

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERAS ELECTRÓNICAS**

**TEMA:
ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE HANDOVER PARA CELDAS
CONJUNTAS EN ONDA MILIMÉTRICA**

**AUTORES:
BUSTOS ESPINOSA MARJORIE DAYANA
LÓPEZ MERA NELLY ADRIANA**

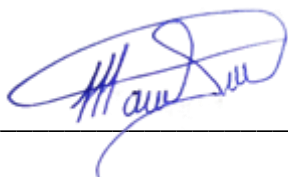
**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, febrero de 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

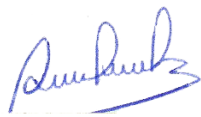
Nosotras, Marjorie Dayana Bustos Espinosa y Nelly Adriana López Mera, con documento de identificación N° 1725886632 y N° 1722703806 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE HANDOVER PARA CELDAS CONJUNTAS EN ONDA MILIMÉTRICA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieras Electrónicas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Marjorie Dayana Bustos Espinosa

CI: 1725886632



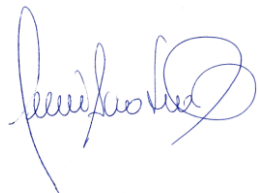
Nelly Adriana López Mera

CI: 1722703806

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE HANDOVER PARA CELDAS CONJUNTAS EN ONDA MILIMÉTRICA” realizado por Marjorie Dayana Bustos Espinosa y Nelly Adriana López Mera, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero de 2020



Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

CI: 1717985830

Análisis de parámetros de handover para celdas conjuntas en onda milimétrica

Aucatoma Guamán Lenin
Wladimir
Docente Universidad
Politecnica Salesiana
Quito, Ecuador
laucatoma@ups.edu.ec

Bustos Espinosa Marjorie
Dayana
Ing. Electrónica,
Universidad Politécnica
Salesiana
UPS
Quito, Ecuador
mbustose@est.ups.edu.ec

López Mera Nelly Adriana
Ing. Electrónica,
Universidad Politécnica
Salesiana
UPS
Quito, Ecuador
nlopezme@est.ups.edu.ec

Resumen— En este documento, mediante el software de simulación ICS Telecom se describe el análisis necesario para evaluar los parámetros de handover utilizando una cobertura de microceldas para frecuencias en el rango de onda milimétrica. La banda seleccionada fue n260 a partir de 37GHz. Para el caso de estudio se escogió el sector de las Orquídeas y San Miguel de Amagasi; cubriendo varias urbanizaciones que cumplen con las características de un tramo urbano de Quito. Se tomó en cuenta factores que influyen en la cobertura como son: el modelo de propagación, diámetro de la celda, tipo de señal, ancho de banda, potencia y ganancia de la antena. Para escoger los mejores parámetros de handover RSSI, RSRP, RSRQ y SINR se evalúa una ruta lineal a través de las celdas conjuntas que permitirá medir niveles de intensidad de la señal y obtener un rendimiento de handover adecuado.

Abstract— In this document, through ICS Telecom simulation software describes the necessary analysis to evaluate the handover parameters, using a microcell coverage for frequencies in the range of millimeter waves. The selected band was n260, starting from 37 GHz. For the study case the sector chose was Las Orquídeas y San Miguel of Amagasi; covering some housing developments that has the characteristics of Quito's urban length. It was considering some factors that influence the coverage like: propagation model, cell diameter, type of signal, bandwidth, power, antenna gain. In order to choose the best handover parameters RSSI, RSRP, RSRQ and SINR the lineal route is evaluated through of joint cells that allow to size the intensity levels of optimum signals for a suitable handover.

Keywords: *handover, threshold, RSRP, RSRQ, SINR, RSSI, celdas .*

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento masivo de dispositivos por usuario ha impulsado el desarrollo y mejoras en la capacidad de redes móviles para ofrecer un alto

rendimiento en las redes inalámbricas. La tecnología 5G mejora la escalabilidad, rentabilidad, flexibilidad y rendimiento energético en comparación con LTE (Long Term Evolution) [1]. La implementación de esta tecnología reduce la latencia a 1 ms y aumenta la capacidad de red, utiliza el espectro mmW (onda milimétrica) para aumentar el ancho de banda y la velocidad de datos [2].

El uso de microceldas con un radio entre 0.05 a 1 Km en la red 5G sirve para mejorar su capacidad, la antena se coloca en el exterior, por encima de la altura promedio de los tejados. Las microceldas urbanas densas tienen un radio de 0.05 a 0.5 Km con la antena dispuesta en el exterior por debajo de la altura promedio de los tejados. Las picoceldas tienen un radio de hasta 50 m, son utilizadas en caso de interiores o exteriores y se las coloca por debajo de la altura máxima de los tejados [3]. La relación entre el tamaño de la celda y el espectro es inversamente proporcional [4], a medida que la distancia aumenta la señal se deteriora. En un conjunto de celdas de radio (r), a cada una se le asigna una banda de frecuencia para eliminar interferencias. El incremento de usuarios aumenta los niveles de tráfico, lo que provoca que las bandas de frecuencia se saturen y generen congestión en las llamadas [5]. Es importante considerar que las señales de onda milimétrica experimentan mayor pérdida de transferencia de datos en el espacio libre que las tecnologías anteriores. Esta pérdida acorta el rango de comunicación y altera la ubicación de las estaciones base, haciendo que la distribución sea más densa [6].

Es prioridad a futuro en redes inalámbricas tener eficiencia en movilidad, handover, latencia y velocidad ya que con esto se logra acceder a varias aplicaciones simultáneamente en cualquier área geográfica sin que afecte la conectividad y

calidad de servicio, por tanto es fundamental tener en cuenta las mediciones de los parámetros: RSSI (Received Signal Strength Indicator), SINR (Signal to Interference and Noise Ratio), RSRQ (Reference Signal Received Quality), RSRP (Reference Signal Received Power) [7]. Con esto se evitaría el efecto ping pong, en el cual UE (User Equipment) cambia innecesariamente de estación base (BS), para grandes velocidades los cambios de SNR (Signal to Noise Ratio) son rápidos y los traspasos a tiempo ya que se basan generalmente en el SNR /RSRP [8].

Se sabe que en la comunicación en ondas milimétricas se tiene pérdidas de ruta y hay mayor sensibilidad al bloqueo, para resolver esto se implementa gran cantidad de antenas en espacios reducidos para formar haces estrechos y direccionados de esta manera los enlaces abarcan un rango de 200 m, sin embargo, la densificación de la red es de gran ayuda ya que aumenta la probabilidad de línea de vista en la estación base BS. Las pérdidas de ruta y la sensibilidad al bloqueo causarán un efecto secundario positivo ya que la interferencia se reduce, habrá ruido en lugar de interferencia [9].

II. PLANTEAMIENTO DEL ESCENARIO Y DISEÑO

Para establecer la zona de estudio, la cobertura planteada abarca el sector de las orquídeas y San Miguel de Amagás entre la Av. De los Nogales y Av. Galo Plaza Lasso donde se cubre varias urbanizaciones y conjuntos residenciales que en promedio constan de 4 y 5 pisos, con una altura promedio de 15 metros.

El método de propagación utilizado para el escenario de simulación es el ITU -R 452-16 bajo la recomendación vigente ITU -R P.452-16 para frecuencias comprendidas entre 0,1 GHz a 50 GHz; con una geometría de difracción Delta Bullington para condiciones de espacio libre y obstruidas (Construcción de Bullington) y la tierra esférica [10].

Para las condiciones atmosféricas se toma la recomendación ITU -R 676 para frecuencias comprendidas entre 1 a 1000 GHz a cualquier valor de humedad, temperatura y presión [11]. El valor de la temperatura y presión atmosférica se consigue mediante la página oficial de INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) [12], como se indica en la tabla 1.

Al trabajar en zonas urbanas la atenuación de la señal aumenta, se limita el radio de cobertura lo que conlleva a utilizar microceldas y antenas direccionales.

Tabla 1. Cuantificaciones para el método de propagación en la simulación de onda milimétrica en ICS Telecom.

Características del modelo	Tipo/Rango
Geometría de difracción	Delta Bullington
Atenuación por subruta	Estándar
Atenuación por gases atmosféricos y lluvia	Gas ITU -R 676 (1-1000 GHz)
Tasa de lluvia (mm/h)	30.90
Temperatura	16.10 C°
Ducting	No aplica

Para aumentar la capacidad y cobertura del sistema con un número limitado de frecuencias, se dividió el área en celdas para que las celdas vecinas reutilicen las frecuencias, el factor de reuso es de 7 y 21 grupos de frecuencias, con un radio de 0.360 Km [3], la distancia de reuso es de 1.48 Km para evitar interferencias, lo cual también se evita mediante la sectorización, se realizó una sectorización de 120° se logra una eficiencia del triple de canales [13].

$$D = R\sqrt{3N}$$

$$D = 1,65 \text{ Km}$$

Donde:

R= radio de la celda

N= Factor de reuso

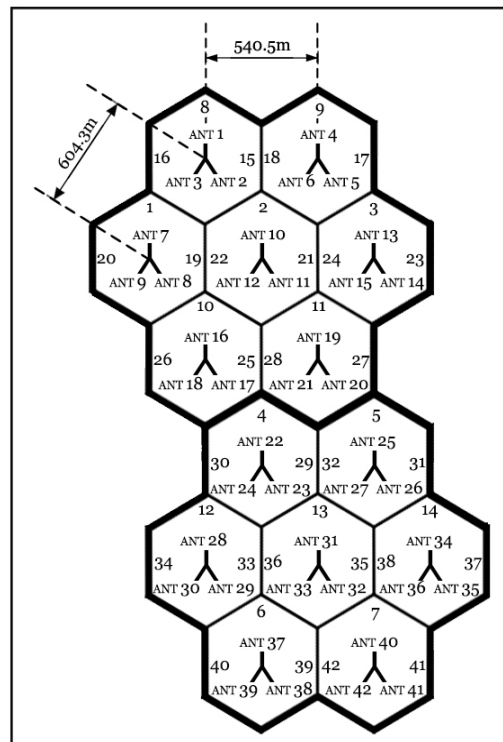


Figura 1. Patrón de celdas conjuntas, distancias y reuso de frecuencias.

III. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

La tabla 2 muestra los parámetros de una antena transmisora que trabaja en frecuencias de onda milimétrica, en tecnología 5G con modo dúplex TDD, correspondiente a la banda operativa n260 (a partir de 37 GHz) de acuerdo a la estandarización 3GPP [14] para casos de investigación, con un ancho de banda de 200 MHz en el rango establecido para frecuencias mayores a 6 GHz y una numerología correspondiente a 2 con SCS (espaciado de subportadora) de 60 kHz [15].

Tabla 2. Parámetros de configuración de la antena para la cobertura en onda milimétrica.

Parámetro	Valor
Señal	5G TDD
Potencia(W)	0.2
Ganancia (dBi)	5
Pérdidas (dB)	0.5
Frecuencias (GHz)	Desde 37 a 41
Altura de la antena (m)	18
Ancho de Banda MHz	200
Cover. Threshold (dBu)	42
KTBF	-89
Modulación	256-QAM
Numerología	2: 60 kHz
Numero de bloques	20 a 275

Con una modulación de 256 QAM, la señal de referencia de 7.93, un PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) de 92.33% calculados por el software en base a la numerología, se obtuvo una velocidad aproximadamente de 37 Gbps calculada por el software debido al uso de onda milimétrica la capacidad es mayor.

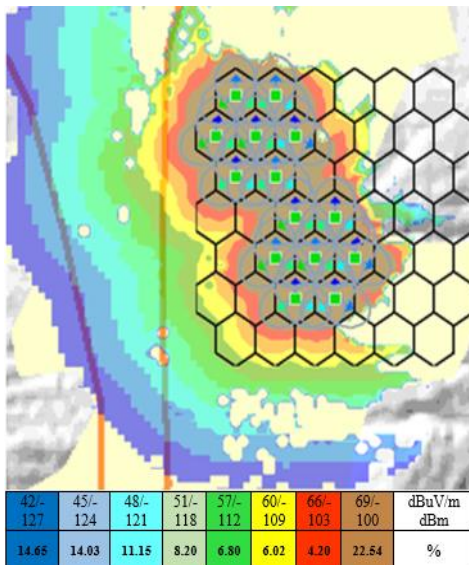


Figura 2. Cobertura con el modelo ITU -R 452-16 y la ubicación de 42 antenas sectoriales localizadas en el centro de 14 micro celdas.

En la figura 2 se muestran los resultados de la cobertura con la recomendación ITU -R P.452-16 en mmW tomando como radio cubierto 7 km en ICS Telecom. Se puede observar que las celdas están cubiertas en su totalidad de color café con un valor de intensidad de campo de -100 dBm.



Figura 3. Sensibilidad medida a través de la aplicación Network Cell Info en un celular Samsung conectado a una red LTE Movistar.

El área ubicada al borde la cobertura de mmW posee un 14.65% con una intensidad de campo de 42 dBuV/m o -127 dBm correspondiente al borde de cobertura en la figura 2, los resultados se encuentran por encima de la sensibilidad en dispositivos móviles que aproximadamente es de -130 dBm. En la figura 3 se toman como referencia las mediciones de la sensibilidad de un celular Samsung conectado a una red LTE Movistar con valores de -111 dBm y -118 dBm.

En la simulación, uno de los parámetros importantes es el margen de HO (Handover) para la evaluación de las condiciones de la celda con un valor de 6 dB tomado como muestra referencial después de probar con varios valores en el rango de 0 a 15 dB [16]. La asignación de vecinos se la realiza con una distancia calculada

mediante la cobertura en el software para las 42 antenas. En la tabla 4 se muestra la lista de antenas con su respectivo callsign asignado y lista de vecinos.

Tabla 4. Cuadro de 21 antenas con su Callsign (CS), frecuencia y lista de vecinos.

#	Nro. Ant.	CS	Frecuencia (GHz)	Vecinos
1	8	Ant1	37.0	1, 2, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21
2	15	Ant2	37.2	1, 2, 8, 9, 16, 17, 18, 19, 20, 21
3	16	Ant3	37.4	1, 2, 8, 9, 15, 17, 18, 19, 20, 21
4	9	Ant4	37.6	2, 3, 8, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23
5	17	Ant5	37.8	2, 3, 8, 9, 15, 16, 18, 21, 22, 23
6	18	Ant6	38.0	2, 3, 8, 9, 15, 16, 17, 21, 22, 23
7	1	Ant7	38.2	2, 9, 10, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 25
8	19	Ant8	38.4	1, 2, 8, 10, 15, 16, 20, 21, 22, 25
9	20	Ant9	38.6	1, 2, 8, 10, 15, 16, 19, 21, 22, 25
10	2	An10	38.8	1, 3, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 18
11	21	Ant11	39.0	1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 17
12	22	Ant12	39.2	1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 17
13	3	Ant13	39.4	2, 9, 11, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 27
14	23	Ant14	39.6	2, 3, 9, 11, 17, 18, 21, 22, 24, 27
15	24	Ant15	39.8	2, 3, 9, 11, 17, 18, 21, 22, 24, 27
16	10	Ant16	40.0	1, 2, 11, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27
17	25	Ant17	40.2	1, 2, 11, 19, 20, 21, 22, 26, 27
18	26	Ant18	40.4	1, 2, 11, 19, 20, 21, 22, 25, 27
19	11	Ant19	40.6	2, 3, 4, 10, 21, 22, 23, 24, 25, 26
20	27	Ant20	40.8	2, 3, 4, 10, 11, 21, 22, 23, 24, 25
21	28	Ant21	41.0	2, 3, 4, 10, 11, 21, 22, 23, 24, 25

IV. ANÁLISIS DE PARÁMETROS

Para la evaluación de la cobertura realizada en mmW y el rendimiento del handover se analizan 4 mediciones elementales como son: RSRP, RSSI, RSRQ y SINR.

Tabla 5. Tabla comparativa de mediciones elementales de handover en celda 2.

RSSI dBm	Nro. Ant	Distancia m	RSRP dBm	RSRQ dB	SINR dB
-93.87	2	360	-129.18	-7.68	2
-89.40	21	270	-125.23	-5.20	7.96
-83.83	2	180	-119.18	-4.73	14
-78.99	21	90	-114.23	-4.62	18.79

En la tabla 5 se aprecian valores tomados en la celda 2 a diferentes distancias, en el sitio más alejado de la celda con respecto a las antenas: 2,21,22; estos valores se los tomará como referencia para determinar los valores que cumplan con el traspaso.

4.1 SINR (Signal to Interference and Noise Ratio)

Para el mapa de SINR en ICS Telecom se trabajó con PDSCH, un canal de tráfico, se relaciona la potencia de dicho canal referente al grado de interferencia proveniente de celdas conjuntas. En la figura 4 se muestran los diferentes niveles de SINR y cuál es su porcentaje de cobertura.

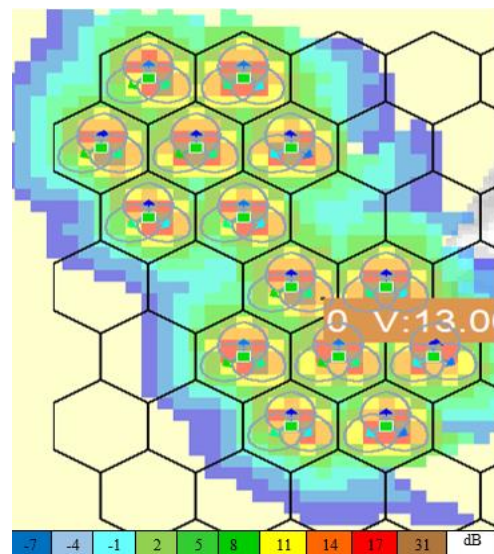


Figura 4. Mapa de SINR (PDSCH) en función de los niveles de señal.

Se obtuvo los valores de SINR en base al valor mínimo encontrado en el mapa mostrado en la tabla 6 y comparados con los niveles de señal obtenidos en la tabla 5. Los resultados son excelentes cuando cubren un área del 5.52%, son buenos en un porcentaje de 60.1%, por tanto, se cubrirá un porcentaje de 65.62% donde la interferencia será mínima; es decir, la señal a ruido es menor a la señal transmitida, se necesita como mínimo 2 dB en el valor de SINR para detectar las señales de RSRP y RSRQ que es lo que se está desempeñando en la simulación. Sin embargo, se obtiene un nivel de SINR con nivel de señal bajo cubriendo un 34.41%. Como se observa en la figura 4, el rango de -7 dB a -1 dB con los colores: azul, azul claro y turquesa respectivamente, superan el radio de las celdas ya que el desvanecimiento de la señal se incrementa al trabajar con longitud de onda milimétrica, además las pérdidas en la atmósfera por trayectoria y espacio libre influyen para obtener estos resultados.

Tabla 6. Resultados de SINR PDSCH en función del porcentaje cubierto y su nivel de señal.

Código de color	Mín. Valor SINR (dB)	Porcentaje cubierto	Nivel de señal
1	-7	12.14	Bajo
2	-4	11.94	
3	-1	10.33	
4	2	11.84	
5	5	11.85	Bueno
6	8	14.24	
7	11	9.33	
8	14	7.62	
9	17	5.22	
10	20	5.52	Excelente

Utilizando la herramienta de ICS Telecom, el simulador Monte Carlo, se obtiene una muestra de datos variando el SINR PDSCH, en este caso se analiza con 9 dB y -4 dB; se tomó los mismos parámetros de configuración de la antena, el clutter y una población generada aleatoriamente. Se recopilan los datos estadísticos en la tabla 7 en la que se determina que el 95.98% del total de usuarios está recestando un SINR PDSCH mayor a 9 dB considerado aceptable y el 4.02% reciben valores menores a 9 dB. No se obtiene ninguna tasa de bits cuando el SINR PDSCH es de -4 dB que es un nivel bajo.

Tabla 7. Resultados de SINR PDSCH.

SINR PDSCH (dB)	% <	% >	% en función de Tasa de bits	Tasa de bits
9	95.98	4.02	170.96	854.94Mbps
-4	69.85	29.65	0	0 Mbps

4.2 RSRQ (Signal to Interference and Noise Ratio)

Lo que se evaluó con RSRQ es la calidad de la señal de referencia de una celda en particular, este parámetro sirve para elegir la nueva celda adyacente en el handover.

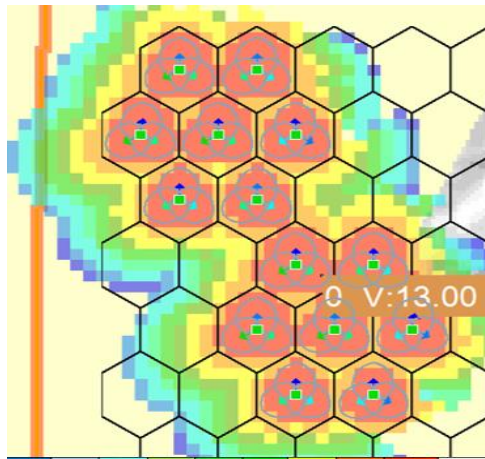


Figura 5. Mapa de RSRQ en función de los niveles de señal.

En la figura 5 se muestran los niveles de RSRQ obtenidos en el patrón de celdas donde predomina dentro del límite de las celdas el color rojo con nivel de -5dB.

Los valores de RSRQ medidos en dB se muestran en la tabla 8, se obtuvo un nivel de señal excelente cubriendo el 82.87%; de acuerdo con estos valores se puede evaluar la mejor celda para el usuario dentro de los límites geográficos planteados en el software. Se obtiene un 17.43% de RSRQ con valores considerados buenos también para el usuario, con esto se logra tener una calidad de señal eficiente para las conexiones del usuario.

Tabla 8. Resultados de RSRQ en base al porcentaje cubierto y nivel de señal.

Código de color	Mín. Valor RSRQ (dB)	Porcentaje cubierto	Nivel de señal
1	-13	3.12	Bueno
2	-12	4.34	
3	-11	9.97	
4	-10	5.12	Excelente
5	-9	8.50	
6	-8	6.85	
7	-7	11.62	
8	-6	18.30	
9	-5	32.18	

4.3 RSRP (Potencia de referencia de señal recibida)

En la figura 6 se observa el nivel de cobertura de cada celda cada color muestra el nivel de intensidad, mientras el color azul sea más intenso los UE están dentro de la intensidad de umbral límite, de esta manera se comprueba si cada celda está recibiendo la potencia adecuada para funcionar. Por tanto, se observa que predomina el color celeste con señal de -121 dBm ya que cubre la zona casi en su totalidad.



Figura 6. Mapa RSRP.

En la tabla 9 se observa el valor de RSRP de 42 dBuV/m, correspondiente al borde de cobertura propuesto para la investigación, se aprecia que el 23.91% de los traspasos se ejecutan al límite, sin embargo, con este valor se tendrá un buen funcionamiento ya que los teléfonos celulares trabajan a 46 dBuV/m.

Tabla 9. RSRP vs cobertura.

RSRP dBm	RSRP dBuV/m	Cobertura Km ²	Porcentaje %
-127	42	1.02	23.91
-124	45	1.26	29.60
-118	48	0.79	18.41
-115	51	0.43	10.06
-112	54	0.42	9.87
-109	57	0.35	8.16

En las mediciones tomadas de RSRP se muestra la importancia de la cobertura y el nivel de potencia recibida por celda, para que la muestra sea efectiva el terminal debe estar sincronizado con la celda y los canales de tráfico.

Para poder referirnos al valor de RSSI, cabe mencionar que el handover es la acción que ocurre cuando un usuario cambia su ubicación de un punto de acceso (AP) a otro. En la tabla 10 se verifica que mientras más alejado se encuentra el UE de la antena, el usuario perderá el rango de cobertura de su actual AP y cambiará a otro cuando la conexión inalámbrica comience a degradarse, lo que se refleja a través del indicador de intensidad de señal recibida (RSSI). Finalmente, la señal RSSI se degradará a tal punto que el UE se desconectará de la actual AP, para mantener la conectividad, el usuario tendrá que asociarse a otro AP.

Tabla 10. Tabla comparativa de mediciones generales de handover.

Nº	RSSI dBm	Nro. Ant	Nro. Celda	Distancia m	RSRP dBm	RSRQ dB	SINR dB
1	-89.04	2	1	324.5	-124.82	-5.15	8.37
2	-90.69	1	1	360	-126.77	-5.45	6.41
3	-93.62	1	1	324.50	-130.07	-6.53	2.42
4	-88.87	20	7	270	-124.62	-5.13	8.56
5	-86.71	21	7	254.56	-122.23	-4.89	10.95
6	-88.75	25	5	270	-124.49	-5.11	8.69

En la tabla 10 se puede observar que a diferentes distancias los parámetros se mantienen por el nivel estimado el cual se muestra en la tabla 5 a excepción del tercer valor que está en el nivel límite de intensidad de umbral ya que la afecta la altura del terreno.

En la figura 7 se puede comparar el valor RSRP y RSSI con respecto a la distancia se aprecia que a mayor distancia el nivel de intensidad disminuye siendo inversamente proporcional por tanto mientras se encuentre dentro del radio de la celda (360m) se efectúan los traspasos con valores de RSSI mínimo de -97.95 dBm y de RSRP de -42 dBuV/m.

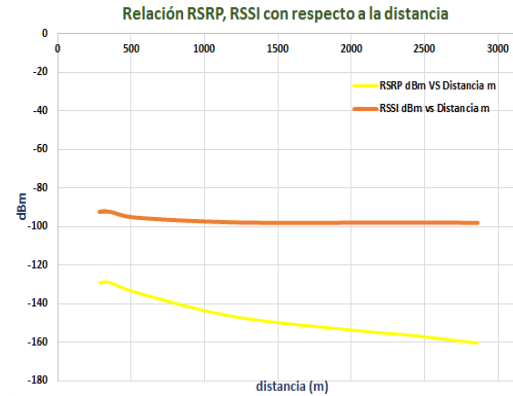


Figura 7. Comparación de parámetros RSRP y RSSI.

En la figura 8 se puede apreciar que a medida que el UE se aleja de la antena va a disminuir la calidad de señal y aumenta la interferencia, con valores tomados en el borde de cobertura a una distancia de 2860 m se obtienen valores de RSRQ -31.52 dB y SINR 26.95dB considerados aceptables para realizar handover.

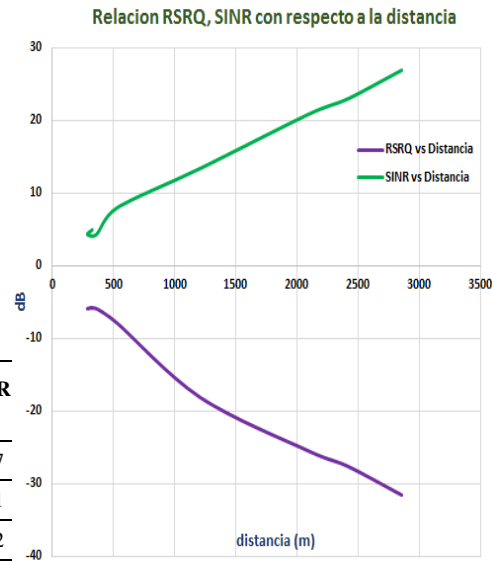


Figura 8. Comparación de parámetros RSRQ y SINR.

4.4 Análisis de handover en una ruta

En ICS Telecom para un análisis general de handover, se creó una ruta mediante 8 puntos a lo largo de las celdas de manera lineal simulando el camino que recorrería un usuario a través del patrón de celdas como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Ruta creada para la conexión de un usuario a través de las celdas mediante 8 puntos de análisis.

En la figura 10 se muestra la gráfica en base a 40 muestras tomadas por el software; para el análisis se evaluaron 13 mediciones a lo largo de la ruta de handover y que intensidad de señal se obtiene a lo largo del trayecto. Se considera una velocidad de usuario de 50km/h.

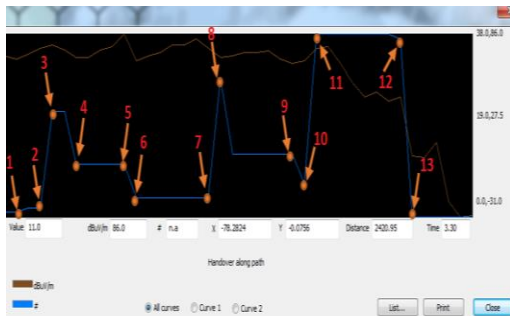


Figura 10. Gráfica del nivel de señal o intensidad en dBuV/m obtenida mediante 40 muestras.

Se analizaron los 13 puntos de la gráfica, evaluando la intensidad de campo que tiene el usuario, el tiempo de simulación, la distancia recorrida en la ruta, el número de antena a la que realiza el HO el usuario (ver figura 1). Se obtiene que todos los niveles de intensidad se encuentran por encima de la sensibilidad de los dispositivos móviles (-130 dBm), el valor más bajo de intensidad se realiza cuando el usuario se conecta a la antena # 38 con 44 dBuV/m equivalente a -124 dBm al final de la ruta, recorriendo 4600.14 m; sin embargo, el nivel de señal en el proceso de HO es excelente.

Tabla 11. Resultados de nivel de intensidad en la ruta de handover.

#	Nro. antena	Distancia (m)	Tiempo (min)	Intensidad dBuV/m	Nivel de señal
1	1	1350	2.20	72	Excelente
2	2	1604.56	2.32	73	
3	2	1731.84	2.70	77	
4	22	1949.12	2.33	70	
5	11	2293.68	3.15	78	
6	11	2420.95	3.30	68	
7	4	3020.07	4.20	83	
8	29	3237.35	4.28	71	
9	13	3746.47	4.49	70	
10	13	3836.47	5.00	67	
11	38	4091.03	5.30	77	
12	38	4600.14	5.52	45	
13	37	4690.14	6.20	46	

V. CONCLUSIONES

Mediante el análisis de la ruta de un usuario a través de las celdas conjuntas, se pudo determinar que los niveles de señal obtenidos van desde 45 dBuV/m hasta 83 dBuV/m; son rangos adecuados ya que se encuentran por encima del borde de cobertura y el rango de la sensibilidad de dispositivos electrónicos móviles propuestos, logrando garantizar que los usuarios tengan libertad en cuanto a movilidad dentro del área geográfica de estudio, y pueden recorrer una distancia mayor o igual a 4690.14m que es el valor de la distancia al final de la ruta.

Se verifica que con un radio de 360m por celda, en un área geográfica irregular, con frecuencias en el rango de 37 GHz a 41GHz se puede trabajar con valores de RSRP de -130dBm, un RSRQ mayor a -8dB, como mínimo 2dB en SINR y con una señal de RSSI de -93dBm, obteniendo 13 traspasos a una distancia recorrida de 4690.14m; sin que se vea afectada la transmisión y recepción de datos.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Jonathan, A. Oscar, A. Pablo, R. Juan, M. Andrés y L. Juan, «Handover Implementation in a 5G SDN-based Mobile Network Architecture,» España, 2016.
- [2] Adler instruments, «La tecnología 5G requiere las frecuencias de ondas milimétricas / mmWave,» Madrid, 2019.
- [3] ITU, «Recomendación UIT-R P.1411-9,» Ginebra, 2017.
- [4] T. Rappaport, Y. Xing, G. MacCartney, A. Molisch, E. Mellios y J. Zhang, «Overview of Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation (5G) Wireless

- Networks—With a Focus on Propagation Models,» 2017.
- [5] J. Khan, A. Ali y K. Khisro, «Cellular Handover Approaches in 2.5G to 5G Technology,» Pakistán, 2014.
- [6] H. Yan, S. Ramesh, T. Gallagher, C. Ling y D. Cabric, «Performance, Power, and Area Design Trade-Offs in Millimeter-Wave Transmitter Beamforming Architectures,» *IEEE Circuits and Systems Magazine*, vol. 19, n° 2, pp. 33-58, 21 mayo 2019.
- [7] A. Jain, E. López y I. Demirkol, «Evolutionary 4G/5G Network Architecture Assisted Efficient Handover Signaling,» *IEEE Xplore*, vol. 7, 2019.
- [8] R. Paropkari, A. Gebremichail y C. Beard, «Fractional Packet Duplication and Fade Duration Outage Probability Analysis for Handover Enhancement in 5G Cellular Networks,» Honolulu, USA, 2019.
- [9] S. Caciapuoti, «Mobility-Aware User Association for 5G mmWave Networks,» p. 4, 2017.
- [10] ITU, «Recomendación UIT-R P.452-16,» Ginebra, 2016.
- [11] ITU, «Recommendation ITU-R P.676-12,» Geneva, 2019.
- [12] INAMHI, «INAMHI RED DE ESTACIONES AUTOMÁTICAS,» julio 2019. [En línea]. Available: <http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>.
- [13] J. Huidrobo, Comunicaciones móviles sistemas gsm, umts y lte, Madrid: RA-MA, 2014.
- [14] 3GPP, «Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), LTE, 5G,» octubre 2019. [En línea]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/121900_121999/121915/15.00.00_60/tr_121915v150000p.pdf.
- [15] 3GPP, «Portal ETSI,» octubre 2019. [En línea]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/13810102/15.07.00_60/ts_13810102v150700p.pdf.
- [16] d. I. B. I, M. P, B. R, T. M y L. S, «Auto-ajuste del margen de handover en redes LTE,» 2017.