

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y**  
**TELECOMUNICACIONES**



**“PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SMALL CELLS PARA  
MEJORAR COBERTURAS EN EQUIPOS MÓVILES EN LA EMPRESA  
PUBLICITARIA INDUSTRIA SAN MIGUEL 2017”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

RUIZ JARA, DEYBE

**ASESOR**

LA ROSA LONGOBARDI, CARLOS JACINTO

**Villa El Salvador**

**2017**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto es dedicado a mi madre y profesores, quienes son los principal motivadores e impulsar mi más grandes sueños de poder graduarme como ingeniero y siempre aconsejándome en no rendirme con mis objetivos, y alcanzar las principales metas, y que en todo momento siempre me ha apoyado en mi vida universitaria y que hasta hoy siempre dándome consejos el cual siempre me enorgullece.

Como agradecimiento también a mis principales asesores universitarios que han forjado en mi sus experiencias y conocimientos profesionales, el cual he puesto todo mi esfuerzo para graduarme como ingeniero electrónico y telecomunicaciones.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
ÍNDICE.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	ix
Introducción.....	1
Capítulo I Planteamiento del Problema .....	3
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	3
1.2. Justificación del proyecto.....	4
1.3. Delimitación del proyecto .....	6
1.3.1. Teórica .....	6
1.3.2. Espacial .....	6
1.3.3. Temporal.....	6
1.4. Formulación del problema .....	6
1.4.1. Problema general .....	6
1.4.2. Problemas específicos.....	6
1.5. Objetivos .....	7
1.5.1. Objetivo general.....	7
1.5.2. Objetivos específicos .....	7
Capítulo II Marco Teórico .....	8
2.1. Antecedentes de la investigación .....	8
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	8
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	11
2.2. Bases teóricas .....	15
2.2.1. Terminal Móvil.....	15

2.2.2.	Celda de comunicación .....	16
2.2.3.	Reutilización de Frecuencias .....	17
2.2.4.	Tipos de celdas de comunicación .....	17
2.2.5.	Redes Inalámbricas .....	19
2.2.6.	Tipos de Red de Telefonía Móvil .....	19
2.2.6.1.	<i>Red de Segunda Generación (2G)</i> .....	19
2.2.6.2.	<i>GSM</i> .....	20
2.2.6.3.	<i>GPRS</i> .....	21
2.2.6.4.	<i>Red de Tercera Generación 3G</i> .....	22
2.2.6.5.	<i>Red de Cuarta Generación 4G</i> .....	24
2.2.6.6.	<i>Arquitectura LTE</i> .....	25
2.2.6.7.	<i>Femtoceldas o Small Cells</i> .....	25
2.2.6.7.1.	<i>Definición</i> .....	25
2.2.6.7.2.	<i>Especificaciones</i> .....	27
2.2.6.8.	<i>Arquitectura de Red</i> .....	28
2.2.6.9.	<i>Femtoceldas Alcatel Lucent</i> .....	29
2.2.6.10.	<i>Aplicación de las Femtoceldas</i> .....	31
2.3.	Modelamientos matemáticos .....	34
2.3.1.	Criterios de modelo matemático de propagación en interiores .....	34
2.3.1.1.	<i>Validez de un modelo matemático</i> .....	35
2.3.1.2.	<i>Conceptos y clasificación de modelos de propagación</i> .....	35
2.3.1.3.	<i>Modelos de propagación espacio libre (entornos interiores)</i> .....	36
2.3.1.4.	<i>Log-Normal shadowing path loss model</i> .....	38
2.3.1.5.	<i>Multi-Wall Model</i> .....	40
Capítulo III	Modelo .....	41
3.1.	Análisis de modelo .....	41
3.1.1.	Criterios de selección de modelo .....	41

3.1.1.1. Estudio de topográfico de la zona .....	41
3.1.1.2. Ubicación del small cell en el área de la empresa publicitaria Industria San Miguel .....	42
3.1.1.3. Diagrama unilateral de small cell .....	43
3.1.2. Modelos matemáticos aplicados en el área de la Industria San Miguel .....	45
3.1.2.1. Materiales .....	45
3.1.2.1.1. Antena omnidireccional de techo.....	45
3.1.2.1.2. RG cable serie con dieléctrico de polietileno .....	46
3.1.2.1.3. Conectores coaxiales de RF.....	48
3.1.2.1.4. Spliter 2 way divisor .....	49
3.1.2.2. Modelo matemáticos de pruebas de medición de nivel de recepción de la cobertura del área de publicidad de la Industria San Miguel.....	50
3.1.2.2.1. Log-Normal shadowing path loss model .....	50
3.1.2.3. Pruebas de servicio de testeo.....	59
3.1.2.3.1. Speed Test .....	59
3.1.2.3.2. Get-Net Track Lite .....	60
3.1.2.4. Pruebas de medición simulado en la empresa publicitaria Industrias San Miguel .....	61
3.2. Revisión y consolidación de resultados .....	67
3.2.1. Revisión y consolidación de resultados .....	67
3.2.2. Modelamiento Multi-Wall Model en la oficina de Industria San Miguel .....	70
3.2.3. Cuadro comparativo de lugares equivalentes en instalación de Small Cells .....	72
CONCLUSIONES .....	73
RECOMENDACIONES .....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXOS .....	80

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Beneficios de Usar Femtoceldas.....	10
Tabla 2 Variable de Pérdida por Trayecto.....	39
Tabla 3 Especificaciones de Antena Omnidireccional de Techo.....	46
Tabla 4 Especificaciones de Antena Omnidireccional de Techo.....	47
Tabla 5 Especificaciones Físicas de Construcción de RG Cable.....	47
Tabla 6 Especificaciones de Atenuación (dB/100m).....	48
Tabla 7 Especificaciones del Conector Tipo “n” ARF1013-ND.....	49
Tabla 8 Especificaciones del Conector Tipo “n” ARF1013-ND.....	50
Tabla 9 Descripción de Factor (dB).....	51
Tabla 10 Descripción de Factor (dB).....	71
Tabla 11 Comparativas de sites de Small Cells.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área Geográfica de Prestación de Servicios, cubierta con un grupo de celdas de menor tamaño .....	16
Figura 2. Tipos de celdas, formas geométricas diferentes con un grupo de celdas .....	18
Figura 3. Tipos de celdas y escenarios .....	18
Figura 4. Diferentes tipos de cobertura celular en función del tráfico .....	18
Figura 5. Arquitectura básica GSM .....	21
Figura 6. Perspectiva general de una red móvil con femtoceldas.....	26
Figura 7. Arquitectura de microceldas 3GPP .....	28
Figura 8. Comparación entre el acceso al núcleo de red de célula a partir de una estación base convencional y una microcelda .....	28
Figura 9. Elementos de la arquitectura de red microcelda.....	29
Figura 10. Home-Cell 9361 V2 1900-850MHz Alcatel-Lucent.....	29
Figura 11. Enterprise-Cell 9362 1900-850MHz Alcatel-Lucent.....	30
Figura 12. Metro-Cell Interior 9363 1900- 850MHz Alcatel-Lucent .....	30
Figura 13. Metro-Cell Exterior 9364 1900- 850MHz Alcatel-Lucent.....	31
Figura 14. Predicciones concretizadas de puntos con acceso globales de Microceldas 2011-2016, por categoría .....	32
Figura 15. Apertura de recepción en una antena.....	36
Figura 16. Pérdidas por trayecto para distintos valores n.....	39
Figura 17. Plano de ubicación para la instalación de un small cell .....	41
Figura 18. Plano de ubicación para la instalación de un small cell .....	42
Figura 19. Plano de diseño para la instalación de los small cell.....	43
Figura 20. Plano de diseño para la instalación de los small cell.....	44
Figura 21. Imagen referencial de antena.....	45

Figura 22. Imagen referencial de RG Cable .....	46
Figura 23. Imagen referencial de conector coaxial RF .....	48
Figura 24. Imagen referencial de splitter divisor .....	49
Figura 25. Status del site del operador CLARO más cercano a la zona .....	54
Figura 26. Distancia de la BTS de CLARO hasta Industria San Miguel .....	55
Figura 27. Foto referencial de la aplicación Speed Test .....	59
Figura 28. Foto referencial de medición de la descarga y carga con el Speed Test .....	60
Figura 29. Foto referencial de la aplicación G-Net Track Lite .....	61
Figura 30. Detalles de la aplicación del G-Net Track Lite .....	61
Figura 31. Detalles de la llamada CSFB con la aplicación del G-Net Track Lite .....	62
Figura 32. Detalles de las pruebas Downlink y Uplink con la aplicación del G-Net Track Lite.....	63
Figura 33. Detalles de la pruebas Downlink y Uplink con la aplicación del Speed Test .	64
Figura 34. Detalles de la llamada CSFB con la aplicación del G-Net Track Lite .....	65
Figura 35. Detalles de las pruebas Downlink y Uplink con la aplicación del G-Net Track Lite.....	66
Figura 36. Detalles de las pruebas Downlink y Uplink con la aplicación del Speed Test	67

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1.....	36
Ecuación 2.....	37
Ecuación 3.....	37
Ecuación 4.....	37
Ecuación 5.....	37
Ecuación 6.....	38
Ecuación 7.....	38
Ecuación 8.....	38
Ecuación 9.....	38
Ecuación 10.....	40
Ecuación 11.....	53
Ecuación 12.....	56

## Introducción

Frecuentemente, las personas hoy en día dependen principalmente de los sistemas de telecomunicaciones en cualquier punto geográfico donde estén ubicados, es imposible no estar comunicados con el entorno, ya que nuestras vidas es una constante de tomas decisiones ya sea para vivir, estudiar, trabajar, recrearse y el desarrollo éxito profesional. Por lo tanto, la importancia de este trabajo es para resolver situaciones en las comunicaciones móviles en lugares de críticos o de difícil acceso debido a la aglomeración de muros, paredes, techos y sótanos.

La primera investigación anterior local perteneciente Chancasana (2015). “Diseño de una red 4G-LTE Indoor para el centro comercial Real Plaza Santa Clara” Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), sugieren que existen bajos niveles de señal y altos niveles de interferencia en ubicaciones indoor es originado por la inadecuada cobertura de la red 3G outdoor. En la segunda investigación anterior local perteneciente Mamani (2012) “Mejoramiento y optimización de la red rural móvil utilizando femtoceldas, en la localidad de Morococha, provincia de Yauli, Junín”. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), sugiere que en localidades rurales, o zonas accidentadas geográficamente se pueden mejorar con el uso de femtoceldas. La tercera investigación anterior internacional perteneciente Vaca (2015) “Evaluación de la tecnología Small Cells en una red de última generación 3G/LTE”. Universidad San Francisco de Quito (USFQ), sugiere que se debe fomentar el cambio mejorando la calidad de servicios con el uso de las tecnologías de small cell para abonados o lugares exclusivos. Y la última investigación anterior perteneciente a Morales (2010) “Gestión de Interferencias en Sistemas Femtocelda”. Escuela Politécnica Superior de Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad Carlos III de Madrid, realizó estudios y pruebas con

propiedades cocanal, escenarios A, B, C y D determinando que factores limitan la cobertura y capacidad en “zonas muertas”.

A partir de esta investigación, es la importancia de la propuesta de implementación con equipos de Smal Cell para mejorar la cobertura, utilizando simulaciones y dos modelamientos matemático efectivo que son “Log-Normal shadowing Path Loss” y “Multi-Wall Model” y que luego serán comparando con software de pruebas de llamadas. Este trabajo va servir para motivar futuras investigaciones y se hace la invitación de leer, para comprender las situaciones en espacios confinados y de difícil acceso de como mejorar las coberturas con las tecnologías de femtoceldas o small cell que se empleó para la Empresa Industrias San Miguel en la zona de Santiago de Surco, Lima.

## Capítulo I

### Planteamiento del Problema

#### 1.1. Descripción de la realidad problemática

Las Organizaciones de hoy están experimentando grandes cambios tecnológicos al considerar la revolución en las comunicaciones en el campo de las telecomunicaciones.

De estos nuevos cambios constantes, surgen nuevas necesidades en telecomunicaciones optando como base la comunicación entre uno y otros individuos, haciendo que esta necesidad se convierta un ritmo rutinario y efectiva en cuanto a velocidad, cobertura, seguridad, usando equipos con nuevos medios de comunicaciones, que son las redes de internet y móviles.

Todas estas nuevas tecnologías y que se implementan en distintos sectores de organización social, muchas veces presentan inconvenientes en distintos lugares por razones de inversión, infraestructura, saturación requerido a nuevas necesidades no previstas para el futuro.

Un importante menester imprescindible en la comunicación y que se a masificado con equipos móviles, que utilizan el ancho de banda móvil, del cual estas necesidades están crecientes a celeridades tecnológica y más eficientes. Sin embargo, los límites del ancho de banda móvil, cuya principal forma comunicación y propagación, en el aire, permanecen con un espectro limitado por lo escaso y costoso.

A diario los problemas recurrentes con el actual son el tráfico de datos, las empresas que realizan los servicios de redes móviles llamadas Operadores de Redes Móviles (O.R.M.) que constantemente están implementado soluciones de corto, mediano y largo plazo para liberar la sobrecarga de información en las redes. Hoy en día los ORM continúan con implementaciones de tecnologías anteriores que se basan en redes de macroceldas aún existente. Debido a esta anterior tecnología, se ha observado que al agrupar más celdas dentro

del área convencional correspondiente a las mismas celadas anteriores, esta produce un menor rendimiento producido por la interferencia radial y resulta en ser más complicado y genera mayores costos a la hora de establecer el espacio y construir las torres. Además, en áreas urbanas, una red macrocelda no mejora la capacidad necesaria para aquellas áreas de alto tráfico.

En las organizaciones se utiliza instalar torres de macroceldas para mejorar las comunicaciones tanto internas como externas, pero hoy en día muchas organizaciones utilizan instalaciones reducidas, en las cuales es inconveniente la instalación de dichas torres de macroceldas, contando dichas organizaciones con áreas de alto tráfico, requiriendo otro tipo de equipo para mejorar la cobertura de sus comunicaciones, siendo las small cells, las que les proporcionarían mayor flexibilidad de espacio requeridas para un mayor tráfico de información.

En lo que respecta a la empresa publicitaria Industria San Miguel (ISM), se observa la problemática referida a mejorar la cobertura para señal móvil con las tecnologías de Small Cell dentro de sus oficinas administrativas que están en una ubicación de difícil acceso para la propagación de una señal de BTS con el operador CLARO.

## **1.2. Justificación del proyecto**

La propuesta de esta investigación es para implementar nuevas alternativas en redes móviles debido a los problemas de coberturas actuales en las comunicaciones móviles en las macroceldas; una de las alternativas para lograr mayores ganancias en capacidad, es instalando una microcelda por debajo de la red para mejorar la capacidad adicional y que requerido empleando la ubicación adecuada, y que no represente un gran gasto en costo e instalación. Desafortunadamente, las microceldas (Small Cells) aún son pocas usuales en sus

implementaciones, pero son una alternativa al tráfico en datos para la descarga en áreas urbanas, y son bastante fiables, maniobrables, barato y fácil instalación del Wi-Fi.

Con los small cells se pretende atender a un 25% de todo el tráfico de redes móviles para dar soluciones en espacios cerrados o de difícil acceso.

Para el 2020 habrá 50 mil millones dispositivos unidos a través del mundo. El tráfico móvil crecerá mundialmente de acuerdo a la Tasa Compuesta de Crecimiento Anual (CAGR, “Compound Annual Growth Rate”); en un 84% sobre 7 años próximos, y sobrepase los datos fijos que trafiquen en el 2019.

A pesar del gran despliegue de ancho de los sistemas de 3G y 4G a nivel mundial, el crecimiento masivo del tráfico móvil está todavía comenzando los límites en las tecnologías móviles actuales.

Para el año 2020, las redes móviles tendrán que soportar los tiempos de mil veces mayor en volúmenes de datos móviles, lo cual se obtendrá una integración más apretada entre tecnologías inalámbricas y velocidades más altas, así moviendo adelante hacia una nueva generación de móviles comunicaciones en la quinta generación (5G) cuyos intereses ha sido depositados a una apuesta por parte de investigadores académicos, cuyo fin es enfocar hacia el 2020 con la adopción de esta de una nueva generación 5G, que tiene que ser efectiva y de bajo costo.

Por lo cual es pertinente implementar las tecnologías de Small Cell para mejorar la cobertura para señal móvil que están en una ubicación de difícil acceso para la propagación de una señal de BTS con el operador CLARO, hasta ahora esta tecnología no ha sido implementada masivamente y sólo por pocos operadores que han realizado dicha implementación, incluso en la gran mayoría de nuestras localidades dentro de nuestra región no parecen haber alcanzado el éxito esperado.

### **1.3. Delimitación del proyecto**

#### **1.3.1. Teórica**

Modelo y análisis en dos redes con nivel cognitivo en redes en networking, canal estrategia cognitiva de interferencia en small cell.

#### **1.3.2. Espacial**

El desarrollo del presente proyecto de investigación tiene por delimitación espacial el área de la oficina publicitaria de la empresa de publicidad Industria San Miguel (ISM) dentro de la zona Metropolitana de Lima.

#### **1.3.3. Temporal**

La recaudación de información y propuesta de implementación para mejorar la cobertura de teléfonos móviles tiene una duración de tres meses que inicio el día 04 de Abril del año 2017 hasta el plazo de vencimiento el día 04 del mes de Julio del 2017.

### **1.4. Formulación del problema**

#### **1.4.1. Problema general**

¿Cómo determinar una propuesta de implementación de un small cells mejora la cobertura en equipos móviles en la empresa publicitaria Industria San Miguel en el 2017?

#### **1.4.2. Problemas específicos**

1. ¿Cómo determinar una propuesta de implementación de un small cells mediante el modelo Log-Normal shadowing path loss mejora el acceso múltiple en equipos móviles en la empresa publicitaria Industria San Miguel en el 2017?
2. ¿Cómo realizar una propuesta de simulación de un small cells mediante aplicaciones móviles que demuestre la mejora del nivel de recepción en equipos móviles en la empresa publicitaria Industria San Miguel en el 2017?

3. ¿Cómo demostrar la pérdida de cobertura mediante el modelamiento Multi-Wall Model, sin incluir el small cells, dentro de la empresa publicitaria Industria San Miguel en el 2017?

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar una propuesta de implementación de un small cells para mejorar la cobertura en equipos móviles en la empresa publicitaria Industria San Miguel en el 2017.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

1. Determinar una propuesta de implementación de un small cells mediante el modelo Log-Normal shadowing path loss mejora el acceso múltiple en equipos móviles en la empresa publicitaria Industria San Miguel en el 2017.
2. Realizar una propuesta de simulación de un small cells mediante aplicaciones móviles que demuestre la mejora del nivel de recepción en equipos móviles en la empresa publicitaria Industria San Miguel en el 2017
3. Demostrar la pérdida de cobertura mediante el modelamiento Multi-Wall Model, sin incluir el small cells, dentro de la empresa publicitaria Industria San Miguel en el 2017

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales

Chancasana (2015). “Diseño de una red 4G-LTE Indoor para el centro comercial Real Plaza Santa Clara” Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). La investigación concluye:

En este segundo capítulo se evidencian las mediciones con uso inadecuado en la cobertura de la red 3G/4G outdoor. Las ubicaciones dentro de un centro comercial presentan dos estaciones que poseen bajos niveles en la señal y altos niveles de ruido. Luego la consecuencia que presenta, son las caídas en llamadas causando problemas en comunicación en los usuarios y las pérdidas económicas para la empresa operadora.

La tecnología 4G con se ha implementado el arreglo de múltiple entrada / multiple salida por doble (MIMO 2x2) el cual se accede a velocidades mayor a 100Mbps, esto se observa en las simulaciones presentadas en el capítulo 3 (Figura 3-18) y se comprueba con las mediciones finales obtenidas luego de instalar el sistema (Figura 3-26). Las velocidades se pueden mejorar al cambiar el backhaul de microondas en reemplazo de la fibra óptica.

El software para el diseño de la red interior no es el 100% preciso, se aproxima a lo real y se emplea como referencia para obtener un buen diseño y con una red óptima.

Con esto se demuestran los niveles reales de cobertura y velocidad de acceso tomado desde el diseño obtenido del software. Además parte de optimización, a partir de un buen diseño se pueden mejorar los errores.

En las telecomunicaciones móviles al trabajar con radiación y ondas electromagnéticas no se pueden controlar como si fuese un curso de agua. Siempre en diferentes zonas el proyecto de cobertura se desborda en cuanto a la radiofrecuencia. Por

tanto se busca controlar esta radiación con el uso de diversas antenas para corregir las direcciones.

En las simulaciones de coberturas 2G, 3G y 4G se obtiene una óptima señal de cobertura móvil en el interior del centro comercial Real Plaza Santa Clara.

Inmediatamente son los indicadores de rendimiento obtenidos los que respaldarán después de haber realizado la instalación dentro del rango aceptable indicado por el operador.

El siguiente método del resto del proyecto muestra los resultados favorables, lo cual se puede considerar como modelo para futuros diseñadores que requieran adecuar a sus criterios.

También los resultados VAN - TIR obtenidos, muestra que el proyecto es muy rentable. Porque después del segundo año se recupera lo invertido y se obtienen las ganancias.

El nivel de rentabilidad obtenido del proyecto incentiva en la demanda de inversión en los operadores móviles en el Perú, en el cual se genera nuevas ganancias.

Las redes interiores se mejoran la cobertura dentro de los edificios, además descongestionan las redes exteriores. El correcto despliegue en las redes interiores en zonas con gran afluencia donde las personas hacen el uso de redes exteriores hace que se independice una cantidad menor, haciendo el uso de niveles más bajos en potencia. Los clientes deben comprender que el aumento de sites móviles y redes interiores generan mayor radiación y los niveles de potencia disminuye.

Mamani (2012) “Mejoramiento y optimización de la red rural móvil utilizando femtoceldas, en la localidad de Morococha, provincia de Yauli, Junín”. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). La investigación concluye:

De acuerdo al trabajo de tesis, se demostró la calidad del servicio móvil en las zonas alejadas y rurales, se puede mejorar con el uso de microceldas ya que estas vienen homologadas por el MTC.

Estas femtoceldas o microceldas, soporta entre 10 a 16 usuarios conectados en simultaneo, mientras que una picocelda 2G soporta hasta 60 usuarios, el presupuesto de la transmisión del núcleo del operador es de \$ 235.00 por microcelda (la garantía es del 50% de la tasa de 2Mbps) en la conexión 3G, que es un ahorro como muestra la Tabla 1, y con relación al alquiler de conexión, cuyo costo es de \$ 860.00

Tabla 1

*Beneficios de Usar Femtoceldas.*

	<i>Femtocelda</i>
Estandarización	3GPP
Soporta Wifi	SI
Capacidad Tx	2-3
Usuarios simultáneos (Gestión)	10-16
Red móvil	2G/3G/4G
Costo de transmisión	Bajo (DSL / ADSL)
Homologación Perú	SI
Ahorro Opex y Capex	Significativo (S/. 2000)

*Nota: Fuente adaptada de Mamani Limachi, 2012.*

El trabajo entre empresa y estado, existe convenios participativos de ambos, con roles de evaluación y fiscalización, para incentivar la inversión de infraestructura en las telecomunicaciones encargadas a las empresas operadoras. Además se comprueba que al incentivar a los municipios llevados hacia la población los proyectos, traen buenos beneficios junto con la empresa privada facilita la rápida implementación de mejoras de coberturas.

Un claro ejemplo es la Minera Chinalco que ha invertido alrededor cincuenta millones de dólares, lo cual generó una gran actividad económica en la localidad, esto trajo las mejoras de ofertas de servicios, hospedajes, negocios de restaurantes, aumentos de medios de transporte y mejoras en las telecomunicaciones.

La disminución de costos en los terminales móviles, permite que los clientes que accedan a equipos con redes de 3G, lo cual trae nuevas oportunidades en los negocios, creando nuevos mercados como el caso de Morococha. En la visita del lugar, se observó a personas con un nivel de estatus económico bueno que además poseen teléfonos Smart Phone.

Morocha se encuentra ubicado entre Lima, la sierra central y selva central. Debido a su localización hay mucha presencia de comerciantes, viajeros y turistas con dispositivos de alta gama.

Además es garantía en las mejoras sociales y económicas de la población, al tener una comunicación en los servicios móviles, y no hay la necesidad para desplazarse de una ubicación a otra para buscar una señal óptima en la comunicación. Otro aspecto importante son para las mejoras económicas en las actividades de servicio y comercio realizados a diario.

También hay lugares con puntos ciegos que no llega la cobertura, sobre todo en dentro de los inmuebles interiores como los edificios o los vehículos, motivo por el cual las microceldas son una alternativas de mejoras, flexibilidad, además de su bajo costo.

### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

Vaca (2015) “Evaluación de la tecnología Small Cells en una red de última generación 3G/LTE”. Universidad San Francisco de Quito (USFQ). La investigación concluye:

En la finalización de la implementación y pruebas de llamadas de las microceldas se concluye que la empresa operadora presentaba problemas con la capacidad de transferencia en el lugar. También se explica las falla es muy común y cotidiano, motivo por el cual siempre busca mejorar la calidad de servicio para el cliente, razón por el cual se presenta como alternativa la microcelda.

Se realizó un análisis de las microceldas para comprender los beneficios de instalación y los desafíos al implementar uno de estos equipos.

También se elaboró una guía para el procedimiento de implementación en microceldas, y que explica los procedimientos adecuados en instalación y mediciones en las microceldas.

Siempre en toda instalación es importante tener una guía para poder realizar adecuadamente el proceso. Por tal motivo es importante tener en cada etapa de instalación, trabajar con las datasheets, para seguir las indicaciones de los pasos y no cometer errores.

Después de realizar las pruebas de análisis del equipo se corrobora que las microceldas funcionan perfectamente en una red LTE 4G, así mismo se demostró una solución interior adecuada que presentaba mejoras en las pruebas realizadas.

El objetivo general implementado fue satisfactorios, después de realizar un análisis teórico en conceptos, donde la microcelda se realizó los procesos de instalación y pruebas correspondientes, se obtuvo una buena calidad servicio en la red de última generación del operador, y así mejorando la velocidad de descarga a favor del cliente dentro de la integración de servicios.

En la parte final del proyecto el impacto que ha tenido es la aplicación práctica e inmediata, cuyas pruebas fueron realizadas en la localidad de Guayaquil cuyo alcance de proyecto es viable en el país de Ecuador.

Morales (2010) “Gestión de Interferencias en Sistemas Femtocelda”. Escuela Politécnica Superior de Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad Carlos III de Madrid. La investigación concluye:

Después de realizar el estudio de implementación de Small Cells, abarcando la parte de gestión de interferencias, se concluye:

De acuerdo a los distintos escenarios en la simulación planteada dentro del quinto capítulo, se asegura que hay similitudes en los sistemas de macro y micro-celdas. En las distintas pruebas se comprueba que las interferencias provienen de un canal adyacente, el cual genera un mínimo impacto en los servicios utilizados por el cliente. Existe algunas ocasiones,

que presentan interferencia en el escenario del co-canal A, B, C y D, que es un factor que limita las coberturas y capacidades de redes ofrecida al cliente.

Por otro lado, las microceldas generan “los puntos ciegos” o “zona muerta” que dependen de su punto de acceso. Este problema comienza a medida que aumenta el radio de dicha ubicación supere los cinco metros, ya que puede afectar al usuario situado fuera de su vivienda tengan problemas de acceso a la macrocelda. Por esa razón la solución es reducir la potencia de transmisión del punto de acceso de la microcelda, lo que conlleva a una disminución en la cobertura de la microcelda, luego seguidamente debe haber una relación del radio de la “zona muerta” y la microcelda. La otra opción es redirigir al usuario de la macrocelda migrar a una frecuencia de 3G, por consiguiente se generan nuevos escenarios G, H, I y J, donde la interferencia que repercute es mínima dentro del canal adyacente.

Mediante la observación de la estación base de la microcelda, tanto los clientes en micro unidades de enlace y los macro Nodo B, puede existir un conflicto en canal. Ambos pueden coincidir con la relación  $E_b/N_0$  del receptor de la microcelda y no sea lo suficiente para tener un buen servicio de voz y datos. Dentro de la disponibilidad de los puntos de acceso de las microceldas se realiza a través del control automático de ganancia (CAG), el cual permitiría reducir la ganancia del receptor, haciendo que disminuya las interferencias. Esto en consecuencia la cobertura se afectaría en la microcelda, obligando a realizarse el cambio de frecuencia como solución.

Luego de analizar los casos anteriores, se ha comprobado que es importante asignar frecuencias cuando existen dos tipos de redes que interfieren una con otra. Otra propuesta es dividir el espectro asignado en los servicios móviles de macro y microceldas. El inconveniente del tipo de solución es muy rígido, se debe tener en cuenta la información previa antes de asignar cantidad de espectro en cada una de las redes. En la conclusión de las introducciones de las microceldas dentro de las redes móviles requieren nuevos protocolos

para mejorar mucho más flexible la gestión de frecuencias, de tal modo los puntos de acceso se pueden evidenciar en el entorno que afecta a los usuarios finales que tienen servicios de las antenas macroceldas. En el escenario D se comprueba el aumento del ruido en la parte receptora de la antena macro Nodo B, y es mínima en la terminal de la microcelda que opera con la máxima potencia sobre el mismo canal. Así mismo, hay que esperar que los clientes de las microceldas cubiertas por la macrocelda dentro de la zona, superen las cantidades suficientes, en tal punto que el aumento de ruido sea mínimo. En consecuencia, las antenas macro Nodo B se debe tener en cuenta la degradación de sensibilidad, y que al alcanzar el límite de realización de gestión de la cantidad de microceldas cocanal dentro en la zona de cobertura, no aumente.

En varios escenarios se estudia la interacción de varios tipos de microceldas. En una localidad con varios puntos de acceso los usuarios pueden afectarse por varias microceldas vecinas, debido a la interferencia que es nociva al momento de tratar al cocanal. Reutilizando las frecuencias se puede asegurar una mejor distribución de 1 Mbps a la mayoría de clientes.

Por lo contrario, los que afectan son los terminales de los equipos de usuarios de microceldas hacia los puntos de acceso de las microceldas cercanos, y en conclusión la interacción no es una limitación para los servicios de microceldas. Solamente se puede tratar en situaciones donde haya altas pérdidas en propagación como en caso de lugares de oficinas y edificios, y que se les puede aplicar la utilización en control adaptable de potencia.

De acuerdo a la gestión de las cantidades de microceldas, se realizó simulaciones para determinar la capacidad en los terminales de los equipos de usuarios de microceldas considerando el modelo en coordinación dentro de la estación base. Luego la conclusión de resultados se aumenta con este método la capacidad de tasa binaria para el usuario, sobre todo cuando hay movimiento esto mejora. Con esta configuración es ideal para cubrir unas zonas amplias, como ejemplo edificios, hoteles... porque abarca a los usuarios que se encuentren

dentro de esta área tenga una mejora de cobertura para cada uno de ellos. Pero la desventaja de este método es la cantidad de terminales que se concentra sólo en una zona limitada. Ante esta situación pocos puntos de acceso se llegan a saturar, en cuanto a los servicios de datos en las terminales, por el limitado acceso. La solución posible es realizar el estudio en las áreas donde existe más concentración de usuarios para luego reforzar con más puntos de acceso en las microceldas, o emplear el sistema de múltiple entrada / múltiple salida (MIMO) que utiliza los puntos de acceso con muchas antenas. Ambas soluciones correlacionan un aumento en el costo del sistema de microceldas.

Por último, en el futuro las microceldas, se concluye que es una gran tecnología novedosa y que aumentará la demanda en empresas, oficinas y hogares, cuya primera utilización son los alrededores de cobertura normal que muchas veces no llega, como ejemplo pueden ser localizaciones no urbanas, transportes industriales con techo de concreto o metal, lugares con sistemas jammer en comunicaciones con el exterior, zonas geográficas que se requieren una instalación necesaria antes de poner una red macrocelda costosa. Después de comprobarse el buen funcionamiento de las microceldas, y haber desarrollado los pasos de técnicas y protocolos que asegure la compatibilidad con otra(s) red(es) inalámbrica(s), que será un salto hacia el futuro en la demanda de servicios de voz y datos, en los hogares y lugares de trabajo, que será un acontecimiento para el gran éxito de las microceldas que tendrá un gran rol en los servicios para una nueva generación de equipos móviles.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Terminal Móvil**

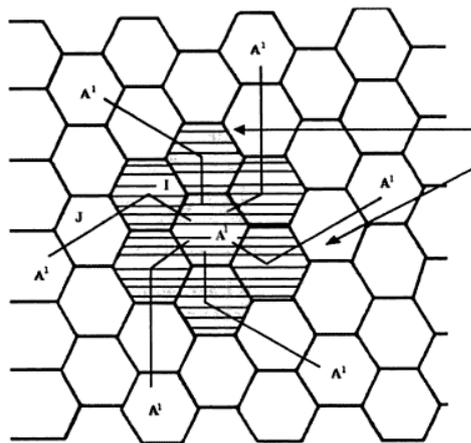
Son aparatos reducido que emplean los usuarios para establecer comunicación entre sí. Básicamente es un dispositivo que emplea la fácil Tx / Rx de voz y de datos, que está integrada a una red de telecomunicaciones. La comunicación del terminal móvil se basa en un

conjunto de periodo con la estación base adyacente al terminal móvil, para que esta estación base brinde cobertura en la zona que se encuentra dentro de sus límites de propagación. Es decir que el usuario cuando quiere comunicarse, utiliza su terminal móvil para conectarse a la estación base, que brinda la cobertura en la zona delimitada, así por más que el usuario a pesar de que esté movimiento, mientras se encuentre dentro de esta zona de cobertura su terminal móvil estará siempre enlazado con la estación base correspondiente. (Oñate, 2014)

### 2.2.2. Celda de comunicación

Con referencia a la mención, Figueroa (2008), una celda es una unidad básica de cobertura dentro de un área el cual se presta un servicio. Cada una de estas celdas de comunicación presenta diferentes tamaños el cual va establecer diferentes parámetros como medio de propagación, potencia de transmisión y ganancia en la antena.

Cuando existe conjunto de celdas o células móviles se les llama red de celdas o red de células, el cual van a estar enlazados a una estación base. Este sistema de celdas, cubrirán siempre una zona más amplia para aumentar cobertura como se muestra la Figura 1.



**Figura 1.** Área Geográfica de Prestación de Servicios, cubierta con un grupo de celdas de menor tamaño  
Fuente: (Munoz Rodríguez, 2002)

En la figura 1 se muestra un esquema del área geográfica a la que ha de prestarse servicio, cubierta con un grupo de celdas de menor tamaño. (Muñoz, 2002)

### **2.2.3. Reutilización de Frecuencias**

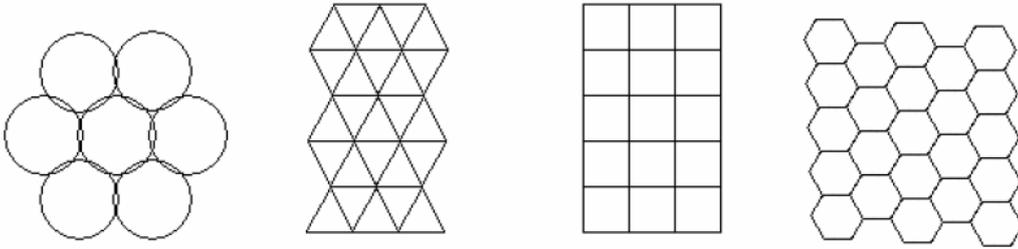
Donde existan un conjunto de celdas de comunicación y que estas tengan tecnologías de propagación compatibles, se podrá hacer el rehusó de frecuencias para cubrir aéreas mayores o separadas por otro conjunto de celdas el cual pueden rehusar la misma frecuencia portadora para mejorar o aumentar la capacidad en las redes móviles, y se debe tener en cuenta una distancia necesaria para evitar o que sean mínimas las interferencias de señales co-canal. (Figueroa, 2008)

### **2.2.4. Tipos de celdas de comunicación**

Hay diversas formas de celdas debido al tamaño estratificado, para los tráficos de voz y datos. Es importante que las celdas tengan un tamaño que dependa de la zona de cobertura, lo cual está representado por megaceldas, macroceldas, microceldas, picoceldas, femtoceldas.

- **Megaceldas:** son celdas con amplia cobertura, para la gran demanda alta en tráfico. El rango en la cobertura es mayor de 36 km.
- **Macrocelas:** Son celdas son para zonas con población medianas, lugares urbanos poca población.
- **Microceldas:** Son celdas para áreas donde existe gran demanda de cobertura, en áreas de difícil acceso y altamente poblado.
- **Picoceldas:** Son celdas cuyo uso es también para áreas urbanas de difícil acceso y densamente poblado. (Zhang, 2010)
- **Femtoceldas:** Son las celdas mas pequeña cuyo uso son para areas extremadamente complejas en cuanto al acceso y para un área específica de alta demanda.

A continuación las diferentes celdas y formas con escenarios para la aplicación de cada tipo de celdas mostradas en la figura 2 y figura 3.



**Figura 2.** Tipos de celdas, formas geométricas diferentes con un grupo de celdas

Fuente: Elaboración propia

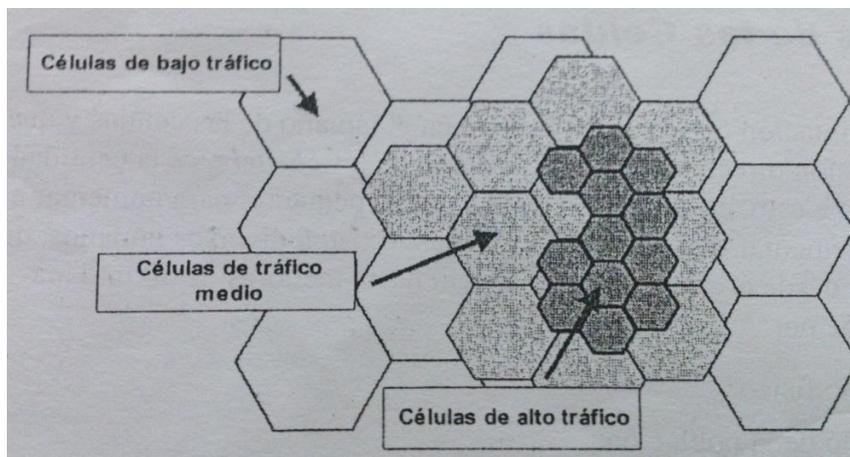
## Small cell types & Small Cell scenarios



**Figura 3.** Tipos de celdas y escenarios

Fuente: (Taípe Echeverría, 2013)

A continuación las celdas de diferentes tráficos de cobertura, se aprecia en la figura 4.



**Figura 4.** Diferentes tipos de cobertura celular en función del tráfico

Fuente: (Figuroa de la Cruz, 2008)

### **2.2.5. Redes Inalámbricas**

Las redes inalámbricas son aquellas conexiones que permite la comunicación de un intercambio emisor y receptor los cuales emplean dispositivos para enviarse voz y datos. Estas redes inalámbricas pueden operar en coberturas de gran alcance como también en lugares confinados estableciendo equipos y dispositivos especiales para estas áreas. (Gralla, 2006)

Las diferentes tecnologías en telecomunicaciones según su cobertura son WPAN, WLAN, WMAN y WWAN

Las tecnologías en localización son GPS, GLONASS y GNSS y las tecnologías de identificación son el RFID. (Gralla, 2006)

### **2.2.6. Tipos de Red de Telefonía Móvil**

La telefonía móvil actual se divide en 6 categorías, a las tomando de 3 generaciones móviles. Específicamente no se mencionaremos la primera generación porque es la tecnología el cual se comenzó y se explica a partir de su evolución las tecnologías 2G, GSM, GPRS, 3G, 4G y LTE. (Evans, 2008)

#### ***2.2.6.1. Red de Segunda Generación (2G)***

La red de Segunda Generación 2G se diferencia con la primera tecnología móvil por incorporar el sistema Sistema Global para Comunicaciones Móviles cuyas siglas en inglés es GSMC, el cual utiliza la primera tecnología digital para un radioenlace. Anteriormente solo se usaban solo celulares analógicos. Estas primeras aplicaciones del GSM fue principalmente para los cortos mensajes de texto SMS y la navegación de internet empleando páginas WAP. Además en esta etapa la velocidad de navegación no era buena, pero fue una innovación para la época navegar por las paginas WAP para acceder a la información de internet.

Posteriormente hubo una transición llamada 2.5 G, el cual se implementó una tecnología más al GSM convirtiéndolo al Paquete General de Servicios por Radio, cuyas siglas en inglés es GPRS. Ya en esta etapa se permite la transmisión de envío de archivos en imágenes y audio a través de un MMS. (Evans, 2008)

#### **2.2.6.2. GSM**

En el 2G de móviles comenzó con el GSM lo cual permitía múltiples comunicaciones de voz y datos en varios nodos de todo el mundo.

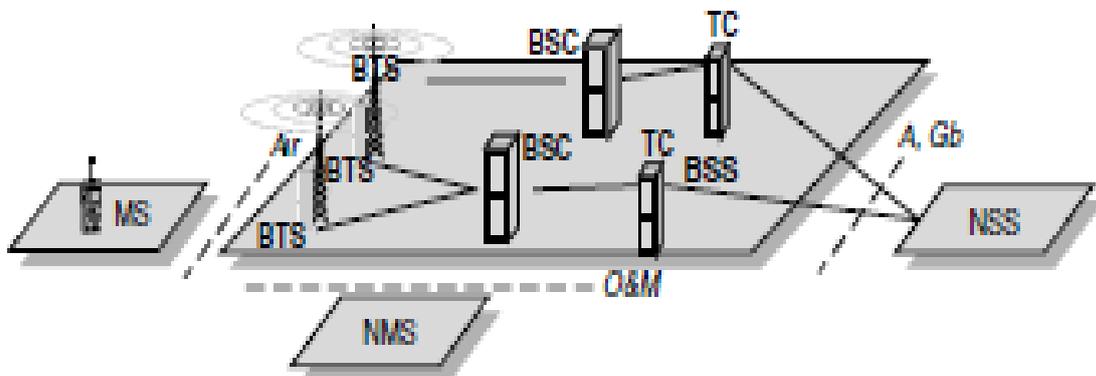
En el año 1982 la European Postal Telephone and Telegraph conocido por sus siglas en inglés CEPTB, formaron la Groupe Special Mobile, posteriormente llamado a ser Global System for Mobile Communications (GSM) cuyo objetivo fue crear un sistema de comunicaciones móviles compatible para las futuras tecnologías en las siguientes décadas.

La tecnología Global System for Mobile Communications (GSM) inicialmente se reservó la banda de frecuencia de 1800 MHz. para las comunicaciones móviles y hoy en día se utiliza para el GPRS. Al final se opta la instalación de la tecnología de Banda Dual para aquella época para los nuevos los dispositivos compatibles y en adelante. Por otro lado, Europa sacó provecho de la capacidad de esta tecnología para crear un nuevo espectro en la telefonía móvil de doble banda. Ya no era solo la frecuencia de los 1800 MHz sino también la creación de la nueva frecuencia 900 MHz usado sobretodo localidades suburbanas. Y si alguna banda llegase a saturarse o presentaba algún inconveniente de cobertura, la banda cambiaba automáticamente una respecto a la otra.

Se destaca también de esta tecnología móvil GSM, la implementación de 4 bandas conocido como el QuadBand. El cual permitía la comunicación de una banda diferente a otra y además de las conexiones podían darse a largas distancias, en la región de Latinoamérica se empleaba la banda 850 MHz.

En cuanto a la velocidad de transferencia en la tecnología Global System for Mobile Communications fue de 9600 bps, cuyo tiempo de conexión en promedio era de 30 segundos, el costo por tiempo de conexión era aún muy costoso para estar conectado las todo el día, y cada usuario asumía el costo de sus servicio según el tiempo que empleaba o realizaba su contrato con el operador móvil. (Evans, 2008)

La tecnología GSM cambió el panorama de la tecnología convencional en los móviles respecto a los celulares analógicos anteriores a esta tecnología como se muestra en la figura 5:



**Figura 5.** Arquitectura básica GSM  
Fuente: (John.Wiley.Sons, 2005)

### 2.2.6.3. GPRS

A pesar de los avances de la tecnología a través del tiempo, los usuarios no estaban conforme con la transferencia en datos el cual requería que fuese más fluido, es aquí donde nace la palabra de “Internet Móvil” con el cambio de tecnología de GSM a GPRS.

Otra desventaja de la GSM para el tiempo de conexión se realizaba un cobro, y la solución de este problema, fue con la creación del Servicio General de Paquetes Vía Radio por sus siglas en ingles GPRS el cual se le llamó la tecnología 2,5G o “Generación de Transición”.

De esta tecnología los fabricantes lanzan al mercado 3 tipos de dispositivos los cuales son:

- Clase A: Diseñado para soportar GPRS y GSM en el mismo tiempo sin perder la conexión.
- Clase B: Diseñado para soportar GPRS y GSM, pero solo se limitaba a una sola función por ejemplo solo se podía descargar o navegar con datos, pero no se podía hacer al mismo tiempo la parte de llamada, era necesario primero concluir con una función de servicio para luego continuar con el otro servicio.
- Clase C: En esta tecnología no se soporta la conexión simultánea era necesario primero desactivar el GPRS, para luego usar el servicio de voz.

Esto es el beneficio que provee el GPRS:

- Hay una mejor calidad de Tx con respecto a la tecnología GSM. Velocidad proporcionada por el fabricante 385 Kbps, pero la velocidad real era de 50 Kbps. (Evans, 2008).

#### ***2.2.6.4. Red de Tercera Generación 3G***

La tecnología 3G o de tercera generación surge debido al tráfico en la banda por el cual utilizaba la tecnología GSM, y justamente comienza el Sistema Universal de Comunicaciones Móviles, cuyas siglas del inglés es UMTS, desarrollado a comienzos del 2000 y continúa hasta la actualidad.

En la tecnología 3G se considera dos estándares en América Latina, EEUU y Japón, que son las tecnologías HSPA y WCDMA.

WCDMA: Acceso Múltiple por División de Códigos, esta tecnología divide la información en forma de paquetes, luego las envía a través de un canal de banda 3G y la velocidad que alcanza la WCDMA es hasta los 385 Kbps.

Anteriormente la WCDMA se acoplaba el cambio de tecnología de 2G a 3G, a este cambio entre tecnologías se le llamó la Tasa de Datos Mejorados para la Evolución del GSM. Cuyas siglas en inglés son EDGE o EGPRS, este acoplamiento de velocidades alcanzaba los 256 Kbps.

HSPA: Denominada como “High-Speed Packet Access” cuyas siglas en inglés es el HSPA. Esta tecnología es el conjunto de varios protocolos, que entre ellas son:

- HSDPA Denominada como “High Speed Downlink Packet Access”, cuyo protocolo mejora la velocidad de descarga, obteniendo hasta 14,4 Mbps.
- HSUPA.- Denominada como “High Speed Uplink Packet Access”, cuyo protocolo mejora la velocidad de subida, obteniendo hasta 5,8 Mbps.
- HSPA+.- Es el estándar de red es el HSPA Evolucionado, debido a la gran demanda de usuarios para la mejora en velocidades de descarga y subida de datos, su desarrollo fue finales del año 2008. El HSPA+ alcanza la velocidad en descarga a 84 Mbps y velocidad en subida de 22 Mbps, pero esta velocidad es la más óptima cuando no hay tráfico o mayores números de abonados, por lo que normalmente el operador atenúa la señal y garantiza velocidades por debajo de la velocidad máxima.

Las principales características de la Red 3G son:

- Se aumenta la velocidad en los equipos móviles empleando protocolos IP.
- El 3G implementa el servicio de voz-videoconferencia, llamadas VoIP, mensajes multimedia (MMS) y acceso a las páginas web.
- En el 3G, se une el sistema de localización GPS, con la implementación de la tecnología GPRS para facilitar la precisión de la ubicación geográfica.
- Se mejora el roaming, que depende de la compatibilidad del equipo respecto a la banda usada en cada región.

- Con el aumento de velocidad se pueden descargar aplicaciones en los equipos móviles.
- Las nuevas ventajas del uso en el 3G, mejora las publicidades de las compañías y empresas en la facilitación de Apps para realizar compras, ventas, pagos bancarios y muchas nuevas posibilidades sobre todo para la microempresa.

(Millán, 2000)

#### **2.2.6.5. Red de Cuarta Generación 4G**

El incremento de velocidad y capacidad de transferencia en datos móviles, permite al 4G mejorar las aplicaciones de acuerdo al requerimiento del usuario, como llamadas Vo-LTE, video llamadas en tiempo real con una mejor conexión en ancho de banda y una calidad de alta resolución (High Definition) cuya siglas en inglés HD, y se favorece un mejor streaming para videos de producciones y filmaciones, la red es más estable con mínima pérdida de conexión sobre todo favorece al sistema bancario.

Otra ventaja de la cuarta generación es la velocidad de Tx, que alcanza entre 20 a 100 Mbps y en una red local puede alcanzar hasta los 1Gbps.

El 4G tiene las siguientes características:

- La conectividad está basada en una dirección IP.
- Mejora de velocidad de 100 Mbps a 1Gbps.
- El 3G es un conjunto de protocolos y tecnologías, a diferencia de su predecesora 2G.
- Convergen dos tecnologías de, LTE + o Advanced con Wireless MAN Advanced.
- Establece los servicios de punto a punto.
- Garantiza la calidad en el servicio con una serie de requerimientos mínimos para la Tx de Vo-LTE, streaming, video llamadas, mensajería Multimedia. (Herranz, 2007)

### **2.2.6.6. Arquitectura LTE**

Mucha gente cree que el LTE es un sustituto de UMTS, pero en realidad se sigue utilizando las tecnologías “WCDMA, HSDPA, HSUPA y HSPA”. La realidad el LTE es el sustituto del GSM. Por tanto, el LTE es una sobre todo una actualización porque muchos usuarios que no tengan cobertura 4G pueden seguir navegando con el 3G y que actualmente se siguen usando las dos tecnologías (Herranz, 2007).

Las ondas de radio que emplea el LTE viajan por la misma banda de la tercera generación, ya en el 2016 la portadora banda de 700 MHz en el que se transporta la red de 4G/LTE ha sido una implementación costosa, pero aún se sigue usando las red CDMA y GSM para la transmisión de voz.

Lo novedoso del 4G son las mejoras en las interfaces radioeléctricas del OFDMA hacia los enlaces descendente (downlink) y SC-FDMA para los enlaces ascendentes (uplink). (Jara, 2017)

### **2.2.6.7. Femtoceldas o Small Cells**

#### **2.2.6.7.1. Definición**

Las Femtoceldas o también llamadas ‘estaciones base domésticas’ como muestra la figura 6, son puntos de acceso a través de una red telefónica de móviles, el cual se interconectan con diversos dispositivos móviles usando una conexión de banda ancha entre móviles o conexiones de fibra óptica; y también se pueden conectar tecnología inalámbrica para determinado clientes que lo requieran. (Nuñez, 2011)



*Figura 6.* Perspectiva general de una red móvil con femtoceldas  
Fuente: Núñez (2011)

Las femtoceldas o microceldas facilitan un nuevo servicio para los móviles, el cual aprovecha la máxima capacidad entre interconexión de banda ancha para actuar en una pequeña red móvil dentro de un área.

Las femtoceldas o microceldas poseen las características siguientes:

- Los radioenlaces estándar de 2G, 3G o 4G.
- Intercambio inmediato entre macrocelda y microcelda.
- Redireccionamiento de voz y datos a través de una conexión banda ancha.
- Máxima cantidad de equipos móviles en enlace simultaneo con característica 2/4
- Para hogares se emplea diseño 8/16 en caso de empresas llega hasta 32. (Núñez, 2011)

### **Ventajas de las Femtoceldas**

Los principales beneficios de las femtoceldas o microceldas es porque tienen una tecnología de fácil remplazo de telefonía fija por la de móvil porque genera un ahorro de costos para las empresas operadoras. Y esta disminución de costos también beneficia a los proveedores y usuarios finales.

Otro beneficio son las adaptaciones de redes IP, empleando los empaquetamientos de voz a través del ancho de banda usando un canal de transmisión de llamadas de voz utilizando una red IP. (Hidrobo, 2009)

Al añadir una capa más en las microceldas dentro de una red de macroceldas móviles, esta mejora la capacidad significativa total en la red, empleando la reutilización del espectro en áreas interiores.

Las microceldas proporcionan un ahorro significativo en cuanto a la energía dentro de los terminales del cliente (tablets, smartphones, etc.), además la pérdida en la trayectoria en indoor utilizando las microceldas, son mucho más bajas respecto a las macroceldas exteriores. Así mismo la potencia de Tx del terminal de cliente hasta las microceldas es mucho más baja. Se optimiza el tiempo de duración en las baterías con el uso en servicios de datos en alta velocidad. (Roca, 2012)

#### *2.2.6.7.2. Especificaciones*

De acuerdo a las tecnologías existentes en las microceldas o femtoceldas, un punto importante es la compatibilidad de soporte de hardware y cuyos estándares se clasifican en 3 clases:

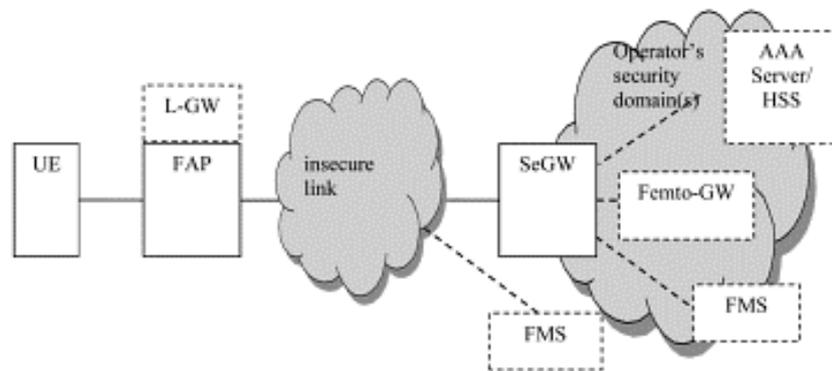
Clase 1: Es el caso más común creado en la familia de microceldas o femtoceldas. En esta parte la microcelda o femtocelda actúa como un equipo de Wi-Fi, tiene la potencia de 20 dBm y puede establecer una conexión hasta 8 dispositivos en un mismo instante.

Clase 2: En este caso la microcelda o femtocelda posee una potencia superior a los 24 dBm y puede establecer una conexión hasta 16 en un mismo instante.

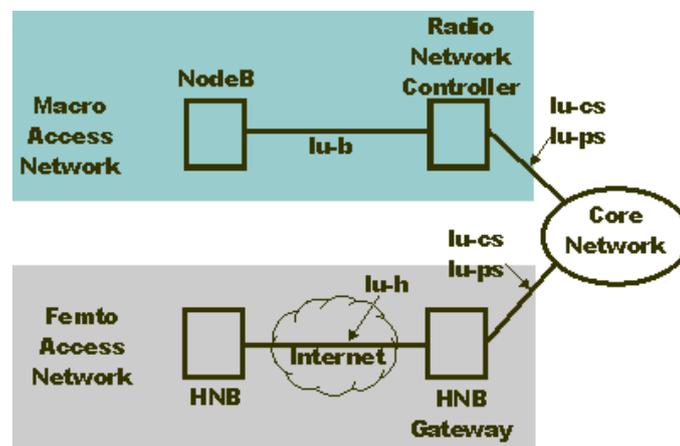
Clase 3: En este caso las microceldas o femtoceldas operan con mayor capacidad y potencia, puede establecer una conexión hasta 16 usuarios en un mismo instante y además se pueden poner puntos de accesos libres. (Roca, 2012)

### 2.2.6.8. Arquitectura de Red

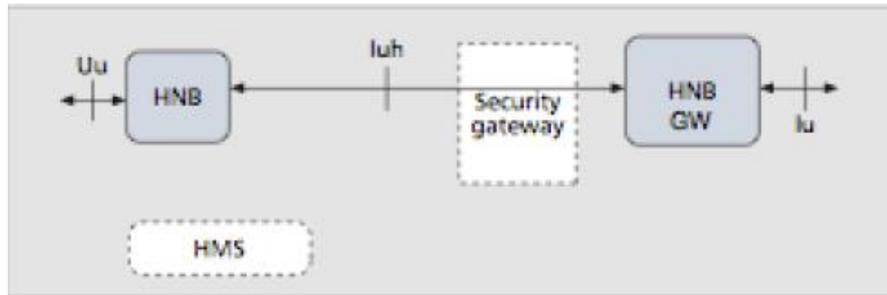
Una femtocelda como muestra la figura 7, De acuerdo a la infraestructura, se muestra una extensión en la red móvil. Es decir que el equipo móvil del usuario establece una conexión de la red del operador a partir del área de interfaz de la estación base. Además las tecnologías UMTS y LTE, son denominados Nodo B y eNodo B en las microceldas de 3GPP como muestra en la figura 8, y otras denominadas HNB y HeNB como se muestra en la figura 9. (Roca, 20



**Figura 7.** Arquitectura de microceldas 3GPP  
Fuente: Wong (2013)



**Figura 8.** Comparación entre el acceso al núcleo de red de célula a partir de una estación base convencional y una microcelda  
Fuente: Wong (2013)



**Figura 9.** Elementos de arquitectura de una red de microcelda  
Fuente: Morales Céspedes (2010)

### 2.2.6.9. Femtoceldas Alcatel Lucent

Las femtoceldas o microceldas de Alcatel-Lucent estos equipos son baja potencia para el acceso, y depende de una banda licenciada. La principal función es para conectar equipos móviles como las Tablets, Smartphones, Portátiles, etc. direccionados a las redes móviles 3G/4G de un operador, siempre utiliza la conexión de ADSL de banda ancha dentro del área de hogar, oficina, lugares públicos interiores o exteriores. (Roca, 2012)

#### Modelos de Femtoceldas Alcatel – Lucent

Por lo general son 6 modelos principales para la solución en los equipos de microceldas o femtoceldas mostradas en las figuras 10, 11, 12 y 13 para distintos requerimientos sea para residencial y empresarial.

En la figura 10 la femtocelda tiene capacidades hasta para 8 usuarios, que va de una potencia de radiación de 20 mW a 100mW con conexión de HSPA+.



**Figura 10.** Home-Cell 9361 V2 1900-850MHz Alcatel-Lucent.  
Fuente: Alcatel

Empresas con mayor capacidad de usuarios hasta un número de 16 conexiones, requieren mayor potencia de radiación que va de 100 mW a 250 mW con acceso recepción en divisores para el HSPA+ como muestra la figura 11.



**Figura 11.** Enterprise-Cell 9362 1900-850MHz Alcatel-Lucent.  
Fuente: Alcatel

Metro Interior, también soporta hasta una cantidad de 16 usuarios como muestra la figura 12, con potencia de radiación de 2x250mW con acceso recepción en divisores para el HSPA+.



**Figura 12.** Metro-Cell Interior 9363 1900- 850MHz Alcatel-Lucent  
Fuente: Alcatel

Metro Exterior, equipos que cuentan con capacidad hasta 32 usuarios, tiene la potencia de radiación de 2x1W, como muestra la figura 13 cuyo acceso es con MIMO Rx Div y HSPA+.



**Figura 13.** Metro-Cell Exterior 9364 1900- 850MHz Alcatel-Lucent.  
Fuente: Alcatel

#### ***2.2.6.10. Aplicación de las Femtoceldas***

Los avances de las microceldas o femtoceldas para los equipos móviles, son de baja potencia y bastantes económicos para la mejora del servicio de telefonía móvil en voz y datos. Además esta tecnología se despliega normalmente por los propios usuarios, utiliza las redes de retorno a través de un planificador de transporte “backhaul”, y no de los operadores móviles. (Sepulveda, 2014)

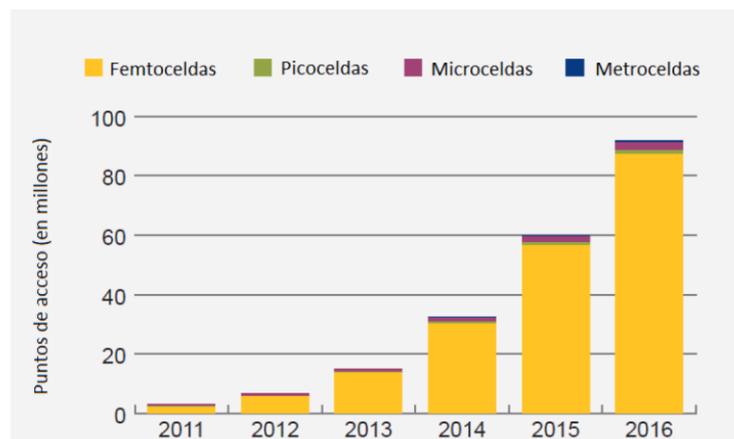
Las distintas redes son identificadas por el corto rango de cobertura, pero presenta una alta tasa de transferencia efectiva “throughput”. Sin embargo, para que sea un sistema eficiente, cada nodo de potencia baja que constituyen la femtocelulas o picoceldas, deben interactuar todas las capacidades con todas las capas de la red de célula convencional, realizando tareas como el handoff (punto de acceso de información hacia un sistema de trabajo), manejo de las interferencias, facturaciones y autenticaciones.

Inicialmente estaba pensado para la mejora de calidad de la señal en casas, habitaciones u oficinas, actualmente está representada por un costo-efectivo para la descarga del tráfico de datos de una red de macrocelda. A comienzos del 2011, el despliegue fue de 2.3 millones de microceldas globalmente, y se pronostica que el acceso (de todas las tecnologías

de celdas, incluyendo las microceldas y femtoceldas) lleguen a 100 millones para el 2020 (Telecoms & Media, 2012).

Lo mostrado de las femtoceldas, con las tecnologías inalámbricas del WiFi, llegan a manejar más del 70% del tráfico global de datos en el 2016.

En la Figura 14 se demuestra la predicción concretizada del número de puntos de acceso de microceldas “Small Cells” a nivel global, además de la importancia del rol de las femtoceldas en los despliegues de distintas redes, el cual se demuestra que está por encima del resto de despliegues, ya que tiene funcionalidades específicas para las redes de microceldas. (Apu, 2012)



**Figura 14.** Predicciones concretizadas de puntos con acceso globales de Microceldas 2011-2016, por categoría  
Fuente: Informe Telecoms & Media, 2012

### Perspectiva del operador y usuario

De acuerdo a las encuestas la mala calidad del servicio es el principal detonante para que un cliente de finalizado si contrato con el operador móvil de telefonía. Las diversas implementaciones en las redes móviles se realizan las mejoras de soluciones de bajos costos y el incremento para la cobertura indoor y outdoor, al realizar la migración de usuarios de una red macro que presenta congestión sobre los nodos con una potencia baja de disponibilidad en los canales, esta logra mejorar la calidad del servicio en lo global (Zhang. y de la Roche, 2010).

La mejora del servicio que ofrece un operador es importante, debido a que aumenta la fidelidad de los clientes, para disminuir la tasa de abandono “Churn Rate” que es el indicador de abandono del cliente a la empresa móvil que presta el servicio por razones de conformidades o beneficios competentes (Damjanovic, 2011).

Las empresas de telefonías siempre tratan de obtener ahorros considerables al disminuir los gastos de capital “CAPEX” para la inversión en las redes de telecomunicaciones, a través de la reducción de números de macroceldas, y solo utilizar lo necesario con recambios para celdas con baja potencia. Al “drenar” grandes cantidades de tráfico (entre 70 y 80%) dentro de una macrocelda, y en las microceldas, picoceldas y femtoceldas, hay un ahorro muy importante para la empresa operadora en los gastos de funcionamiento diario “OPEX”. (Zhang y de la Roche, 2010)

Los clientes de los operadores móviles obtienen múltiples accesos en los servicios que ya sean de casa u oficina y además de interactuar con otros dispositivos domésticos que tenga convergencia en la comunicación entre ellos a través del internet. (Mavrakis, 2013)

### **Salud y consideraciones sobre las señales de radiofrecuencia**

Otra importancia son los mitos y debates de las señales de las ondas electromagnéticas de radio y microondas, que al exponerse grandes cantidades de radiación a las personas, pueden conllevar consecuencias negativas para la salud. Existen diversos reportes como por ejemplo la investigación del FemtoForum que intenta deslucir los mitos y paranoia en cuanto al uso las tecnologías de redes móviles que están dentro de las radiaciones no ionizantes y que su impacto en la salud es prácticamente nulo, y que estos mitos y paranoias son limitante para el avance y despliegues de las tecnologías de radiofrecuencias.

Se ha realizado diversas investigaciones para saber la relación que existe entre la exposición de radiación RF y la enfermedad como el cáncer. La demostración aclara que las

grandes cantidades de radiaciones de ondas de radio muy poco probable que haya un incremento de la temperatura en las células y los tejidos del cuerpo. Por tanto, esto ya se legisló, motivo por el cual no hay riesgos al manipularse las amplitudes de RF que son muy bajas y que no relaciones a complicaciones o enfermedades con ligeros incrementos de temperatura.

La International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection cuyas siglas en inglés es ICNIRP, es la organización encargada de establecer los límites de la radiación no ionizante “NIR”, el cual pertenece a la radiación RF máxima autorizada producida por los equipos transmisores de radiofrecuencias.

El rango de frecuencias permitidos por el ICNIRP como los límites del NIR, están entre 2 GHz a 300 GHz, para propósitos generales, y así mismo se define la densidad de potencia permitida es de 10 W/m<sup>2</sup>; parámetros validado por la Organización Mundial de la Salud “OMS” y que son considerado en los diversas naciones mundiales. Los límites de NIR convergen de acuerdo a las bandas de frecuencias de operaciones y las tecnologías de radios.

## **2.3. Modelamientos matemáticos**

### **2.3.1. Criterios de modelo matemático de propagación en interiores**

Los modelamientos matemáticos son directrices que describen el comportamiento del radioenlace interior. Va a depender de la complejidad de fórmulas y ecuaciones matemáticas aplicadas con determinadas cantidades de parámetros dependientes, para obtener un algoritmo, o un patrón de comportamiento y modelamiento matemático computacional en generar resultados óptimos. (Camargo, 2009)

### ***2.3.1.1. Validez de un modelo matemático***

Se debe considerar que hay tipos de modelos, los cuales se consideran a los mejores que ajusten con la situación real del fenómeno, y que se plantea con diferentes modelos. Por tanto para optar el modelo que mejor ajuste a la situación se debe tener en cuenta varios factores:

1. El modelo pueda explicar las observaciones realizadas del fenómeno.
2. El modelo se pueda usar para predecir el comportamiento de fenómeno modelado.
3. El modelo debe ser consistente con las diversas ideas cercanas para el

funcionamiento del fenómeno modelado. (Camargo, 2009)

### ***2.3.1.2. Conceptos y clasificación de modelos de propagación***

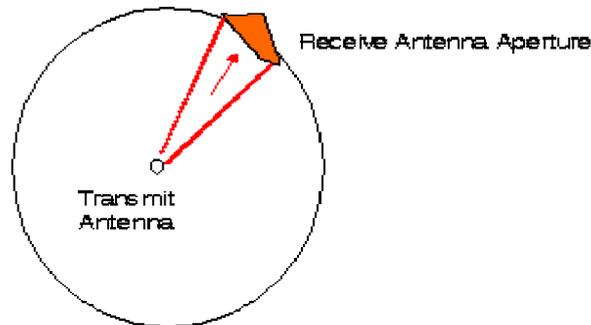
Los modelos de propagación son conjuntos de expresiones matemáticas, algoritmos y diagramas empleados para representar las características de radio dentro de un escenario real.

Dentro de los empíricos (o estadísticos) se puede optar por modelos que se usan tanto en macroceldas y microceldas, para áreas externas, como ciudades, calles...etc. Los modelos son muestras de procedimientos matemáticos para establecer simples implementaciones, por ello la recomendación con excepción cuando haya precisiones elevadas. (Arneses, E. y Haland K., 2001)

### 2.3.1.3. Modelos de propagación espacio libre (entornos interiores)

De acuerdo al libre espacio, la radiación de energías generada por la antena omnidireccional tiene la propagación de una superficie esférica como muestra la figura 15.

El área de la superficie esférica de radio  $d$  es  $(4\pi)^2d^2$ .



**Figura 15.** Apertura de recepción en una antena  
Fuente: Radiopropagación indoor (2017)

Este Modelo de Propagación de Libre Espacio sirve para predecir la potencia de la señal del Tx/Rx a través de una buena línea de vista. Además el sistema de comunicación por satélite y enlaces de microondas se simula una propagación en el libre espacio.

La importancia del modelo de libre espacio es predecir que potencia recibida es la que va a decaer como función matemática respecto a la distancia de separación del Tx/Rx y además de que se puede elevar la potencia recibida en el libre espacio a través de una antena de Rx, el cual debe haber una distancia  $d$  hacia la antena de Tx, del cual se establece a partir de la ecuación de Friis:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

- $P_r(d)$  – potencia recibida; la cual es función de la separación T-R (transmisor-receptor)
- $P_t$  – potencia transmitida
- $G_r$  – ganancia de antena receptora

- $G_t$  – ganancia de la antena transmisora
- $d$  – la distancia de separación de T-R en metros
- $\lambda$  – longitud de onda en metros
- $L$  – pérdidas del sistema no achacables a la propagación

La ganancia de la antena está dada por:

$$P_r(d) = \frac{(4\pi)^2 A_e}{\lambda^2} \quad (2)$$

La apertura efectiva  $A_e$  es la relación del tamaño físico de la antena respecto a la frecuencia de la portadora, y se representa como:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{w_c}{2\pi c} \quad (3)$$

Para  $w_c$  es la frecuencia de la portadora dada en radianes por segundo,  $f$  que es la frecuencia de la portadora en Hz y  $c$  es la velocidad de la luz en m/s.

Los parámetros de  $P_t$  y  $P_r$  son expresados siempre con las mismas unidades, y  $G_t$  y  $G_r$  son parámetros adimensionales. Las pérdidas  $L$  son común debido a la atenuación de la línea de Tx, pérdidas por los filtros, y a las pérdidas de las antenas de los sistemas de comunicación. Si  $L=1$  significa que no hay pérdidas en el sistema de comunicaciones.

Las pérdidas por trayectoria significan que es la atenuación de señal y se representa con cantidad positivo en dB, y se define como la diferencia de la potencia radiada efectiva y la potencia recibida. Además se puede o no incluir algún parámetro de efecto de ganancia en las antenas y se representa con la siguiente ecuación:

$$PL = 10 \log \left( \frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log \left( \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) \quad (4)$$

Si la ganancia de las antenas es excluida, se asume como ganancia unitaria y la ecuación se sería:

$$PL = 10 \log \left( \frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log \left( \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) \quad (5)$$

De acuerdo a la ecuación de Friis se establece que la potencia de la señal recibida se atenúa por cada cuadrado de la distancia entre la Tx y Rx, el cual establece se atenúa en 20 dB/década.

En caso de conocer la potencia recibida con una distancia de referencia  $d_0$ , la ecuación siguiente se puede utilizar para calcular la potencia recibida respecto a una distancia distante:

$$Pr(d) = Pr(d_0) + 20 \log(d_0/d) \quad (6)$$

Si se modifica la ecuación se puede expresar como pérdida del trayecto, como:

$$PL(d) = PL(d_0) + 20 \log(d/d_0) \quad (PLFS) \quad (7)$$

Además la ecuación de Friis sirve solo para predecir la Pr cuyos valores de d se encuentren dentro de la región far-field de la antena de Tx. Se define región far-field o región de Fraunhofer de una antena de Tx como la distancia más alejada de la distancia  $d_f$ , el cual relaciona la dimensión mayor apertura numérica de la antena de Tx, con la longitud de onda de la portadora. La distancia de Fraunhofer se establece como:

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (8)$$

donde D es la dimensión física mayor de la antena. Adicionalmente para estar en la región far-field se debe satisfacer  $d_f \gg D$  y  $d_f \gg \lambda$ . Además, queda claro que la ecuación no es válida para  $d=0$ . (Camargo, 2009)

#### **2.3.1.4. Log-Normal shadowing path loss model**

La gran mayoría de modelos empíricos se recopilan este siguiente modelo Log-Normal Shadowing, donde el cual las pérdidas en espacios cerrados se expresan de acuerdo a la ecuación y en función de la distancia entre la Tx y Rx como:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log(d/d_0) + X\sigma \quad (9)$$

Donde:

$n$  - variable por pérdida de trayecto

$PL(d_0)$  - pérdida a distancia cercana a la referencia

$X\sigma$  - desviación típica estándar

“ $n$ ” es la variable por pérdida de trayecto y depende básicamente del entorno. La Tabla 2 muestra los valores establecidos para “ $n$ ” con diferentes entornos.  $\sigma X$  es una variable aleatoria y que se expresa en dB, que indica una desviación típica estándar de  $\sigma$  dB.  $PL(d_0)$  se calcula empleando las medidas de campo.

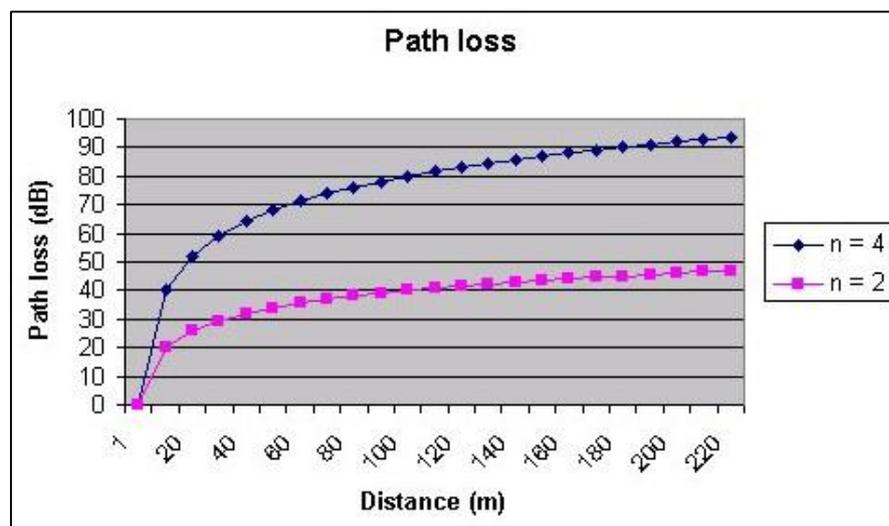
Tabla 2

*Variable de Pérdida por Trayecto.*

<i>Entorno</i>	<i>N</i>
Edificios (condiciones de visión directa)	1.6 a 2
Edificios (sin visión directa)	2 a 4
Edificios (sin visión directa, separación de uno a tres pisos)	4 a 6

*Nota: Radiopropagación Indoor (2017).*

La Figura 16 se muestran las curvas por pérdida de trayecto con valores diferentes de la variable por pérdida de trayecto ( $n$ ).



**Figura 16.** Pérdidas por trayecto para distintos valores “ $n$ ”  
Fuente: Radiopropagación indoor, fuente propia (2017)

El modelo mostrado anteriormente es más que nada una técnica para establecer una estimación de pérdidas en la propagación y que es bastante sencilla cuya ventaja son todos los factores que influyen dentro de la propagación. (Camargo, 2009)

#### ***2.3.1.5. Multi-Wall Model***

El modelo Multi-Wall Model se caracteriza por el exponente de  $n=2$ , como pérdida del trayecto en espacio libre; juntando los factores de pérdida en relación con el número de plantas ( $n_f$ ) y muros ( $n_w$ ) que intercectan la línea en vista directa con una distancia ( $d$ ) entre cada terminal uno del otro. La fórmula empleada se establece como. (Andelman, 2005)

$$PL_{MW} = PL_1 + 20\text{Log}(d) + n_{af} + n_{aw} \quad (10)$$

$PL_1$  - pérdida de trayecto a 1 metro.

$a_w$  - factor de atenuación de muros.

$a_f$  - factor de atenuación de suelos.

$n_w$  - número de muros atravesados.

$n_f$  - número de suelos atravesados.

## Capítulo III

### Modelo

#### 3.1. Análisis de modelo

##### 3.1.1. Criterios de selección de modelo

Con estos criterios se desea hacer un modelo para satisfacer la cobertura de nuestros clientes potenciales, tipos de servicios y costos a ofrecer, Además de la mejora de cobertura dentro de la empresa publicitaria Industria San Miguel - Lima, para luego poder plantear el modelo.

##### 3.1.1.1. Estudio de topográfico de la zona

El estudio a realizar se encontrará dentro de la zona de Lima, Distrito de Santiago de Surco, AV. La Encalada como muestra la figura 17.

La ubicación de una nueva macroceldas dentro de la zona, interferiría con otras, motivo por el cual no se puede realizar.

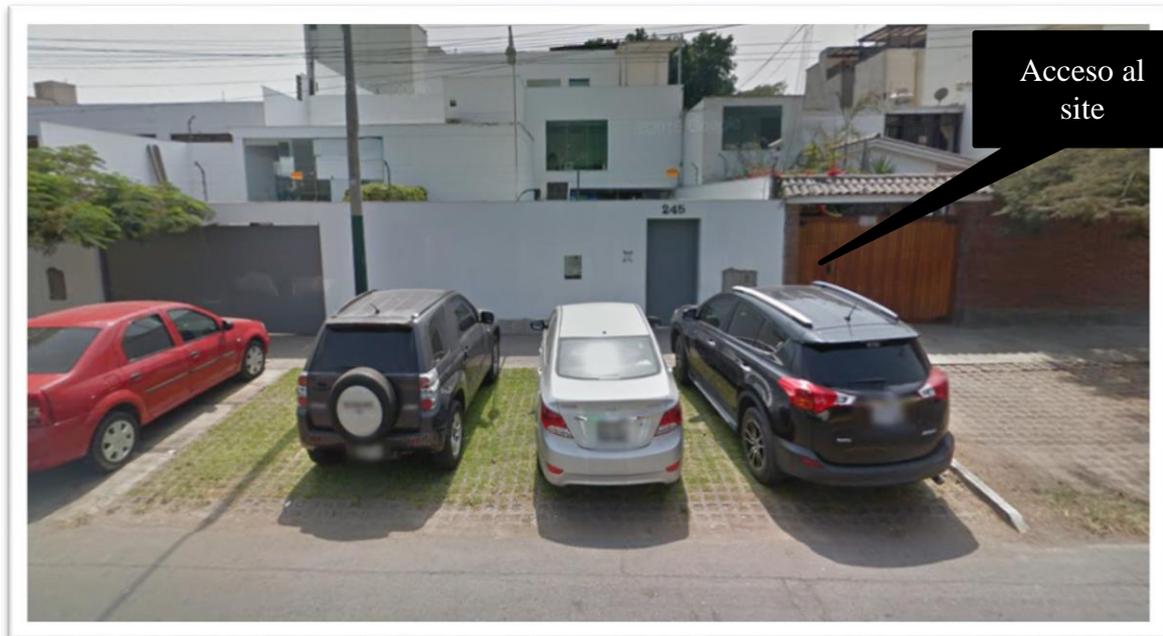
Como alternativa queda la implementación de femtoceldas o small cell indoor para poder mejorar las coberturas que son el problema en las telecomunicaciones al cual se le dará la solución.

La ubicación consta, como muestra en la figura 17:



**Figura 17.** Plano de ubicación para la instalación de un small cell  
Fuente: Google Maps (2017)

Así mismo la ubicación de la empresa publicitaria es indicada a continuación en la figura 18.



**Figura 18.** Plano de ubicación para la instalación de un small cell  
Fuente propia (2017)

### ***3.1.1.2. Ubicación del small cell en el área de la empresa publicitaria Industria San Miguel***

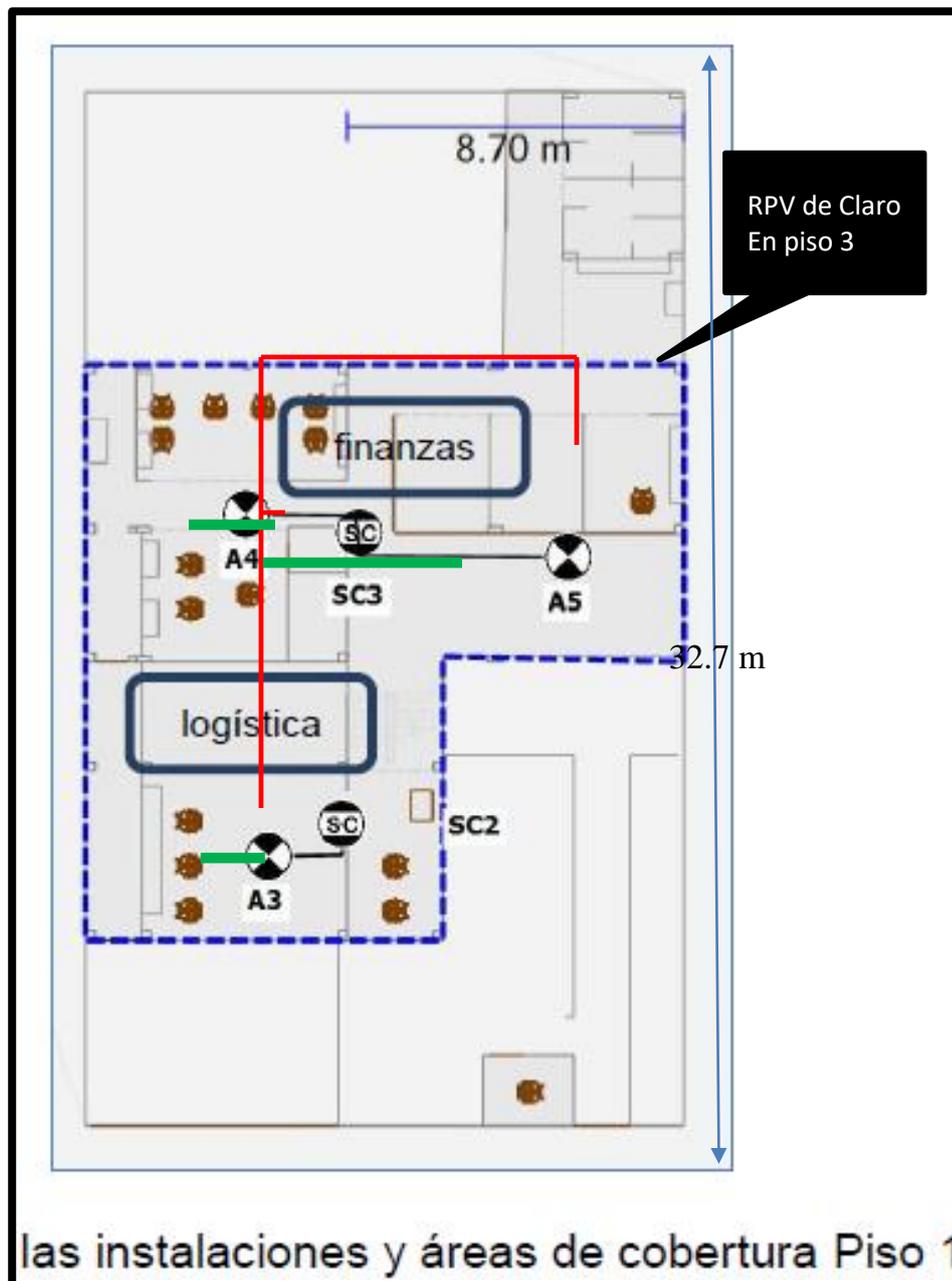
El router se encuentra instalado en el piso 3 del local, como se muestra en la figura 19.

Los detalles para el modelamiento de instalación de los 2 small cells y tres antenas omnidireccionales modelo campana son los siguientes:

- La antena 3 se encuentra en el área de Logística.
- La antena 4 se encuentra en el área de Finanzas.
- La antena 5 se encuentra en el área de Recepción.
- La Small Cell 02 se encuentra en las oficinas de Logística.
- La Small Cell 03 se encuentra en las oficinas de Finanzas.

La prueba del modelo matemático posterior a la descripción detallada de planos de instalación como muestra la figura 19, se valida con las pruebas simuladas, similares a las

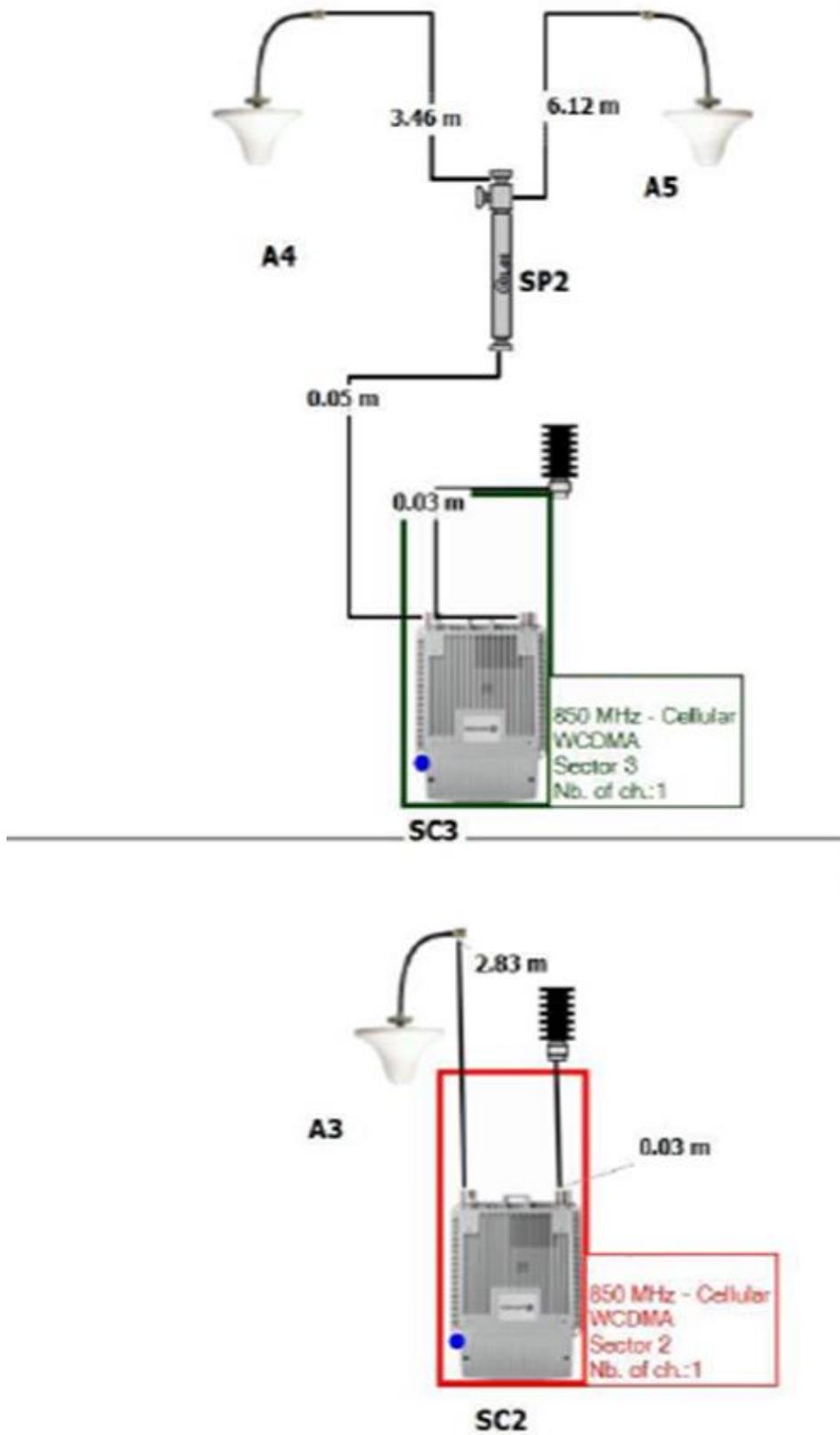
macrocelas, pero con el funcionamiento con equipos de small cell se realizará con las aplicaciones en equipos Speed Test y G-Net Track.



**Figura 19.** Plano de diseño para la instalación de los small cell  
Fuente propia (2017)

### 3.1.1.3 Diagrama unilateral de small cell

El estudio muestra las especificaciones técnicas de los equipos de small cell y distancias, según el plano propuesto para la instalación mostrada en la figura 20.



*Figura 20.* Plano de diseño para la instalación de los small cell  
Fuente propia (2017)

### 3.1.2. Modelos matemáticos aplicados en el área de la Industria San Miguel

A continuación, se procede según la información teórica descrita.

Los cálculos matemáticos deben ser viables que deben ajustar al nivel de recepción o sensibilidad que no deben estar por debajo de los -100 dB en todo el trayecto indoor sean por pérdidas en el espacio, paredes, conectores, atenuación por recorrido de cable, etc.

Así mismo se realizará las pruebas con los softwares de G-Net Track Lite y SpeedTest para demostrar la fiabilidad de la sensibilidad de cobertura sea óptima y que corrobore a los modelos matemáticos propuestos.

El cual confirmará que las instalaciones de estos equipos de small cell serán viables dentro del plano propuesto para su instalación.

#### 3.1.2.1. Materiales

A continuación, los materiales a usar con sus respectivas especificaciones técnicas

##### 3.1.2.1.1. Antena omnidireccional de techo

Descripción: aplicar al sistema de comunicación móvil celular de la señal, CDMA800, GSM900/1800, PHS, 3G (incluya TD-SCDMA/WCDMA/CDMA2000), 2.4 GHz banda compatibilidad hacia adelante de patrón WLN y otras comunicaciones como muestra la figura 21, con las especificaciones de potencia y frecuencia en la tabla 4.



**Figura 21.** Imagen referencial de antena  
Fuente: Web Aliexpress TM (2017)

## Especificaciones:

Tabla 3

*Especificaciones de Antena Omnidireccional de Techo.*

Rango de frecuencia	(800 – 960) MHz, (1710 – 2500) MHz
Gain	7 / 8 dBi
E/S de impedancia	50 ohm conector / N
Temperatura ambiente	-10 degrees ~ 60 grados
Cobertura de parámetros	300 metros cuadrados
Mayor poder	100 W
Modelo conjunto	Tipo N
Color	White

*Nota: Fuente adaptada de Web Aliexpress TM, 2017.*

*3.1.2.1.2. RG cable serie con dieléctrico de polietileno*

Descripción: RG cable serie con polietileno sólido aislamiento se fabrica según el estándar MIL-C-17 como muestran las tablas 4, 5 y 6. La capa dieléctrica está hecha de polietileno de alta calidad que garantiza estabilidad de transmisión y características mecánicas. Este cable se aplica principalmente a la transmisión de señales de RF en fijo, móvil comunicación por radio y dispositivos electrónicos. Este cable mostrado en la figura 22 tiene características uniformes en la impedancia, baja pérdida, bajo retardo, la atenuación mínima, etc.



**Figura 22.** Imagen referencial de RG Cable  
Fuente: Lianstar (2017)

Tabla 4

*Especificaciones de Antena Omnidireccional de Techo.*

Tipo	Resistencia dielectrica (kv)	Impedancia	Capacidad pF/m	Velocidad de propagación	Peso kg/km	Mínimo Radio de Curvatura Interior	Mínimo Radio de Curvatura Intemperie
RG-6A/U	5.5	75±3	67±5	0.66	85	35	70
RG8, RG8A (*)	10	50±3	100±5	0.66	160	50	100
RG11, RG11A	8	75±3	67±5	0.66	150	50	100
RG-58/U	4.0	50±2	100±5	0.66	40	25	50
RG58C, RG58A	4.0	50±2	100±5	0.66	39	25	50
RG59, RG59A	4.2	73±3	69±5	0.66	60	30	60
RG-59B/U	4.2	75±3	67±5	0.66	59	30	60
RG-174/U	2.0	50±2	100±5	0.66	15	15	30
RG-212/U	6.5	50±2	100±5	0.66	108	40	80
RG-213/U	10	50±2	100±5	0.66	160	50	100
RG-214/U	10	50±2	100±5	0.66	200	50	100
RG-216/U	10	75±3	67±5	0.66	175	50	100
RG-223/U	4.0	50±2	100±5	0.66	55	25	50

*Nota: Fuente adaptada de Web Lianstar, 2017.*

Tabla 5

*Especificaciones Físicas de Construcción de RG Cable.*

Tipo	Conductor Interior (Material)	Conductor Interior (Diámetro)	Dieléctrico (Diámetro)	Conductor Externo (Material)	Conductor Externo (Formar)	Chaqueta (Espesor)	Chaqueta (Diámetro)
RG-6A/U	Alambre de cobre	1x0.75	4.8	Alambre de cobre	Trenza doble	1.25	8.4
RG8, RG8A (*)	Alambre de cobre	7x0.724	7.24	Alambre de cobre	Trenza sola	1.05	10.3
RG11, RG11A	Alambre de cobre	7x0.404	7.11	Alambre de cobre	Trenza sola	1.05	10.3
RG-58/U	Alambre de cobre	1x0.90	2.95	Alambre de cobre	Trenza sola	0.8	5
RG58C, RG58A	Cobre estañado	19x0.18	2.95	Cobre estañado	Trenza sola	0.8	5
RG59, RG59A	CCS o cobre	1x0.64	3.71	CCS o cobre	Trenza sola	0.8	6.15
RG-59B/U	CCS o cobre	1x0.58	4.8	CCS o cobre	Trenza sola	0.8	6.15
RG-174/U	CCS o BC o TC	7x0.16	1.52	CCS o BC o TC	Trenza sola	0.45	2.8
RG-212/U	Alambre de cobre	1x1.41	4.7	Alambre de cobre	Trenza doble	1.25	8.4
RG-213/U	Alambre de cobre	7x0.75	7.24	Alambre de cobre	Trenza sola	1.05	10.3
RG-214/U	Alambre de cobre	7x0.75	7.24	Alambre de cobre	Trenza doble	1.05	10.8
RG-216/U	Alambre de cobre	7x0.40	7.24	Alambre de cobre	Trenza doble	1.05	10.8
RG-223/U	Alambre de cobre	1x0.90	2.95	Alambre de cobre	Trenza doble	0.65	5.3

*Nota: Fuente adaptada de Web Lianstar, 2017.*

Tabla 6

*Especificaciones de Atenuación (dB/100m).*

Tipo	Frecuencia (MHz)						
	100	200	400	800	1000	1500	2000
RG-6A/U	8.53	9.95	21.27	31.56	33.88	42.56	53.05
RG8, RG8A (*)	7.22	10.54	15.26	23.53	27.61	33.85	39.56
RG11, RG11A	7.83	11.85	17.07	23.96	28.05	34.57	41.36
RG-58/U	14.56	23.74	33.93	43.55	48.67	61.56	70.18
RG58C, RG58A	12.03	24.92	32.73	47.15	54.46	68.47	79.36
RG59, RG59A	12.03	15.77	29.15	38.92	44.14	54.03	66.22
RG-59B/U	12.53	16.15	30.36	41.45	46.86	57.36	69.52
RG-174/U	27.85	44.26	63.55	86.43	101.64	122.51	142.22
RG-212/U	8.53	13.52	19.26	29.54	34.87	42.23	48.56
RG-213/U	7.22	10.54	15.26	23.53	27.61	33.85	39.56
RG-214/U	7.22	10.54	15.26	23.53	27.61	33.85	39.56
RG-216/U	7.84	11.88	17.03	23.95	28.04	34.54	41.36
RG-223/U	14.51	22.06	28.95	42.53	48.64	61.05	70.25

*Nota: Fuente adaptada de Web Lianstar, 2017.*

Para nuestro análisis se tomará como referencia de cable coaxial RG8 (\*), que servirá para la propuesta de implementación del área en la empresa Industria San Miguel.

### *3.1.2.1.3. Conectores coaxiales de RF*

Descripción: Se considera estos elementos en la propuesta de implementación, porque existirá una atenuación por adaptación y empalme.

Para nuestro caso consideraremos el conector tipo “n” ARF1013-ND del fabricante Amphenol como muestra la tabla 7. Y que exclusivamente para la transmisión RF mostrada en la figura 23.



**Figura 23.** Imagen referencial de conector coaxial RF

Fuente: Digi-Key Corporation (2017)

Tabla 7

*Especificaciones del Conector Tipo “n” ARF1013-ND.*

Categoría	Especificaciones de conector
Fabricante	Amphenol RF Division
Serie	-
Empaquetado	Granel
Estado de la pieza	Activo
Estilo de conector	Tipo N
Tipo de conector	Clavija de conexión, clavija macho
Terminación del contacto	Corrugado a presión o soldadura
Terminación de carcasa	Corrugado a presión
Impedancia	50 Ohm
Tipo de montaje	Libre suspensión (en línea)
Característica de montaje	-
Grupo de cables	RG-8, 213
Tipo de fijación	Roscado
Frecuencia – Máx.	11 GHz
Características	-
Color de caja	Plata
Protección de entrada	-
Incluye	3 piezas – 1 conector, 1 contacto, 1 casquillo
Material del cuerpo	Latón
Terminación del cuerpo	Plata
Revestimiento de contacto del centro	Oro
Material dieléctrico	Politetrafluoroetileno (PTFE)
Temperatura de operación	-65°C ~ 165°C
Material de contacto del centro	Latón
Voltaje nominal	1500 V
Ciclos de acoplamiento	500
Pérdida por inserción	0.15 dB

Nota: Fuente Digi-Key, 2017.

NOTA: Se considera también pérdidas de potencia por empalme 2dB

#### *3.1.2.1.4. Spliter 2 way divisor*

Descripción: Para poder realizar la división del splitter, el modelo siguiente, ver figura 24, es un 2 Way Divisor de la Energía 800-2500 MHZ N Hembra Para 2G 3G CDMA GSM DCS PCS W-CDMA wifi con Amplificador de Señal de Teléfono Celular.



**Figura 24.** Imagen referencial de splitter divisor  
Fuente: Web Aliexpress TM (2017)

Características:

spliter 2 Way Divisor

frecuencia 800-2500 Mhz

Max. Power 200 W

Cavidad divisor de alta Calidad como muestra la tabla 8.

Tabla 8

*Especificaciones del Conector Tipo “n” ARF1013-ND.*

Características	Especificaciones y detalles
Rango de frecuencia (MHz)	800-2500
Pérdida de inserción (dB)	$\leq 1$
Trabaja banda Ripple (dB)	$\leq 2$
VSWR	$\leq 2$
Para im.3rd (dBc) $\times$ 43dbm	$\leq -120$
Potencia (W)	200
Impedancia ( $\Omega$ )	50
Conector de entrada	N-hembra
Conector de salida	2 $\times$ N-hembra
Material del conductor interno	Primavera de bronce
Conductor interno Plating	Silver Plated
Material exterior de metal	Aluminio
Tratamiento de la superficie	Pintura negro
Tamaño	21 $\times$ 6.0 $\times$ 2.5cm

Nota: Fuente Web Aliexpress TM, 2017.

### ***3.1.2.2. Modelo matemáticos de pruebas de medición de nivel de recepción de la cobertura del área de publicidad de la Industria San Miguel***

A continuación, se realizan los cálculos según los modelos mencionados empleando el modelo Log-Normal shadowing path loss model de la (Ecuación 9), con sus respectivas especificaciones técnicas de los diferentes elementos de implementación propuesto dentro del área de publicidad de la Industria San Miguel.

#### ***3.1.2.2.1. Log-Normal shadowing path loss model***

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log(d/d_0) + X\sigma$$

El valor de la desviación media de calibración ( $X\sigma$ ) en un edificio varía de 2.5 dB a 6.5dB

El valor de “d” a considerar es de la distancia del small cell hasta la antena según el caso que corresponda.

Mientras que  $d_0$  se considera la distancia de referencia para la cobertura dentro del área de la Industria San Miguel.

Se considera la ganancia del small cell con el valor  $G = 1$ , no existe pérdida ni ganancia de potencia

A continuación la ganancia de la antena se considera de acuerdo al modelo de Friss establecido en la (Ecuación 1), con  $G_A = 7.5$  dBi

También por ser una propuesta dentro de lo real se considera las pérdidas por empalme, splitter y conectores.

El valor del índice “n” se considera  $n = 6$  [referente a tabla 3]

Tabla 9

*Descripción de Factor (dB)*

	<i>Descripción</i>	<i>Factor (dB)</i>
Lf	Suelos (estructura típica) – Baldosas – Revestimiento de	18.3
Lw1	Muros internos finos – Yeso – Muros con muchos huecos	3.4
Lw2	Muros internos – Hormigón, ladrillos – Mínimo número de	6.9

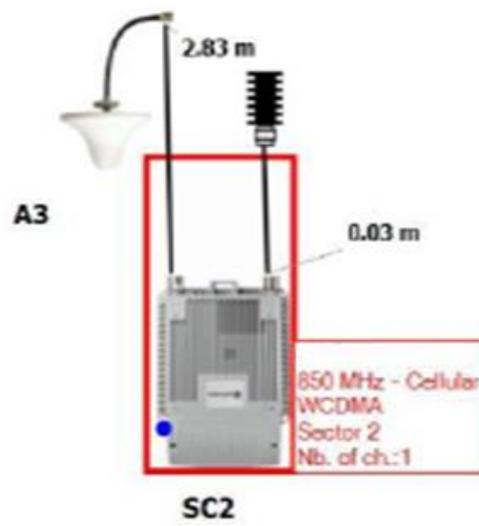
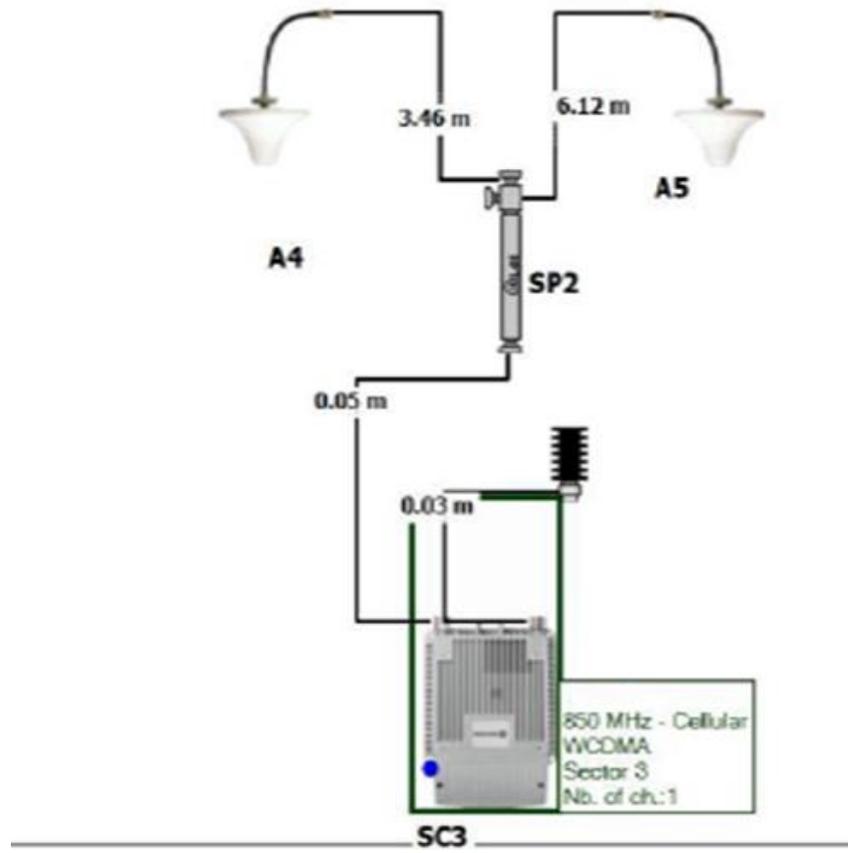
Se considera frecuencia de operación 850 MHz y la potencia logarítmica

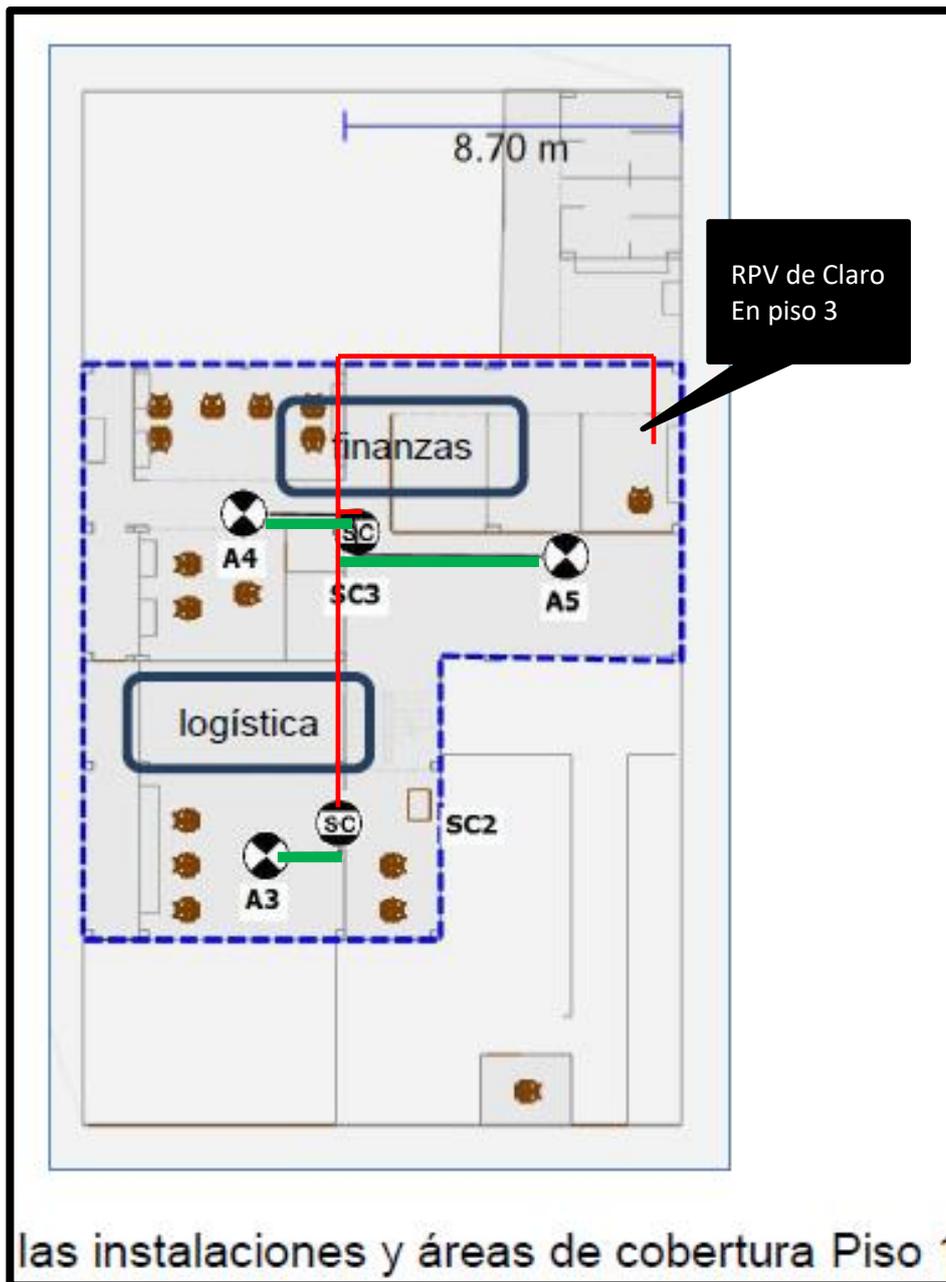
$$PL = 10 \log \left( \frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log \left( \frac{G_t G_y \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right)$$

Según los planos del edificio de acuerdo a lo mostrado en las Figuras 19 y 20

respectivamente, se vuelva a poner las figuras a continuación, que son provenientes de la pag.

78 y 79.





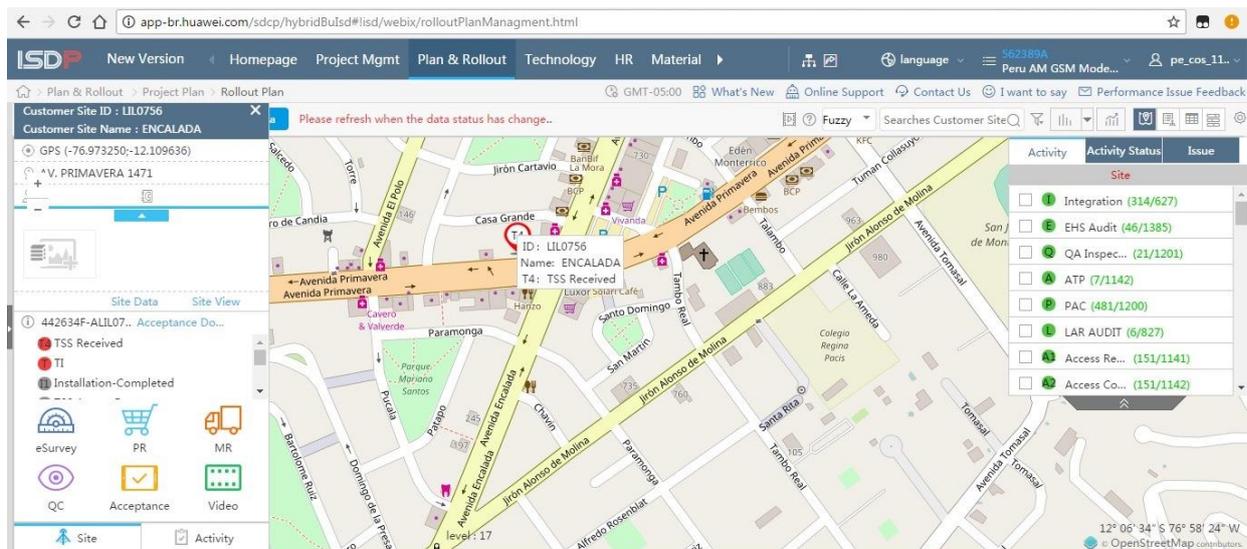
De los planos de las figuras 19 - 20, y la fórmula de ecuación Path Loss Model, queda reducida de la siguiente forma, quedando solo como variable la distancia de referencia para la cobertura indoor tomando en consideración de la [Tabla 4] una (Mayor poder de ganancia de antena)  $P_A = 100 \text{ W}$ , (Ganancia de Small Cell)  $P_{sc} = 1$ ,  $f = 850 \text{ Mhz}$ . Al pasar en potencia logarítmica de la (Ecuación 1) de Friss, se obtiene la siguiente Ecuación 11.

$$PL (d_0) = 11.03 \text{ dB} + 20 \log (d_0) \quad (11)$$

Donde  $P_{sc}$ : Ganancia ideal del small cell en vatios

Con respecto al PL (d), se va a referir a la perdida por espacio de la BTS cercana o de enganche a través del espacio, del cual implica una distancia en Kilómetros o metros que existe desde el site hacia el abonado del cual se está recepcionando.

Para esto se recurrirá a la plataforma del ISDP, perteneciente a la empresa HUAWEI, el cual se puede acceder a la ubicación del site más cercano perteneciente al operador CLARO de acuerdo a la ubicación geográfica de la zona mostrada en la figura 25.



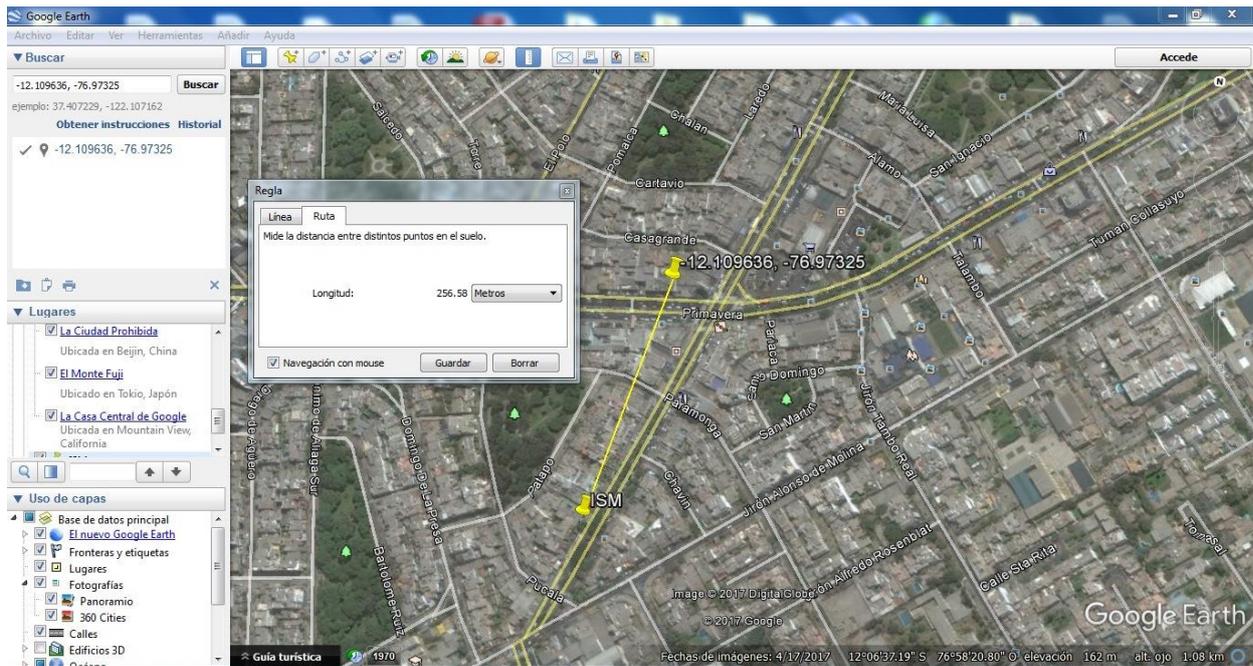
**Figura 25.** Status del site del operador CLARO más cercano a la zona  
Fuente: Plataforma ISDP HUAWEI V.2 (Julio - 2017)

El site cercano que se visualiza en la figura 25 y en la zona es el SITE LIL0756 LA ENCALADA

Con coordenadas GPS (-76.973250; -12.109636)

A continuación, se procede al apoyo de Google Maps para poder calcular la distancia que hay desde el site hacia el abonado utilizando las coordenadas GPS.

Nuestro abonado de Industrias San Miguel se encuentra en las coordenadas de GPS (-76.9738139; -12.1119306) como muestra la figura 26.



**Figura 26.** Distancia de la BTS de CLARO hasta Industria San Miguel

Fuente: Google Maps (Julio - 2017)

La distancia aproximada de la macrocelda hasta nuestro abonado consta de 256.58 m.

Es decir “ $d = 256.58 \text{ m}$ ” tal como muestra en la Figura 26.

Ahora reemplazamos en la ecuación 9, Log-Normal shadowing path loss model con la ecuación de Friss obtenida logarítmicamente en la ecuación 11

$PL(d_0) = 11.03 \text{ dB} + 20 \log(d_0)$  en:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log(d/d_0) + X\sigma$$

Se Obtiene

$$PL(d) = 11.03 \text{ dB} + 20 \log(d_0) + 10n \log(d/d_0) + X\sigma$$

$$PL(d) = 11.03 \text{ dB} + 10n \log(d) + 10(2-n) \log(d_0) + X\sigma$$

Para nuestro ejercicio se reduce

$$PL(d) = 11.03 \text{ dB} + 10n \log(256.58) + 10(2-n) \log(d_0) + X\sigma$$

$$PL(d) = 11.03 \text{ dB} + 24.09n + 10(2-n) \log(d_0) + X\sigma$$

Como nuestro edificio consta de 3 pisos de separación, entonces el  $n = 6$ , obtenida de la Tabla 2. Así mismo se considera una desviación media  $X\sigma = 4.5$  dB, de acuerdo a la UIT-R en potencia perdida. (UIT, 2009)

Reemplazando

$$PL(d) = 11.03 \text{ dB} + 24.09(6) + 10(2-6) \log(d_0) + 4.5 \text{ dB}$$

$$PL(d) = 160.07 \text{ dB} - 40 \log(d_0) \text{ (Considerando un caso ideal)}$$

Ahora agreguemos las perdidas por empalmes, pérdida por recorrido de cable coaxial RG-8, pérdidas por conectores dins.

Poniendo al caso real:

Pe: Pérdida por inserción de splitter divisor  $Pe = 1$  dB (Ver figura 24 y Tabla 9)

Pc: Pérdida por inserción de conectores (2 conectores)  $2Pc = 0.30$  dB (Ver figura 23 y Tabla 8)

Px: Pérdida por atenuación según metraje de cable coaxial RG-8 operando con la frecuencia de 850 Mhz  $Px = 0.2353x$  (Ver figura 22 y obtenido de la Tabla 8)

Donde "x" es la distancia en (m) de recorrido de cable.

Pérdida por empalmes (4 empalmes)  $2Pm = 4$  dB

$$PL(d) = 160.07 \text{ dB} - 40 \log(d_0) + Pe + 2Pc + 2Pm + Px$$

$$PL(d) = 160.07 \text{ dB} - 40 \log(d_0) + 1 \text{ dB} + 0.30 \text{ dB} + 4 \text{ dB} + 0.2353x$$

$$PL(d) = 165.37 \text{ dB} - 40 \log(d_0) + 0.2353x \quad (12)$$

Por último, la distancia máxima a considerar no se toma en cuenta estas últimas pérdidas de elementos.

La anterior ecuación 19, considerando parámetros ideales.

$$PL(d) = 160.07 \text{ dB} - 40 \log(d_0) \geq 100 \text{ dB}$$

$$60.07 \text{ dB} \geq 40 \log(d_0)$$

$$6.007 \text{ dB} \geq 4 \log(d_0)$$

$$1.5 \text{ dB} \geq \log (d_0)$$

$$d_0 \leq (10^{1.5}) \text{ m} \rightarrow d_0 \leq 31.62 \text{ m}$$

La distancia apropiada para no perder la estabilidad de la cobertura de la señal en el interior del área de la Industria San Miguel no debe de superar los 31.62 m de radio de cobertura y como centro o punto medio es la antena omnidireccional del cual se va irradiar en el interior del local.

A continuación, volvamos a la ecuación 12

### Caso I

Aplicando a los casos para el small cell (S2), antena omnidireccional (A3) [ver figuras 19 y 20].

Además, la distancia del cable coaxial RG-8 mostrado en la propuesta del plano elaborado es “x = 2.83 m”

Reemplazando en la ecuación 19

$$PL (d) = 165.37 \text{ dB} - 40 \log (d_0) + 0.2353x$$

$$PL (d) = 165.37 \text{ dB} - 40 \log (d_0) + 0.2353(2.83) \text{ dB}$$

$$PL (d) = 165.37 \text{ dB} - 40 \log (d_0) + 0.2353(2.83) \text{ dB}$$

$$PL (d) = 166.04 \text{ dB} - 40 \log (d_0)$$

Ahora para conocer el nuevo radio de cobertura en el interior del local  $d'_0$  y primer piso inferior. Se mencionó que el límite no debe de superar los 100 dB de sensibilidad de pérdida. Se invierte la desigualdad por el signo negativo.

$$PL (d) = 166.04 \text{ dB} - 40 \log (d'_0) \geq 100 \text{ dB}$$

$$66.04 \text{ dB} \geq 40 \log (d'_0)$$

$$1.651 \geq \log (d'_0)$$

$$d'_0 \leq (10^{1.651}) \text{ m} \rightarrow d'_0 \leq 44.77 \text{ m}$$

Se observa el radio de cobertura límite inicial indoor  $d_0 \leq 31.62 \text{ m}$  (inicial)

El nuevo radio de cobertura con el small cell (S2) y antena (A3), el radio de cobertura límite indoor es  $d'0 \leq 44.77 \text{ m}$

## Caso II

Para este caso se considera el small cell (SC3) y dos antenas (A4) y (A5) [ver figuras 19 y 20].

Para la propuesta del small cell (SC3) y la antena (A4)

La distancia del cable coaxial RG-8 mostrado en la propuesta del plano elaborado es

$$"x = 3.46 \text{ m} + 0.05 \text{ m} + 0.003 \text{ m} = 3.54 \text{ m}"$$

Reemplazando en la ecuación 12

$$PL(d) = 165.37 \text{ dB} - 40 \log(d_0) + 0.2353x$$

$$PL(d) = 165.37 \text{ dB} - 40 \log(d_0) + 0.2353(3.54)$$

$$PL(d) = 166.20 \text{ dB} - 40 \log(d_0) \geq 100 \text{ dB}$$

$$66.20 \text{ dB} \geq 40 \log(d'0)$$

$$1.655 \geq \log(d'0)$$

$$d'0 \leq (10^{1.655}) \text{ m} \rightarrow d'0 \leq 45.19 \text{ m}$$

Para el caso del small cell (SC3) y la antena (A5) según la propuesta se considera según las figuras 19 y 20.

La distancia del cable coaxial RG-8 mostrado en la propuesta del plano elaborado es

$$"x = 6.12 \text{ m} + 0.05 \text{ m} + 0.003 \text{ m} = 6.20 \text{ m}"$$

Reemplazando en la ecuación 12

$$PL(d) = 165.37 \text{ dB} - 40 \log(d_0) + 0.2353x$$

$$PL(d) = 165.37 \text{ dB} - 40 \log(d_0) + 0.2353(6.20)$$

$$PL(d) = 166.83 \text{ dB} - 40 \log(d_0) \geq 100 \text{ dB}$$

$$66.83 \text{ dB} \geq 40 \log (d'o)$$

$$1.67 \geq \log (d'o)$$

$$d'o \leq (10^{1.67}) \text{ m} \rightarrow d'o \leq 46.77 \text{ m}$$

Las interpretaciones de estos resultados se dará conocer en el siguiente capítulo.

### **3.1.2.3. Pruebas de servicio de testeo**

Denominado también Prueba de service test. El cual se utiliza para realizar las mediciones del nivel de recepción o sensibilidad de la potencia perdida según el radio de cobertura de donde irradia la antena omnidireccional.

Para esto se va a recurrir a dos aplicativos para las pruebas de mediciones de testeo.

#### **3.1.2.3.1. Speed Test**

Es un aplicativo que mide la eficiencia de la conexión entre operador-cliente para poder medir la velocidad de conexión de la descarga (downlink) y carga (uplink) de internet, según el servicio ofrecido.

El Speed Test consta de dos aplicaciones. Una es un aplicativo móvil para el sistema operativo Android y la otra consta de una plataforma entorno a Windows.

Las pruebas de mediciones de servicio para nuestra propuesta es básicamente el del móvil. Porque es el receptor final con que llega la señal

Este aplicativo es gratuito, se descarga directamente de Play Store de Google a través del SO Android (Imagen mostrada en la figura 27).



**Figura 27.** Foto referencial de la aplicación Speed Test  
Fuente: Web internet (Julio - 2017)

La muestra con las mediciones de la velocidad de plan de datos entregados por el operador se realiza con la aplicación del Speed Test. Que comienza primero con la medición de la descarga de datos por un tiempo aproximado de 10 segundos, inmediatamente después realiza la siguiente medición de carga o subida de datos también tiempo aproximado de 10 segundos como muestra la figura 28. Para considerar óptimo la velocidad de descarga en 3G debe superar los 1.5 Mbps y en la carga debe superar los 300 Kbps.



**Figura 28.** Foto referencial de medición de la descarga y carga con el Speed Test  
Fuente: Propia (2017)

### 3.1.2.3.2. Get-Net Track Lite

El Get-Net Track es otra aplicación para realizar otro tipo de pruebas de medición, a diferencia del Speed Test no es completamente gratuito. Posee una versión de paga que posee más funciones que la gratuita que es la versión Lite como muestra la figura 29.

La otra diferencia de esta aplicación con respecto al speed test, es que con este aplicativo se puede conocer la identificación del nodo o ID de la celda de BTS. Así mismo el nivel de recepción o sensibilidad RXLEV (2G), RSCP (3G), RSRP (4G) no debe de estar debajo de los -100 dB.

También nos permite conocer las coordenadas de posición del GPS (longitud, latitud, altitud) según en el lugar donde se realiza la prueba.



**Figura 29.** Foto referencial de la aplicación G-Net Track Lite  
Fuente: Web Google Play (Julio - 2017)

A continuación, una muestra la figura 30, referencial del aplicativo G-Net Track Lite

The screenshot shows the G-Net Track Lite application interface with the following data fields and callouts:

- 1. Símbolo de llamada en curso.** (Call in progress icon)
- 2. CELLID:** Es el número de Carrier (C), indicado en la FICHA DE DATOS DE SITE PARA PRUEBAS DE SERVICE TEST.
  - En C1: 4 primeros números igual al ID
  - En C2 y C3: diferente al ID.
- 3. RSCP:** Nivel de SENSIBILIDAD. Siempre es negativo y puede indicar hasta -100, NO menos. Ejemplos: Sí: -18, -59, -74 // NO: -101, -115, -153
- 4. LONGITUDE/LATITUDE:** Debe medir el valor indicado en la FICHA DE DATOS DE SITE PARA PRUEBAS DE SERVICE TEST (por lo menos los 4 primeros dígitos).
- 5. Símbolo de Tecnología 3G → "H+"**
- 6. El último número indica el SECTOR.**

En Carrier 1 y 2:	En Carrier 3:
- 5 indica → Sector 1	- 1 indica → Sector 1
- 6 indica → Sector 2	- 2 indica → Sector 2
- 7 indica → Sector 3	- 3 indica → Sector 3
- 7. TYPE:** El tipo de tecnología, puede indicar HSPA+.
- 8. DATA:** dice "CLARO-HSPA+"
- 9. TYPE:** 3G

The application interface displays the following data:

Operator: Claro  
 MCC:716 MNC:10 LAC:6021 Type:HSPA+  
 RNC:1021 CELLID:26915 PSC:60 ARFCN:  
 RSCP:-65 ECNO:- SNR:-  
 Longitude:-75.69074 Latitude:-11.40950  
 Speed:0km/h GPS Accuracy:10m  
 Height:3446m Altitude:3446m Ground:0m  
 UL: 24 kbps DL: 2 kbps  
 Data: Claro-HSPA+ DATA  
 Serving time: 44 sec

TIME	AC	NODE	CELLID	CI	ARFCN	LEVEL	QUAL	TYPE	SERV
06:06:49	6021	1021	26915	60	-69	-	-	3G	

**Figura 30.** Detalles de la aplicación del G-Net Track Lite  
Fuente: Propia (Julio - 2017)

### 3.1.2.4. Pruebas de medición simulado en la empresa publicitaria Industrias San Miguel

Los resultados que a continuación se realiza con las pruebas simuladas dentro del área de la empresa publicitaria Industrias San Miguel. Se ha elaborado un estudio previo con esta

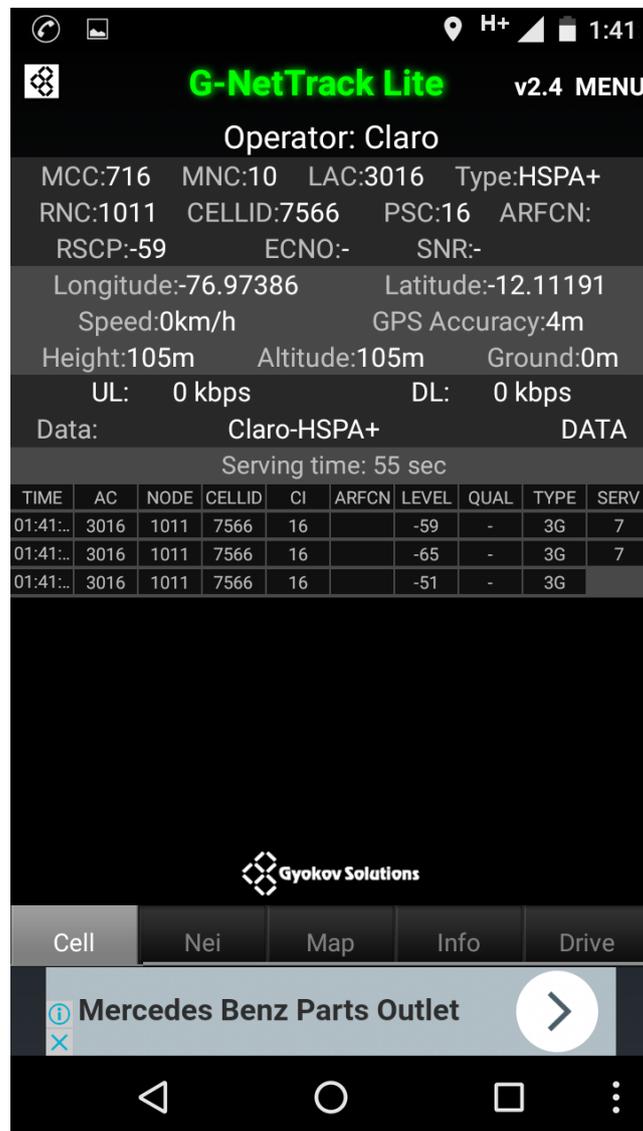
aplicación con varias pruebas del lugar y en comparación a lugares similares con respecto a la distancia de una BTS y también con coberturas indoor.

### Caso I

Aplicando a los casos para el small cell (S2), antena omnidireccional (A3), ubicado en el área logística [ver figuras 19 y 20].

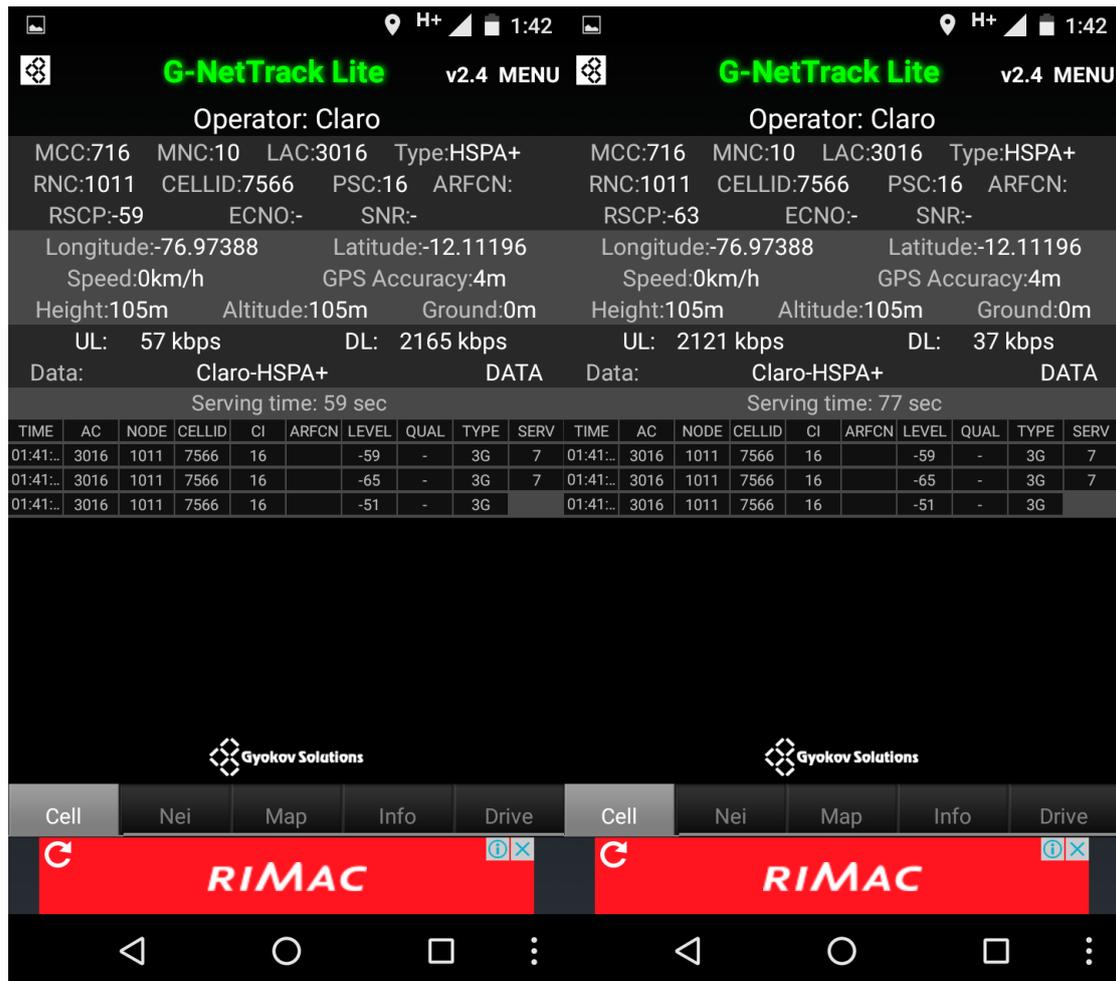
A continuación, la prueba simulada para dicha área se ha obtenido los siguientes resultados con el aplicativo de G-Net Track Lite

Resultados de la prueba de llamadas CSFB con el G-Net Track Lite mostrada en la figura 31



**Figura 31.** Detalles de la llamada CSFB con la aplicación del G-Net Track Lite  
Fuente: Propia (Julio - 2017)

Se puede observar el CELL ID correspondiente al site LIL0756 correspondiente a La Encalada y el último 6 se refiere al segundo sector de la antena de transmisión de la macrocelda. El small cell actúa como amplificador o repetidor de la RRU del segundo sector de la BTS. Además, se observa que el nivel de sensibilidad RSCP se obtiene -59 dB. Resultados de la prueba de descarga y carga de datos el G-Net Track Lite (Figura 32).



**Figura 32.** Detalles de las pruebas Downlink y Uplink con la aplicación del G-Net Track Lite  
Fuente: Propia (Julio - 2017)

Resultados de la prueba de descarga y carga con el Speed Test (Figura 33).



*Figura 33.* Detalles de la pruebas Downlink y Uplink con la aplicación del Speed Test  
Fuente: Propia (Julio – 2017)

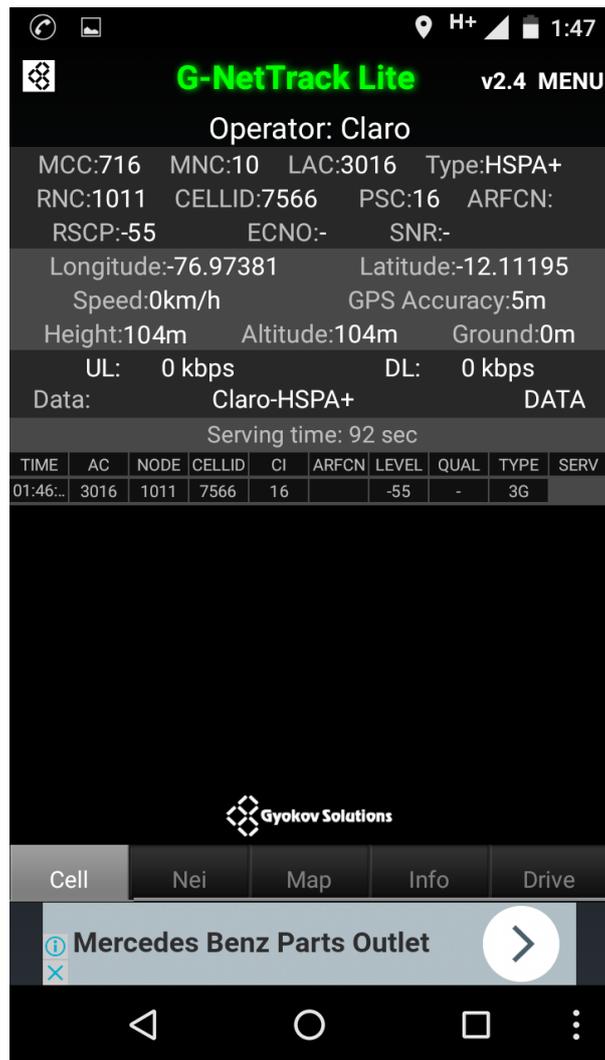
En el caso II existen dos antenas instaladas se detallará luego en la parte de revisión y consolidación de resultados.

## Caso II

Aplicando a los casos para el small cell (S3), y las antenas omnidireccionales (A4) y (A5), ubicadas en el área logística [ver figuras 19 y 20].

A continuación, la prueba simulada para dicha área se ha obtenido los siguientes resultados con el aplicativo de G-Net Track Lite de acuerdo a las Figuras 34 y 35.

## Resultados de la prueba de llamadas CSFB con el G-Net Track Lite



**Figura 34.** Detalles de la llamada CSFB con la aplicación del G-Net Track Lite  
Fuente: Propia (Julio - 2017)

Resultados de la prueba de descarga y carga de datos el G-Net Track Lite (Figura 35).

**G-NetTrack Lite v2.4 MENU** Operator: Claro

MCC:716 MNC:10 LAC:3016 Type:HSPA+  
RNC:1011 CELLID:7566 PSC:16 ARFCN:  
RSCP:-59 ECNO:- SNR:-

Longitude:-76.97382 Latitude:-12.11192  
Speed:0km/h GPS Accuracy:4m  
Height:104m Altitude:104m Ground:0m

UL: 169 kbps DL: 8538 kbps  
Data: Claro-HSPA+ DATA

Serving time: 40 sec

TIME	AC	NODE	CELLID	CI	ARFCN	LEVEL	QUAL	TYPE	SERV
01:46:..	3016	1011	7566	16		-65	-	3G	

**G-NetTrack Lite v2.4 MENU** Operator: Claro

MCC:716 MNC:10 LAC:3016 Type:HSPA+  
RNC:1011 CELLID:7566 PSC:16 ARFCN:  
RSCP:-65 ECNO:- SNR:-

Longitude:-76.97382 Latitude:-12.11192  
Speed:0km/h GPS Accuracy:4m  
Height:104m Altitude:104m Ground:0m

UL: 1893 kbps DL: 102 kbps  
Data: Claro-HSPA+ DATA

Serving time: 56 sec

TIME	AC	NODE	CELLID	CI	ARFCN	LEVEL	QUAL	TYPE	SERV
01:46:..	3016	1011	7566	16		-55	-	3G	

Gyokov Solutions

Cell Nei Map Info Drive Cell Nei Map Info Drive

Obtenga sus Repuestos Mercedes Benz en U.S.A. a precios de mayoristas. mercedesbenzoutlet.com

**Figura 35.** Detalles de las pruebas Downlink y Uplink con la aplicación del G-Net Track Lite  
Fuente: Propia (Julio - 2017)

Resultados de la prueba de descarga y carga con el Speed Test (Figura 36).



**Figura 36.** Detalles de las pruebas Downlink y Uplink con la aplicación del Speed Test  
Fuente: Propia (Julio – 2017)

### 3.2. Revisión y consolidación de resultados

#### 3.2.1. Revisión y consolidación de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos en el modelamiento matemático Log-Normal shadowing path loss model, se tiene las siguientes interpretaciones.

#### Caso I

Interpretando para el caso del small cell (S2), antena omnidireccional (A3) [ver figura

20]

Sin instalación de small cell se hubiese obtenido solo un radio de cobertura de  $d_0 \leq 31.62$  m, esto sumado a las interferencias de las paredes en el interior del local el radio de cobertura disminuye aún más.

Con instalación de small cell el radio de cobertura aumenta según la distancia del small cell y la antena (válido hasta un radio de 55 m). El radio de cobertura obtenido debe ser  $d'_0 \leq 44.77$  m, para este caso no aplica pérdidas de atenuación e interferencia con el entorno externo ya que está conectado el small cell desde un gabinete de transmisión el cual está asociado a una antena receptora externa que se ha asumido como potencia ideal de 1 vatio. El small cell permitirá a través de la antena omnidireccional irradiar sin ningún problema como lo hace una macrocelda en campo abierto según el nivel de recepción de acuerdo a la distancia de donde se encuentre.

Es decir, aparte de no disminuir el valor de la distancia inicial de cobertura  $d_0 \leq 31.62$ , más bien se amplifica el nuevo radio de cobertura  $d'_0 \leq 44.77$  m

Luego se verifica que dentro del área logística de acuerdo a la figura 17, con el aplicativo del G-Net Track Lite.

Se pueden realizar las llamadas dentro del local sin ningún problema, y muestra un nivel de recepción o sensibilidad RSCP en la prueba de llamadas CSFB con el G-Net Track Lite es de -59 dB, a su vez concuerda estos resultados con el CELL ID de la macrocelda y también las coordenadas de GPS con el pantallazo tomado [ver figura 31]

Las pruebas de descarga y carga también se verifica con los aplicativos G-Net Track Lite y Speed Test tomados dentro del área logística los valores mínimos permitidos de la prueba de descarga supera 1500 Kbps y de la carga los 300 Kbps.

## **Caso II**

Interpretando para el caso del small cell (S3), antenas omnidireccionales (A4) y (A5) [ver figura 20]

Sin instalación de small cell se hubiese obtenido solo un radio de cobertura de  $d_0 \leq 31.62$  m, esto al igual que el caso anterior sumado a las interferencias de las paredes en el interior del local el radio de cobertura disminuye aún más.

Con instalación de small cell el radio de cobertura aumenta según la distancia del small cell y la antena (válido hasta un radio de 55 m). El radio de cobertura obtenido debe ser  $d'_0 \leq 44.77$  m, para este caso no aplica pérdidas de atenuación e interferencia con el entorno externo ya que está conectado el small cell desde un gabinete de transmisión el cual está asociado a una antena receptora externa que se ha asumido como potencia ideal de 1 vatio. El small cell permitirá a través de la antena omnidireccional irradiar sin ningún problema como lo hace una macrocelda en campo abierto según el nivel de recepción de acuerdo a la distancia de donde se encuentre.

Es decir, aparte de no disminuir el valor de la distancia inicial de cobertura  $d_0 \leq 31.62$ , m también se amplifica el nuevo radio de cobertura  $d'_0 \leq 45.19$  m

Luego se verifica que dentro del área logística de acuerdo a la figura 17, con el aplicativo del G-Net Track Lite.

Al igual que el caso anterior el nivel de recepción o sensibilidad RSCP en la prueba de llamadas CSFB con el G-Net Track Lite es de -55 dB, a su vez concuerda estos resultados con el CELL ID de la macrocelda y también las coordenadas de GPS con el pantallazo tomado [ver figura 29]

Las pruebas de descarga y carga también se verifica con los aplicativos G-Net Track Lite y Speed Test tomados dentro del área logística los valores mínimos permitidos de la prueba de descarga supera 1500 Kbps y de la carga los 300 Kbps.

### 3.2.2. Modelamiento Multi-Wall Model en la oficina de Industria San Miguel

Estas medidas hechas en la práctica son más confiables para nuestro modelamiento puesto que incluye paredes y techos del local. La fórmula a utilizar es la siguiente (ver ecuación 10)

$$PL_{MW} = PL(d_1) + 20\text{Log}(d) + n_{raf} + n_{waw}$$

$PL(d_1)$  - path loss a 1 metro.

$a_f$  - factor de atenuación de suelos.

$a_w$  - factor de atenuación de muros.

$n_f$  - número de suelos atravesados.

$n_w$  - número de muros atravesados

Donde  $PL(d_1)$  es la potencia perdida del radio de cobertura  $d_1 = 1\text{m}$  en campo abierto.

De acuerdo a la ecuación de Log-Normal shadowing path loss model con  $f = 850\text{ Mhz}$ ,  $d = 256.58$

$PL(d_0) = 11.03\text{ dB} + 20\log(d_0)$  en:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n\log(d/d_0) + X\sigma$$

$$PL(d) = 11.03\text{ dB} + 20\log(d_0) + 10n\log(d/d_0) + X\sigma$$

$$PL(d) = 11.03\text{ dB} + 10n\log(d) + 10(2-n)\log(d_0) + X\sigma$$

$$PL(d) = 11.03\text{ dB} + 10n\log(256.58) + 10(2-n)\log(d_0) + X\sigma$$

$$PL(d) = 11.03\text{ dB} + 24.09n + 10(2-n)\log(d_0) + X\sigma$$

Pero ahora consideramos en espacio abierto ( $n = 1$ ), una distancia de referencia  $d_0 = 1\text{m}$  y no hay desviación  $X\sigma = 0$ .

$$PL(d_1) = 11.03\text{ dB} + 24.09\text{ dB} + 0\text{ dB} + 0\text{ dB}$$

Se obtiene la pérdida o atenuación en el espacio libre

$$PL(d_1) = 35.12\text{ dB}$$

Por tanto, nuestra ecuación Multi-Wall Model, queda de la siguiente forma:

$$PL_{MW} = 35.12 \text{ dB} + 20\text{Log}(d) + n_{raf} + n_{waw}$$

Los factores se obtienen de la tabla 3

Tabla 10

*Descripción de Factor (dB)*

	<i>Descripción</i>	<i>Factor (dB)</i>
Lf	Suelos (estructura típica) – Baldosas – Revestimiento de	18.3
Lw1	Muros internos finos – Yeso – Muros con muchos huecos	3.4
Lw2	Muros internos – Hormigón, ladrillos – Mínimo número de	6.9

Si consideramos techo o suelo  $n_f = 3$  pisos, la pared  $n_w = 1$  pared

Para nuestro caso el techo es  $a_f$  y cambio la pared  $a_{w1}$  por ser oficinas.

La ecuación queda de la siguiente forma que servirá realmente tanto es la pérdida en el interior del área de la empresa publicitaria Industria San Miguel

$$PL_{MW} = 35.12 \text{ dB} + 20\text{Log}(d) + n_{raf} + n_{waw}$$

$$PL_{MW} = 35.12 \text{ dB} + 20\text{Log}(d) + 3(18.3) \text{ dB} + 1 (3.4) \text{ dB}$$

$$PL_{MW} = 93.42 \text{ dB} + 20\text{Log}(d)$$

La sensibilidad prácticamente está cercano a los 100 dB, la pérdida dentro del área de la empresa publicitaria Industria San Miguel son enormes. Porque no queda prácticamente un buen nivel de recepción en las llamadas, porque se pierde comunicación el ruido también es mayor.

Si hallamos el radio de cobertura dentro del área de trabajo, prácticamente es nulo.

$$PL_{MW} = 93.42 \text{ dB} + 20\text{Log}(d) \leq 100 \text{ dB}$$

$$\text{Log}(d) \leq 0.329$$

$d = 2.13$  m de distancia de cobertura en el interior del local en mira hacia la BTS de CLARO, insuficiente para abarcar toda la cobertura dentro del local.

### 3.2.3. Cuadro comparativo de distintos lugares equivalentes en instalación de Small Cells

A continuación se muestra un cuadro comparativo de 2 sites (SCL0187 / SMALL CELL\_ PSJ 18 VENTANILLA y TSWC\_ICI\_126 / SCELL SANTA ROSA PAN. NORTE), en implementaciones con Small Cell en localidades la región Lima Metropolitana. Los detalles de informes en los proyectos de implementación están en la sección de Anexos.

Tabla 11

*Comparativas de sites de Small Cells.*

Características del site	Instalación	Cantidad instaladas	Altura de ubicación de Small Cell	Conductor Externo (Material)	Radio de propagación (confidencial)	Tecnología	Rango de frecuencia de operación
SCL0187 / SMALL CELL_ PSJ 18 VENTANILLA	Externa	1	7m	Jumper con alambre de cobre	Aprox. 112 m de radio espacio abierto (8 dBi)	3G/ LTE	850 Mhz/ 1900 Mhz
TSWC_ICI_126 / SCELL SANTA ROSA PAN. NORTE	Externa	1	6.4 m	Jumper con alambre de cobre	Aprox. 102 m de radio espacio abierto (8 dBi)	3G/ LTE	850 Mhz/ 1900 Mhz

## CONCLUSIONES

1. Se pudo comprobar la propuesta de implementación de un small cells mejora la cobertura en equipos móviles en la empresa publicitaria Industria San Miguel en el 2017, con usos de modelamiento matemático y simulación de aplicaciones móviles, por tanto, es indispensable la implementación con small cell para lograr la cobertura en el interior de las oficinas.
2. Se comprueba que la propuesta de implementación de un small cells mediante el modelo Log-Normal shadowing path loss mejora el acceso múltiple en equipos móviles en la empresa publicitaria Industria San Miguel, por tanto, el modelo realizado demuestra que el small cell no disminuye el valor de la distancia inicial de cobertura  $d_0 \leq 31.62$ , más bien se amplifica el nuevo radio de cobertura  $d'_0 \leq 44.77$  m (caso I) y  $d'_0 \leq 45.19$  m (caso II).
3. Se concluye con la propuesta de simulación de un small cells mediante aplicaciones móviles G-Net Track Lite y Speed Test se demuestra la mejora del nivel de recepción en equipos móviles y que estos valores están por encima de los -100 dB dentro de la empresa publicitaria Industria San Miguel
4. Se demuestra la pérdida de cobertura mediante el modelamiento Multi-Wall Model se obtiene un valor de potencia de pérdida de sensibilidad mayor 93.42 dB, ya que se consideró techos y paredes que atenúa la señal en el interior de la empresa publicitaria Industria San Miguel, por tanto, si no se usa el equipo small cell no se puede obtener un buen nivel de recepción en las llamadas, porque se pierde comunicación el ruido también es mayor.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda antes de realizar la instalación de equipos de small cell, realizar primero las pruebas con aplicativos, software, o personal técnico que haga la verificación del nivel de recepción, ya que es importante también considerar costos, y la utilidad que va generar las instalaciones.
2. Se recomienda el uso de estos equipos en oficinas grandes que cuentan con poco alcance y acceso de señal móvil, debido a las grandes interferencias de paredes y techos que impiden el paso de la señal enviado por la macrocelda. Ya que la comunicación es un tipo de inversión y ayuda a mejorar la productividad.
3. Se recomienda cada año realizar los mantenimientos respectivos a estos equipos, y a su vez modernizar o cambiar estos equipos de small cell, conforme a nuevas tecnologías de comunicación mejore la calidad en el servicio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliexpress, T. (2017). *Potenciadores de señal*. Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/2G-3G-800-2500MHz-GSM-CDMA-WCDMA-Network-Indoor-Antenna-Ceiling-Antenna-For-Cell-Phone-Signal/32694869235.html?spm=2114.43010208.4.44.0QEdRM>
- Andelman, D. (2005). *5 Ghz WLAN Indoor Coverage Range Truths and Misconceptions, White Paper 2005, Envara Inc. Israel*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Jaime\\_Lloret/publication/264816152\\_IEEE\\_80211abgn\\_short-scale\\_indoor\\_wireless\\_sensor\\_placement/links/544a3a170cf2f6388084fc1d/IEEE-80211a-b-g-n-short-scale-indoor-wireless-sensor-placement.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jaime_Lloret/publication/264816152_IEEE_80211abgn_short-scale_indoor_wireless_sensor_placement/links/544a3a170cf2f6388084fc1d/IEEE-80211a-b-g-n-short-scale-indoor-wireless-sensor-placement.pdf)
- Andrews, J. e. (abril de 2012). Femtocells: Past, Present, and Future. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 30(3).
- Apu, E. (2012). *Análisis de las Tecnologías de Redes Heterogéneas (HetNet) en los Sistemas Móviles*. IE - 0502 Proyecto Eléctrico, Universidad de Costa Rica, Facultad Ingeniería Eléctrica.
- Arneses, E. y Haland K. (2001). *Tesis Doctoral "Modelling of Coverage in WLAN"*. Adger University College, Noruega.
- Camargo, J. (2009). *Modelo de Cobertura Para Redes Inalámbricas de Interiores*. Proyecto Fin De Carrera Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad de Sevilla.
- Chancasana, M. (2015). *Diseño de una red 4g-lte indoor para el centro comercial Real Plaza Santa Clara*. Tesis de grado para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Claussen, H., Ho, L., & Samuel, L. (2007). Financial Analysis of a Pico Cellular Home Network Deployment. *IEEE ICC '07*.
- Corletti, A. (2016). *Seguridad en Redes*. Madrid: DarFE Learning Consulting.

Damnjanovic, A. (junio de 2011). A Survey on 3GPP Heterogeneous Networks. *IEEE Wireless Communications*, 18(3), 10–21.

Davis, H. (2004). *Absolute Beginner's Guide to Wi-Fi Wireless Networking*. New York: Que Publishing.

Digi-Key Corporation. (2017). *Amphenol RF Division 82-340. US*. Obtenido de <https://www.digikey.com/product-detail/es/amphenol-rf-division/82-340/ARF1013-ND/80266>

ETSI. (1997). *TR 101 112 - V03.01.00 - Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)*. European Telecommunications Standards Institute, Recuperado de [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/101100\\_101199/101112/03.01.00\\_60/tr\\_101112v030100p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101100_101199/101112/03.01.00_60/tr_101112v030100p.pdf)

Evans, A. (2008). *Tipos de tecnologías inalámbricas*. Madrid: Omega.

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

Gralla, P. (2006). *Cómo funcionan las redes inalámbricas*. Madrid: Anaya Multimedia.

Herranz, A. (2007). *Promesas (y futuras realidades) de 4G*. Pc World.

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

Informe Telecoms & Media. (2012). Small Cell Market Status. *Small Cell Forum Whitepaper*.

Jara, C. (2017). Renovación Tecnológica GSM / UMTS / LTE Proyecto SWAP 2014 - 2015. Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, Universidad Privada de Tacna.

Kafai, N. (Agosto de 2011). Is it a Picocell or a Femtocell? *Ubee-AirWalk*. Obtenido de <http://www.airwalkcom.com/2011/08/is-it-a-picocell-or-a-femtocell/>

Liaison. (2017). *Statement from IEEE 802.11 Working Group to ETSI BRAN. US*. Obtenido de <https://grouper.ieee.org/groups/802/11/Liaisons/2018-03-12-Liaison%20statement%20from%20IEEE%20802.11%20to%20ETSI.pdf>

- Lianstar. (2017). *Shenzhen Lianstar Technology Co. RG cable serie con dieléctrico de polietileno. Nanshan District , Shenzhen, China* . Obtenido de <http://www.lianstar.com/es/rg-cable-serie-pe.php>
- Mamani, J. (2012). *Mejoramiento y optimización de la red rural móvil utilizando femtoceldas, en la localidad de Morococha, provincia de Yauli, Junín*. Tesis de grado para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Mavrakis, D. (2013). *Small Cell Market Status*. Inf. Telecoms Media.
- Millán, R. (2000). El sistema de móviles de tercera generación UMTS. *PC World*, 178, 236-244.
- Morales Céspedes, M. (2010). *Gestión de Interferencias en Sistemas Femtoceldas*. Madrid: Alfaomega.
- Moreno, V. (2012). *Diseño de una red telemática para proveer de acceso a Internet en un pequeño municipio. Memoria Final TFC*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya.
- Munoz Rodriguez, D. (2002). *Sistemas inalámbricos de comunicación personal*. Madrid: Alfaomega Grupo Editor, SA.
- Navarrete, A. (2010). La Convergencia en las Redes de Telecomunicaciones por Cable. *Centro de Investigación e Innovación en Telecomunicaciones por Cable*.
- Nuñez, J. (2007). *Euskadi+innova*. Bilbao: Eusakdi Innova.
- Oñate, M. (2014). *Estudio e Investigación de las Femto Celdas Para Aumentar la Cobertura y Capacidad de la Redes Móviles*. Para la obtención del título de Ingeniería en Telecomunicaciones con Mención en Gestión Empresarial en Telecomunicaciones. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1818/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-56.pdf>
- Roca, J. A. (2012). *Evaluación de las características y ventajas que ofrecen las femtoceldas dentro de una red multiservicios 3G de telefonía móvil* . Sangolqui.

- Ruiz Jara, D. (2017). Plataforma ISDP HUAWEI. Con permiso del usuario pe\_cos\_115. Asociado Copyright HUAWEI. China. Obtenido de <http://app-br.huawei.com/sdcp/hybridBulsd#!isd/webix/rolloutPlanManagment.html>
- Sepulveda, S. (2014). *Evolución de las Telecomunicaciones Móviles y Posibilidades de Migración a Redes 4G*. Monografía para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, Universidad Santo Tomás, Facultad de Telecomunicaciones - Bogotá
- Taibe Echeverria, D. (2013). *Small Cell Solution*. Nokia Siemens Networks.
- UIT-R. (2009). *Sector de Radiocomunicaciones de la UIT. Ginebra, Suiza*. Obtenido de [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-5-200910-S!!MSW-S.docx](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-5-200910-S!!MSW-S.docx)
- Vaca, J. (2015). *Evaluación de la tecnología Small Cells en una red de última generación 3G/LTE*. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico y Electrónico, Quito – Ecuador.
- Wong, M. (2013). *Femtocells: Secure Communication and Networking*. Dinamarca: River Publishers.
- Zhang , J., & De la Roche , G. (2010). *Femtocells - Technologies and Deployment*. Wiley.

**ANEXOS**



## Mediciones de campo en ciudades equivalentes

### REPORTE FOTOGRAFICO DE AVANCE SMALL CELL\_ PSJ 18 (VENTANILLA)

#### 1.1. Trabajos de campo

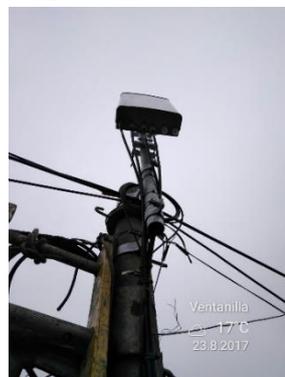
##### 1.1.1- Vista Panorámica del site.



##### 1.1.2- Personal realizando trabajos en el poste



##### 1.1.3.- Isaje de la antena, soporte y small cell en el poste



#### 1.1.4.- Conectorización y excedente de jumper para antena y small cell



#### 1.1.5.- Número de serie de la antena

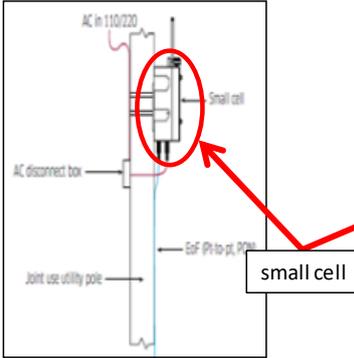
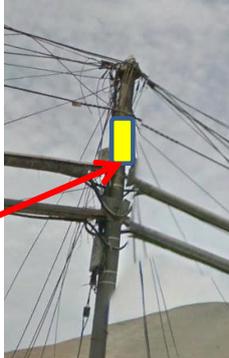


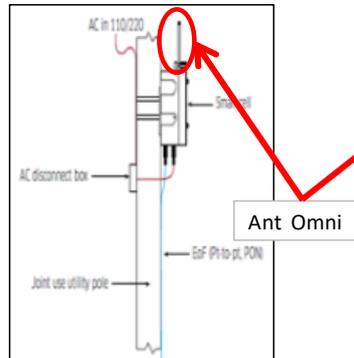
#### 1.1.6.- Evidencia de cómo se deja el site

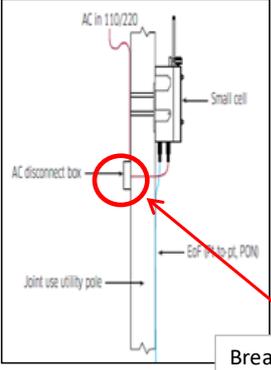


### 1.2. Estudio es informe técnico previo a la instalación del Small Cell PSJ 18 Ventanilla

		<b>TECHNICAL SITE SURVEY REPORT DBS3900</b>		<i>Site ID / Código del Site</i> <b>SCLC0187</b>	<i>Site Name / Código del Site</i> <b>SCCELL_AV_C_PJE_18</b>
<i>Country / País</i> <b>PERU</b>	<i>Region</i> <b>CALLAO</b>	<i>Surveyor (Name - Phone) del reporte (Nombre - Telefono)</i> <b>PERCY GARCIA SALINAS / 943295981</b>	<i>Responsable</i>	<i>Data / Fecha</i> <b>22/06/2016</b>	<i>REVISION</i> <b>1</b>
<b>2.0 Location of equipment / Ubicación de equipos</b>					
<b>2.1 Type of scenary /Tipo de escenario</b>					
POSTES	SI	CABINAS TUPs	NO	PUNTO DE VENTAS	NO
<b>2.2 Photos of the type of scenary /Foto del tipo de escenario</b>					
 <p>Foto del poste</p>	 <p>Foto de la cabina</p>		 <p>Foto del punto de venta</p>		

<b>2.3 Location of the small cell /Ubicación del small cell</b>																					
																					
<table border="1"> <tr><td>Se requiere soporte en poste</td><td>SI</td></tr> <tr><td>Dimensiones del soporte</td><td>TBD</td></tr> <tr><td>Se instalará en la Cabina</td><td>NO</td></tr> <tr><td>Requiere soporte especial en cabina</td><td>NO</td></tr> <tr><td>Especificar Soporte en cabina</td><td></td></tr> <tr><td>Se instalará en pared</td><td>NO</td></tr> <tr><td>Altura del Small cell en el poste (mts)</td><td>7</td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> </table>	Se requiere soporte en poste	SI	Dimensiones del soporte	TBD	Se instalará en la Cabina	NO	Requiere soporte especial en cabina	NO	Especificar Soporte en cabina		Se instalará en pared	NO	Altura del Small cell en el poste (mts)	7							
Se requiere soporte en poste	SI																				
Dimensiones del soporte	TBD																				
Se instalará en la Cabina	NO																				
Requiere soporte especial en cabina	NO																				
Especificar Soporte en cabina																					
Se instalará en pared	NO																				
Altura del Small cell en el poste (mts)	7																				

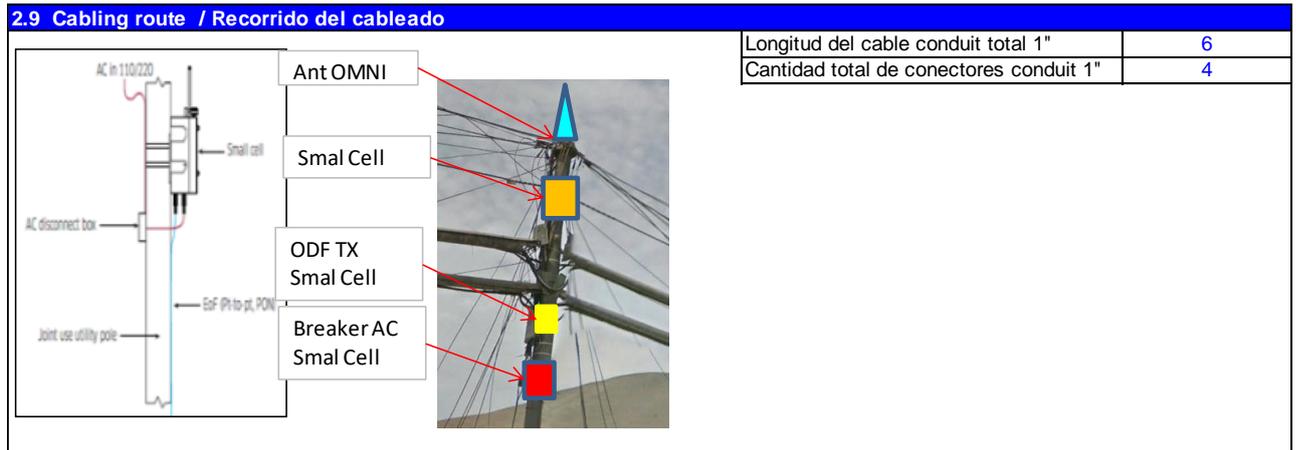
<b>2.4 Location of the antenna of the small cell /Ubicación de la antena del small cell</b>																															
																															
<table border="1"> <tr><td>Se requiere soporte en poste</td><td>SI</td></tr> <tr><td>Dimensiones del soporte</td><td>TBD</td></tr> <tr><td>Se instalará en la Cabina</td><td>NO</td></tr> <tr><td>Requiere soporte especial en cabina</td><td>NO</td></tr> <tr><td>Especificar Soporte en cabina</td><td>NA</td></tr> <tr><td>Se instalará en pared</td><td>NO</td></tr> <tr><td>Se usa soporte de fabrica</td><td>SI</td></tr> <tr><td>Se usara soporte especial</td><td>NO</td></tr> <tr><td>Especificar soporte especial</td><td>NA</td></tr> <tr><td>Longitud de los jumpers de 1/2" (mts)</td><td>2</td></tr> <tr><td>Cantidad de jumpers de 1/2"</td><td>1</td></tr> <tr><td>Altura de la antena en el poste (mts)</td><td>7.5 Mts</td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> </table>	Se requiere soporte en poste	SI	Dimensiones del soporte	TBD	Se instalará en la Cabina	NO	Requiere soporte especial en cabina	NO	Especificar Soporte en cabina	NA	Se instalará en pared	NO	Se usa soporte de fabrica	SI	Se usara soporte especial	NO	Especificar soporte especial	NA	Longitud de los jumpers de 1/2" (mts)	2	Cantidad de jumpers de 1/2"	1	Altura de la antena en el poste (mts)	7.5 Mts							
Se requiere soporte en poste	SI																														
Dimensiones del soporte	TBD																														
Se instalará en la Cabina	NO																														
Requiere soporte especial en cabina	NO																														
Especificar Soporte en cabina	NA																														
Se instalará en pared	NO																														
Se usa soporte de fabrica	SI																														
Se usara soporte especial	NO																														
Especificar soporte especial	NA																														
Longitud de los jumpers de 1/2" (mts)	2																														
Cantidad de jumpers de 1/2"	1																														
Altura de la antena en el poste (mts)	7.5 Mts																														

2.5 Power AC of the small cell /Energía AC del small cell			
		Se tiene energía comercial AC 220V	NO
		Se tiene caja de breaker AC	NO
		Se tiene espacio para 1 nuevo Breaker AC	SI
		Se requiere 1 breaker de AC	SI
		Capacidad del breaker de AC	6 amps
		Distancia del breaker al Small Cell (mts)	3
		Longitud del tubo conduit 1" (mts)	3
		Cantidad de conectores conduit 1"	2

2.6 TX of the small cell /TX del small cell			
		Se tiene ODF de TX	NO
		Cuantos puertos libres	NO HAY ODF
		Se requiere 1 ODF de TX	SI
		Cuantos puertos en nuevo ODF	NO HAY ODF
		Longitud del cable de FO del ODF al small cell (mts)	3
		Longitud del tubo conduit 1" (mts)	3
		Cantidad de conectores conduit 1"	2

2.7 Grounding bar for the small cell /Barra de tierra para el small cell			
		Se tiene barra de tierra	NO
		Cuantos huecos libres	NA
		Se requiere nueva barra de tierra	NA
		De cuantos huecos la nueva barra	NA
		Longitud del cable de tierra del pozo de tierra al Small Cell	NA
		Longitud del cable de tierra de la barra al Small Cell (mts)	NA
		Requiere cableado subterráneo	NA
		Longitud del tubo conduit 1" (mts)	0
		Cantidad de conectores conduit 1"	0

2.8 Window Cables/Entrada a pasamuros			
		Se reusa pasamuro	N/A
		Requiere nuevo pasamuro	N/A
		Cuantos pasamuros	N/A
		Requiere nuevo pasamuro	N/A
			NA



### 1.3. Licencia de permiso para instalación de Small Cell PSJ 18 Ventanilla

**FORMATO  
FUIIT**

**FORMULARIO ÚNICO DE INSTALACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES**

**I. DATOS DEL SOLICITANTE**

PERSONA NATURAL  PERSONA JURÍDICA

NOMBRES Y APELLIDOS/ DENOMINACIÓN O RAZÓN SOCIAL  
TELEFONICA DEL PERU S.A.A

DOMICILIO LEGAL (AVENIDA / CALLE / JIRÓN / PASAJE / N°) / DEPARTAMENTO / MANAZANA / LOTE / URBANIZACIÓN  
CALLE DOMINGO MARTINEZ LUJAN N° 1188 PISO 2-A (EX. AV. SAN FELIPE)

DISTRITO SURQUILLO PROVINCIA LIMA DEPARTAMENTO LIMA

D.N.I. C.E.D. C.T.D. N° DE RUC 2 0 1 0 0 0 1 7 4 9 1

TELÉFONO / FAX 210-6831 CELULAR 999 370 708 CORREO ELECTRÓNICO josefernando.vargas@telefonica.com

REPRESENTANTE LEGAL (NOMBRES Y APELLIDOS)  
TITO ESPINOZA OLIVAS

D.N.I. C.E.D. C.T.D. N° DE RUC 0 7 1 3 8 6 5 9

DIRECCION SMALL CELL: Av. C Ampliación B Mz 4 Lt 18, Distrito de Ventanilla, Provincia del Callao y Departamento de Lima.

**II. TIPO DE PROCEDIMIENTO SOBRE INFRAESTRUCTURAS DE TELECOMUNICACIONES**

2.1 Instalación de Estaciones de Radiocomunicación (ER)  2.2 Instalación de Infraestructura de Telecomunicaciones distinta a una ER  2.3 Adecuación de Infraestructura de Telecomunicaciones

**III. REQUISITOS GENERALES PARA LA APROBACIÓN AUTOMÁTICA**

(deberá adjuntarse todos los anexos en hojas adicionales y su presentación completa es requisito indispensable para su evaluación).

	Aplica	Cumple
3.1 Copia simple de la documentación que acredite las facultades de representación	X	<input type="checkbox"/>
3.2 Copia simple de la resolución ministerial que otorga la concesión para prestar Servicios Públicos de Telecomunicaciones	X	<input type="checkbox"/>
3.3 Copia simple del certificado de inscripción como empresa prestadora de Servicio de Valor Añadido	X	<input type="checkbox"/>
3.4 Copia simple de la constancia de inscripción en el Registro de Proveedores de Infraestructura Pasiva	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.5 Plan de Obras (de conformidad con el Artículo 15°)	X	<input type="checkbox"/>
3.5.1 Cronograma detallado de ejecución del proyecto	X	<input type="checkbox"/>
3.5.2 Memoria descriptiva, planos de ubicación y detalle de trabajos a realizar (literal b) del Artículo 15°)	X	<input type="checkbox"/>
3.5.2.1 Memoria descriptiva	X	<input type="checkbox"/>
3.5.2.2 Planos de ubicación	X	<input type="checkbox"/>
3.5.2.3 Planos de estructuras (en caso de obras civiles para la instalación de Estaciones de Radiocomunicación)		<input type="checkbox"/>
3.5.2.4 Planos eléctricos (en caso de obras civiles para la instalación de Estaciones de Radiocomunicación)		<input type="checkbox"/>
3.5.3 Declaración jurada del ingeniero civil colegiado y responsable de la ejecución de la obra (literal c) del Artículo 15°)	X	<input type="checkbox"/>
3.5.4 Plano de ubicación conteniendo la propuesta de desvíos, señalización y acciones de mitigación (en caso implique interrupción del tránsito, de conformidad con el literal d) del Artículo 15°)	X	<input type="checkbox"/>
3.5.5 Copia simple del Certificado de Habilidad vigente, que acredite la habilitación del ingeniero responsable de la ejecución de la obra; y de ser el caso, del ingeniero civil que suscribe los planos descritos en el literal b) del Artículo 15°	X	<input type="checkbox"/>
3.5.6 Formato de mimelización de acuerdo a lo previsto en la Sección I del Anexo 2 del Reglamento de la Ley N° 29022.	X	<input type="checkbox"/>
3.5.7 Carta de compromiso del Operador o Proveedor de Infraestructura Pasiva solicitante (de conformidad con el literal g) del Artículo 15°)	X	<input type="checkbox"/>
3.6 Comprobante de pago o acta notarial (de conformidad con el literal e) del Artículo 12°)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.7 Instrumento de gestión ambiental aprobado por el Ministerio (de conformidad con el literal f) del Artículo 12°)	X	<input type="checkbox"/>

**IV. REQUISITOS PARTICULARES PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE RADIOCOMUNICACIÓN**

En caso de la instalación de una Estación de Radiocomunicación:

	Aplica	Cumple
4.1 Copia simple de la partida registral o certificado registral inmobiliario del predio (antigüedad no mayor a dos meses de su fecha de emisión). De no estar inscrito el predio, el título que acredite su uso legítimo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2 Copia del acuerdo que permita utilizar el bien con firmas de las partes legalizadas notarialmente o por el juez de paz en las localidades donde no existe notario (en caso el predio sea de titularidad de terceros)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.3 Copia simple del acuerdo suscrito con el representante de la Junta de propietarios (en caso de predios en los que coexisten unidades inmobiliarias de propiedad exclusiva y de propiedad común). Cuando los aires pertenezcan a un único condómino, el acuerdo de uso del predio debe ser suscrito también por el representante de la Junta de Propietarios.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

FORMULARIO GRATUITO

NO SE ACEPTAN BORRONES NI ENMENDADURAS

**V. REQUISITOS ADICIONALES ESPECIALES**  
(En caso parte o toda la Infraestructura de Telecomunicaciones a instalar recaiga sobre áreas o bienes protegidos por leyes especiales).

	Aplica	Cumple
5.1 Autorización emitida por el Ministerio de Cultura (Para el caso de instalación de Infraestructura de Telecomunicaciones en bienes culturalmente protegidos y declarados como Patrimonio Cultural de la Nación)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.2 Permiso otorgado por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SERNANP (Para el caso que la instalación se realice en un Área Natural Protegida)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.3 Autorización otorgada por Provisas Nacional o la instancia de gobierno regional o local competente (En el caso de utilizar el derecho de vía)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.4 Autorización de la Entidad competente de acuerdo a la referida ley especial (Cuando la instalación se realice en otros bienes o áreas protegidas por leyes especiales)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Aplica: Para ser llenado por el Solicitante  
Cumple: Para ser llenado por la Entidad

**VI. DECLARACIÓN JURADA**

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL PRESENTE FORMULARIO ES VERAZ

TITO ESPINOZA OLIVAS

APELLIDOS Y NOMBRES

*Tito Espinoza Olivas*  
TITO ESPINOZA OLIVAS  
Subgerente de Atención al Vecino y Registro Civil  
Municipalidad Distrital de Ventanilla  
FIRMA DEL SOLICITANTE / A. REPRESENTANTE LEGAL

HUELLA DIGITAL



Ley N° 29022 (artículo 5°)  
TEXTO: En caso de comprobar fraude o falsedad en la declaración, información o en la documentación presentada por el administrado, la entidad considerará no satisfecha la exigencia respectiva para todos sus efectos, procediendo a comunicar el hecho a la autoridad jerárquicamente superior, si lo hubiere, para que se declare la nulidad del acto administrativo sustentado en dicha declaración, información o documento; imponga a quien haya empleado esa declaración, información o documento una multa en favor de la entidad de hasta veinticinco unidades impositivas tributarias vigentes a la fecha de pago, además, si la conducta se adecua a los supuestos previstos en el Título XIX Delitos Contra la Fe Pública del Código Penal, ésta se comunicará al Ministerio Público.

**VII. RECEPCIÓN DE LA SOLICITUD Y APROBACIÓN AUTOMÁTICA**  
(Ha ser llenado por la unidad de trámite documentario o mesa de partes de la Entidad de la Administración Pública).

Número de registro de la solicitud:  Fecha:  /  /  Hora:  Número de hojas:

Datos del funcionario que recepciona la solicitud:

APELLIDOS Y NOMBRES:  FIRMA DEL FUNCIONARIO:

SELLO DE RECEPCIÓN

DE HABER OBSERVACIONES: (en caso aplique)

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE VENTANILLA  
SUB GERENCIA DE ATENCIÓN AL VECINO Y REGISTRO CIVIL  
07 AGO. 2017  
EXP. 32940  
RECIBIDO  
HORA 11:40 AM FECHA 07/08/2017

Pendiente	Subsanado
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**SUBSANACIÓN DE LAS OBSERVACIONES: (en caso aplique)**

Datos del funcionario que valida la observación subsanada:

APELLIDOS Y NOMBRES:  FIRMA DEL FUNCIONARIO:

SELLO QUE VALIDA LA OBSERVACIÓN SUBSANADA

Fecha:  /  /  Hora:

Reglamento de la Ley N° 29022 (numeral 16.7 del artículo 16°)  
Para todo efecto, el FUIIT tiene carácter de Declaración Jurada de acuerdo a lo previsto en el artículo 3° de la Ley N° 29060, Ley de Silencio Administrativo. El mismo valor tiene el FUIIT con la constancia notarial respectiva, sino se presentaran observaciones pendientes de subsanación.

**SIRVASE COMPLETAR TODOS LOS CASILLEROS CON LETRA LEGIBLE**

FORMULARIO GRATUITO

NO SE ACEPTAN BORRONES NI ENMENDADURAS

## REPORTE FOTOGRAFICO DE AVANCE SMALL CELL STA. ROSA - PAN. NORTE

### 2.1. Aceptación para trabajos de campo

#### 2.1.1- Acta de autorización de Small Cell Sta. Rosa – Pan. Norte

ACTA DE ACEPTACION EN CAMPO							(HOJA 1 DE 3)		
<b>ESPECIALIDAD</b>									
MARCAR CON ( X ) LA ESPECIALIDAD DE LA ACEPTACION									
1	ADQUISICION DE SITOS		4	EXTENSION DE LINEA EN BAJA TENSION		CODIGO DE OBRA	TWSC_ICL_126		
2	OBRA ASOCIADA		5	EXTENSION DE LINEA EN MEDIA TENSION		FECHA DE INICIO	14-Nov-16		
3	ESTRUCTURAS METALICAS		6	OBRA ESPECIFICA		FECHA DE FIN			
<b>DATOS DE OBRA</b>									
1	NOMBRE DE LA EBC	SCELL_STAROSA_PNORTE				TIPO DE OBRA			
2	DIRECCION	ACCESO SANTA ROSA S/N				EN TERRENO (GREEN FIELD)	AUTOSOPORTADA	X	
3	ZONAL	LIMA					VENTADA		
4	NOMBRE DEL REPRESENTANTE DE TELEFONICA	CHRISTOPHER WONG					MONOPOLO		
5	NOMBRE DEL SUMINISTRADOR	HUAWEI DEL PERU SAC				FAST SITE			
6	NOMBRE DEL REPRESENTANTE DEL SUMINISTRADOR	MARTÍN HIDALGO				EN AZOTEA (ROOF TOP)	ARRIOSTRADA		
7	NOMBRE DEL STOI	_____					VENTADA		
8	NOMBRE DEL REPRESENTANTE DEL STOI	_____					MASTIL		
9	FECHA DE ACEPTACION EN CAMPO					MIMETIZADO			

## 2.1.2- Vista Panorámica del site.

## EVIDENCIA VISUAL DE LA ESTACION

NOMBRE DE LA OBRA

SCCELL\_STAROSA\_PNORTE

FOTO PANORAMICA 1



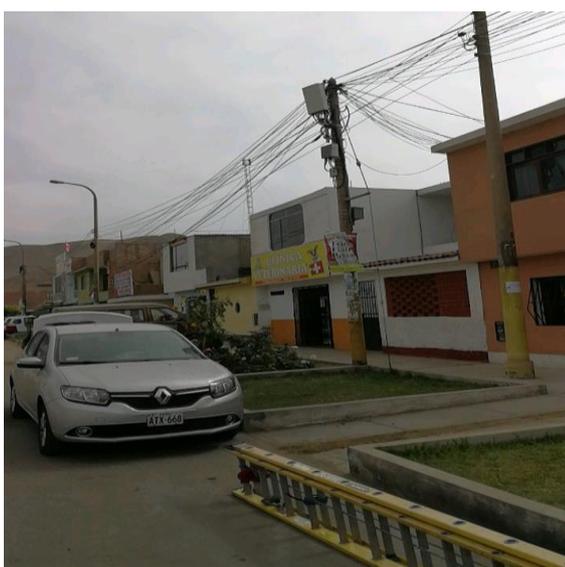
FOTO PANORAMICA 2



FOTO PANORAMICA 3



FOTO PANORAMICA 4

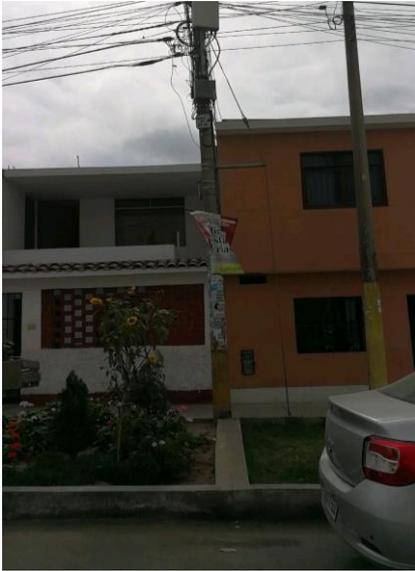


## 2.1.3- Acta de constatación ambiental.

<b><u>ACTA DE CONSTATAcion AMBIENTAL</u></b>					
En la fecha que consta en el presente documento, se reunieron los representantes del Contratista y la Supervisión, para realizar la entrega de terreno. Realizándose a su vez la constatación de residuos existentes en las áreas a intervenir, previas al inicio de obra.					
<b>DATOS GENERALES</b>					
Nombre del Supervisor	<b>CRISTOPHER WONG</b>			Fecha de entrega de terreno	16/08/2017
Nombre del Residente de Obra	<b>MARTÍN HIDALGO</b>			PROVEEDOR	SEISA
<b>DATOS DEL PREDIO</b>					
Nombre del emplazamiento	SCCELL_STAROSA_PNORTE				
Distrito	<b>SANTA ROSA</b>	Provincia	<b>LIMA</b>	Departame	<b>LIMA</b>
Dirección				Características de zona	Rural Urbana X
TIPO DE RESIDUOS		¿Existen Actualmente Residuos? (Si/No)	OBSERVACIONES		
<b>Residuos sólidos</b>	Papel, Cartón	<b>NO</b>			
	Plásticos	<b>NO</b>			
	Metales, chatarra	<b>NO</b>			
<b>Residuos Inertes</b>	Concreto	<b>NO</b>			
	Desmontes	<b>NO</b>			
	Restos de madera	<b>NO</b>			
<b>Residuos Sólidos Peligrosos</b>	Envases vacíos de (pinturas)	<b>NO</b>			
	Brochas, rodillos, trapos impregnados con sustancias peligrosas (pinturas, grasas y aceites)	<b>NO</b>			
	Envases de lubricantes y combustibles	<b>NO</b>			

## 2.1.4- Constatación ambiental posterior a la instalación.

## INFORME FOTOGRÁFICO



1.- Fotos de áreas externas (considerar zona externa inmediata a la zona de trabajo y la fachada de la estación)



2.- Fotos del área de trabajo (considerar la zona de construcción y/o implementación de equipos)

## 2.2. Informe de pruebas de datos de Small Cell Sta. Rosa - Pan. Norte

	<b>PRUEBAS VERIFICACION DE DESCARGA DE DATOS PREVIAS AL ATP - TdP LTE</b>	
---	---	---

### PRUEBAS DE DATOS LTE

INFORMACIÓN DEL SITE	
NOMBRE DEL SITE	SCELL SANTA ROSA PNORTE
ID DEL SITE	TWSC-101-326
DIRECCIÓN	ACCESO SANTA ROSA S/N.
PROVINCIA	LIMA

	<b>PRUEBAS VERIFICACION DE DESCARGA DE DATOS PREVIAS AL ATP – TdP LTE</b>	
---	---	---

### 1. Datos del terminal usado durante la prueba

Primero se requiere conocer los datos del teléfono de pruebas que será utilizada para realizar la descarga de datos.

INFORMACION	DETALLE
Marca	HUAWEI
Modelo	P50
IMSI	
Num. Celular	952 277 942

### 2. Verificación de software y soporte

La prueba de descarga de datos será realizada junto al personal de Wireless de turno y se también se encargará de validar las pruebas hechas.

INFORMACION	DETALLE
Nombre Ing. Wireless	LUIS ACUÑA
Num. Celular	989 598 790.

Para iniciar las pruebas el celular debe contar con las siguientes aplicaciones instaladas:

- G-MoN



- Speedtest.net



 HUAWEI	<b>PRUEBAS VERIFICACION DE DESCARGA DE DATOS PREVIAS AL ATP – TdP LTE</b>	
---	---	---

### 3. Prueba de descarga de datos

Mediante el App G-Mon, debemos verificar que nos encontramos conectados a la estación en la cual deseamos realizar la prueba de descarga de datos, la prueba debe realizarse conectados a cada sector y para ello utilizaremos el App Speedtest.

La aplicación speedtest nos brindará un valor de descargar el cual debe ser anotada en el cuadro que se presentará a continuación.

El valor mínimo de el downlink es de **30Mbps** y para el uplink es de **15Mbps**.

Nombre eNodeB	Site ID
	2143

Cell N°	Cell ID	Download Speed (Mbps)	Uplink Speed (Mbps)
12	19558.	35 Mbps	17 Mbps.

NOMBRE Y FIRMA REPRESENTANTE COOPERADOR: \_\_\_\_\_

*Jatin Hidalgo*

FECHA:

16/08/17

*[Signature]*

## 2.3. Pruebas de llamadas conformes aceptado por el cliente del Small Cell Sta. Rosa - Pan. Norte

### Lista de Pruebas de Servicio 3G

Nombre del Sitio: SCell SANTA ROSA NORTE  
 Código del Sitio: TWSC-1C1-326  
 Tecnología Instalada: 3G/LTE

La prueba se realizará luego de realizar la integración para garantizar que los servicios funcionen correctamente al realizar la Aceptación con el cliente.

Realizar las llamadas a los números indicados abajo.

Marcar cada resultado con las siguientes opciones (OK / NOK / NA)

Número	Descripción	RESULTADOS
		UMTS 1900
		Sector 1
104	TELEGESTION BASICA - Enrutado a Call Center para Postpagos y Control y a Atento para Prepagos	OK
105	EMERGENCIAS POLICIAL	OK
	Llamada a número Fijo Movistar	OK
	Llamada a número Fijo Claro	OK
	Llamada a número móvil Movistar	OK
	Llamada a número móvil Claro	OK
	Llamada a número móvil Entel	OK
	Prueba de Datos 2G	
	Prueba de Datos 3G	OK

#### Responsable Huawei

Nombre: Martin Hidalgo  
 DNI: 47971505  
 FECHA: 16/08/17

  
 Firma