solo zonas casas residenciales o pequeñas oficinas.

[24]

**Microcell o Picocell:** De tamaño limitado, de poca potencia y rango para pequeñas arquitecturas. [24]

**Macro cells:** Son las clásicas celdas de celulares. [24]

Dependiendo de la asignación de espectro podríamos definir las de la siguiente manera.

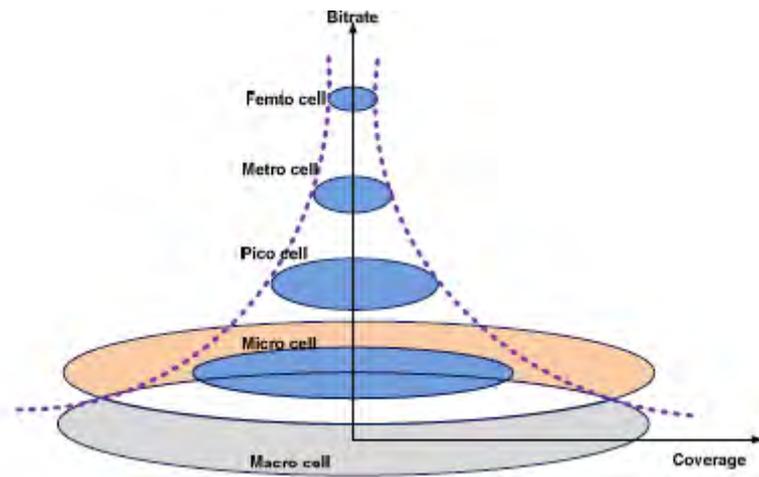


Figura 12 – Torre de Movimiento de Redes Heterogéneas por capacidad de cobertura [24]

### Topología Lógica de Instalación de Small Cells.

Como se observa en la Figura 13, el usuario móvil se conecta a la red del operador a través de una Small Cell, a través de la red de Banda Ancha (puede ser a través de ADSL, FO, etc), viaja a la estación base, conectando hacia la red metro y se conecta a los servidores de red móvil y retorna por la red banda ancha.

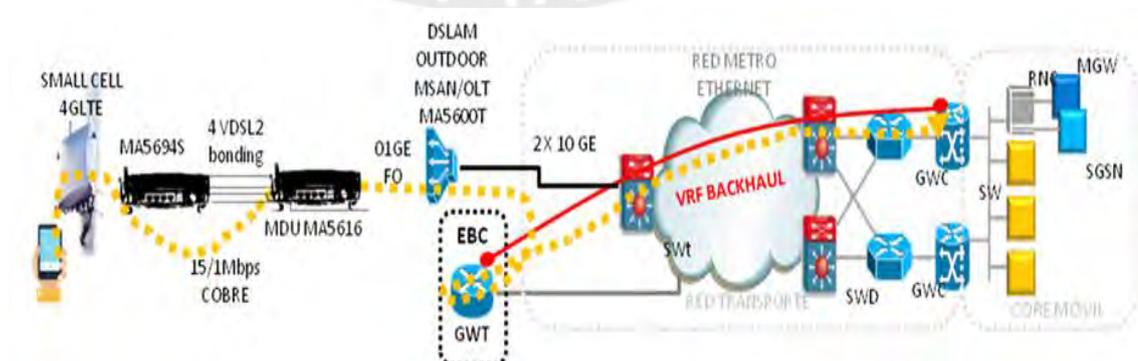


Figura 13 – Ejemplo de Topología lógica, integración de una Small Cell a red de operador móvil [Fuentes Operador Móvil]

## **2.6 FORMA DE TRANSMISION DE LAS ANTENAS**

Para nuestro caso solo mencionaremos 2 tipos de antenas y su patrón de transmisión.

### **Antena Direccional**

Es aquella que irradia su energía más eficazmente en una o algunas direcciones. Típicamente, estas antenas tienen un lóbulo principal y varios lóbulos menores. Como por ejemplo los paneles y platos. [25]

### **Antena Omnidireccional.**

Es aquella antena que tiene un patrón no direccional (patrón circular) en un plano dado con un patrón direccional en cualquier plano ortogonal. Como por ejemplo antenas dipolo y colineales. [25]

## **2.7 Estrategia de diseño en interiores**

Cuando todas las mediciones has sido analizadas y los cálculos de dimensionamiento han sido completados, aun se necesita saber dónde serian colocadas las antenas en la construcción. Una cosa es calcular el radio del servicio de la antena (Figura 14) y la superposición de la antena, pero cómo se usaría esta información para implementar el diseño final. [22]

### **Planificación en las construcciones basadas en los hotspot**

El termino hotspot es a menudo usado en el planeamiento de las macro capa, un hotspot es un lugar con alta densidad de tráfico de usuarios móviles, que necesitan especial atención en términos de cobertura, calidad, capacidad y velocidad de datos. [22]

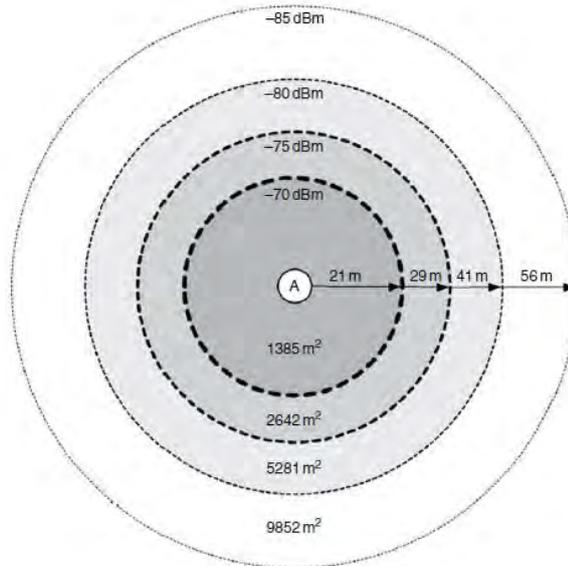


Figura 14 – Radio de cobertura en interiores y área vs nivel de diseño de una antena omnidireccional. [22]

Los hotspot también existen dentro de los edificios y las redes macro, estos producen el mayor porcentaje de tráfico, usualmente son áreas donde la gente se sienta a trabajar con sus pc, tablets o celulares por un tiempo extendido. [22]

Es altamente recomendable ubicar las antenas en este lugar (hotspot), esto no tiene que ser costoso, a menudo es solo una cuestión de usar los hotspot como base. [22]

Si miramos solo el simple diseño del plano de la Figura 15. Hemos recibido datos de diseño de este plan de planta y hemos sido informados de que este es un entorno de oficina típico y que necesitamos proporcionar -75 dBm en la mayor parte del área.

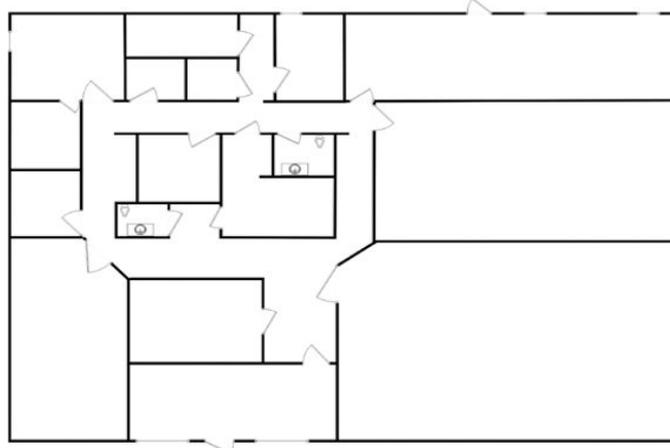


Figura 15 – Plano de planta simple. [22]

El diseño que producimos basado en estas entradas se muestra en la Figura 16, y aparece como un diseño sólido. Cumplimos con -75 dBm en la mayor parte del área, excepto para algunos puntos en el pasillo y algunos puntos dentro de las habitaciones en las esquinas.

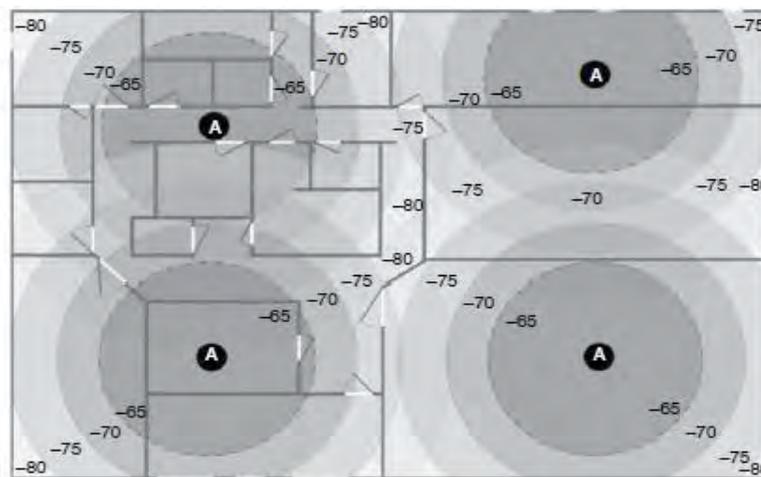


Figura 16 - Plano de planta con “diagrama de predicción” del nivel de señal de RF de enlace descendente, bien dentro del nivel de señal mínimo requerido de -75 a -85 dBm.

### Conozca el edificio que está diseñando

Si hubiéramos tomado el tiempo y obtenido los detalles de la función de cada habitación en el edificio, como se muestra en la Figura 17, en lugar de basar nuestro diseño únicamente en el diseño de las paredes de la Figura 15, habríamos descubierto que estas habitaciones son las áreas de conferencias del edificio y que los usuarios del edificio son altamente dependientes de los servicios inalámbricos para su formación y presentaciones. Varias áreas VIP y salas de reuniones también están en este piso, áreas donde se encuentran los principales tomadores de decisiones, utilizando los últimos servicios y dispositivos inalámbricos.

Si hubiéramos sabido sobre los hotspots en el edificio, podríamos haber hecho un diseño como el de la Figura 18, con un enfoque en la conferencia y áreas VIP, también asegurándose de que las gerencias tengan un excelente servicio simplemente agregando uno o más Antena y enfocando todas las antenas en las áreas del hotspot.



Figura 17 – Mapa de ubicación de hotspots resaltadas de rojo. [22]

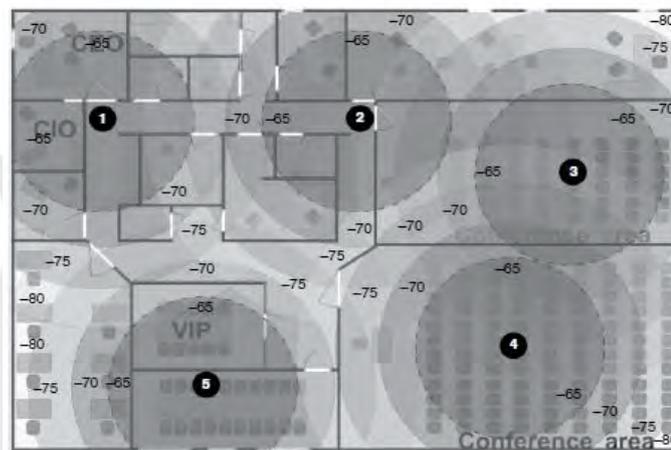


Figura 18 – Diseño basado en el reconocimiento de los hotspot en la planta.

## 2.8 KPI's

Para poder entender el capítulo 3 y 4, necesitamos conocer estos parámetros:

**PCI:** Es el identificador físico de la celda. [22]

**RSRP:** Es la potencia de señal recibida en dB. [22]

**RSRQ:** Es la calidad de señal recibida en dBm. [22]

**SINR:** Es la relación señal-interferencia más ruido, es decir la potencia en el receptor debido a la señal requerida, dividida por la potencia debida al ruido y a la interferencia. B es el ancho de banda del sistema de comunicación en Hz, y C es la capacidad del canal en bits s<sup>-1</sup>[22]

Es teóricamente posible que un sistema de comunicación envíe datos de un transmisor a un receptor sin errores en absoluto, siempre que la velocidad de transmisión de datos sea menor que la capacidad del canal.

En un sistema de comunicación móvil, C es la velocidad de datos máxima que una celda puede manejar e iguala la velocidad de datos combinada de todos los móviles de la celda.

$$C = \text{Blog}_2(1+\text{SINR})$$

Parametro	2G	3G	4G
Recepción de señal	RxLev	RCSP	RSRP
Calidad de Señal	RxQual	Ec/No	RSRQ/SIRN
Parámetros de diseño	RxLev	CPICH	RSRP

Tabla 3 – Parámetros de calidad de señal importantes en Tecnologías móviles  
[Elaboración propia]

	2G		3G		4g	
	RxLev	RxQual	RSCP	Ec/No	RSRP	RSRQ
Bueno	>-75 dBm	0 a 2	>-75 dBm	-1 a -9 dB	>-95 dBm	-1 a -9 dB
Optimo	<-95,-76> dBm	3 a 4	<-95,-76> dBm	-10 a -13 dB	<-105,-96> dBm	-10 a -13 dB
Malo	<-95 dBm	5 a 7	<-95 dBm	-14 a -20 dB	<-106 dBm	-14 a -20 dB

Tabla 4 – Rango establecidos en los parámetros de calidad de señal importantes en Tecnologías móviles [Fuente operador móvil] [28]

### **Capítulo 3: Análisis de interferencia caso de estudio**

En el presente capítulo se realizará pruebas de medición de señal en LTE TDD con configuración SA0 (3 UL; 1 DL), sincronización GPS, subtrama especial 7.

Comparando el desempeño de la señal, con la instalación de una SMALL CELL con sincronización GPS para evitar desfases en el tiempo que generara interferencia afectando en el dominio de la frecuencia a la macro celda en rendimiento.

Se realizarán muestreos de señal a través de las herramientas de medición (Drive Test) RSRP, RSRQ, SINR, MAC Throughput, tanto como en descarga y subida de datos, para los siguientes casos:

- La Macro celda encendida sin interferencia alguna.
- La Macro celda encendida interferencia de la Small Cell.
- Para el caso de SINR y MAC Throughput se apagó la Macro cell y observar el rendimiento de la small cell sin interferencia alguna y su efecto en la calidad de servicio del usuario.

Obteniendo valores los cuales servirán para el desarrollo del capítulo 4 de la tesis.

Ubicado en el edificio Platino ubicado en la Avenida Ricardo Palma Miraflores, la cual cuenta con cobertura de 3 estaciones base en un radio de 500 metros alrededor (Figura 19).

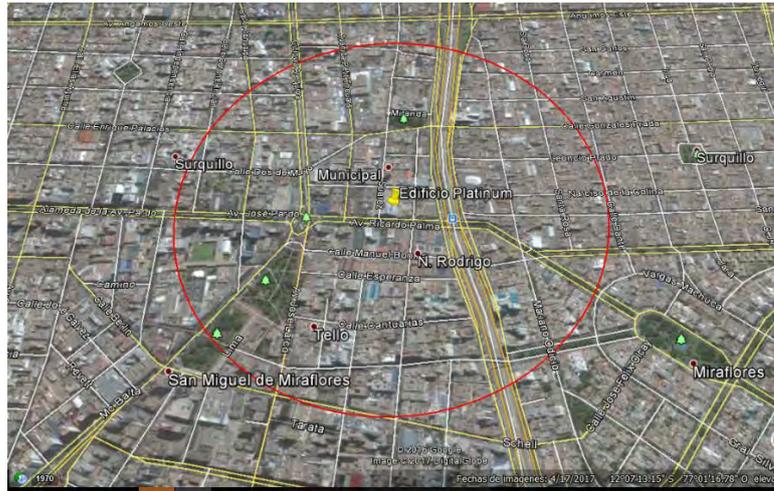


Figura 19 – Ubicación geográfica del lugar, circunferencia de ubicación de las estaciones base. [Elaboración propia]

### 3.1 Herramientas de Medición:

En el campo hay muchas herramientas de medición, nosotros usaremos el Software DingLi, el cual recopilara y procesara la información obtenida en el DRIVE TEST.

#### DRIVE TEST o WALK TEST

Es el proceso de medir todas las señales de dispositivos móviles que realizan una conexión en vivo a las estaciones base [26]. Este proceso se ha realizado para realizar la situación de calidad actual de las redes y verificar si las redes funcionan como se esperaba [27].

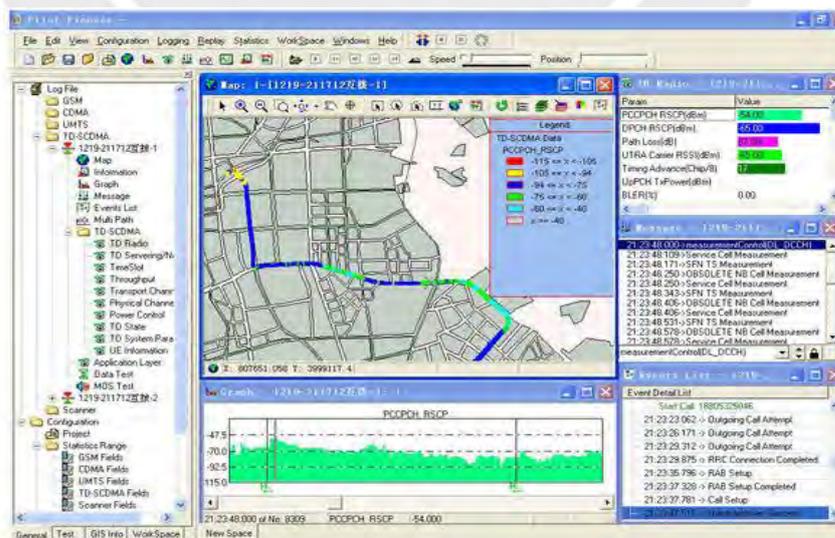


Figura 20 - Ejemplo de Drive Test con el software Pioneer DingLi en interiores. [27].

### 3.2. Caso de estudio:

#### PROTOCOLO DE PRUEBAS:

Realizaremos un diagrama esquemático basado en el punto de evaluación de Rendimiento del flujo de evaluación del planeamiento del proceso de soluciones de interiores (Figura 8), esto ayudara a entender los procesos a seguir.

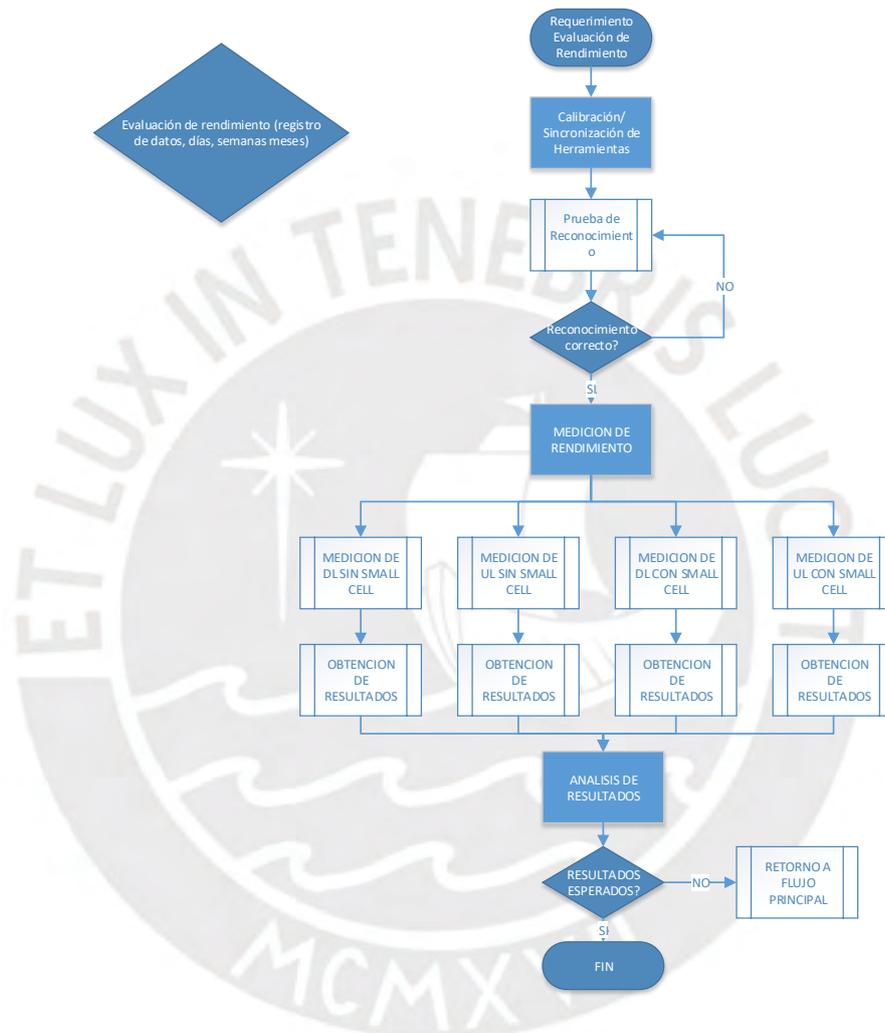


Figura 21 – Flujo grama detallado de la Evaluación de Rendimiento. [Elaboración propia]

Con la ayuda del software Pionner DingLi, conectado a un data DataCard (Figura 22) el cual contiene la tarjeta SIM, través de un puerto USB a la PC el cual recolectora la información.



Figura 22 Huawei (modelo: E5375S-860)

El software DingLi (v 9.1) que sincronizara el Data Card, creando un file del proyecto en el cual cargaremos el plano (Figura 23) del área donde se realizara el Drive Test.

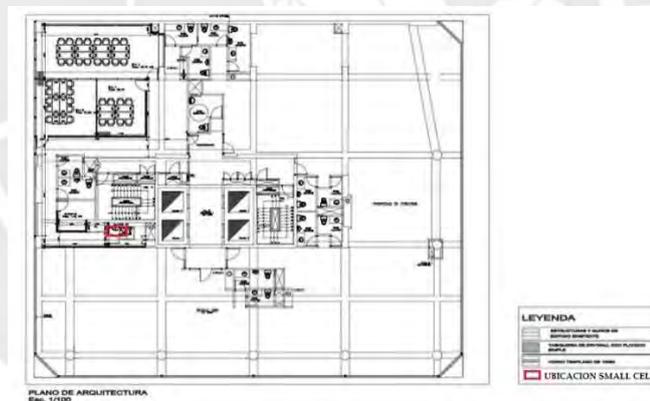


Figura 23 Plano del área de trabajo

Sincronizado el Data Card y el software arrancaremos con la recolección de los parámetros iniciales dados por el Serving Cell ID (Tabla 10).

Serving Cell	
Network	LTE
Duplex	TDD
TAC	12
Guti Group ID Code	31
Guti MME Code	1
Sub Frame Asigning Type	3 (SA0)
Special Sub Frame Pattern	7
Band	40
Bw DL	20 Mhz
F DL	2340 Mhz
EARFCN	39050

Tabla 5: Datos Iniciales de la celda en servicio, parámetros de identificación.

Se realizará una caminata alrededor de área a realizar la medición y señalizándolo en el plano realizando las siguientes pruebas:

### 3.2.1 Prueba de Descarga con la SMALL CELL apagada.

Se de la red a través de con la SMALL CELL apagada, obteniendo las siguientes gráficas:

**Serving Cell PCI (Physical Cell Identifier) – LTE – DataCard – DL**, como se observa en la figura 24, durante el recorrido nos enlazamos a 3 diferentes celdas físicas, identificadas por diferente color.

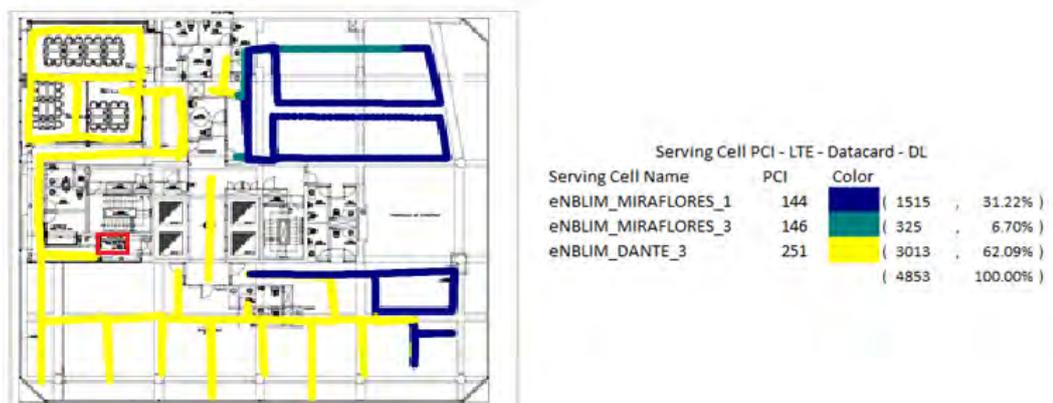


Figura 24: Traza PCI DL

**RSRP (Reference Signal Received Power)– LTE – DataCard – DL**, como se observa en la figura 25, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de potencia de señal, variando entre -115 a -65 dBm, identificadas por diferentes colores, donde 3297 es el total de muestras obtenidas.

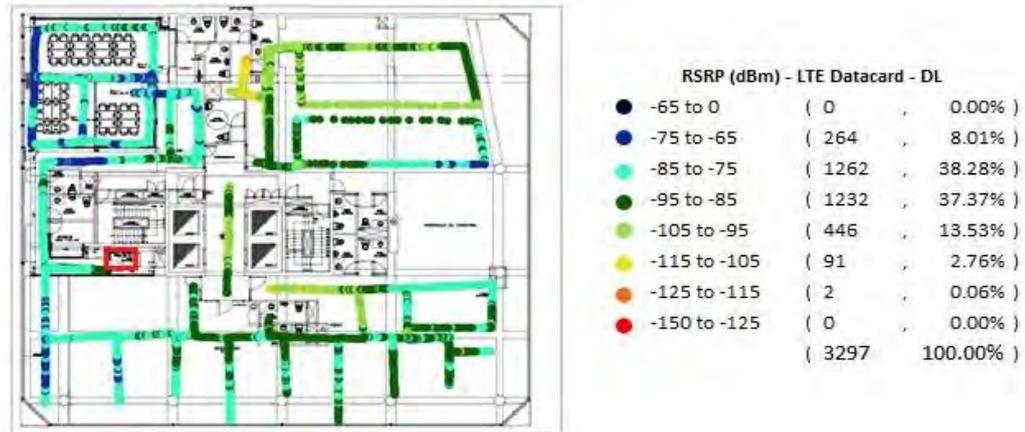


Figura 25: Traza RSRP DL

**RSRQ (Reference Signal Received Quality) – LTE – DataCard – DL**, como se observa en la figura 26, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de calidad de señal, variando entre -40 a 0 dB, identificadas por diferentes colores, donde 3297 es el total de muestras obtenidas.

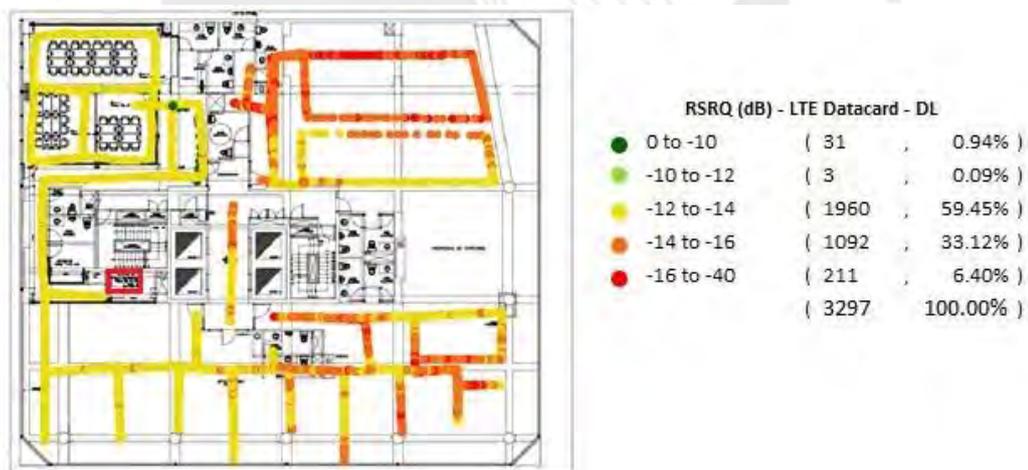


Figura 26: Traza RSRQ DL

**SINR (Signal To Interference Plus Noise Ratio) – LTE – DataCard – DL**, como se observa en la figura 27, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de la relación señal ruido, variando entre 40 a -3 dB, identificadas por diferentes colores, donde 5331 es el total de muestras obtenidas.

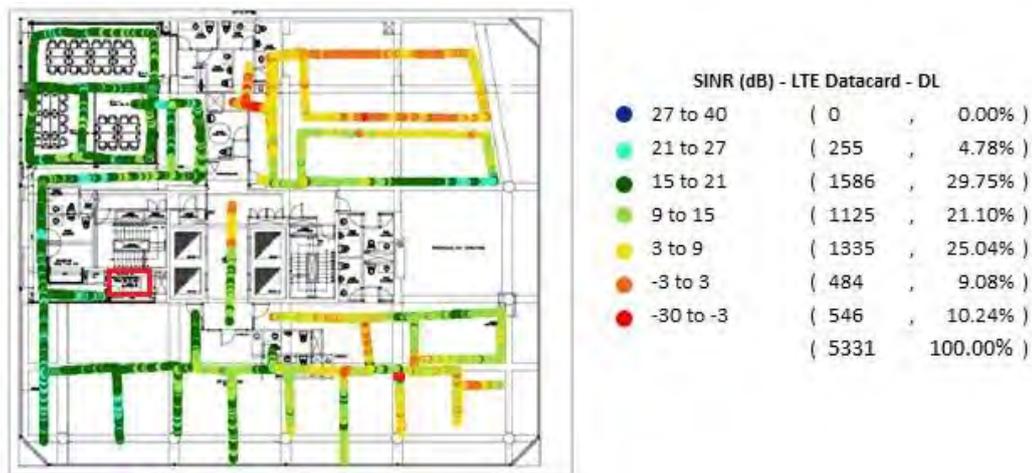


Figura 27: Traza SINR DL

**MAC (Media Access Data) Throughput – LTE – DataCard – DL**, como se observa en la figura 28, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de velocidad de descarga, variando entre 101 Mbps a menos de 1 Mbps, identificadas por diferentes colores, donde 984 es el total de muestras obtenidas.

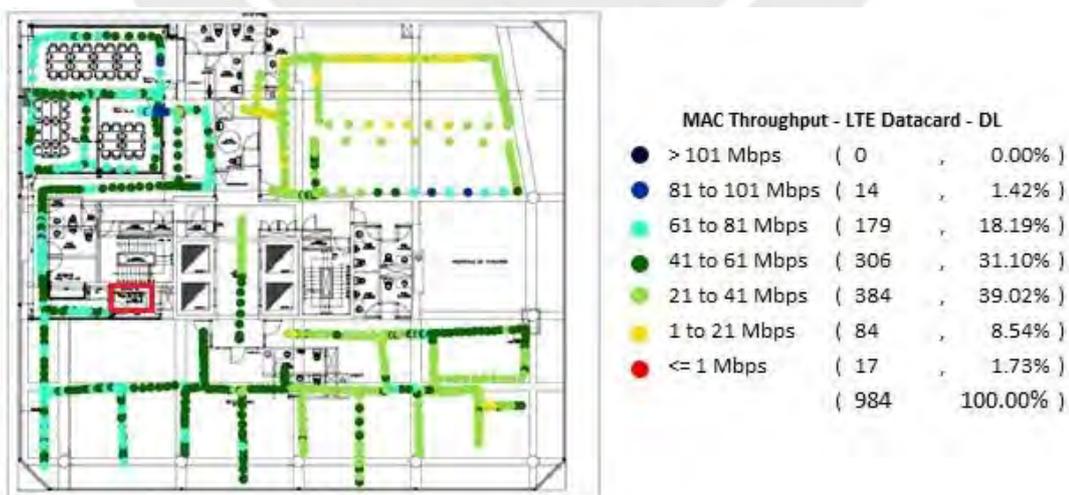


Figura 28: Traza MAC THROUGHPUT DL

### 3.2.2 Prueba de Subida con la SMALL CELL apagada.

Prueba realizada subiendo archivos de 10 Gb con la SMALL CELL apagada, a un servidor interno.

**Serving Cell PCI (Physical Cell Identifier) – LTE – DataCard – UL** como se observa en la figura 29, durante el recorrido nos enlazamos a 3 diferentes celdas físicas, identificadas por diferente color.



Figura 29: Traza Serving Cell PCI UL.

**RSRP (Reference Signal Received Power) – LTE – DataCard – UL** como se observa en la figura 30, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de potencia de señal, variando entre -125 a -65 dBm, identificadas por diferentes colores, donde 2789 es el total de muestras obtenidas.

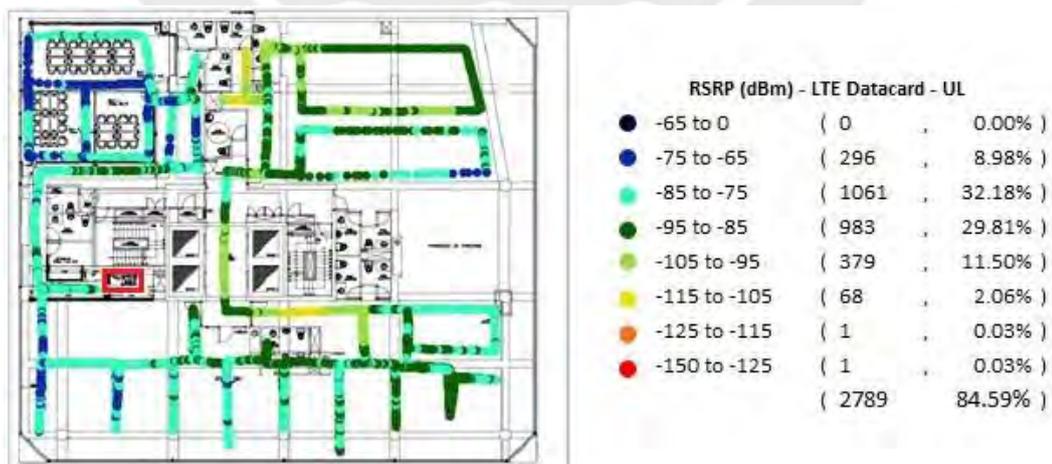


Figura 30: Traza RSRP UL

**RSRQ (Reference Signal Received Quality) – LTE – DataCard – UL**, como se observa en la figura 31, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de calidad de señal, variando entre -40 a 0 dB, identificadas por diferentes colores, donde 2789 es el total de muestras obtenidas.

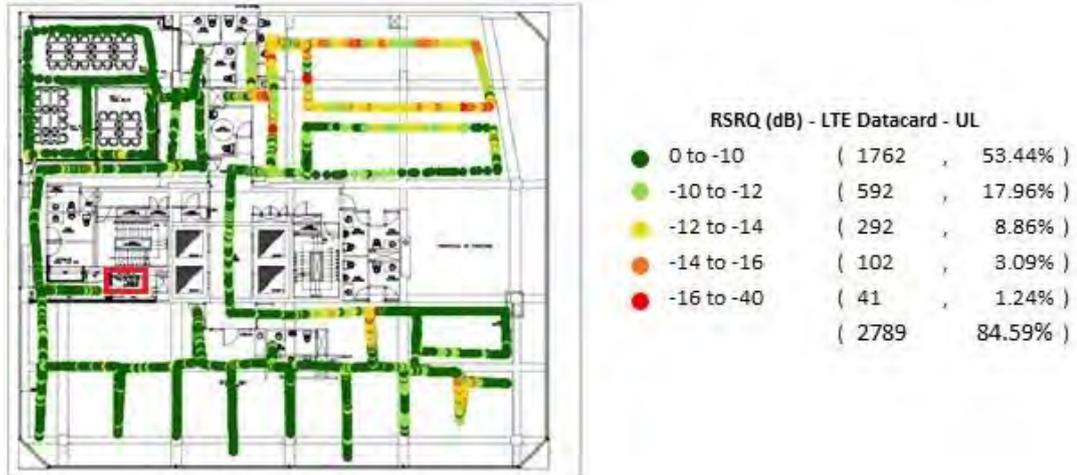


Figura 31: Traza RSRQ UL

**SINR (Signal To Interference Plus Noise Ratio) – LTE – DataCard – UL**, como se observa en la figura 32, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de la relación señal ruido, variando entre 40 a -3 dB, identificadas por diferentes colores, donde 4711 es el total de muestras obtenidas.



Figura 32: Traza SINR UL

**MAC (Media Access Data) Throughput – LTE – DataCard – UL**, como se observa en la figura 33, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de velocidad de descarga, variando entre más de 10 Mbps a menos de 1 Mbps, identificadas por diferentes colores, donde 829 es el total de muestras obtenidas.

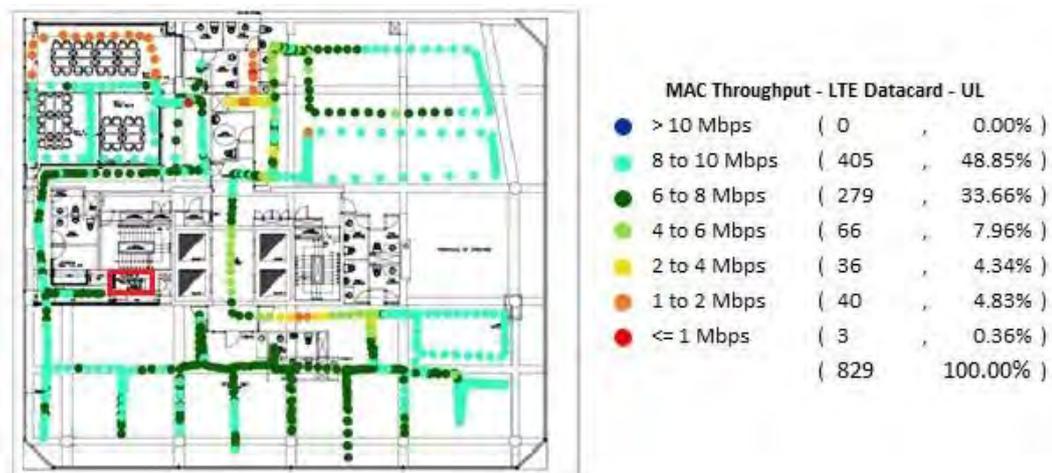


Figura 33: Traza MAC THROUGHPUT UL

### 3.2.3 Prueba de Descarga con el uso de la SMALL encendida.

Se realizó el Walk Test realizando descargas de archivos de 100 Gb con la SMALL CELL ENCENDIDA, obteniendo las siguientes gráficas.

**Serving Cell PCI (Physical Cell Identifier) – LTE – DataCard – DL**, como se observa en la figura 34, durante el recorrido nos enlazamos a 1 sola celda física que es la SMALL CELL.



Figura 34: Traza PCI 1 identificando el cambio de Celda física DL.

**RSRP (Reference Signal Received Power) – LTE – DataCard – DL**, como se observa en la figura 35, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de potencia de señal, variando entre -115 a 0 dBm, identificadas por diferentes colores, donde 5435 es el total de muestras obtenidas.



Figura 35: Traza RSRP DL SMALL CELL ON.

**RSRQ (Reference Signal Received Quality) – LTE – DataCard – DL**, como se observa en la figura 36, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de calidad de señal, variando entre -12 a 0 dB, identificadas por diferentes colores, donde 5435 es el total de muestras obtenidas.

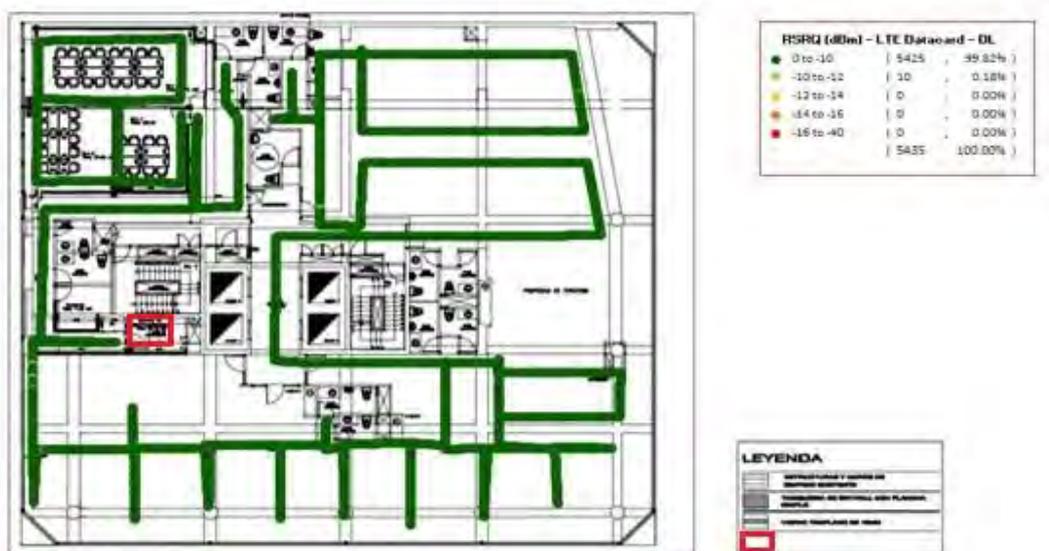


Figura 36: Traza RSRQ DL SMALL CELL ON.

**SINR (Signal To Interference Plus Noise Ratio) – LTE – DataCard – DL**, como se observa en la figura 37, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de la relación señal ruido, variando entre -3 a 40 dB, identificadas por diferentes colores, donde 8170 es el total de muestras obtenidas.



Figura 37: Trazo SINR DL SMALL CELL ON.

**MAC (Media Access Data) Throughput – LTE – DataCard – DL**, como se observa en la figura 38, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de velocidad de descarga, con valores menores de 1 Mbps, identificadas por diferentes colores, donde 1634 es el total de muestras obtenidas.

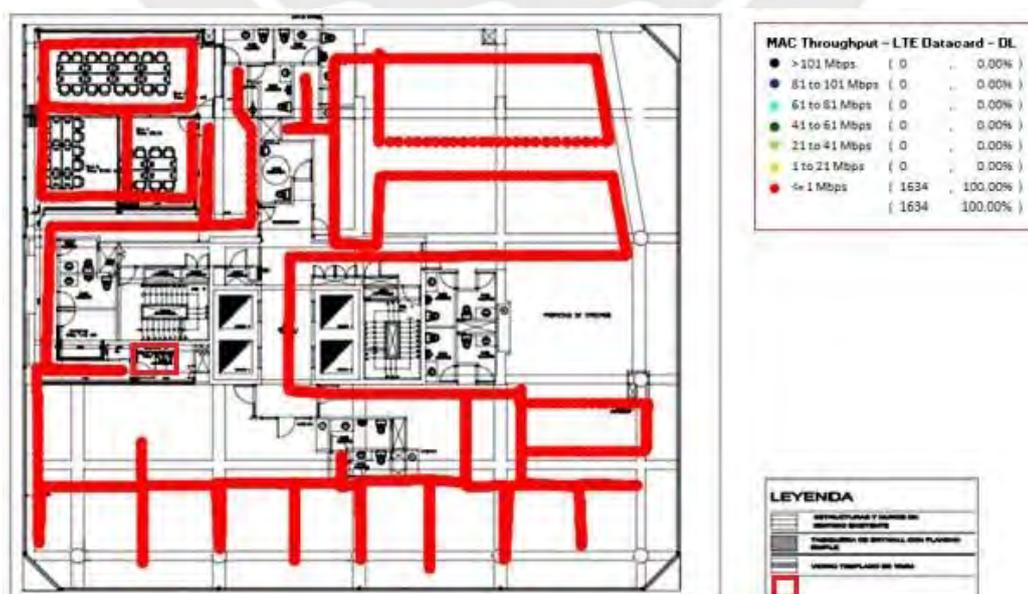


Figura 38: Trazo MAC THROUGHPUT DL SMALL CELL ON.

### 3.2.4 Prueba de Subida con el uso de la SMALL encendida.

Se realizó el Walk Test realizando subiendo archivos de 10 Gb con la SMALL CELL ENCENDIDA, obteniendo las siguientes gráficas.

**PCI (Physical Cell Identifier) – LTE – DataCard – UL**, como se observa en la figura 39, durante el recorrido nos enlazamos a 1 sola celda física que es la SMALL CELL.

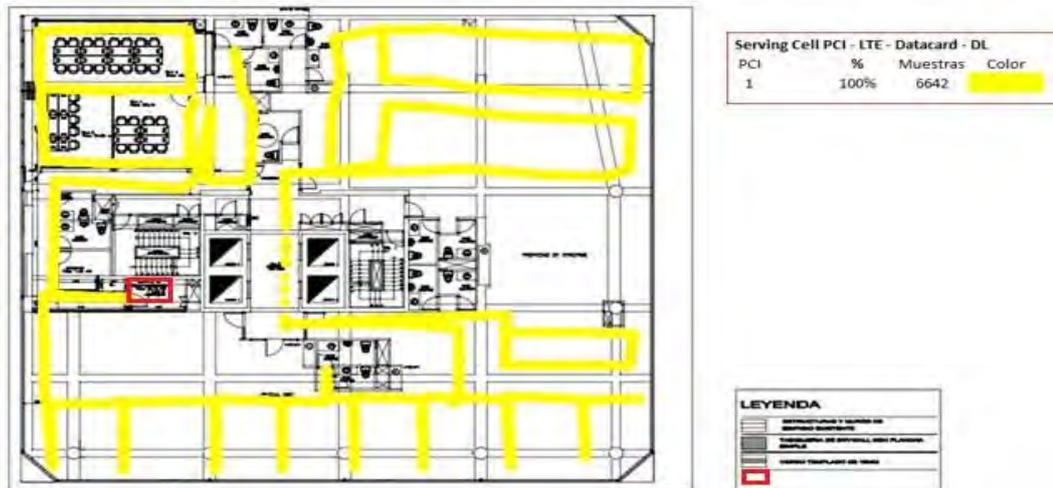


Figura 39: Traza PCI 1 identificando el cambio de Celda física UL.

**RSRP (Reference Signal Received Power) – LTE – DataCard – UL**, como se observa en la figura 40, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de potencia de señal, variando entre -115 a 0 dBm, identificadas por diferentes colores, donde 4495 es el total de muestras obtenidas.

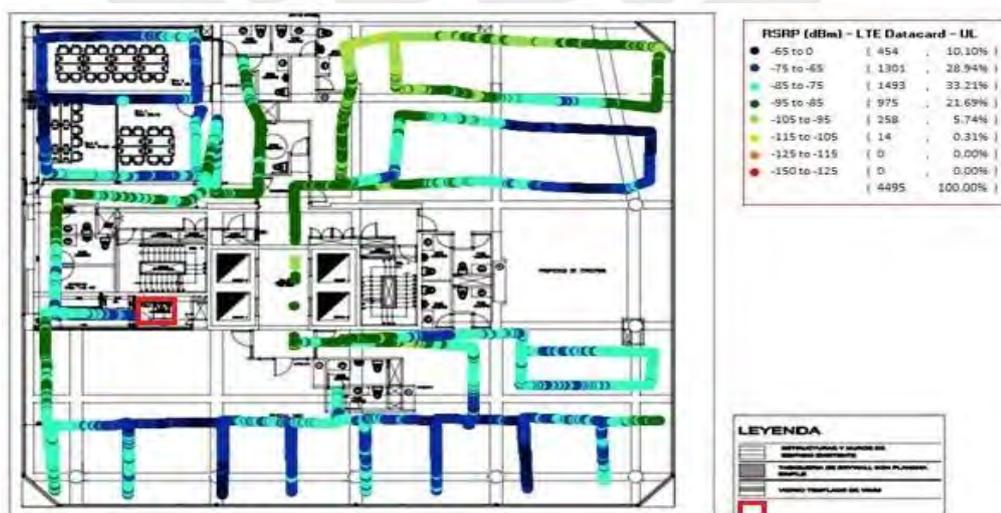


Figura 40: Traza RSRP UL SMALL CELL ON.

**RSRQ (Reference Signal Received Quality) – LTE – DataCard – UL**, como se observa en la figura 41, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de calidad de señal, variando entre -14 a 0 dB, identificadas por diferentes colores, donde 4495 es el total de muestras obtenidas.

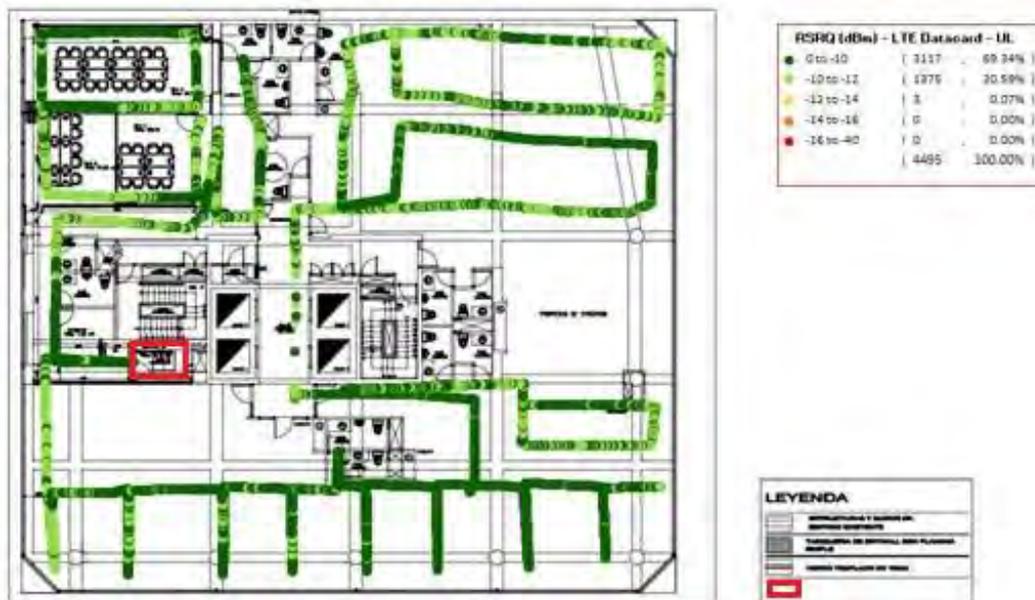


Figura 41: Traza RSRQ UL SMALL CELL ON.

**SINR (Received Signal Strength Indicator) – LTE – DataCard – UL**, como se observa en la figura 42, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de la relación señal ruido, variando entre -3 a 40 dB, identificadas por diferentes colores, donde 8170 es el total de muestras obtenidas.



Figura 42: Traza SINR UL SMALL CELL ON.

**MAC (Media Access Data) Throughput – LTE – DataCard – UL**, como se observa en la figura 38, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de velocidad de descarga, con valores menores de 4 Mbps, identificadas por diferentes colores, donde 1236 es el total de muestras obtenidas.

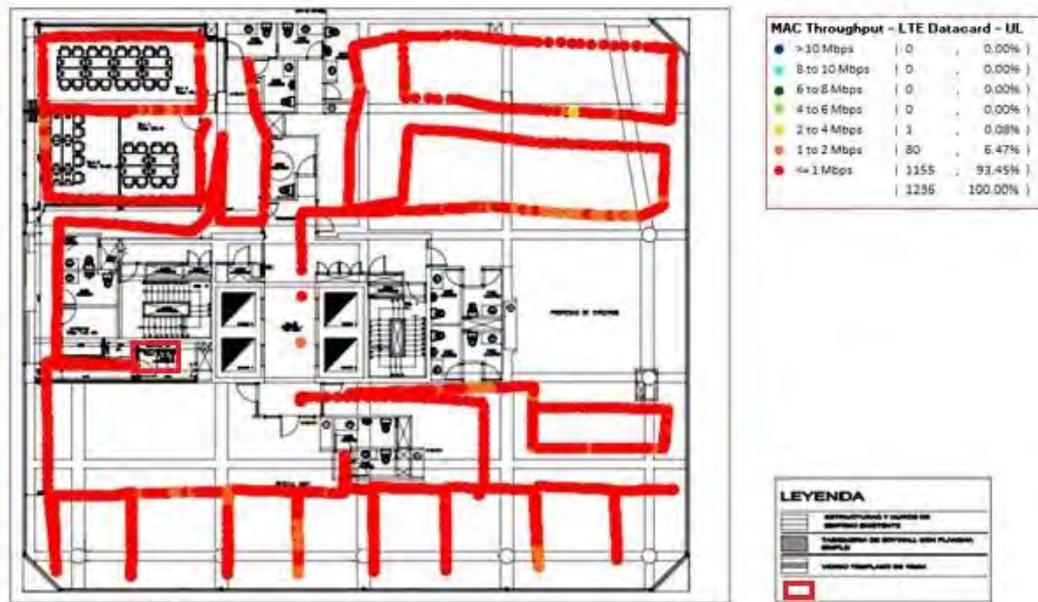


Figura 43: Traza MAC THROUGHPUT UL SMALL CELL ON.

### 3.3 Análisis comparativo de Gráficos:

#### 3.3.1 RSRP LTE DL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON

Como se observa en la Figura 44 y 45 muestra los diferentes rangos niveles de potencia de señal y su participación obtenidos de las Figura 25 y 35.

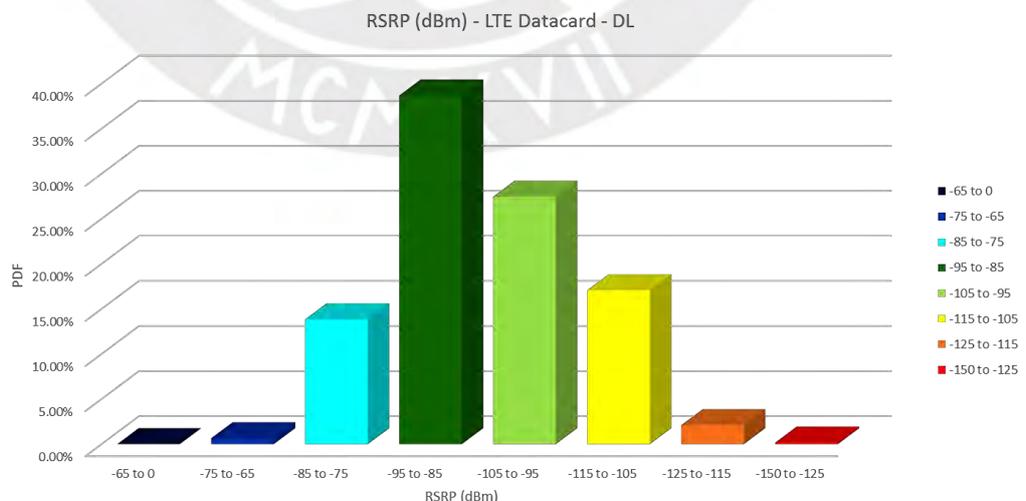


Figura 44: Grafico de columnas que muestra el RSRP SMALL OFF

Se observa que cuando la SMALL CELL está apagada la potencia de señal (figura 44) en su mayor parte está en el rango de -95 a -85 dBm.

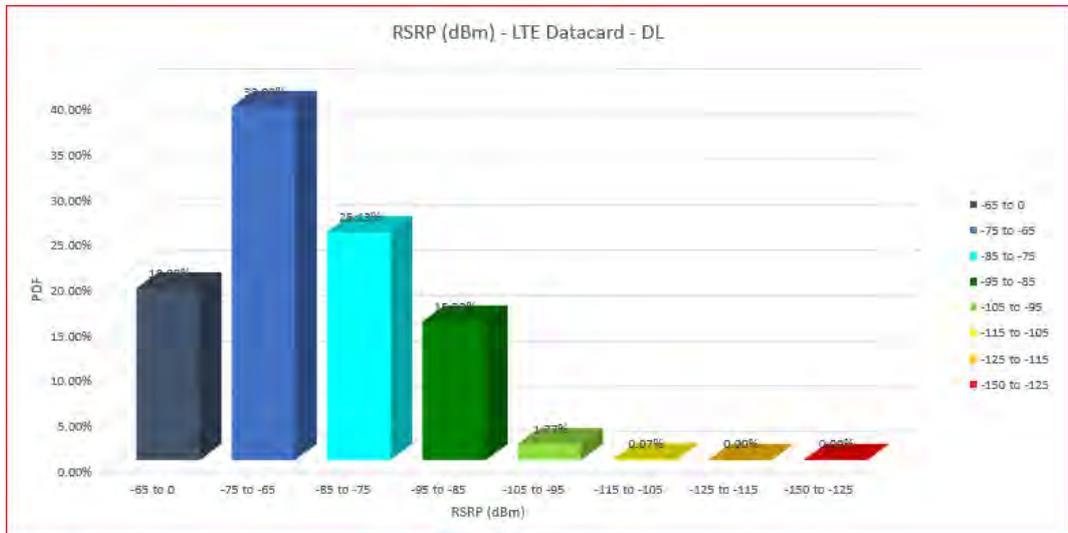


Figura 45: Grafico de columnas que muestra el RSRP DL SMALL CELL ON

Se observa que cuando la SMALL CELL está encendida la potencia de señal (figura 45) en su mayor parte está en el rango de -75 a -65 dBm.

Demostando que la SMALL CELL ayuda a mejorar la potencia de la señal significativamente.

### 3.3.2 RSRQ LTE DL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON

Como se observa en la Figura 46 y 47 muestra los diferentes rangos niveles de calidad de señal y su participación obtenidos de las Figura 26 y 36.

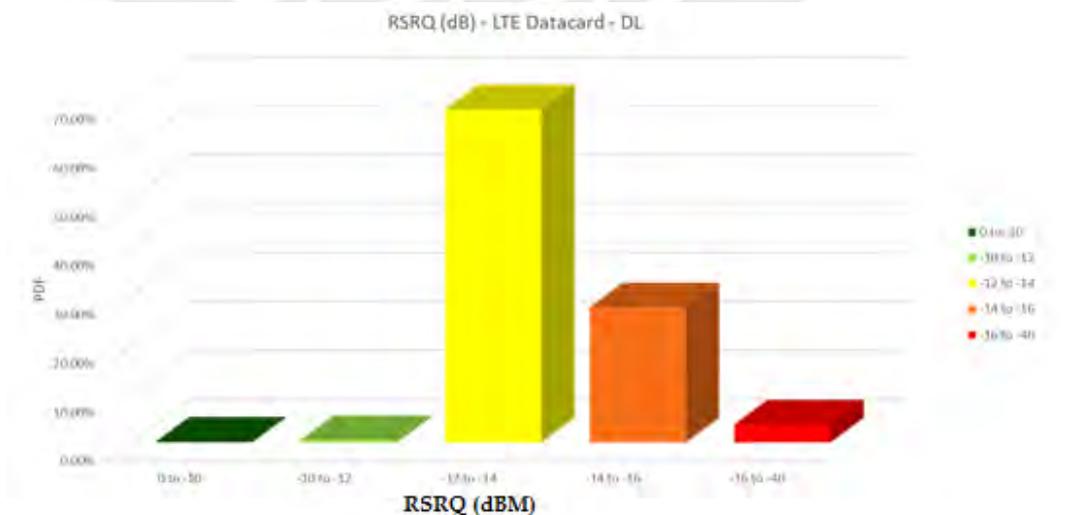


Figura 46: Grafico de columnas que muestra el RSRQ DL SMALL CELL OFF

Se observa que cuando la SMALL CELL está apagada la calidad de señal (figura 46) en su mayor parte está en el rango de -12 a -14 dB.

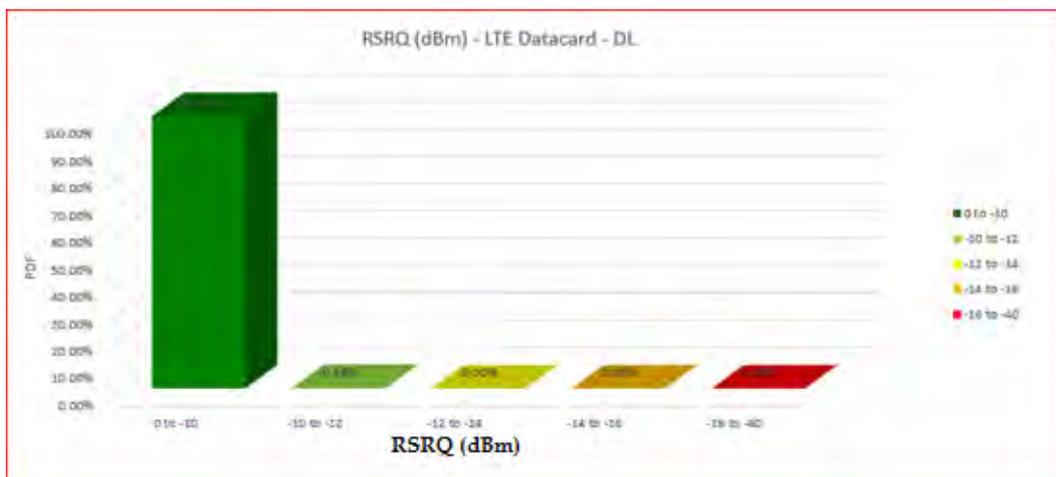


Figura 47: Grafico de columnas que muestra el RSRQ DL SMALL CELL ON

Se observa que cuando la SMALL CELL está encendida la calidad de señal (figura 47) en su mayor parte está en el rango de -10 a 0 dB.

Demostrando que la SMALL CELL ayuda a mejorar la calidad de la señal significativamente.

### 3.3.3 SINR LTE DL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON

Como se observa en la Figura 48 y 49 muestra los diferentes rangos niveles de relación señal ruido y su participación obtenidos de las Figura 27 y 37.

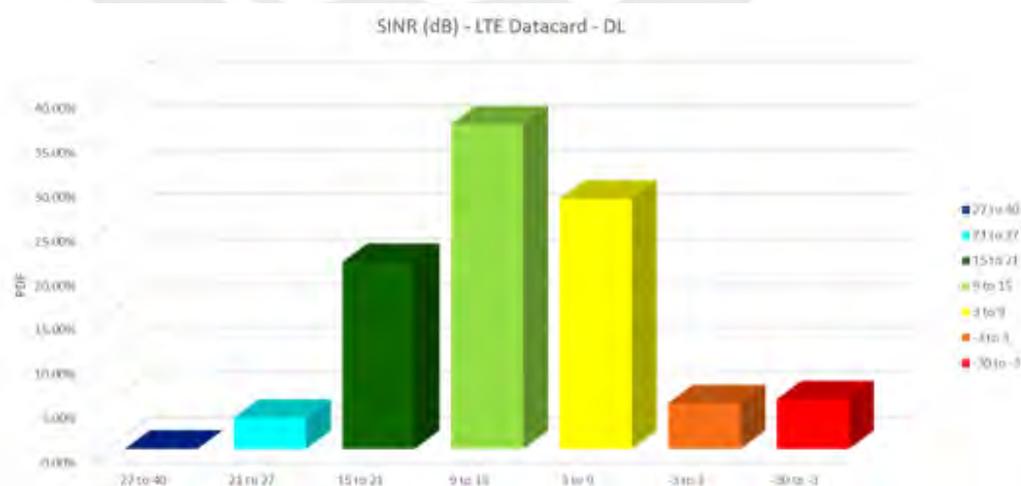


Figura 48: Grafico de columnas que muestra el SINR DL SMALL CELL OFF

Se observa que cuando la SMALL CELL está apagada la relación señal ruido (figura 48) en su mayor parte está en el rango de 3 a 15 dB.

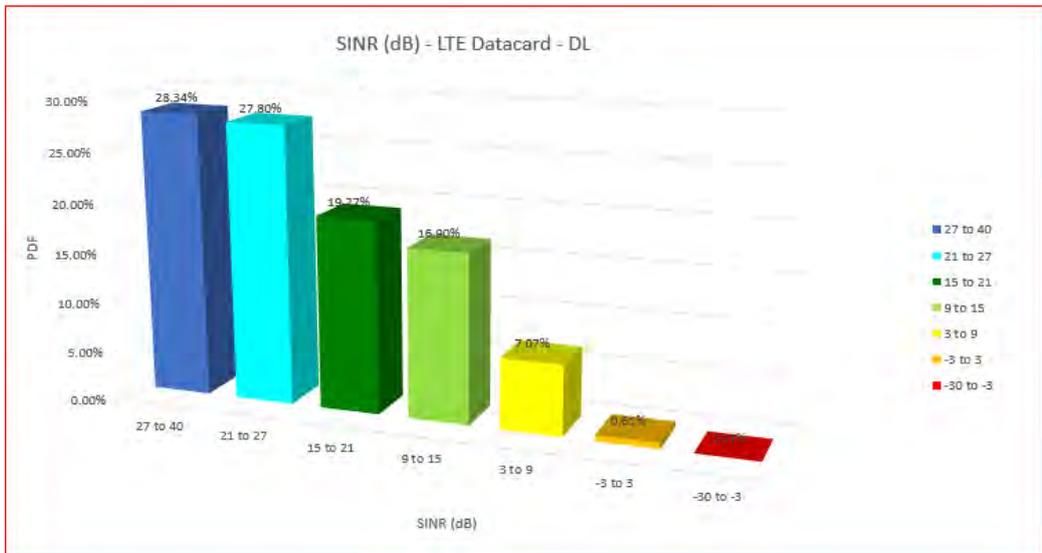


Figura 49: Grafico de columnas que muestra el SINR DL SMALL CELL ON

Se observa que cuando la SMALL CELL está encendida la relación señal ruido (figura 49) en su mayor parte está en el rango de 21 a 40 dB.

Demostrando que la SMALL CELL ayuda a mejorar la relación señal ruido significativamente.

Para poder explicar la caída de throughput DL (figura 54), es necesario analizar el desempeño de la SMALL CELL sin interferencia por ello se apagaremos las MACRO CELL y compararemos el desempeño en ambos casos.

### 3.3.3.1 SINR DL SMALL CELL ON/MACRO CELL OFF

Como se observa en la Figura 50, estamos enlazados al PCI 1 (Identificador físico de la Small Cell).

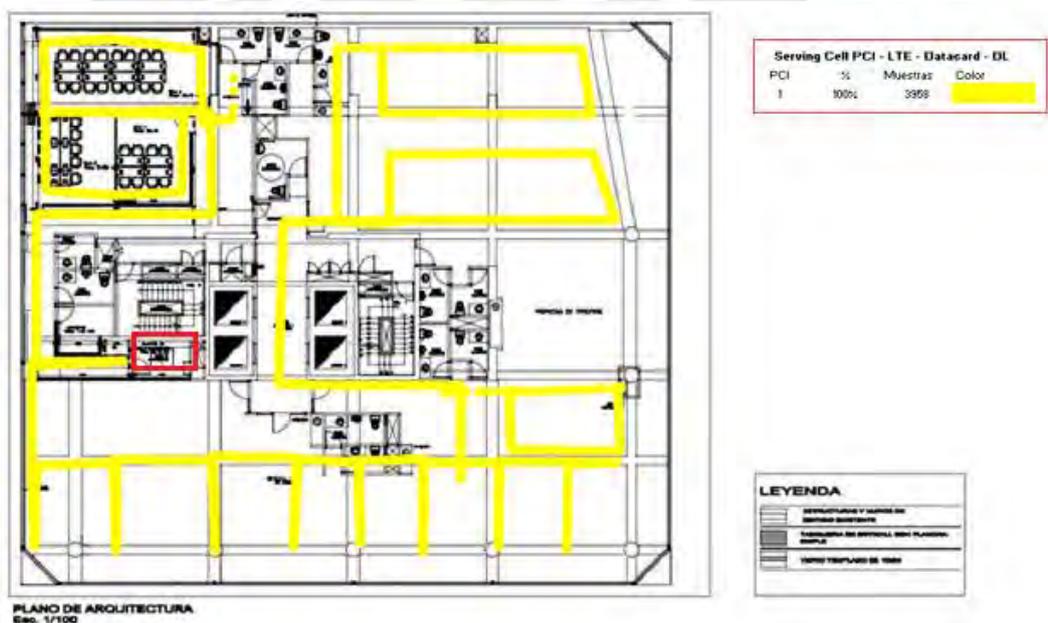


Figura 50: Trazo PCI DL SMALL CELL ON/MACRO CELL OFF

Como se observa en la figura 51, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de la relación señal ruido, variando entre 9 a 40 dB, identificadas por diferentes colores, donde 5786 es el total de muestras obtenidas.

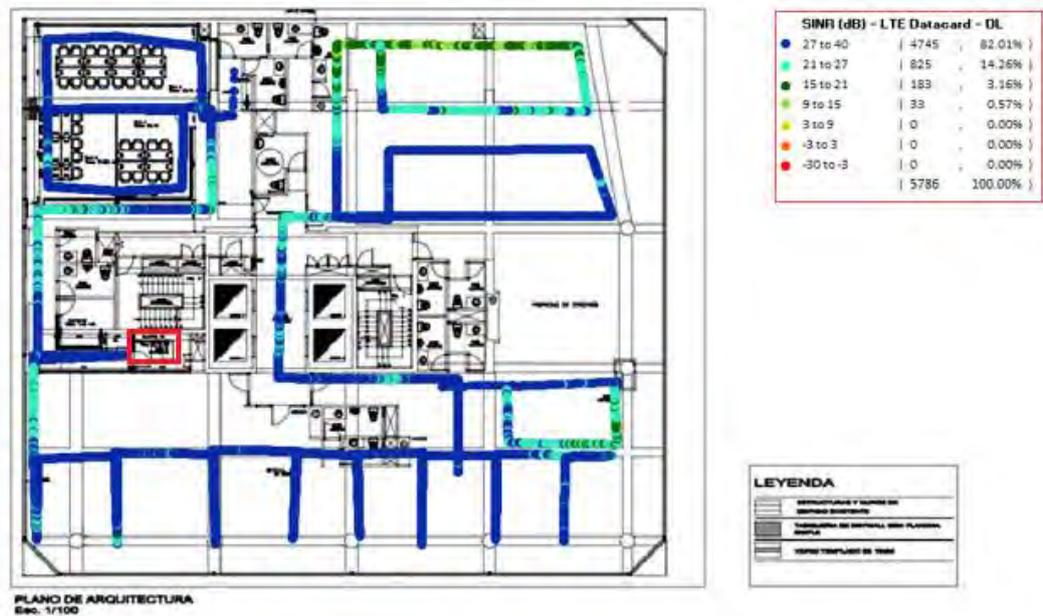


Figura 51: Trazo SINR DL SMALL CELL ON/MACRO CELL OFF

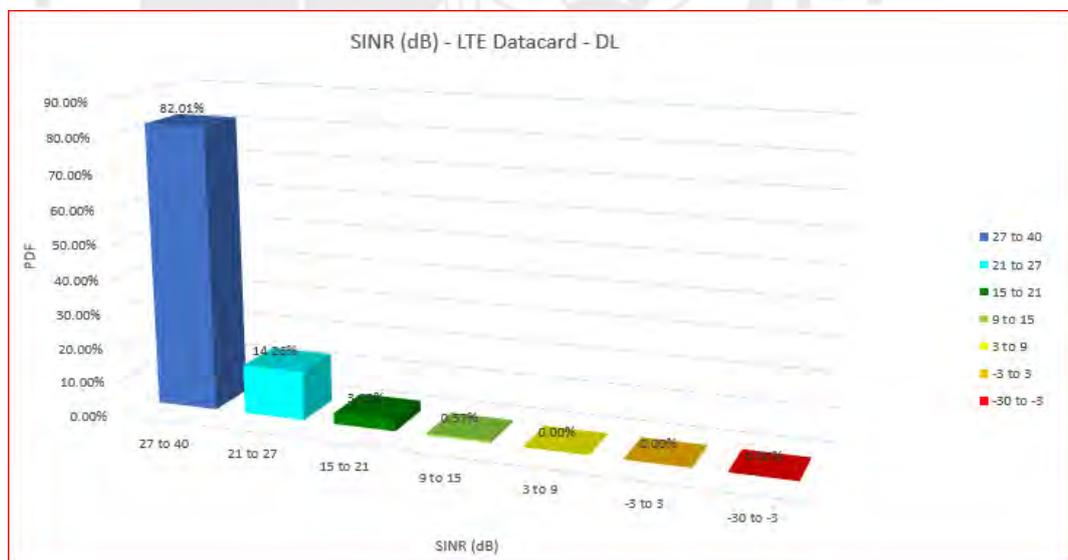


Figura 52: Grafico de columnas que muestra el SINR DL SMALL CELL ON/MACRO CELLS OFF

Se observa que cuando la SMALL CELL está encendida y la MACRO CELL está apagada la relación señal ruido (figura 52) en su mayor parte está en el rango de 27 a 40 dB.

Comparando con la Figura 52 y 49, observamos la variación debido a la interferencia causada entre ambos.

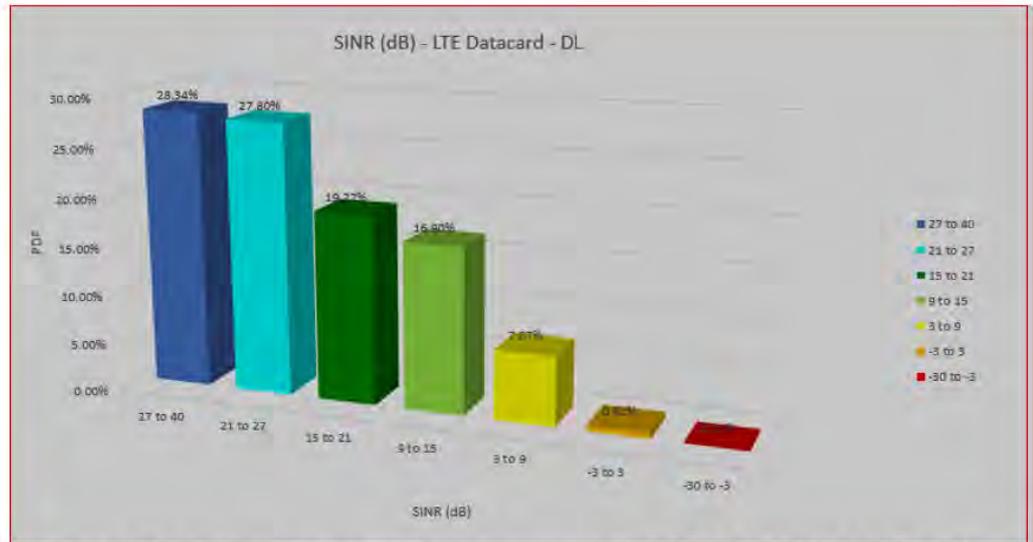


Figura 49: Grafico de columnas que muestra el SINR DL SMALL CELL ON

### 3.3.4 MAC Throughput DL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON

Como se observa en la Figura 53 y 54 muestra los diferentes rangos niveles de velocidad de descarga y su participación obtenidos de las Figura 28 y 38.

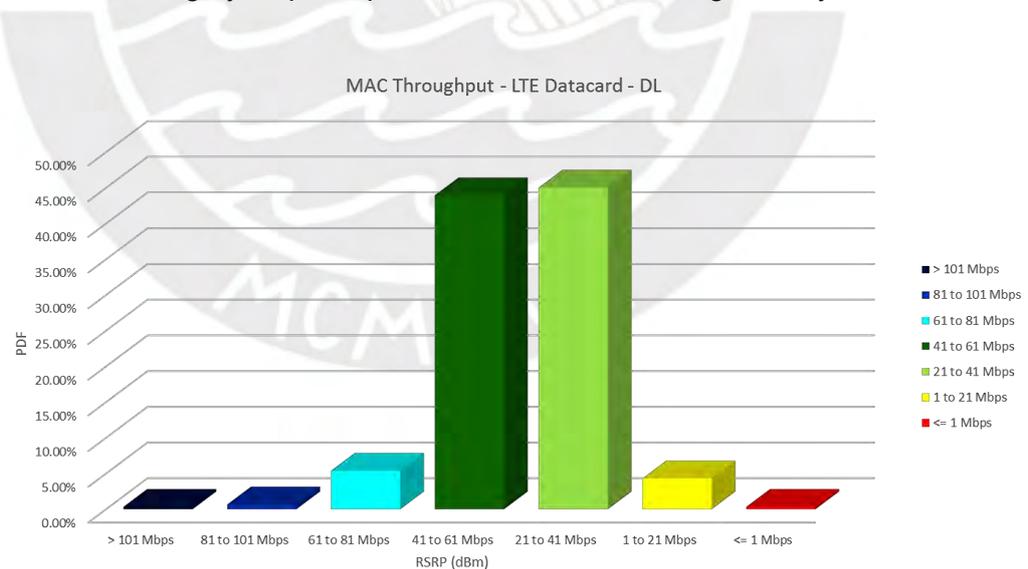


Figura 53: Grafico de columnas que muestra el MAC Throughput DL SMALL CELL OFF

Se observa que cuando la SMALL CELL está apagada la velocidad de descarga varia 21 Mbps hasta 61 Mbps. (Figura 53)

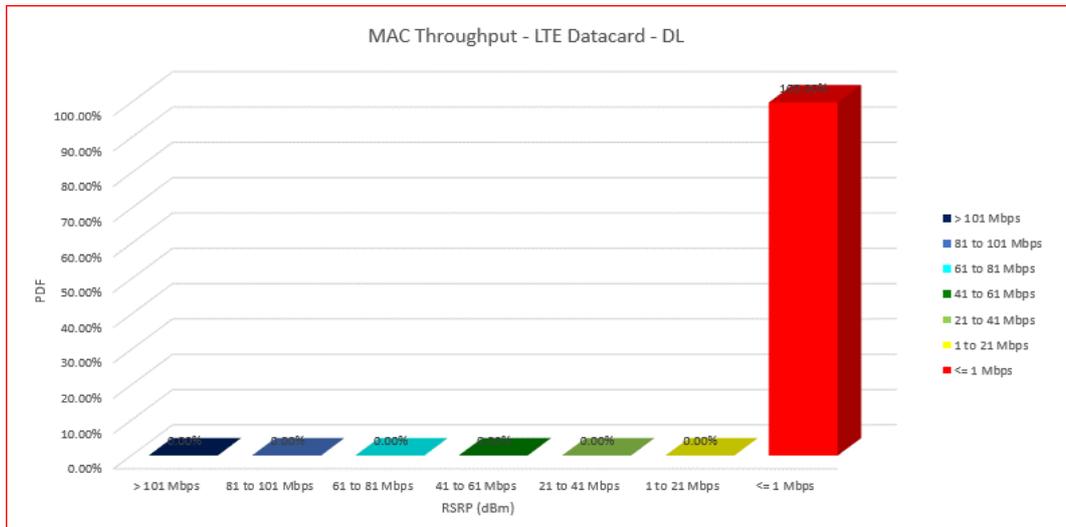


Figura 54: Grafico de columnas que muestra el MAC Throughput DL SMALL CELL ON

Se observa que cuando la SMALL CELL está encendida la velocidad de descarga cae a menos de 1 Mbps. (Figura 54)

Demostrando que la SMALL CELL afecta drásticamente la velocidad del usuario, teniendo niveles óptimos en RSRP, RSRQ y SNIR.

### 3.3.5 RSRP LTE UL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON

Como se observa en la Figura 55 y 56 muestra los diferentes rangos niveles de potencia de señal y su participación obtenidos de las Figura 30 y 40.

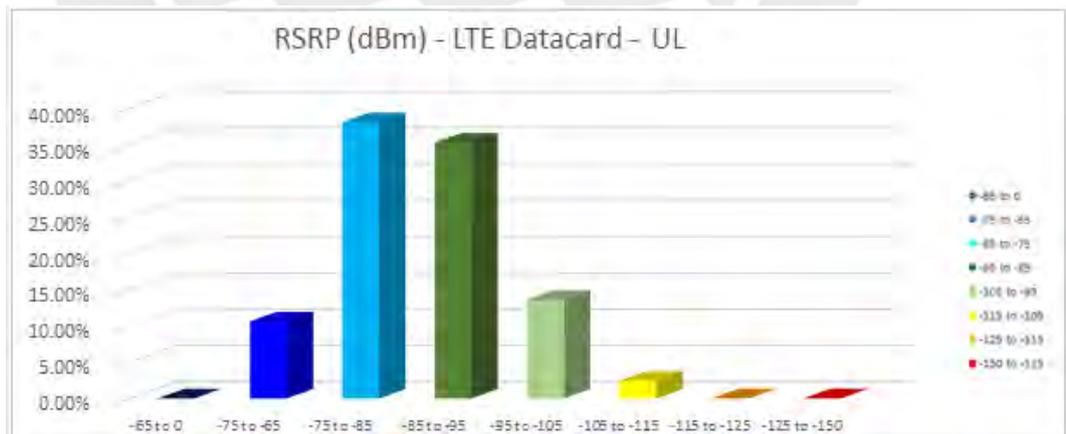


Figura 55: Grafico de columnas que muestra el RSRP UL SMALL CELL OFF

Se observa que cuando la SMALL CELL está apagada la potencia de señal (figura 55) en su mayor parte está en el rango de -95 a -85 dBm.

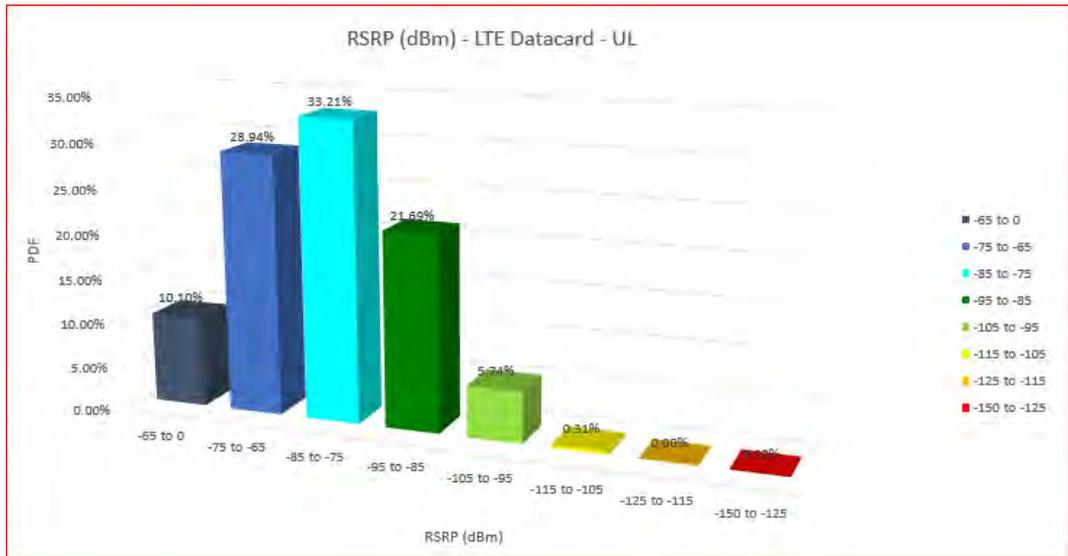


Figura 56: Grafico de columnas que muestra el RSRP UL SMALL CELL ON

Se observa que cuando la SMALL CELL está encendida la potencia de señal (figura 56) en su mayor parte está en el rango de -85 a -65 dBm.

Demostrando que la SMALL CELL ayuda a mejorar la potencia de la señal significativamente.

### 3.3.6 RSRQ LTE UL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON

Como se observa en la Figura 57 y 58 muestra los diferentes rangos niveles de calidad de señal y su participación obtenidos de las Figura 31 y 41.

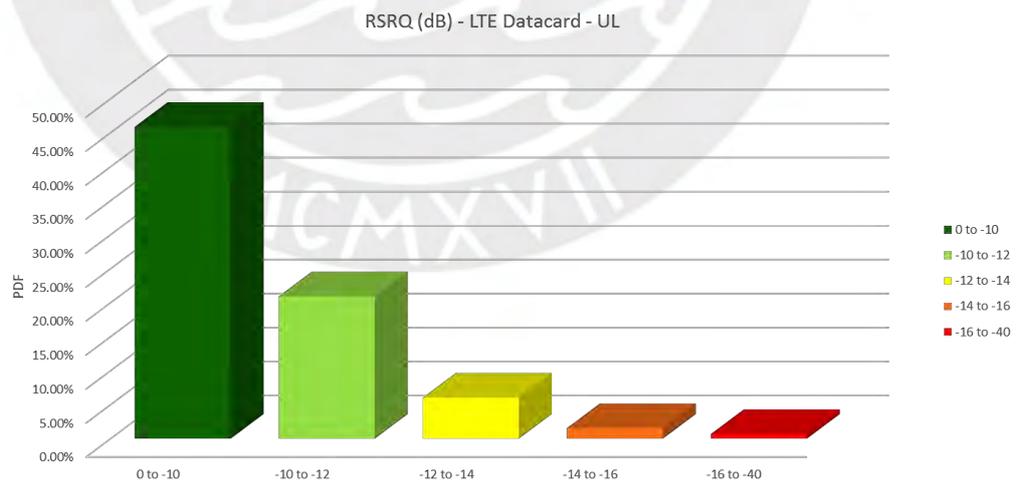


Figura 57: Grafico de columnas que muestra el RSRQ UL SMALL CELL OFF

Se observa que cuando la SMALL CELL está apagada la calidad de señal (figura 57) en su mayor parte está en el rango de -10 a 0 dB.

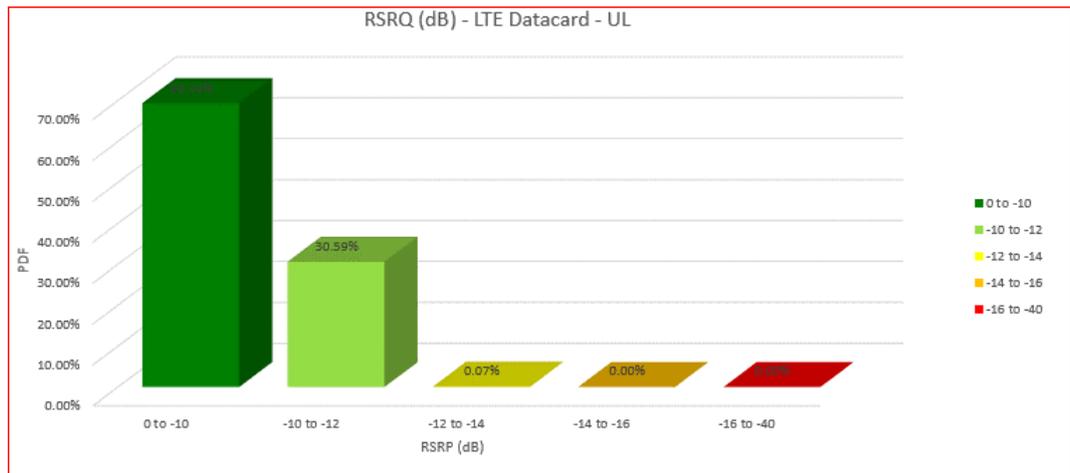


Figura 58: Grafico de columnas que muestra el RSRQ UL SMALL CELL OFF.

Se observa que cuando la SMALL CELL está encendida la calidad de señal (figura 58) en su mayor parte está en el rango de -10 a 0 dB.

Demostrando que la SMALL CELL ayuda a mejorar la calidad de la señal.

### 3.3.7 SINR LTE UL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON

Como se observa en la Figura 59 y 60 muestra los diferentes rangos niveles de relación señal ruido y su participación obtenidos de las Figura 32 y 42.

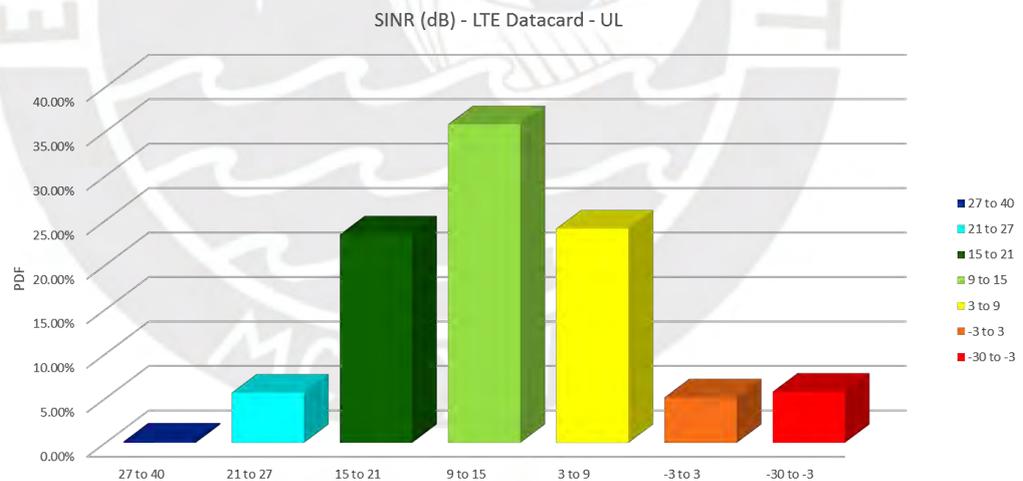


Figura 59: Grafico de columnas que muestra el SINR UL SMALL CELL OFF.

Se observa que cuando la SMALL CELL está apagada la relación señal ruido (figura 59) en su mayor parte está en el rango de 9 a 15 dB.

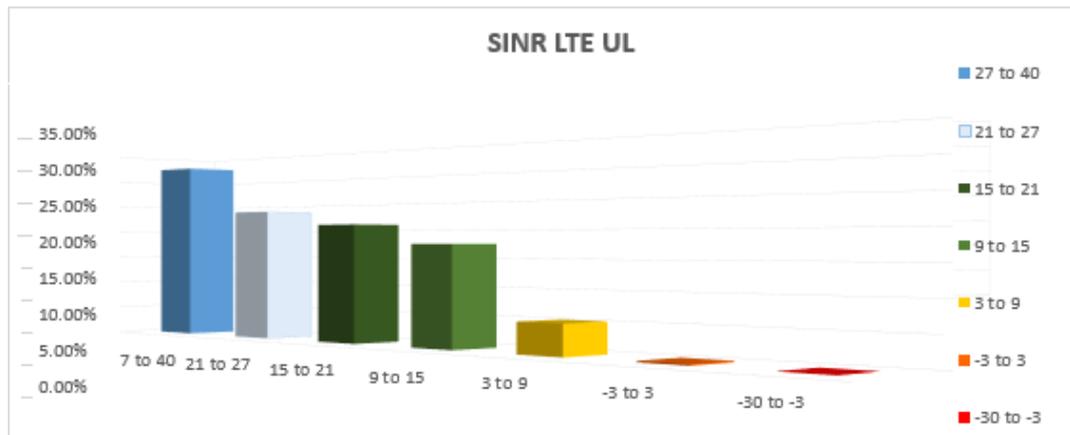


Figura 60: Grafico de columnas que muestra el SINR UL SMALL CELL OFF

Se observa que cuando la SMALL CELL está encendida la relación señal ruido (figura 60) en su mayor parte está en el rango de 21 a 40 dB.

Demostrando que la SMALL CELL ayuda a mejorar la relación señal ruido significativamente. Para poder explicar la caída de throughput UL (figura 65), es necesario analizar el desempeño de la SMALL CELL sin interferencia por ello se apagaremos las MACRO CELL y compararemos el desempeño en ambos casos.

### 3.3.7.1 SINR UL SMALL CELL ON/MACRO CELL OFF

Como se observa en la Figura 61, estamos enlazados al PCI 1 (Identificador físico de la Small Cell).

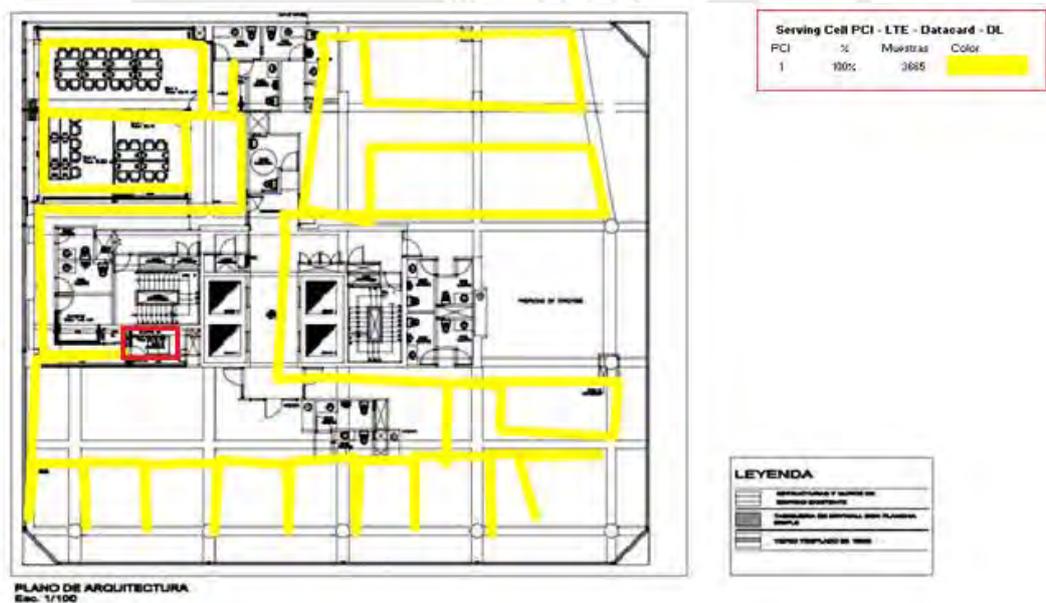


Figura 61: Traza PCI UL SMALL CELL ON/MACRO CELL OFF

Como se observa en la figura 62, durante el recorrido se obtuvieron diferentes niveles de la relación señal ruido, variando entre 9 a 40 dB, identificadas por diferentes colores, donde 5549 es el total de muestras obtenidas.

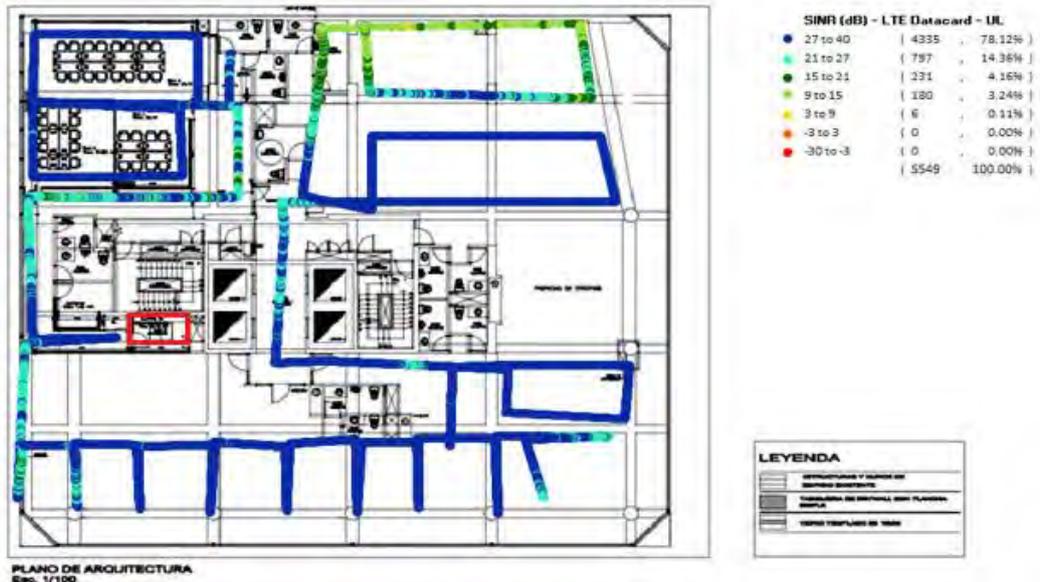


Figura 62: Nueva Traza RSRQ UL SMALL CELL ON/MACRO CELL OFF

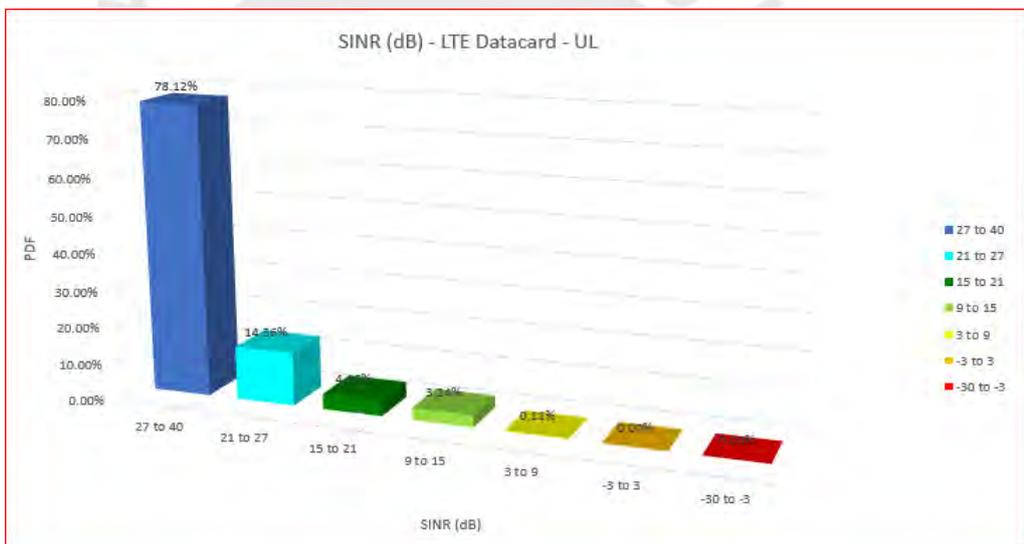


Figura 63: Grafico de columnas que muestra el SINR UL SMALL CELL ON/MACRO CELL OFF

Se observa que cuando la SMALL CELL está encendida y la MACRO CELL está apagada la relación señal ruido (figura 63) en su mayor parte está en el rango de 27 a 40 dB.



Figura 60: Grafico de columnas que muestra el SINR UL SMALL CELL OFF

Comparando con la Figura 63 y 60, observamos la variación debido a la interferencia causada entre ambos.

### 3.3.8 MAC Throughput UL SMALL CELL OFF VS SMALL CELL ON

Como se observa en la Figura 64 y 65 muestra los diferentes rangos niveles de velocidad de subida y su participación obtenidos de las Figura 33 y 43.

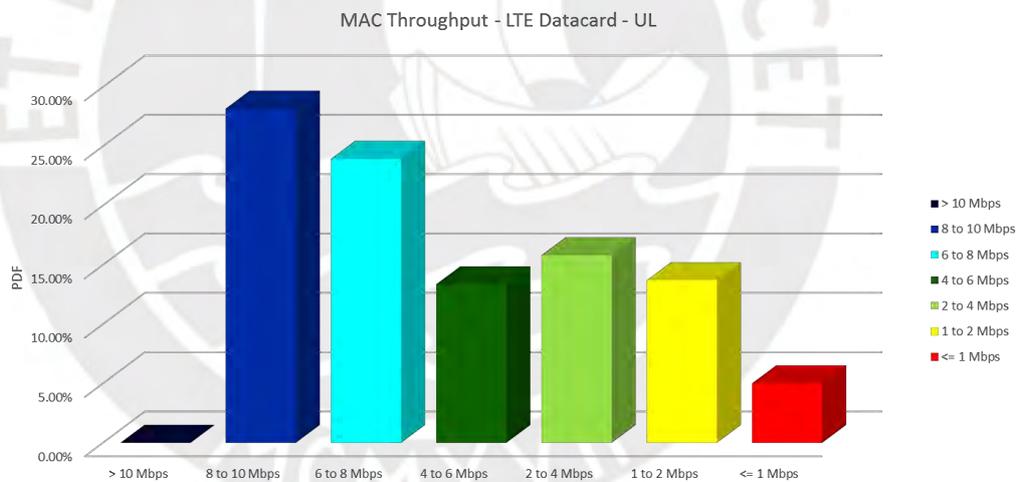


Figura 64: Grafico de columnas que muestra el MAC Throughput UL SMALL CELL OFF

Se observa que cuando la SMALL CELL está apagada la velocidad de subida varia 1 Mbps hasta 10 Mpbs. (Figura 64)

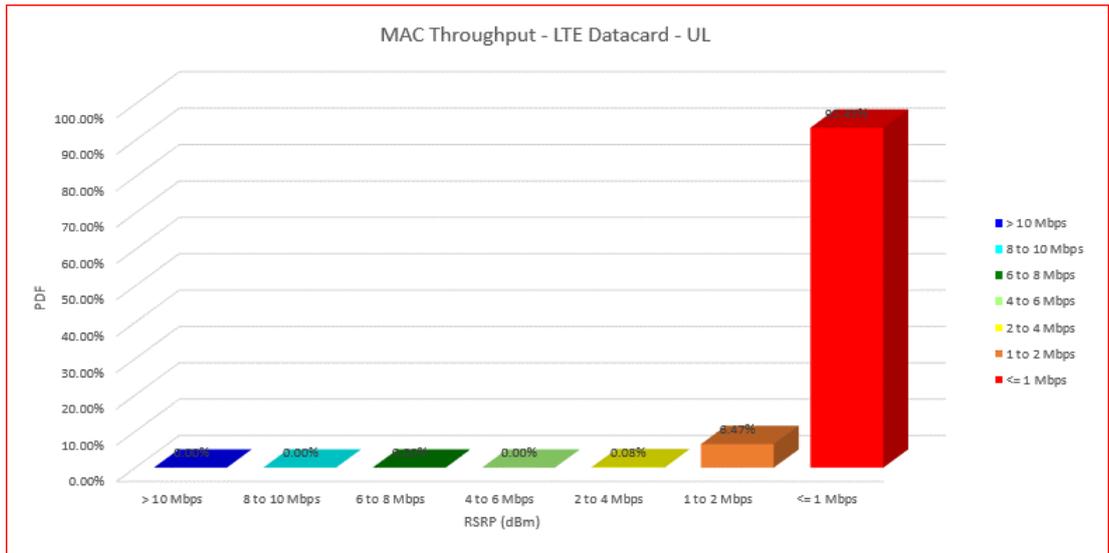
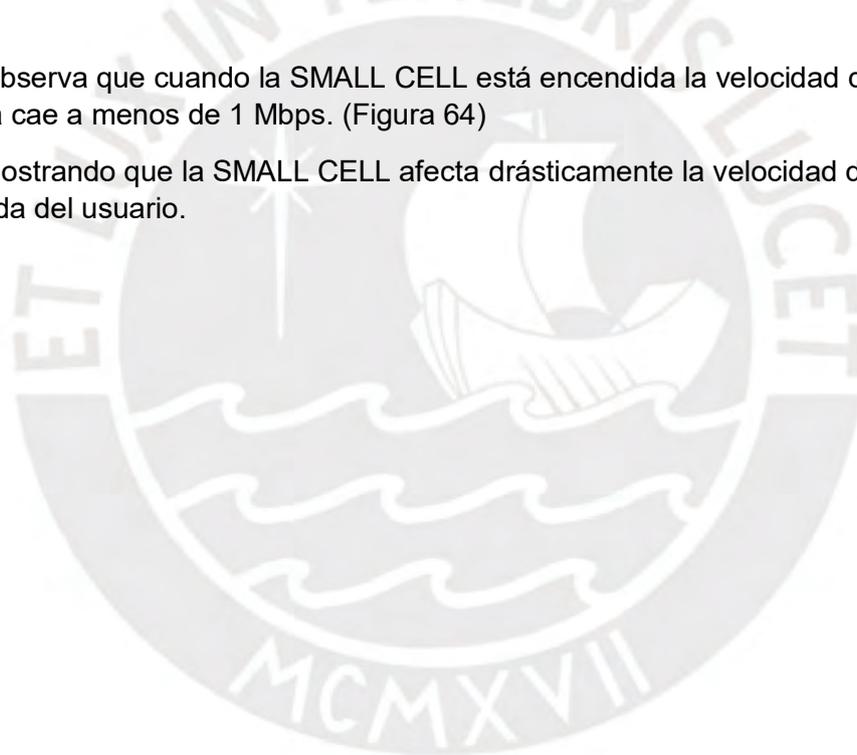


Figura 65: Grafico de columnas que muestra el MAC Throughput UL SMALL CELL ON

Se observa que cuando la SMALL CELL está encendida la velocidad de subida varia cae a menos de 1 Mbps. (Figura 64)

Demostrando que la SMALL CELL afecta drásticamente la velocidad de descarga y subida del usuario.



## Capítulo 4: Conclusiones y Recomendaciones.

En el presente capítulo se analizará lo visto en el capítulo 3, donde llegaremos a las conclusiones y las recomendaciones, para ello haremos un cuadro resumen de valores obtenidos.

**Cuadro Resumen**

		RSRP	RSRQ	SINR	DL	UL
<b>CASO 1</b>	SMALL CELL OFF	-95 a -85 dBm	-12 a -14 dB	3 a 15 dB	21 Mbps a 61 Mpbs	1 Mbps a 10 Mpbs.
	MACRO CELL ON					
<b>CASO 2</b>	SMALL CELL ON	-75 a -65 dBm	-10 a 0 dB	21 a 40 dB	Menores a 1 Mbps	1 Mbps
	MACRO CELL ON					
<b>CASO3</b>	SMALL CELL ON	x	x	27 a 40 dB	1 Mbps a 101 Mpbs	1 Mbps a 10 Mpbs
	MACRO CELL OFF					

Tabla 6 – Resumen de resultados.

Como se observamos la tabla 6, los datos obtenidos en el caso de estudio están dentro del estándar, por ello se debió hacer un estudio de RF antes de instalar dicha SMALL CELL.

#### 4.1 Conclusiones:

- De acuerdo al cuadro resumen (Tabla 6) no se debió instalar la small cell ya que en los datos del **CASO 1** ya se tenían valores óptimos según Artículo 4º del Reglamento para la Supervisión de la Cobertura de los Servicios Públicos de Telecomunicaciones Móviles y Fijos con Acceso Inalámbrico.
- La mala toma de decisiones, no seguir un planeamiento, errores en alguno de los procedimientos del flujo de evaluación del planeamiento del proceso de soluciones de interiores (Figura 8), llevaron la instalación de esta solución la cual no era necesaria.
- El RSRP en descarga y subida están dentro del rango óptimo de acuerdo con Osiptel [28] (-95 a -85 dBm), antes de la instalación de la SMALL CELL (observar Figuras 44, 55).

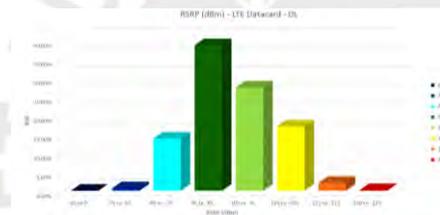


Figura 44: Grafico de columnas que muestra el RSRP SMALL OFF

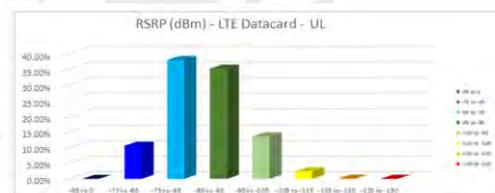


Figura 55: Grafico de columnas que muestra el RSRP UL SMALL CELL OFF

Después de la instalación de la SMALL CELL mejora la potencia de la señal (-75 a -65 dBm) tanto como en DL y UL (observar Figuras 45,56).



Figura 45: Grafico de columnas que muestra el RSRP DL SMALL CELL ON

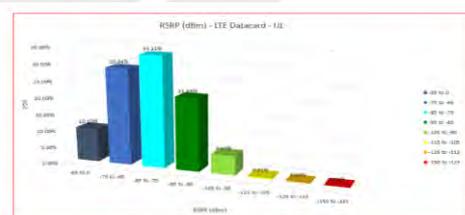


Figura 56: Grafico de columnas que muestra el RSRP UL SMALL CELL ON

No se debió proceder con esta solución se debieron agotar otros recursos previamente, ya que los parámetros estaban dentro del rango.

- El RSRQ en descarga y subida está dentro del rango óptimo (-12 a -14 dB) antes de la instalación de la SMALL CELL (observar Figuras 46, 57)

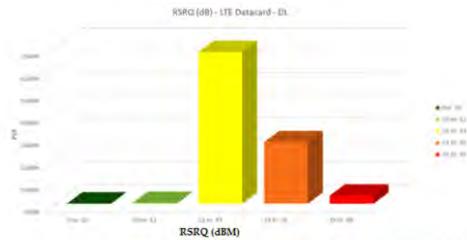


Figura 46: Grafico de columnas que muestra el RSRQ DL SMALL CELL OFF

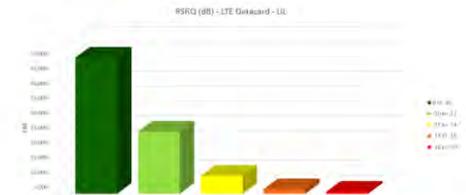


Figura 57: Grafico de columnas que muestra el RSRQ UL SMALL CELL OFF

Después de la instalación de la SMALL CELL mejora la calidad de señal recibida (-10 a 0 dB) tanto como en DL y UL (observa Figuras 47,58).

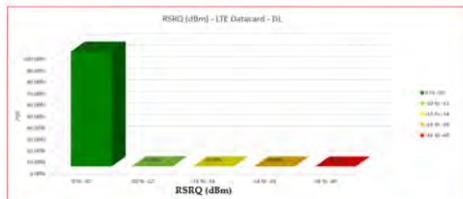


Figura 47: Grafico de columnas que muestra el RSRQ DL SMALL CELL ON

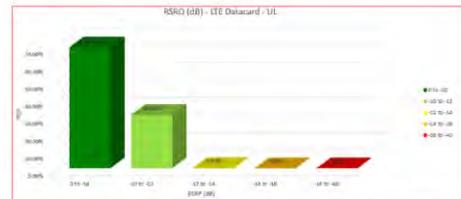


Figura 58: Grafico de columnas que muestra el RSRQ UL SMALL CELL ON.

No se debió proceder con esta solución se debieron agotar otros recursos previamente, ya que los parámetros estaban dentro del Rango.

- Para el caso del SIRN se analizó la muestra de la SMALL CELL sin interferencia alguna (Estación Base), con el fin de comprobar que la interferencia si afecta a la experiencia del Usuario reflejado en la caída de MAC throughput. Para DL (Figura 53, 54) UL (Figura 64,65).

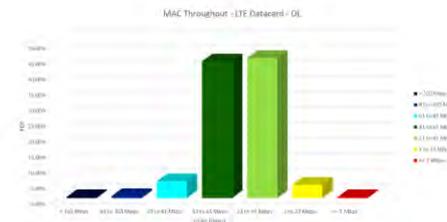


Figura 53: Grafico de columnas que muestra el MAC Throughput DL SMALL CELL OFF

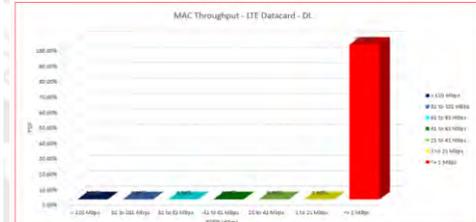


Figura 54: Grafico de columnas que muestra el MAC Throughput DL SMALL CELL ON

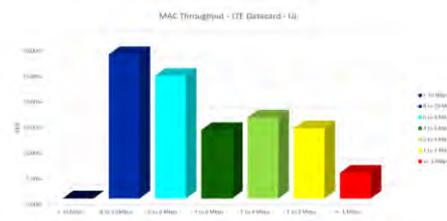


Figura 64: Grafico de columnas que muestra el MAC Throughput UL SMALL CELL OFF

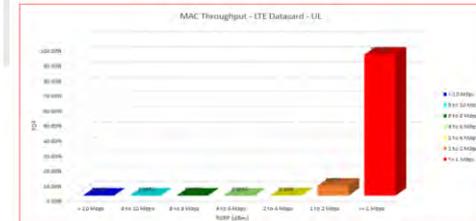


Figura 65: Grafico de columnas que muestra el MAC Throughput UL SMALL CELL ON

- La caída del throughput depende de la modulación (64QAM, QPSK) que está relacionada directamente al ancho de banda, como se ve claramente en las gráficas, para ello comprobamos que la SMALL CELL es destructiva.



## Referencias:

[1] Traffic-Aware QoS Provisioning and Admission Control in OFDMA Hybrid Small Cells. Balakrishnan Ravikumar, Member Student, Canberk Berk - 2014.

[2] ABI Research Anticipates In-Building Mobile Data Traffic to grow by more than 600% by 2020 – Enero 2016

<https://www.abiresearch.com/press/abi-research-anticipates-building-mobile-data-traffic/>

[3] Amitabha Ghosh, Rapeepat Ratasuk. Essentials of LTE and LTEA. Cambridge University Press, Cambridge, CB2 8RU, UK, 1st edition, 2011.

[4] Ramón Agusti, Francisco Bernardo, Fernando Casadevall, Ramon Ferrús, Jordi Pérez-Romero, Oriol Sallent. LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles. Fundación Vodafone España, España, 2010.

[5] Amitabha Ghosh, Rapeepat Ratasuk. Essentials of LTE and LTEA. Cambridge University Press, Cambridge, CB2 8RU, UK, 1st edition, 2011.

[6] Vijay Garg “Wireless Communications and Networking” 2007 (BOOK).

[7] K. Nguyen, L. Zappaterra, H. Choi “A Centralized Algorithm for Dynamic TDD Frame Reconfigurations in Synchronized HetNets” 2009.

[8] ITU-R, “Especificaciones detalladas de las interfaces radioeléctricas terrenales de las telecomunicaciones móviles internacionales-avanzadas (IMT-Avanzadas)” 2012

[9] N. Himayat, S. Talwar, A. Rao and R. Soni, —Interference Management for 4G Cellular Standards, II IEEE Communications Magazine, August 2010.

- [10] A. Daeinabi, K. Sandrasegaran and X. Zhu, —Survey of Intercell Interference Mitigation Techniques in LTE Downlink Networks,|| Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference, Nov. 2012
- [11] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, and P. Beming, 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband, Amsterdam; Oxford : Elsevier Academic Press, 2007.
- [12] R. Kwan and C. Leung, —A Survey of Scheduling and Interference Mitigation in LTE," Electrical and Computer Engineering, vol. 2010.
- [13] S. Sesia, I. Toufik, and M. Baker, LTE- The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice, Chichester, U.K. Wiley, 2009.
- [14] G. Boudreau, J. Panicker, N. Guo, R. Chang, N. Wang, and S. Virzic, —Interference Coordination and Cancellation for 4G Networks,|| IEEE Communications Magazine, Vol.47(4), pp.74-81, April 2009.
- [15] A.S. Hamza, S.S. Khalifa, H. S. Hamza, and K. Elsayed, — A Survey on Inter-Cell Interference Coordination Techniques in OFDMA-Based Cellular Networks,|| IEEE Communications Surveys & Tutorials, Fourth Quarter 2013.
- [16] Afroz Farhana, Sandrasegaran Kumbesan, Kim H. Al, Technology Information – “INTERFERENCE MANAGEMENT IN LTE DOWNLINK NETWORKS” 2015.
- [17] I. F. Akyildiz, J. McNair, J. S. Ho, H. Uzunalioglu, and W. Wang, "Mobility management in next-generation wireless systems," Proceedings of the IEEE, 1999.
- [18] B. Naeem, R. Ngah, Siti Z. Mohd Hashim, “Handovers in small cell based heterogeneous networks”, 2016.
- [19] X. Yan, Y. Ahmet Şekercioğlu, and S. Narayanan, "A survey of vertical handover decision algorithms in Fourth Generation heterogeneous wireless networks," Computer Networks, 2010.

- [20] O. Blume, A. Surtees, R. Agüero, E. Perera, and K. Pentikousis, "A generic signaling framework for seamless mobility in heterogeneous wireless networks", 2011.
- [21] Carlos García Godos, Curso: "Redes Inalámbricas y Sistemas móviles", Maestría de Ingeniería de las Telecomunicaciones Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.
- [22] Amitabha Ghosh, Rameepat Ratasuk. Essentials of LTE and LTE-A. Cambridge University Press, Cambridge, CB2 8RU, UK, 1st edition, 2011.
- [23] Petrovi Nikola, Savkovi Dusan; "LTE Performance in a Hybrid Indoor DAS (Active vs Passive) 2016
- [24] <http://morse.colorado.edu/~tlen5510/text/classwebch11.html#x61-24000011>  
Universidad de Colorado, departamento de Telecomunicaciones. 2010
- [25] [http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod\\_white\\_paper0900aecd806a1a3e.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.html)
- [26] Zhang, Kai, and Ping Yang. "WCDMA ratio network optimization approach based on measurement report." 2010.
- [27] Seksan Charoenlap, Peerapong Uthansakul "Prediction of Interference Areas for 3G Network Based on Drive Test and Throughput Data". 2016.
- [28] Artículo 4º del Reglamento para la Supervisión de la Cobertura de los Servicios Públicos de Telecomunicaciones Móviles y Fijos con Acceso Inalámbrico.